

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة العليا للفلاحة - الحراش - الجزائر

Ecole Nationale Supérieure Agronomique - El-Harrach – Alger



Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques

Sujet

*Ecologie de **Lepidosaphes beckii Newman, 1869**
(Homoptera : Diaspididae) et sa relation avec ses
parasitoïdes du genre **Aphytis** dans deux vergers
citricoles de la zone orientale d'Alger.*

Présenté Par : AGAGNA Yasmina

Jury :

Président : M. DOUMANDJI S.

Professeur (ENSA-Alger)

Directeur de thèse : M. BICHE M.

Professeur (ENSA-Alger)

Examineurs :

M^{me} BEHIDJ Nassima

Professeur (UMBB-Boumerdes)

M^{me} CHEBOUTI Nadjiba

Professeur (UMBB-Boumerdes)

Année universitaire : 2022/2023

The background of the page is a decorative pattern of blue flowers and leaves. The flowers are large and have many petals, while the leaves are elongated and pointed. The colors range from a deep, vibrant blue to a lighter, almost white blue, creating a soft, ethereal effect. The pattern is dense and covers the entire page, with some areas appearing more blurred than others.

DÉDICACES

Je dédie ce travail à la mémoire de celle qui m'a toujours poussé sur le chemin de la réussite, ma mère BEKRI Halima, avec laquelle je n'ai pas eu le plaisir de partager cet événement marquant de ma vie, mais qui demeurera dans mon cœur à jamais.

Dédié à tous ceux qui m'ont soutenu de près et de loin tout au long de mon parcours académique. Cette thèse est également dédiée à tous ceux qui ont dû faire des choix difficiles ou consentir à des sacrifices pour poursuivre leurs rêves et ambitions légitimes. Merci "Allah" pour la force qui me permet de continuer à progresser.

Remerciements

*Ma première gratitude s'adresse au Professeur **Biche Mohamed** de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie.*

C'est sous sa direction que ce travail a été accompli. Je voudrais qu'il trouve ici toute ma reconnaissance pour ses encouragements, ses conseils, ses recommandations, le temps qu'il m'a consacré et sa bienveillance tous le long de mon parcours universitaire.

*Que Monsieur le Professeur **Doumandji Salah Eddine** trouve ici l'expression de ma profonde gratitude à, l'intérêt qu'il a manifesté à mon travail et surtout de me faire l'honneur de présider le jury. Je le remercie infiniment.*

*Mes vifs remerciements à Madame la Professeure **Chebouti-Meziou Nadjiba**, de l'Université de Boumerdes d'avoir accepté de faire partie du jury et l'honneur d'assister à la présentation de mes résultats et d'y porter une appréciation.*

*Mes remerciements les plus sincères vont particulièrement à la Professeure Madame **Behidj Nassima** de l'Université de Boumerdes, pour m'avoir fait bénéficier de sa compétence, son aide sans limites, sa bonté.*

*Le Professeur **Leggat Réda** enseignant de mathématiques à l'Université d'Abou Bekar Belkaid, Tlemcen-Algérie, pour son aide dans la morphométrie.*

*Ce travail n'aurait pas eu lieu sans l'aide inestimable de **Beloued Ibtissem** et Dr **Oussallah Narimene**, qu'elles trouvent ici l'expression de ma grande reconnaissance. Je les remercie beaucoup. Mes sincères remerciements s'adressent spécialement au Dr **Boudjemaa Khadidja**, pour son aide, sa patience et sa disponibilité. Je lui exprime toute ma gratitude.*

*Je remercie également toutes les personnes qui m'ont apportée leur soutien tant moral que physique en particulier Mme **Bouali Fatma** et Mme **Lalou-Lounis Fadhila**.*

*Et pour finir, je tiens à exprimer ma gratitude envers l'équipe de recherche du Département de génétique et biotechnologie horticoles du **CIHEAM Chania (Grèce)**, pour m'avoir donné l'opportunité de participer à la 4ème édition du **CIHEAM MEDFORUM**. Cet événement académique important visait à explorer les défis auxquels sont confrontés l'agriculture et les systèmes alimentaires méditerranéens à l'heure du changement climatique et de la crise agroalimentaire. J'ai pu y présenter mes travaux de recherche, qui ont porté sur l'impact du changement climatique sur les paramètres de vie de la cochenille virgule comme valorisation globale de mes travaux de recherche menés au cours de la dernière décennie, depuis mon ingéniorat jusqu'au doctorat, et d'obtenir un retour précieux de la part de la communauté scientifique présente.*

Liste des figures

Page

| | | |
|------------------|---|-----------|
| Figure 1 | Origine des formes cultivées d'agrumes..... | 6 |
| Figure 2 | Production d'agrumes en Algérie pour la période 2016/2017..... | 8 |
| Figure 3 | Evolution de la production mondiale par variétés d'agrumes..... | 9 |
| Figure 4 | Production d'agrumes dans le monde pour la période 2015/2016..... | 10 |
| Figure 5 | Anatomie de la fleur et du fruit de Citronnier..... | 14 |
| Figure 6 | Schéma de la taille d'entretien des agrumes..... | 18 |
| Figure 7 | Attaque du pou noir (cochenille à bouclier) sur Citronnier..... | 25 |
| Figure 8 | <i>Aleurothrixus floccosus</i> adultes et leurs pontes en cercle. | 26 |
| Figure 9 | Adulte et galeries de <i>Phyllocnistis citrella</i> | 27 |
| Figure 10 | Adulte et dégâts de <i>Ceratitis capitata</i> | 28 |
| Figure 11 | Dégâts de thrips..... | 28 |
| Figure 12 | Attaque de tarsoneme..... | 29 |
| Figure 13 | Attaque de phytopte..... | 29 |
| Figure 14 | Acarien rouge et ces dégâts sur agrumes..... | 30 |
| Figure 15 | Différentes familles des cochenilles répertoriées dans le monde..... | 32 |
| Figure 16 | Distinction entre les cochenilles à bouclier et à carapace..... | 33 |
| Figure 17 | Cycle de vie des Diaspididae..... | 37 |
| Figure 18 | Bouclier et exuvies larvaires d'une diaspine..... | 38 |
| Figure 19 | Aspect morphologique de la femelle des Diaspididae. | 39 |
| Figure 20 | Différents forme de boucliers | 40 |
| Figure 21 | Stylets : Présentation et ultrastructure | 42 |
| Figure 22 | Morphologie générale des femelles adultes des Diaspididae..... | 43 |
| Figure 23 | Evaluation de l'efficacité du Movento contre les cochenilles d'agrumes à Rouiba..... | 46 |
| Figure 24 | Schéma de la morphologie générale d'un parasitoïde hyménoptère de type Aphytis... .. | 49 |
| Figure 25 | Cycle de développement des Aphytis..... | 51 |
| Figure 26 | <i>Aphytis melinus</i> Adulte observée sous microscope optique..... | 53 |
| Figure 27 | <i>Aphytis melinus</i> DeBach. (a) Pronympe et meconium. | 54 |
| Figure 28 | Cycle biologique d' <i>Aphytis melinus</i> sur <i>Aonidiella aurantii</i> | 55 |
| Figure 29 | Oviposition d' <i>Aphytis melinus</i> | 56 |
| Figure 30 | Larve d' <i>Aphytis melinus</i> sur la face dorsale du corps de la femelle d' <i>A. aurantii</i> | 56 |
| Figure 31 | Nympe d' <i>Aphytis melinus</i> sur <i>Aonidiella aurantii</i> | 57 |
| Figure 32 | Stades nymphal de <i>Aphytis lepidosaphes</i> | 59 |
| Figure 33 | Œufs d' <i>Aphytis lepidosaphes</i> déposés sur <i>Lepidosaphes beckii</i> | 59 |
| Figure 34 | Larves d' <i>Aphytis lepidosaphes</i> sur le corps de la femelle de <i>L. beckii</i> | 60 |
| Figure 35 | Nympe et Pronympe d' <i>Aphytis lepidosaphes</i> sous le bouclier de <i>L.beckii</i> | 61 |
| Figure 36 | Adulte d' <i>Aphytis lepidosaphes</i> émergé du bouclier de <i>L. beckii</i> | 61 |
| Figure 37 | Situation géographique des deux régions d'étude dans la plaine de la Mitidja orientale | 63 |
| Figure 38 | Situation géographique du verger d'étude de Heuraoua par rapport à l'ITSFA..... | 64 |
| Figure 39 | Localisation du verger de citronnier de la région de Rouiba..... | 64 |
| Figure 40 | Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gausse durant la période (2007-2017)... | 69 |
| Figure 41 | Aire de projection de la station d'étude dans le climatogramme d'EMBERGER..... | 70 |
| Figure 42 | Méthode de mensuration du bouclier de la femelle de <i>L. beckii</i> parasitée..... | 75 |
| Figure 43 | Fluctuation de la population globale de <i>L. beckii</i> sur citronnier à Heuraoua durant la période d'étude 2016/2018..... | 80 |
| Figure 44 | Fluctuation de la population globale de <i>L. beckii</i> sur citronnier à Rouiba durant la période d'étude 2016/2018. | 81 |
| Figure 45 | Fluctuation des larves du premier stade de <i>L.beckii</i> sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018. | 83 |
| Figure 46 | Fluctuation des larves du deuxième stade de <i>L.beckii</i> sur citronnier dans les deux les Deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018..... | 84 |
| Figure 47 | Fluctuation des stades nymphaux de <i>L.beckii</i> sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018..... | 86 |
| Figure 48 | Fluctuation des femelles de <i>L.beckii</i> sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018. | 88 |

| | | |
|------------------|---|------------|
| Figure 49 | Fluctuation des mâles de <i>L.beckii</i> sur citronnier dans les localités (Heuraoua et Rouïba) durant la période d'étude 2016/2018..... | 89 |
| Figure 50 | Nombre de pupariums vides des mâles de <i>L.beckii</i> sur citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua) durant la période d'étude 2016/2018..... | 90 |
| Figure 51 | Décalage temporel de la population globale de <i>L. beckii</i> sur le citronnier à Rouïba et à Heuraoua durant la période 2016-2018..... | 93 |
| Figure 52 | Distribution cardinale de <i>L. beckii</i> dans les différentes orientations du citronnier des deux localités d'étude (Rouïba et Heuraoua) durant la période 2016/2018..... | 100 |
| Figure 53 | Distribution cardinale des populations de <i>L. beckii</i> sur citronnier à Rouïba et à Heuraoua d'octobre 2016 à décembre 2018..... | 102 |
| Figure 54 | Distribution selon l'organe végétal des populations de <i>L. beckii</i> sur le citronnier à Rouïba et à Heuraoua d'octobre 2016 à décembre 2018..... | 104 |
| Figure 55 | Mortalité globale des différents stades de <i>L. beckii</i> durant la période d'étude 2016/2018 à Rouïba. | 107 |
| Figure 56 | Mortalité globale des différents stades de <i>L. beckii</i> durant la période d'étude 2016/2018 à Heuraoua. | 108 |
| Figure 57 | Mortalité cardinale de la cochenille virgule à Rouïba (2016/2018)..... | 110 |
| Figure 58 | Mortalité cardinale de la cochenille virgule à Heuraoua (2016/2018)..... | 111 |
| Figure 59 | Mortalité spatiale chez <i>L. beckii</i> dans la région de Rouïba durant toute la période d'étude..... | 113 |
| Figure 60 | Mortalité spatiale chez <i>L. beckii</i> dans la région de Heuraoua durant toute la période d'étude..... | 113 |
| Figure 61 | Abondance relative globale des différents stades évolutifs d' <i>A. lepidosaphes</i> sur <i>L. beckii</i> sur le citronnier à Rouïba..... | 117 |
| Figure 62 | Abondance relative globale des différents stades évolutifs d' <i>A.lepidosaphes</i> sur <i>L.beckii</i> sur citronnier à Heuraoua. | 118 |
| Figure 63 | Abondance relative globale des différents stades évolutifs d' <i>A. melinus</i> sur <i>L.beckii</i> sur citronnier à Heuraoua..... | 119 |
| Figure 64 | Evolution saisonnières des espèces d'Aphytis soumis à contrôler <i>L. beckii</i> sur citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua). | 121 |
| Figure 65 | Incidence parasitaire d' <i>A. melinus</i> et d' <i>A. lepidosaphes</i> sur <i>L. beckii</i> sur le citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua)..... | 123 |
| Figure 66 | Fluctuation de la population globale de <i>L. beckii</i> et de ses deux parasitoïdes (<i>A.melinus</i> et <i>A.lepidosaphes</i>) sur citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua)..... | 124 |
| Figure 67 | Fluctuation des températures dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua) pour la période 2016/2017 et 2017/2018. | 124 |
| Figure 68 | Distribution de <i>L. beckii</i> et de ses deux parasitoïdes selon l'organe végétal sur le citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua) durant la période 2016/2017 et 2017/2018..... | 127 |
| Figure 69 | Nombre d'œufs pondus des deux parasitoïdes sur les jeunes et femelles adultes de <i>L.beckii</i> dans les deux localités (Heuraoua et Rouïba). | 128 |
| Figure 70 | Découpage de bouclier et l'identification de quatre dimensions micrométriques..... | 130 |
| Figure 71 | Effet de la nutrition minérale sur la population de <i>L. beckii</i> et son influence sur les Aphytis..... | 138 |
| Figure 72 | Fécondité moyenne mensuelle de la cochenille virgule sur citronnier Heuraoua..... | 167 |
| Figure 73 | Fécondité moyenne mensuelle de la cochenille virgule sur citronnier à Rouïba..... | 167 |
| Figure 74 | Fécondité moyenne chez la cochenille virgule en fonction de l'organe sur citronnier à Rouïba..... | 167 |
| Figure 75 | Fécondité moyenne chez la cochenille virgule en fonction de l'organe sur citronnier à Heuraoua..... | 167 |
| Figure 76 | Fécondité moyenne saisonnière chez la cochenille virgule sur citronnier à Heuraoua .. | 168 |
| Figure 77 | Fécondité moyenne saisonnière chez la cochenille virgule sur citronnier à Rouïba..... | 168 |
| Figure 78 | Profil de la cochenille virgule dans la région méditerranéenne avant et après la dernière décennie..... | 169 |

Liste des tableaux

| | Page |
|-------------------|--|
| Tableau 1 | Classification des cochenilles selon leurs aspects extérieurs..... 32 |
| Tableau 2 | Classification de principales cochenilles inféodées aux agrumes dans les différentes tribu Diaspididae..... 35 |
| Tableau 3 | Inventaire qualitatif des parasites et prédateurs des cochenilles diaspinés sur agrumes..... 47 |
| Tableau 4 | Températures en C° (période : 2007- 2017) 66 |
| Tableau 5 | Précipitations en mm (période : 2007- 2017) 67 |
| Tableau 6 | Taux d'humidité (période : 2007- 2017) 68 |
| Tableau 7 | Variations de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent :période: 2007 – 2017..... 68 |
| Tableau 8 | Ambiance bioclimatique de la région d'étude..... 69 |
| Tableau 9 | Analyse des sols des deux régions d'étude..... 71 |
| Tableau 10 | Analyse granulométrique du sol de la région d'étude. 74 |
| Tableau 11 | Résultats comparatifs globaux des populations de cochenilles vivantes, mortes et parasitées de toutes espèces confondues dans les deux localités..... 76 |
| Tableau 12 | Résultats comparatifs des populations de cochenilles toutes espèces confondues selon les deux localités. 77 |
| Tableau 13 | Importance de différentes espèces de cochenilles dans les deux localités..... 77 |
| Tableau 14 | Etat des différentes espèces de cochenilles diaspinés inventoriés dans les deux localités durant l'année 2017 et 2018. 78 |
| Tableau 15 | Nombre degré jour effectif (DJE) dans la région d'étude pour la période 2016/2018. 96 |
| Tableau 16 | Inventaire qualitatif des parasites hyménoptères de <i>L.beckii</i> sur le citronnier dans la région de Heuraoua et Rouiba. 115 |
| Tableau 17 | Comparaison de la taille des boucliers des femelles de <i>L. beckii</i> parasitées par <i>A.</i> <i>lepidosaphes</i> et <i>A. melinus</i> entre les deux localités (Heuraoua et Rouïba)..... 131 |
| Tableau 18 | Analyse comparative des sols des deux régions d'étude..... 134 |

| | |
|--------------------|--|
| Dédicaces | |
| Remerciements | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Liste des cartes | |
| Liste des annexes | |

Table des matières

| | Pages |
|---|----------|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre 1 : Revue bibliographique « Les agrumes » | |
| 1 – Historique..... | 5 |
| 2 - Origine étymologique et phylogénétique..... | 5 |
| 3 - Aire agrumicole..... | 6 |
| 4 - Culture des agrumes..... | 7 |
| 4.1 - En Algérie..... | 7 |
| 4.2 - Dans le monde..... | 8 |
| 4.3 - Zones géographiques majeures de production d'agrumes..... | 10 |
| 5 - Présentation botanique des agrumes..... | 10 |
| 5.1 - Taxonomie des agrumes..... | 10 |
| 5.2 – Phénologie..... | 11 |
| 5.2.1 - Partie souterraine..... | 11 |
| 5.2.2 - Partie aérienne..... | 11 |
| 6 - Description du citronnier (<i>Citrus limon L.</i>)..... | 12 |
| 7 - Techniques de culture..... | 15 |
| 7.1 - Multiplication des agrumes..... | 15 |
| 7.1.1 – Semis..... | 15 |
| 7.1.2 – Greffage..... | 15 |
| 7.1.3 – Bouturage..... | 16 |
| 7.2 – Plantation..... | 16 |
| 7.3 – Irrigation..... | 16 |
| 7.4 – Taille..... | 17 |
| 7.5 - Cueillette et la conservation des fruits..... | 19 |
| 8 - Pathologie chez les agrumes..... | 19 |
| 8.1 - Pathologie physiologiques :..... | 19 |
| 8.2 - Maladies fongiques..... | 20 |
| 8.2.1 - Gommose | 20 |
| 8.2.2 – Pourridié..... | 20 |
| 8.2.3 – Anthracnose..... | 21 |
| 8.3 - Maladies bactériennes..... | 21 |
| 8.3.1- Stubborne..... | 22 |
| 8.3.2 - Chancre bactérien des agrumes | 22 |
| 8.3.3 – Bactériose..... | 22 |
| 8.3.4 – Greening..... | 23 |
| 8.4 - Maladies virales..... | 23 |
| 8.4.1 – Tristeza..... | 23 |
| 8.4.2- Psoroses..... | 24 |
| 8.4.3- Exocortis..... | 24 |
| 8.5 - Les ravageurs..... | 24 |
| 8.5.1 – Arthropodes..... | 24 |

« Les Diaspididae »

| | |
|--|----|
| 1 – Introduction..... | 31 |
| 2 – Taxonomie..... | 34 |
| 3 – Caractéristiques biologiques..... | 35 |
| 3.1 – Biologie..... | 35 |
| 3.2 - Cycle biologique..... | 36 |
| 3.3 – Nombre de génération..... | 37 |
| 4 – Morphologie..... | 38 |
| 4.1 - Aspect général..... | 38 |
| 4.2 - Caractéristiques macroscopiques | 39 |
| 4.2.1 – Bouclier..... | 39 |
| 4.2.1.1 - Composition du bouclier..... | 40 |
| 4.2.1.2 - Formation du bouclier..... | 41 |
| 4.2.2 - Caractéristiques microscopiques..... | 41 |
| 5 - Dommages causés par les Diaspididae..... | 43 |
| 6 - Moyen de lutte..... | 44 |
| 6.1 - Lutte culturale..... | 44 |
| 6.2 - Lutte chimique..... | 45 |
| 6.3- Lutte biologique..... | 46 |

« Les Aphytis »

| | |
|--|----|
| 1 – Genre <i>Aphytis</i> | 48 |
| 1.1 – Morphologie générale..... | 48 |
| 1.2 – Reproduction..... | 49 |
| 1.3 – Position systématique..... | 50 |
| 1.4 – Biologie..... | 50 |
| 1.5 – Régime alimentaire..... | 52 |
| 2 - <i>Aphytis melinus</i> | 52 |
| 2.1 – Description..... | 52 |
| 2.1.1 - Particularité morphologique de l'adulte..... | 52 |
| 2.1.2 - Particularité morphologique du stade nymphale..... | 53 |
| 2.1.3 – Cycle biologique..... | 54 |
| 2.2 - Biologie d' <i>Aphytis melinus</i> | 55 |
| 2.2.1 – Ponte..... | 55 |
| 2.2.2 - Phases larvaires..... | 56 |
| 2.2.3 – Phase nymphale | 57 |
| 2.2.4 - Emergence de l'adulte..... | 57 |
| 3 - <i>Aphytis lepidosaphes</i> | 57 |
| 3.1 - Description..... | 57 |
| 3.1.1 - Particularités morphologique..... | 57 |
| 3.1.2 – Cycle biologique..... | 58 |
| 3.1.2.1- Ponte..... | 59 |
| 3.1.2.2 – Phase larvaire | 59 |
| 3.1.2.3 – Phase nymphale | 60 |
| 3.1.2.4 – Emergence de l'adulte..... | 61 |

Chapitre II : Cadre d'étude et Méthodologie

| | |
|--|----|
| 1 - Monographie générale de la Région d'étude..... | 62 |
| 1.1 – Cadre géographique..... | 62 |
| 1.1.1-Situation géographique de Heuraoua..... | 62 |
| 1.1.2-Situation géographique de Rouiba | 62 |
| 2 – Cadre expérimental..... | 63 |
| 2.1 - Protocole expérimental..... | 65 |
| 2.1.1 - Cadre pédoclimatique..... | 65 |
| 2.1.1.1 -Cadre climatique..... | 65 |
| ➤ Températures..... | 66 |
| ➤ Pluviométrie..... | 67 |
| ➤ Humidité | 67 |
| ➤ Vent..... | 68 |
| ➤ Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gaussen..... | 68 |
| ➤ Ambiance bioclimatique | 69 |
| 2.1.2 - Cadre pédologique | 70 |
| 2.1.2.1 - Analyse physico-chimique du sol..... | 70 |
| 2.1.2.2 - Evaluation des propriétés physicochimique et granulométriques des sols des deux parcelles d'étude..... | 71 |
| ➤ Statut acido-basique..... | 71 |
| ➤ Conductivité électrique..... | 72 |
| ➤ Statut calcique | 72 |
| ➤ Statut organique | 72 |
| ➤ Capacité d'Echange Cationique du sol (CEC) | 73 |
| ➤ Azote..... | 74 |
| ➤ Statut granulométrique..... | 74 |
| 3.3 - Cadre morphométrique..... | 75 |
| 3.3.1 - Analyse dimensionnelle..... | 75 |
| 3.3.2- Analyse statistique..... | 75 |

Chapitre III : Résultats et discussions

Partie 1 : Ecologie évolutive

Etude du niveau d'abondance des cochenilles diaspines en fonction de la Localité

| | |
|---|----|
| 1 - Caractérisation des communautés des cochenilles diaspines inventoriées..... | 76 |
| 1.1 - Etude de l'état des cochenilles rencontrées..... | 76 |
| Conclusion | 78 |

Evolution temporelle de la population de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités d'étude (Rouiba et Heuraoua)

| | |
|--|----|
| 1 - Ecologie de <i>L. beckii</i> dans les deux localités..... | 80 |
| 1.1 – Cas de Heuraoua..... | 80 |
| 1.2 – Cas de Rouiba..... | 81 |
| Conclusion | 82 |
| 2 - Fluctuation des stades de développement de <i>L. beckii</i> dans les deux localités..... | 83 |
| 2.1 - Fluctuation des larves du premier stade..... | 83 |
| 2.2 - Fluctuation des larves du deuxième stade..... | 85 |
| 2.3 - Fluctuation des stades nymphaux..... | 87 |
| 2.4 - Fluctuation des femelles..... | 88 |
| 2.5 - Fluctuation des mâles | 89 |

| | |
|---------------------------|----|
| 2.6 - Vols des mâles..... | 90 |
| Conclusion | 91 |

Détermination du nombre de génération de *L. beckii* par l'utilisation de la méthode de degré-jours.

| | |
|--|----|
| 1 - Modèle linéaire..... | 94 |
| 2 – Détermination du nombre de génération..... | 95 |
| Conclusion..... | 97 |

Abondance relative de la population de *L. beckii* selon la répartition spatiale et cardinale sur citronnier dans les deux localités (Rouiba et Heuraoua)

| | |
|--|-----|
| 1 - Distribution saisonnière des larves mobiles en fonction des orientations cardinales..... | 98 |
| 2 - Distribution cardinale de la population globale..... | 101 |
| 3 - Distribution spatiale de la population globale..... | 102 |

Etude de la mortalité naturelle de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba)

| | |
|--|-----|
| 1 - Mortalité globale chez les différents stades de <i>L. beckii</i> | 107 |
| 1.1 - Mortalité globale chez les différents stades de <i>L. beckii</i> à Rouiba..... | 107 |
| 1.2 - Etude de la mortalité globale chez les différents stades à Heuraoua..... | 108 |
| 2- Mortalité cardinale..... | 109 |
| 2.1-Cas de Rouiba..... | 109 |
| 2.2- Cas de Heuraoua..... | 111 |
| 3 - Mortalité spatiale..... | 112 |
| 3.1- Cas de Rouiba..... | 112 |
| 3.2- Cas de Heuraoua..... | 113 |
| Conclusion..... | 114 |

Etude des parasitoïdes hyménoptères du genre *Aphytis*

| | |
|--|-----|
| 1 - Etat du parasitisme de <i>L. beckii</i> par les espèces <i>Aphytis</i> | 115 |
| 2 – Dynamique globale des populations des deux <i>Aphytis</i> | 116 |
| 2.1 – Abondance relative globale d' <i>A. lepidosaphes</i> | 116 |
| 2.1.1 – Cas de Rouiba..... | 116 |
| 2.1.2 – Cas de Heuraoua..... | 117 |
| 2.2 – Abondance relative globale d' <i>A. melinus</i> | 118 |
| 2.2.1 - Heuraoua..... | 118 |
| 3 – Activité saisonnière des <i>Aphytis</i> | 120 |

Partie 2 : Ecologie fonctionnelle

Relation écologique entre l'abondance de *Lepidosaphes beckii* et de ses deux parasitoïdes *Aphytis melinus* et *Aphytis lepidosaphes*

| | |
|---|-----|
| 1 – Incidence parasitaire globale d' <i>A. melinus</i> et d' <i>A. lepidosaphes</i> sur <i>L. beckii</i> à Rouiba et à Heuraoua)..... | 122 |
| 2 Écologie comportementale des deux parasitoïdes..... | 123 |
| 2.1 – Nombre de génération et impact climatique..... | 123 |
| 2.2 – Distribution du parasitisme en fonction de l'organe végétal..... | 126 |
| 2.3 – Comportement de ponte chez les deux parasitoïdes..... | 127 |
| 3 – Etude morphométrique du bouclier femelle..... | 129 |
| 3.1 - Mensurations des boucliers des femelles parasitées | 130 |
| | 134 |

Ecologie nutritionnelle du complexe : *L. beckii*- Aphytis

| | |
|--|-----|
| 1- Relation nutritionnelle : <i>Sol- Citronnier- L. beckii – Aphytis</i> | 133 |
| 2 - Propriétés physico-chimique des sols de la région d'étude..... | 134 |
| Conclusion..... | 137 |
| 3 – Impact de la nutrition minérale sur la morphométrie de <i>L.beckii</i> | 138 |
| Conclusion générale..... | 139 |
| Perspectives..... | 144 |
| Références bibliographiques..... | 145 |
| Références webographiques..... | 160 |
| Annexes..... | 161 |
| Publications | |



Introduction générale



Introduction générale

Dans un monde agricole de plus en plus ouvert, l'activité de libre échange par filière est devenue une nécessité vitale, elle constitue l'un des principaux piliers du développement économique d'un pays.

Les agrumes, une des ressources de biodiversité représentée par une importante production à l'échelle nationale et mondiale. Néanmoins, cette culture est confrontée à différentes contraintes biotiques et abiotiques selon les régions de production. En effet l'Algérie, dont la population ne cesse d'augmenter d'une année à une autre, se trouve face à une demande croissante du marché locale en denrées alimentaires (**Mutin, 1980**). Notamment pour les agrumes, cette demande n'est satisfaite en raison de contraintes de production liées aux aléas biotiques et abiotique qui accroît la susceptibilité de cette culture aux insectes nuisibles.

L'Algérie, par sa situation géographique, son climat et la qualité de ses produits agricoles, peut prétendre à occuper une position de choix sur les marchés internationaux par sa production agrumicole (**Boudi, 2005**). Ce même auteur souligne que l'Algérie autrefois exportatrice d'agrumes, est actuellement en difficultés pour satisfaire les besoins de consommation interne en fruits frais. Aussi, l'absence d'une vision stratégique nécessaire à promouvoir sa production agricole.

Il convient de savoir, qu'actuellement l'agrumiculture tient une grande part dans la politique agraire, pour s'ouvrir à l'innovation en ouvrant à travers la recherche scientifique de meilleurs méthodes de lutte afin de produire une récolte indemne de bioagresseurs.

La Mitidja qui englobe la zone littorale et sub-littorale, se caractérise par une vocation arboricole ainsi que d'autres cultures (maraichères, les légumes secs, cultures industrielles et les céréales) mais détient un pourcentage important par rapport à la production nationale.

La protection de cette culture contre les ravageurs nuisibles s'inscrit, comme une priorité pour améliorer les rendements, dans une démarche nouvelle. Cette protection découle d'une évolution des connaissances et des techniques, mais aussi d'une attitude nouvelle de la profession (**Kebdani, 2017**). L'un des gros problèmes à résoudre pour l'agrumiculture



algérienne est celui des rendements, l'agrumiculture est sujette de multiples ravageurs dont les cochenilles qui constituent le groupe d'ennemis redoutables qui affecte presque tous les vergers (**Biche, 2012**).

En effet, les cochenilles sont connues en tant que ravageurs économiquement importants. Ils ont été signalés depuis les années 1800 comme de nouveaux ravageurs dans plusieurs pays, en raison de leur multitude répartition sur feuilles, fruits et rameaux conduisant à un affaiblissement de la plante hôte. Les dégâts indirects consistent en le développement de nombreuses espèces de champignons saprophytes provoquant des fumagines sur la couche de miellat excrétée par les cochenilles. Ces insectes sont de plus en plus observés ces dernières années principalement sur une large gamme variétale d'agrumes. Beaucoup de recherches ont été menées sur la problématique des cochenilles par des chercheurs notamment : **Balachowsky et Mesnil (1935) ; Comstock (1965), Benassy & Balachowsky (1972), Chapot et Delucchi (1974), Abbassi (1975, 1980), Abbassi et Onillon (1973), Rosen (1979) et Hmimina et al. (1994, 1995)**.

Dans le monde et plus particulièrement dans l'hémisphère sud, de nombreuses espèces de cochenilles sont considérées comme nuisibles aux agrumes, telles que : *Aonidiella aurantii*, *Lepidosaphes beckii*, *Parlatoria ziziphi*...etc. En effet, ces diaspines sont une menace pour l'agrumiculture de tous les pays situés autour du bassin méditerranéen tels que l'Espagne, l'Italie, la Turquie, la Tunisie, l'Algérie et le Maroc. Des nombreuses recherches ont été entamées ces dernières décennies par des spécialistes de la rive Nord du bassin méditerranéen citant **Sorribas (2008 ; 2010 et 2012), Cebolla (2018), Pekas (2012, 2011, 2016 et 2018)** et au niveau de la rive sud notamment par **Biche (1987) ; Biche et Sellami, 1999 ; Biche et al., 2012 ; Chafaa et al., 2013a et 2013b ; Belguendouz et al., 2014 ; Menzer et al. (2016), Aroua et al., (2019), Aroua et al., (2019), Zaabta et al., (2020) et Boukhobza et al., (2020)**.

De nombreux chercheurs se sont intéressés également mais souvent de manière fragmentaire aux parasitoïdes des cochenilles dans des mémoires (**Merazi, 2010 ; Chekkal, 2016 ; Tabet, 2017 ; Attafi 2019**) sur les parasitoïdes hyménoptères de différentes espèces de cochenilles diaspines.



Les pays méditerranéens travaillent pour la mise en place d'une zone de libre-échange Euro-méditerranéenne et de prospérité partagée. De ce fait, des relations entre ces pays par des accords d'association qui définissent ces relations bilatérales dans les différents domaines suivants : politique, économique, social et scientifique (Morin, 2005).

Cette thèse est le fruit d'un travail entrepris depuis plusieurs années d'investigation scientifique, à une contribution riche sur les cochenilles diaspines et les parasitoïdes du genre *Aphytis*, considérés pour la présente étude une base d'exploration des concepts bioécologiques, les interactions biotiques et abiotiques. En effet, cette continuité des travaux d'étude a permis de comprendre les caractéristiques vitales (populationnelles et fonctionnelles) des espèces de cochenilles diaspines ainsi que les parasitoïdes du genre *Aphytis*.

Ce présent travail se place dans la perspective pour un bon fonctionnement de l'écosystème agrumicole. Toutefois, les réponses populationnelles et fonctionnelles des communautés d'organismes bénéfiques et nuisibles sont liées directement ou indirectement sous le stimulus des aléas climatiques à : la plante hôte, l'environnement est aux interactions qui s'interfèrent entre eux.

Cette étude indique que le maintien de ces organismes aux seuils recommandés ne se fait pas uniquement par le contrôle phytosanitaire, mais à la base, il faut tenir compte à la santé du sol ou la terre qui est à la fois nourricière et guérissante pour la plante donc le maintien de fertilité du sol est l'élément clé pour le bon fonctionnement de l'écosystème agricole. Ces interactions relationnelles entre les piliers de cet écosystème et la détermination précise de l'origine des attaques de ce ravageur seront abordées progressivement à travers cette étude structurée en trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons fait en premier lieu, une synthèse sur les données bibliographiques des agrumes.

En deuxième lieu ; nous avons envisagé une synthèse bibliographique focalisée sur les Diaspididae. Les parasitoïdes du genre *Aphytis* tiennent la part finale de cette synthèse.



Le deuxième chapitre est consacré pour le cadre d'étude et la méthodologie de travail.

Dans la dernière partie de notre étude, nous avons présenté nos résultats et discussions sur l'écologie évolutive des cochenilles diaspines. Étant donné les potentialités de *Lepidosaphes beckii* dans les deux localités étudiées, nous avons choisi de nous concentrer exclusivement sur cette espèce.

Cette partie de la thèse vise essentiellement à répondre aux interrogations suivantes :

- Existe-t-il une correspondance entre les nombres de générations observées via les pics de fluctuations de *L. beckii* et ceux obtenus par la méthode du degré-jour ?
- Quels sont les paramètres qui permettent de déterminer la variabilité de la répartition spatio-temporelle et cardiale dans les deux vergers étudiés, ainsi que le taux de mortalité ?

L'examen de l'écologie fonctionnelle de *L. beckii* en tenant compte des variables biotiques (parasitoïdes) et abiotiques (environnementales et climatiques) permet de dresser une synthèse finale qui met en évidence l'interface entre le complexe Aphytis-Cochenille virgule-Agrume et l'effet du climat et du sol. En ouvrant des perspectives pour de futures stratégies visant à assurer l'équilibre du système agrumicole. En répondant aux questions clés suivantes :

- Quels sont les mécanismes de différenciation des populations des *Aphytis* en termes de leur impact sur la cochenille virgule ?
- Existe-t-il une corrélation entre la puissance de distribution de *A. melinus* et la morphométrie de *L. beckii* ?
- Comment les éléments nutritifs présents dans le sol peuvent-ils influencer la répartition de la cochenille virgule sur sa plante hôte ?

De ce fait, l'objectif principal de cette étude est d'explorer les possibilités de gestion phytosanitaire des agrumes vis-à-vis des cochenilles, en recourant à des pratiques agroécologiques afin de minimiser l'utilisation de produits phytosanitaires et affronter les changements climatiques. Pour ce faire, il est nécessaire de comprendre l'impact global de cette cochenille sur son réseau trophique, impliquant les parasitoïdes, la plante hôte, ainsi que les interactions complexes qui existent entre eux, prenant en compte les compartiments climatique et édaphique.



Chapitre I :

Revue bibliographique

« *Les agrumes* »



1 - Historique

L'histoire des agrumes est vieille de plusieurs millénaires et a croisé le destin des plus grandes civilisations, à toutes les époques. Il semble presque certain que toutes les espèces sont originaires des régions subtropicales et tropicales de l'Asie, en particulier de Chine et de l'Archipel Malais. Il semblerait que le cédrat était connu en Egypte et en Mésopotamie 4000 ans avant Jésus-Christ. Mais c'est de Chine que parviennent les témoignages écrits les plus anciens remontant à 2200 avant Jésus-Christ (décrit les kumquats et les pomelos). Un autre témoignage plus récent, un texte chinois de 1178 av. J.C. décrit 27 variétés de bigaradiers, d'orangers et de mandariniers. Au cours des siècles, d'autres types d'agrumes furent décrits dans la littérature chinoise. Il a été retrouvé également des témoignages écrits au Japon sur la culture et l'utilisation des agrumes remontant à la période Nara (710-794 après Jésus-Christ). Des témoignages sur les citrons proviennent d'Indochine et de Malaisie, tandis que des descriptions de cédrats et de citrons remontant à 800 ans avant Jésus-Christ sont parvenues d'Inde (Colombo, 2004).

2 - Origine étymologique et phylogénétique

Le terme agrume est d'origine italienne dérivant du latin *agrus* qui, autrefois, désignait les plantes dont les fruits ont une saveur aigre comme l'ail ou les oignons. Mais avec le temps, sa signification évolua et il fut utilisé pour décrire un groupe de plantes de la famille des Rutaceae. Le mot agrume s'applique aussi bien aux arbres qu'à leurs fruits (Pesson et Louveaux, 1984). Le problème posé par la détermination exacte du centre d'origine des agrumes se complique encore du fait que l'hybridation est très fréquente.

Le pool génétique original des agrumes a pris naissance au Sud-Est asiatique il y a plusieurs millénaires. Les études phylogénétiques par Scora (1975) et Barrett et Rhodes (1976) ont suggéré que la diversité des agrumes se structure uniquement autour des trois espèces "vraies" : pamplemoussiers (*C. maxima* L.) Osb. mandariniers (*C. reticulata* B) et cédratiers (*C. medica* L.)

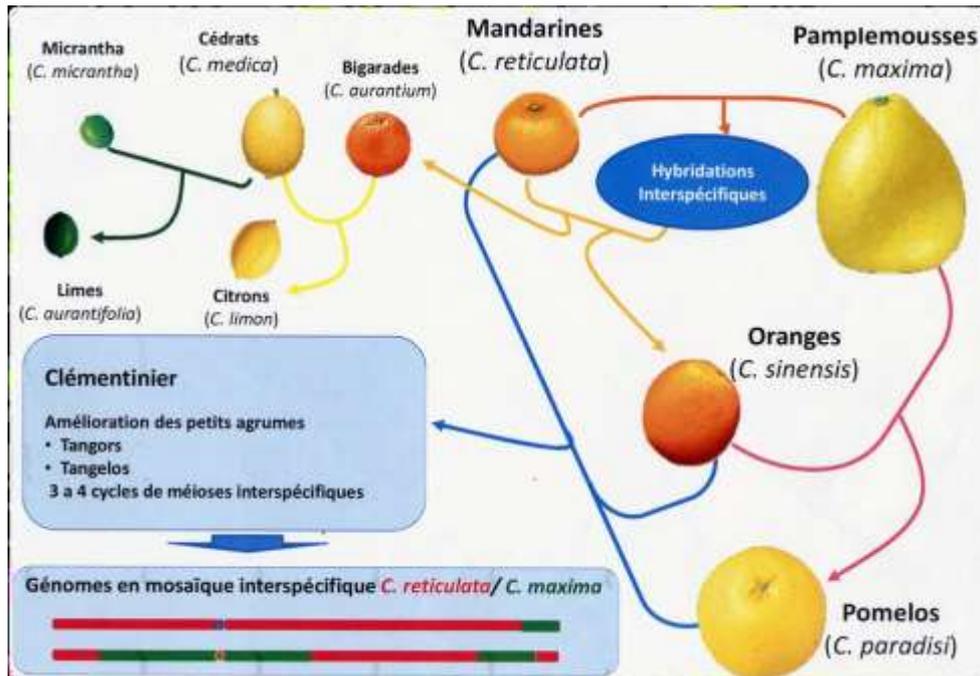


Figure 1. Origine des formes cultivées d'agrumes (Ollitrault *et al.*, 2012).

L'apparition des autres espèces cultivées : orangers, bigaradiers, citronniers, pomelos, limettiers, a eu lieu ensuite par hybridation entre ces taxons de base mis en contact par les échanges commerciaux et les migrations humaines (Herrero *et al.*, 1996b ; Federici *et al.*, 1998; Nicolosi *et al.*, 2000 ; Ollitrault *et al.*, 2012;). Alors que les origines asiatiques des oranges et mandarines ou méditerranéenne de la clémentine sont bien établies (Fig. 1), on sait depuis cette année seulement que le citron jaune est né en Méditerranée d'un mariage entre le cédrat (parent mâle) et la bigarade (parent femelle) (INRA, 2016).

3 - Aire agrumicole

Celle-ci est aujourd'hui très vaste : elle se situe approximativement sur une bande comprise entre 40° de latitude Nord. Mais de nombreuses maladies, pour certaines très graves et transmissibles par des insectes vecteurs, menacent sans cesse le verger mondial. Face à de tels risques, la plantation d'arbres sains est devenue une nécessité absolue à laquelle seule peut répondre la mise en place de programmes de production de plants d'agrumes à partir de matériel végétal certifié.



Depuis plus de 300 ans, le genre *Citrus* a donné lieu à de nombreuses classifications botaniques auxquelles s'ajoute une richesse importante de noms locaux, issus de la tradition orale. Plus récemment, l'apparition d'appellation commerciale a encore augmenté le nombre des dénominations (**Richard, 2004**).

Selon Cassin (1984), l'aire agrumicole est répartie en trois zones climatiques principales :

- Zone intertropicale, elle s'étend de l'Equateur aux latitudes 22°-23° Nord et Sud.
- Zone semi-tropicale, elle s'étend entre les latitudes 22°- 23°et 28°- 29° Nord et Sud.
- Zone subtropicale, située entre 30° et 40°Nord et Sud.

4 - Culture des agrumes

4.1 - En Algerie

Le verger agrumicole algérien date de la période coloniale française, Hardy introduisit le mandarinier en 1850. L'Algérie disposait d'une superficie de 45.000 ha en agrumes à l'indépendance. Après cette période les vergers agrumicoles algériens ont connus une extension et s'étalait en 2011 sur 63.323 ha de superficie, Actuellement, seuls 55.000 ha sont productifs sur 63.323 ha. exploitée au centre du pays (56%), l'Est (30%), et 14% à l'Ouest. La wilaya de Blida abrite presque 40 % de la superficie agrumicole nationale avec 15809 ha duquel la production disinée à l'exportation a connu une reorientation vers la consommation locale (**ITAFV, 2019**).

Actuellement, la culture des agrumes représente pour notre pays un segment stratégique qui présente un palier important dans un programme national agricole adoptée depuis 2009 «Renouveau Agricole » qui vise à accroître la productivité et la superficie des plantations algériennes existantes tout en la maîtrisant la conduite des vergers agrumicoles et surtout les techniques de protection contre les bioagresseurs des agrumes (**MADR, 2009**).



La prédominance des oranges est très marquée dans nos vergers agrumicoles, dont 75,6% de la production totale sont des oranges, suivies du groupe des clémentiniers avec 15,3% de la production totale puis de groupe citronniers avec 5,8% et des mandariniers avec un taux de 3,2%. Ce groupe, auquel on reproche le manque de résistance du fruit aux intempéries et aux conditions de transport, n'est plus beaucoup planté, et en dernière place, le groupe des pomelos avec 0,1% de la superficie totale (Fig. 2)

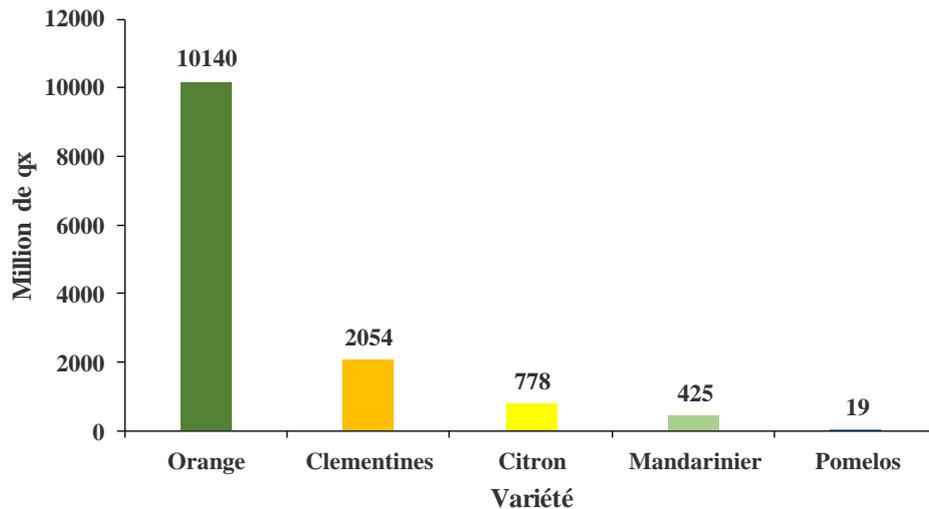


Figure 2. Production d'agrumes en Algérie pour la période 2016/2017 (Statista, 2019).

<https://fr.statista.com/statistiques/990991/production-totale-d-agrumes-par-type-algerie>.

4.2 - Dans le monde

Les agrumes présentent un intérêt économique pour de nombreux pays à travers le monde. La production mondiale des agrumes est environ de 115 millions de tonnes en 2011 (Fig. 3). Les oranges constituent la majeure partie de la production d'agrumes avec 71%. L'amélioration de la production est due principalement à la croissance des terres cultivées consacrées aux agrumes, mais également à un changement de comportement de la part des consommateurs, dont le revenu progresse et dont les préférences s'orientent de plus en plus vers des produits sains et pratiques (FAO, 2013).



La principale destination de la production agrumicole mondiale est l'auto consommation. Ce segment a peu progressé en pourcentage de la production globale, avec une stabilité autour de 60% sur ces quarante dernières années. En revanche, l'autoconsommation s'est forcément accrue en quantité, passant d'environ 25 millions de tonnes au début des années 1970 à plus de 70 millions de tonnes au début des années 2010. Cette progression est principalement à mettre à l'actif des pays émergents, dont le marché local tend à prendre de l'importance. La croissance est particulièrement marquée en Chine depuis le début des années 2000, les volumes consommés localement ayant progressé de plus de 20 millions de tonnes entre 1970 et 2010. De même, la dynamique est aussi très forte dans d'autres pays d'Extrême-Orient comme l'Inde, l'Indonésie ou le Vietnam. Enfin, la consommation interne s'est fortement développée dans certains pays méditerranéens comme la Turquie, l'Egypte ou encore le Maroc (**Jacquemond et al, 2013**).

Selon les données du Département Américain de l'Agriculture **USDA (2019)**, la production mondiale d'agrumes tous produits confondus s'élève à plus 90 Mt pour la campagne 2016/2017. De 1,2% durant la période 2007-2017. En général, la production mondiale des agrumes se décline en quatre catégories ainsi réparties : Tangerines (54 %), Mandarines (31%) ; Citrons (8 %) et Pamplemousses (7 %). Durant la dernière décennie, la production de tangerines a augmenté de 5,2 % passant de 19 MT en 2007/2008 à 29 MT en 2016/2017. Ces petits agrumes sont principalement produits en Chine, en Espagne, au Maroc, en Turquie et dans d'autres pays méditerranéens

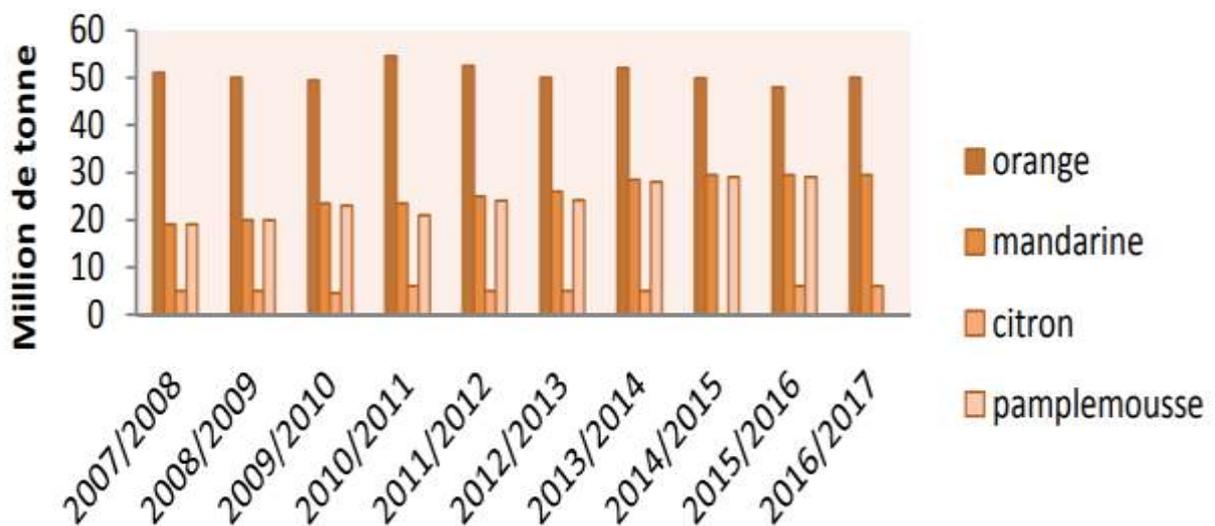


Figure 3. Evolution de la production mondiale par variété d'agrumes par million de tonnes (**ONAGRI, 2018**).



4.3 - Zones géographiques majeures de production d'agrumes

Bien que l'aire moderne de culture des agrumes soit très vaste, le Brésil, le bassin méditerranéen, la Chine et les Etats-Unis contrôlent à eux seuls les deux tiers de la production mondiale d'oranges, de petits agrumes (Fig.4), de citrons et limes et de pamplemousses et pomelos, la part la plus importante de la production se concentre dans les pays de l'hémisphère Nord, où la récolte s'échelonne d'octobre à Mi-juin (**Jacquemond et al., 2013**).

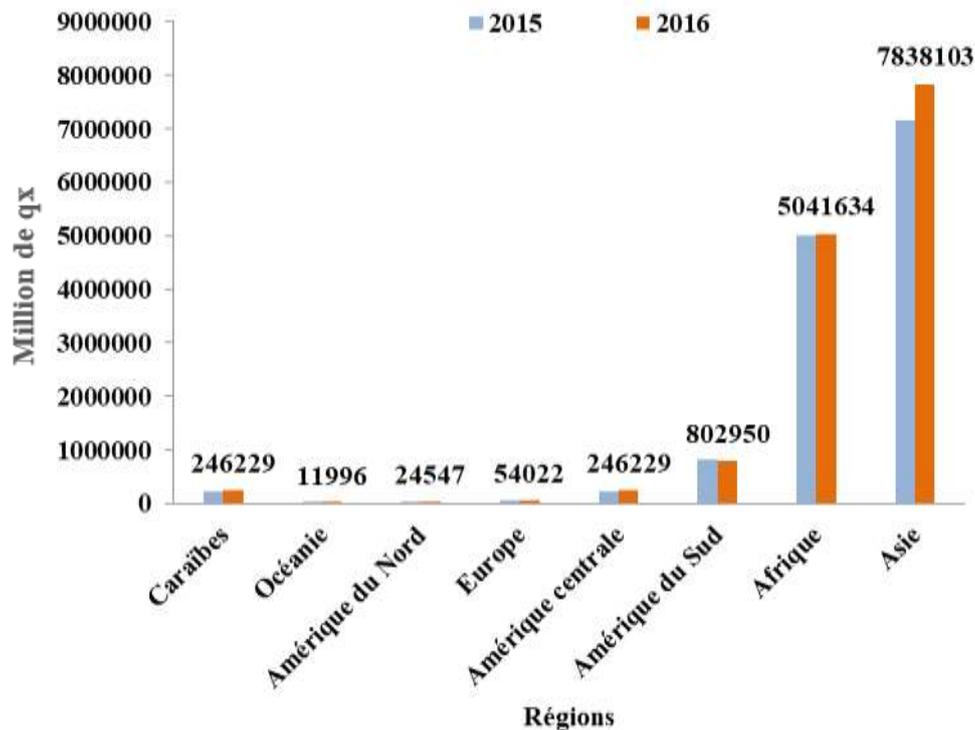


Figure 4. Production d'agrumes dans le monde pour la période 2015/2016 (USDA, 2017).

5 - Présentation botanique des agrumes

5.1 - Taxonomie des agrumes

Les agrumes comportent une grande diversité d'espèces. Cette diversité n'est pas complètement explorée et exploitée. En fait, les agrumes appartiennent principalement à trois genres botaniques sexuellement compatibles : *Fortunella*, *Poncirus* et *Citrus*. Ces trois genres avec huit autres genres appartiennent à la sous-tribu des Citrinae, tribu des Citreae, sous famille des Aurantioideae, famille des Rutaceae et l'ordre des Géraniales (**Swingle, 1967**).



Les espèces appartenant au genre *Fortunella* donnent des fruits dont la peau est comestible. Le *Poncirus* est monospécifique. Il est utilisé surtout comme porte-greffe du fait des tolérances qu'il porte à plusieurs contraintes biotiques (Gommose à *Phytophthora*, *Tristeza*, nématodes) et aux basses températures. Le genre *Citrus* est celui qui regroupe un très grand nombre d'espèces y compris la plupart des espèces cultivées et comestibles. Le nombre d'espèces appartenant à ce genre varie en fonction des classifications des taxonomistes. En effet tandis que **Swingle (1967)** y répertorie seize espèces, **Tanaka (1961)**, y décrit cent cinquante six espèces. La classification de **Tanaka (1961)** reste la plus utilisée, même si tout le monde s'accorde à dire que celle de Swingle se rapproche le plus de la détermination d'une espèce. Cependant **Mabberley (1997)** a proposé une autre classification qui rassemble les six genres inter-fertiles des agrumes : *Poncirus*, *Fortunella*, *Citrus*, *Eromocitrus*, *Clymenia* et *Microcitrus* en un seul genre nommé *Citrus*. Les outils d'analyse biotechnologique ont fourni des réponses aux interrogations sur l'origine des espèces et des formes cultivées, la variabilité et la structure des populations et pourra ainsi apporter des éléments pour réviser la taxonomie des agrumes (**Jacquemond et al., 2013; Luro et al., 2013; Penjor et al., 2013 ; Curk et al, 2015**).

5.2 - Phenologie

5.2.1 - Partie souterraine

- **Racines principales** : Les racines sont très solides et ont également pour fonction de maintenir au sol un arbre généreux dont la frondaison présente, par sa persistance et son abondance, une forte prise au vent.
- **Racines secondaires** : Elles absorbent les éléments minéraux indispensables à l'alimentation de l'arbre en éléments nutritifs.

5.2.2 - Partie aérienne

- **Tronc** : On greffera sur ce dernier, à quelques dizaines de centimètres du sol, la variété choisie. Le tronc conduit, vers la frondaison, la sève riche en éléments minéraux.



- **Branches charpentières** : Elles prennent naissance sur le tronc et restent limitées par la taille au nombre de trois ou quatre et porteront les sous-mères, qui porteront à leur tour les rameaux végétatifs et les rameaux fructifères.
- **Feuilles** : Selon les espèces et les variétés, mais aussi selon l'âge et la taille, les feuilles présentent des formes et des tailles très diverses. Plus larges et plus grandes, celles du citronnier sont aussi plus claires que celles de l'oranger, ovales et d'un vert sombre.
- **Fleurs** : Le calice de la fleur du citron est constitué de 3 ou 5 sépales verts, de 05 pétales plus généralement blanc chez l'oranger, ou pourpres pour ceux du citronnier. Les étamines au nombre de 20 à 30 sont soudées à leur base par groupes de trois ou quatre. Le pistil est formé de plusieurs carpelles. L'ovaire constitue la base du stigmate sur lequel se fixera le pollen libéré au printemps.
- **Fruits**: Ils varient selon les espèces et les variétés et présentent des poids et des tailles variables. Ils sont oblongs ou sphériques. L'épiderme (on dit aussi l'écorce) est jaune ou vert et contient les glandes riches en huile essentielle largement utilisée en aromathérapie. La pulpe est la chair du fruit qui renferme plus ou moins de jus ; se divise par quartier 8 à 11 pour les citrons.

6 - Description du citronnier (*Citrus limon L.*)

Le citronnier est un arbuste originaire du sud-est asiatique, cultivé sur le littoral de la Méditerranée et dans toutes les régions du globe à climat semi-tropical (**Dubois, 2006 ; Couplan, 2008**). Cette plante est l'une des agrumes les plus vigoureuses, de croissance rapide, elle produit de nombreuses branches et fructifie abondamment, et la fructification de l'hiver est plus importante (de 60 à 70% de production annuelle de l'arbre) (**Dubois, 2006**). Les principales variétés méditerranéennes cultivées de citronnier sont «Verna», «Eureka », «Lisbonne», «Monachello », «Interdonato » et «Lunaris » (**Blancke, 2001**).



Swingle (1948) souligne que le genre *Citrus* contient plusieurs caractéristiques :

La taille de l'arbre est petite dont les jeunes rameaux deviennent très rapidement cylindriques, épineux (épine simple à l'aisselle des fruits), mais dont les branches âgées sont fréquemment inermes.

- Les feuilles des folioles généralement minces, non rigides, dont les veines principales sont peu nombreuses et les ramifications secondaires ne ressort pas sur le limbe.

- Le pétiole est en général plus ou moins ailé et articulé avec le limbe (sauf dans le genre *C. medica*).

- Les fleurs ils apparaissent à l'aisselle des feuilles, elles sont solitaires ou en petites grappes corymbiformes, parfaites et parfois subissent un avortement plus ou moins complet du pistil dont le calice est en forme de coupe, à 4 ou 5 sépales, droite et abondamment pourvus de glandes. Les étamines sont en nombre généralement de quatre et parfois jusqu'à 6 à 10 fois plus nombreuses. L'ovaire est sub-globuleux et bien distinct du style mince, ou tronqué, fusiforme ou sub-cylindrique.

- Le fruit très gros, sphérique et amer, à écorce lisse, réunis en grappes. Citronnier (*Citrus limon*) Feuilles grandes, sans ailerons, peu brillantes, tige assez grosse plus ou moins épineuse. Fruit moyen, allongé, jaune clair, écorce lisse et mince. les fruits sont formés de segments contenant les graines placé dans l'angle intérieur, le reste de l'espace est rempli de poils vésiculaire pédonculés, fusiforme, composé de grosses cellules à contenu très aqueux, entourés d'un endocarpe blanc à l'extérieure duquel est une écorce à très nombreux glandes à essence, devenant jaune ou rouge à maturité.

Enfin pour ce qui est des graines ils sont obovales aplatie, plus ou moins anguleuses. Elles contiennent un ou plusieurs embryons blanc dont :

Epiderme : composé de cires épicuticulaires en forme de plaques. La quantité de cires dépend de la variété, des conditions climatiques et de la croissance.



Flavédo : caractérisé par sa couleur jaune, verte ou orange. Il abrite les vésicules qui sont caractérisées par des parois très fines et fragiles qui renferment l'huile essentielle.

Albédo : fait de cellules à structures tubulaires qui forment une véritable toile avec la plupart du volume tissulaire comprimé dans l'espace intercellulaire. L'épaisseur de l'albédo varie selon la variété. Il est très riche en flavonoïdes, responsable de l'amertume du jus.

Pulpe est formée de l'endocarpe, des fruits avec les carpelles dans lesquelles se trouvent les vésicules contenant le jus, qui, d'un point de vue biosynthétique devrait être considéré comme le liquide relâché par le cytoplasme et par les vacuoles des cellules internes des vésicules (10 à 14 sections). fruit est jaune et ovoïde. Ses feuilles sont oblongues lancéolées de couleur verte. Ses fleurs ont des pétales blancs, à teinte violacée, axillaires, réunis en petits groupes. Son fruit est oblong, ovoïde, pointu, de 8 à 12 cm de long. Sa couleur verte vire au jaune à la maturité. Sa pulpe est acide, son écorce (zeste) épaisse contenant une essence à odeur caractéristique. Les graines qu'il contient ont des cotylédons blancs. (Goetz, 2014).

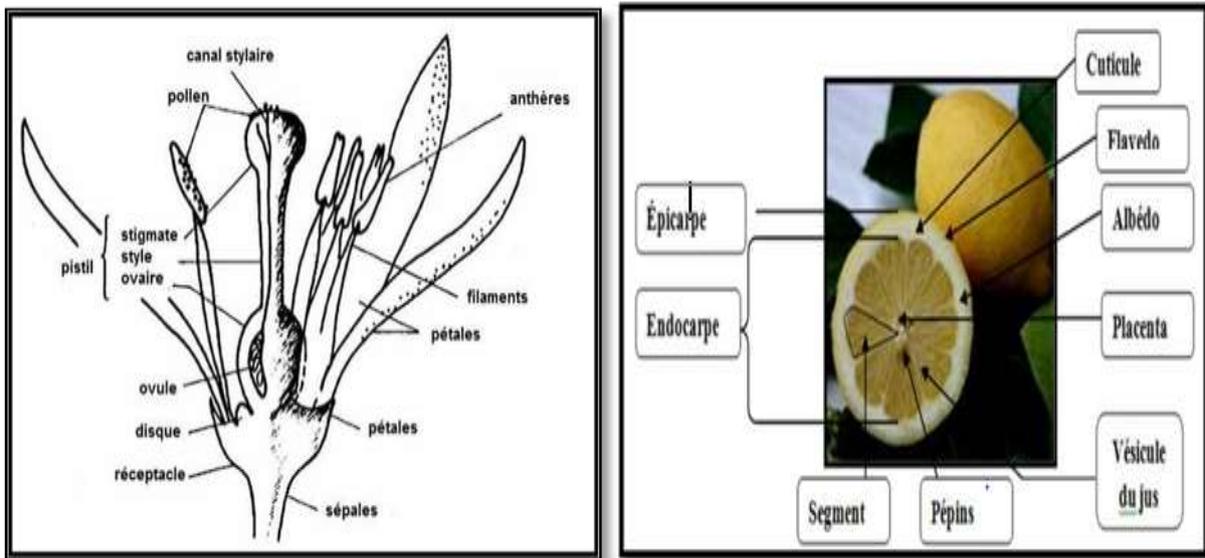


Figure 5. Anatomie de la fleur et du fruit de Citronnier (Swingle et Reece, 1967).



7 - Les techniques de culture

7.1 - Multiplication des agrumes

Les agrumes se multiplient par semis et greffage. Seuls le calamondin et le cédrat peuvent être également multipliés par bouturage (**Richard, 2004**).

7.1.1 – Semis

Ce type de propagation présente l'inconvénient de donner très souvent des plantes différentes de la plante d'origine. Elles ne produisent de fruits que très tardivement et beaucoup plus tard que les plantes obtenues par greffage. Ce type de multiplication est utilisé surtout pour la production de porte-greffe puisqu'il offre l'avantage de permettre un enracinement puissant (**Colombo, 2004 ; Richard, 2004**).

7.1.2 - Greffage

C'est le mode de multiplication le plus utilisé. Il a pour avantage de reproduire en multiples exemplaires une variété dont les qualités ont été retenues. En effet, par greffage, on obtient des plantes identiques aux plantes d'origine, plus uniformes, commençant à produire beaucoup plus rapidement. Le greffage permet, également de surmonter certains problèmes de pathologie et aide les plantes à s'adapter aux différents substrats et conditions climatiques. Les opérations de greffage s'effectuent de préférence par temps doux et humide. L'entretien des jeunes plants greffés consistera à désherber et à biner régulièrement, à procurer sans excès l'engrais azoté et à arroser régulièrement (**Colombo, 2004 ; Richard, 2004**).

Parmi les techniques de greffage, les agrumes préfèrent la greffe en écusson, la greffe anglaise et la greffe en couronne (**Colombo, 2004**).



7.1.3 - Bouturage

Cette technique est utilisée surtout pour les espèces ornementales. L'avantage est sa simplicité et le fait d'obtenir des plantes identiques à l'originale. Mais, cette technique de multiplication, tout comme le marcottage, n'est guère employée (**Colombo, 2004 ; Richard, 2004**).

7.2 - Plantation

La préparation du sol avant la plantation a pour objectif d'approfondir le réservoir sol et d'améliorer sa structure. La première phase suppose le défoncement sur une profondeur de 0,7 à 0,9 m. Ces opérations doivent s'effectuer au moins 6 mois avant l'installation du verger. La seconde phase consiste en une reprise sous forme d'un labour (plus profond sur sous-solage que sur défoncement), ce qui permet d'enfouir la végétation. C'est avant cette seconde phase que sera fait l'apport éventuel de la fumure de fond (**Richard, 2004 ; ITAFV, 2007**).

Le meilleur moment pour mettre en place des jeunes plants d'agrumes est le printemps, de la fin Mars au mois de Mai, selon les régions, lorsque le risque de gel est passé et lorsque les plantes peuvent avoir une reprise végétative rapide. Pendant cette période, les conditions sont réunies pour que les plantes prennent bien et se développent rapidement, ce qui leur permettra d'arriver en période de repos avec une réserve de substances nutritives adéquate (**Colombo, 2004**).

Le choix d'une densité d'arbres à l'hectare est complexe et tient compte de divers facteurs tel que le climat, la qualité du sol, l'association porte-greffe-variété, ainsi que de techniques culturales mises en œuvre ainsi que la taille (**Aubert et Vullin, 1997**).

7.3 - Irrigation

L'irrigation est essentielle pour garantir une bonne production, notamment en cas de sécheresse prolongée. Certaines phases sont particulièrement délicates, notamment celles suivant la nouaison, ou l'on constate souvent que des petits fruits se mettent à tomber (**Colombo, 2004**).



7.4 - Taille

D'après **Colombo (2004) et Richard (2004)**, les principes de la taille des agrumes sont les suivants :

- Le jeune plant ne demande pas à être taillé avant la troisième année, le temps généralement nécessaire pour que le système racinaire s'ancre bien dans la terre. Il faudra simplement éliminer les gourmands.

- Donner à la frondaison une forme de sphère surbaissée (proche du port naturel des agrumes), afin d'éviter un trop grand gaspillage de sève et de faciliter la cueillette.

- Pour assurer une taille de fructification correcte, il est nécessaire de tenir compte que la fructification se fasse sur les branches de l'année précédente et que le développement des rameaux se fait au printemps, au début de l'été et à l'automne. Donc, la taille peut être pratiquée dès la fin de l'hiver (après les dernières gelées) et jusqu'au début du printemps (avant la floraison). La taille ne devrait jamais être effectuée en Février-Mars, au moment où l'accumulation des substances de réserves, nécessaire pour la nouaison, est élevée.

- Un arbre vigoureux et en bonne santé n'aura besoin que d'une taille légère, l'arbre chétif sera taillé plus sévèrement.

- Une bonne floraison, nécessite une quantité de feuilles appropriée. Les branches doivent pouvoir soutenir le poids des fruits sans se briser ou affaiblies après avoir fleuri, ou bien les branches recourbées vers le bas.

- Dans certaines espèces, telles que le mandarinier ou le clémentinier, elles ont une certaine profusion des pousses : il faut donc les éclaircir pour que les petits rameaux soient correctement espacés. Pour ces espèces, la taille doit être effectuée tous les ans, pour éviter l'alternance de production. Pour d'autres espèces, comme les oranges, la taille peut être moins fréquente.

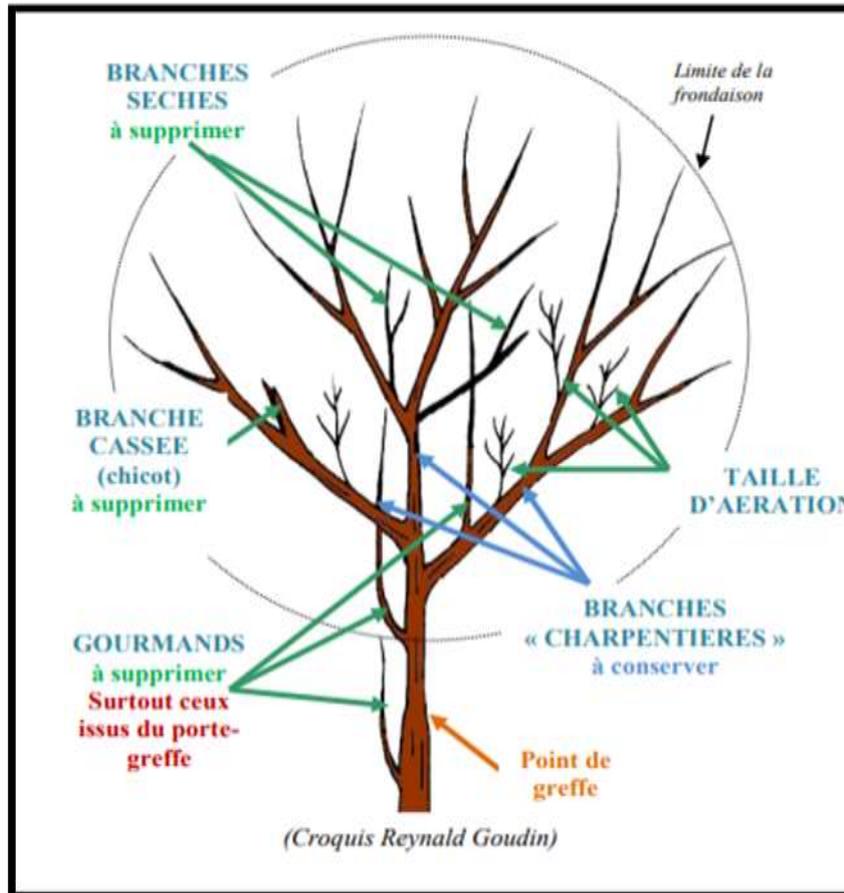


Figure 6. Schéma de la taille d'entretien des agrumes (Froelicher, 2018).



7.5 - Cueillette et la conservation des fruits

La cueillette des agrumes peut s'étaler sur une longue période, en particulier pour le citronnier. Pendant la cueillette, il faut veiller à ne pas abîmer les fruits afin de ne pas ouvrir la voie aux parasites. Pour cueillir le fruit, il faut le tirer tout en tordant, de sorte que le pétiole et les résidus du calice restent attachés à la branche (**Colombo, 2004 ; Richard, 2004**).

Pour leur bonne conservation, il est indispensable de nettoyer les fruits pour éliminer les résidus de terre et de produits phytosanitaires, il faut les traiter avec un produit fongicide afin de les protéger des champignons, en association avec une cire qui les protégera de la dessiccation qui, après brossage, leur donnera un bel aspect brillant (**Richard, 2004**).

8 - Pathologie chez les agrumes

Les agrumes, avec leur diversité, sont assujettis à plusieurs types de maladies physiologiques et parasitaires. A travers les régions agrumicoles mondiales, il a été rapporté plusieurs cas de ces maladies graves dont les dégâts ont pris un aspect désastreux.

8.1 - Pathologie physiologiques :

Les maladies physiologiques des agrumes sont nombreuses et causées par des agents diversifiée, selon **Anonyme (1968)** on distingue:

- Maladies de carence et de nutrition.
- Maladies d'intoxication (suite à excès de sel de calcium, de cuivre ou de bore dans le sol).
- Asphyxie racinaire.
- Brûlure suite à l'insolation ou traitements.
- Des affections d'origine génétiques telle que les craquelures longitudinales de l'écorce.
- Eclatement des fruits et de l'écorce.
- Chute des fruits.



8.2 - Maladies Fongiques

8.2.1 - Gommose : ou pourriture des racines constitue l'ennemi majeur des Citrus, Cette maladie, est causée par l'oomycète *Phytophthora*.spp, et engendre des conséquences très graves qui peuvent même provoquer la mort de l'arbre en cas d'une attaque sévère (**Benfradj et al, 2017**).

Cette maladie se manifeste par trois espèces du pathogène phytophthora qui sont : *P. parasitica*, *P. citophthora* et *P. palmivora*. Ce pathogène se trouve dans toutes les zones agrumicoles, il n'est actif que lorsque les conditions d'humidité et de température lui sont favorables. Il se développe sur tous les organes des agrumes et durant tout leur cycle de développement. Sa présence cause une destruction du bois et du système vasculaire, se manifestant par un chancre et un écoulement de gomme (gommose). Cela perturbe fortement la circulation de la sève élaborée et provoque un dépérissement des branches et un jaunissement du feuillage (au niveau de la partie de l'écorce détruite). Les dégâts de cette maladie, dans un cas extrême, peuvent causer un dépérissement partiel ou total de l'arbre (**Cirad, 2013**).

8.2.2 - Pourridié

➤ Pourriture verte

Causée par *Penicillium digitatum*. Elle est facilement détectable en raison de sa couleur caractéristique verte/ gris. Au début de l'attaque, l'écorce du fruit s'éclaircit et devient molle. Ensuite un duvet blanc se forme, ensuite s'étend de jour en jour ou les spores vertes apparaissent dessus. A la fin, tout le mycélium est recouvert de spores vertes d'où le nom de pourriture verte elle engendre des pertes économiquement importantes dans le monde (**Bancroft et al., 1984 ; Eckert & Eaks, 1989**).

➤ **Pourriture molle des racines** Cette maladie est due à *Armillaria mellea*, qui préfère de s'installer sur les arbres affaiblis. La maladie apparaît généralement dans des foyers localisés et s'étend, de plus en plus, dans les plantations (**Jamoussi, 1955**). Selon Guillaumin & **Legrand (2005)**, ce champignon présente des symptômes après son installation qui sont :



1. Un jaunissement et flétrissement des feuilles.
2. - Dépérissement progressif de l'arbre
3. Une formation des rhizomorphes violacés sur la surface de la racine qui stimulent de petites radicelles ; ils sont constitués par des faisceaux de filaments mycéliens dont la couche externe durcit et forme une carapace de couleur brun clair avec des écailles brunes.

➤ **Pourriture noire du Fruit** : Causée par *Alternaria citri* qui est un pathogène de blessures (grattages d'épiderme, plaie de coupe du pédoncule), traverse surtout les fruits par les ouvertures naturelles (ombilic, cicatrice stylaire, craquelures de base du pédoncule). Peu visible extérieurement, car le champignon s'installe en profondeur et nécrose la pulpe, sauf dans le cas d'une attaque sur lésions accidentelles. Elle provoque une pourriture noire du fruit, décoloration noire des graines et des taches brunes circulaires qui s'agrandissent, fusionnent et provoquent la pourriture des fruits (Isshiki et al., 2001).

8.2.3 - Anthracnose

Cette maladie fongique est provoquée par plusieurs espèces du genre *Colletotrichum*. Ce champignon est capable de causer des dégâts considérables sur de nombreuses cultures notamment les agrumes. Les symptômes communs sont des taches plus ou moins circulaires, de couleur brun-clair avec des bords pourpres sur feuilles et fruits d'agrumes (INPV, 2021).

8.3 - Maladies bactériennes

Parmi les maladies bactériennes les plus importantes qui affectent les agrumes, sont les maladies transmissibles par certains ravageurs tels que les psylles qu'on doit contrôler pour éviter la propagation de nombreuses maladies bactériennes intra-phloémiques tel que le greening.

8.3.1- Stubborne : (*Spiroplasma citri*) C'est la maladie la plus répandue et la plus grave, surtout lorsqu'elle est associée à une autre virose principalement la psorose. Elle est transmise soit en pépinière par greffage ou bien dans le verger à partir d'arbre malade à des arbres sains par les cicadelles.



Selon **Fajinmi et al. (2011)**, ce mycoplasme présente les symptômes et dégâts suivantes :

- Aspect de feuilles de saule.
- Rameaux courts et coudés.
- Le limbe a tendance à s'enrouler de chaque côté de la nervure médiane.
- Les feuilles deviennent chlorotiques et tombent.
- Les fruits affectés sont généralement glandiformes avec variation dans l'épaisseur de la peau.
- En cas d'attaque grave, la pulpe est atteinte et devient aigre-amère avec une odeur désagréable.

8.3.2 - Chancre bactérien des agrumes

C'est une maladie bactérienne provoquée par la bactérie *Xanthomonas compestris*. pv. citri. Cette maladie infecte toutes les parties aériennes de la plante. Elle provoque des symptômes qui se traduisent par :

- Des petites taches translucides et lésions des feuilles, tiges, et fruit des arbres.
 - Développement de pustules brun et liégeuses sur la tige des plantules.
 - Eruptions verticalement et horizontalement, formant plaquettes rectangulaires
- (Gottwald et al., 2002).**

8.3.3 – Bactériose

Elle est causée par *Pseudomonas syringae* qui peut provoquer de sévère dommage en année humide et froide (**Loussert, 1989**). Elle se manifeste par présence de taches brun rouge sur les rameaux accompagnée d'un exsudat bactérien, ces taches peuvent apparaître également après la cueillette ce qui fait perdre beaucoup de la valeur et la qualité du fruit (**Colombo, 2004**).



8.3.4 - Greening

Elle est l'une des maladies des agrumes la plus dévastatrice dans le monde. Il est également connu comme Huanglongbing (**HLB**) ou la maladie du « dragon jaune », infectant la majorité des espèces du genre *Citrus*. La maladie est causée par une bactérie à Gram négatif du genre *Candidatus liberibacter* (**Garnier et al., 1976**). Cette bactérie affecte plus particulièrement le phloème des parties tendres de l'arbre (Feuilles, jeunes pousses, fruits) (**Mariau, 1996**). Les chloroses occasionnées par cette maladie sont sectorielles et irréversibles (**Mariau, 1999**). La maladie est transmise potentiellement par deux espèces de la famille des Psyllidae : *Trioza erytreae* et *Diaphorina citri* (**Bové, 2006**).

8.4 - Maladies virales

8.4.1 – Tristeza

Elle est considérée comme étant la maladie virale la plus dangereuse des viroses des agrumes. Maladie, transmissible par le greffage et par les insectes vecteurs citant le puceron, c'est une maladie qui a provoqué la mort de plusieurs millions d'arbres dans les pays où elle s'est propagée (**Loussert, 1989**). Caractérisée par des nécroses des vaisseaux du liber, tant dans la partie souterraine que dans la partie aérienne (**Jamoussi, 1955**). En effet, le virus commence ses attaques sur le chevelu radicaire (**Klotz et Fawcett, 1952**), puis la nécrose gagne de proche en proche la partie aérienne et à la fin, l'arbre dépérit et meurt (**Fajinmi et al., 2011**).

8.4.2- Psoroses

L'agent causal est le *Citricolpoxvirus psorosis* où rassemble sous le nom de la psorose, un groupe des maladies à virus désignés sous le nom de *Citricolpoxvirus psorosis* dont il existe trois variétés (Psorose écaillée, Psorose olvéolaire et Psorose en poche), chacune étant responsable d'une forme de Psorose. Elle est répandue dans tous les pays du bassin méditerranéen se transmet surtout par greffage (**Jamoussi, 1955**). Cette maladie présente des symptômes caractéristiques qui se traduisent par une décoloration du limbe, des feuilles et des nervures centrales par une couleur vert clair ou des taches jaunâtres qui sont visibles au verger et apparaît au printemps sur les jeunes feuilles (**Loussert, 1989**).



8.4.3- Exocortis

Appelée aussi la maladie à viroïde (*Citrus exocortis*) transmise par greffage et par les outils de taille, elle se manifeste uniquement sur les arbres greffés au niveau du porte-greffe sensible (Loussert, 1989). Cependant, ses symptômes se traduisent par un écaillage plus ou moins prononcé de l'écorce du porte-greffe, une mauvaise circulation de la sève entraînant des baisses considérables de rendement (Loussert, 1989).

8.5 - Les ravageurs

En Algérie, les principaux ravageurs des agrumes sont les cochenilles, la mouche des fruits, les aleurodes et les pucerons. Certains se nourrissent au dépend de la plante entraînent des déformations des feuilles et des fruits d'autre secrètent des substances toxiques pour la plante ou peuvent attirer des fourmis et provoquer la formation de la fumagine ; ce sont également vecteur de maladies à virus comme la Trizteza transmis par les pucerons. Le Greening véhiculé par les psylles.

La diffusion des agrumes à travers le monde est importante, de l'est à l'ouest , du nord au sud sous des climats extrêmement nombreuses se qui a multiplier le nombre d'espèces animales qui se développent et se nourrissent des agrumes (Praloran, 1971).

Les ravageurs des agrumes, majoritairement des insectes (352 espèces), on trouve 12 espèces acariens, 11 espèces de mammifères et 05 espèces de gastropodes dans certains cas pour se nourrir, dans d'autres cas pour accomplir une partie de leur cycle biologique (Ouegraogo, 2002).

8.5.1 - Arthropodes

- **Homoptères**

Parmi les homoptères, on distingue les cochenilles, les aleurodes et les pucerons.

Les cochenilles : Sont des piqueurs-suceurs de sève, elles produisent du miellat et sont des vecteurs potentiels de virus. Les cycles de reproduction des cochenilles sont compliqués



et s'appuient à la fois sur la reproduction asexuée et sexuée. Dont la famille des Coccidae est la plus abondante citant : *Aonidiella aurantii* qui est sans doute l'ennemie le plus important des agrumes dans le monde, non seulement parce que les dommages sont élevés mais aussi parce qu'elle est très difficile à combattre



Figure 7. Attaque du Pou noir (cochenille à bouclier) sur Citronnier (www.Profert.dz).

Les pucerons : Les pucerons ont toujours été considérés comme l'un des groupes les plus nocifs aux plantes. Ils sont pris comme une source perpétuelle de frustration pour les agriculteurs et les jardiniers (Powell *et al.*, 2006 ; Bouhadiba, 2014). Ce sont des ravageurs communs des cultures et des plantes ornementales (Perera *et al.*, 2005). Ils sont considérés comme des vecteurs de nombreux virus de plantes tels que la Mosaïque; la jaunisse de la Sharka et le virus de Tristeza qui a détruit à lui seul environ 50 millions d'arbres pendant une durée de 40 à 50 ans (Tahiri, 2007 in Bouhadiba, 2014). Pourtant, ils sont souvent contrôlés par un grand nombre d'espèces d'ennemis naturels, notamment les parasitoïdes ; nous comptons actuellement, environ 350 genres avec 3500 espèces décrites (Imenes *et al.*, 2002).

Le puceron noir des agrumes *Toxoptera citricida* , présent de manière quasi-systématique sur les agrumes, quelque soit la variété considérée. Leurs colonies peuvent atteindre des densités très élevées. Les adultes sont noirs, tandis que les individus juvéniles sont bruns (Gourmel, 2014).

Les aleurodes : Sont des petits insectes piqueurs suceurs appartenant à l'ordre des Hémiptère, sont des vecteurs potentiels de virus. Les individus adultes mâles et femelles sont ailés, ils se reproduisent quasi-exclusivement de manière sexuée. Les formes juvéniles sont plus ou moins fixées à la plante hôte et produisent des cires filamenteuses ou cotonneuses. En



dehors de la présence des adultes, les colonies d'aleurodes peuvent facilement être confondues avec des cochenilles. L'aleurode floconneux des agrumes ou *Aleurothrixus floccosus* caractérisés par des œufs pondus en cercle.

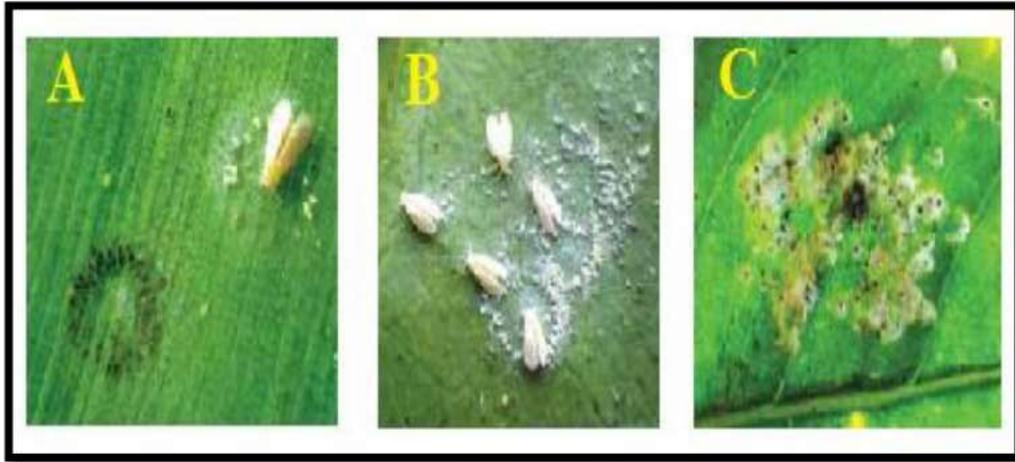


Figure 8. A et B : *Aleurothrixus floccosus* adultes et leurs pontes en cercle, C : Aspect floconneux d'une colonie d'*Aleurothrixus floccosus* (Gourmel, 2014)..

Aleurodes des agrumes : Ces homoptères originaires d'Asie sont très polyphage. Elles s'attaquent principalement aux agrumes. L'adulte mesure 1,4 mm il est de couleur jaune recouvert de cire blanche. Les larves sont jaune-vert et plates. Trois vols ont lieu au cours de l'année, le premier en avril-mai, le second au mois d'août et le troisième au début de l'automne. Ces aleurodes produisent une quantité importante de miellat entraînant ainsi l'apparition de fumagine sur les feuilles (Guillaume, 2017).

- **Lépidoptères**

La mineuse des agrumes : ou *Phyllocnistis citrella*, est un ravageur sténophage n'évoluant que sur les jeunes pousses et lorsque les conditions thermiques sont favorables (Boulahia kheder et al, 2002). Considérée comme l'une des principales contraintes de la production des agrumes. Ce lépidoptère originaire du sud-est Asiatique, a été observé pour la première fois en Algérie, dans les régions ouest notamment à Misserghin et à Mohammadia. Depuis ces premières observations, le déprédateur s'est rapidement propagé à l'ensemble des zones agrumicoles du pays (Biche, 2012). Ce même auteur signale que la mineuse attaque presque exclusivement les jeunes pousses et que la durée de son cycle biologique est sous la dépendance des facteurs climatiques.

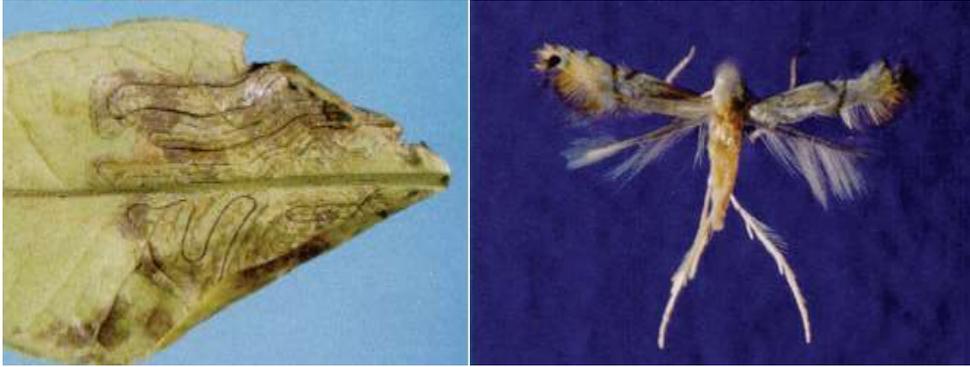


Figure 9. Adulte et galeries de *Phyllocnistis citrella* (Happner, 2019).

La Teigne des agrumes : ou *Prays citri* est un micro lépidoptère du groupe des "Teignes", l'adulte est de 10 à 12 mm d'envergure, de couleur gris terne, les antennes sont relativement courtes avec des ailes fortement frangées. L'œuf est de forme ovale. La femelle pond 1 à 3 œufs sur un bouton floral puis change de bouton, fécondité totale observée est de 60 à 150 œufs, 10 à 12 générations sont rencontrées par année, la larve est décolorée et de très petite taille à l'éclosion de l'œuf (Quilici, 2003). Les chenilles s'attaquent aux jeunes pousses et aux fleurs des agrumes pouvant compromettre sérieusement la production (Bertin et Flhor, 2002).

- **Diptère**

Ceratite : *Ceratitis capitata* (Wied, 1824) est communément connue sous le nom de Cératite, mouche des fruits ou mouche méditerranéenne des fruits.

Les adultes récemment émergés se nourrissent de substances sucrées présentes sur les arbres fruitiers des sécrétions glandulaires des plantes, du nectar, des exsudations de sève, du miellat des Hémiptères (Djazouli *et al.*, 2004).



Figure 10. Adulte et dégâts de *Ceratitidis capitata* (www.filaha.com).

Thrips

Plusieurs espèces de thrips peuvent vivre sur agrumes mais peu d'entre elles causent des dégâts. Les espèces signalées comme ravageurs importants des agrumes dans la région méditerranéenne, seules trois espèces de thrips sont considérées comme nuisibles aux agrumes, pouvant réduire significativement la qualité du fruit. Il s'agit de *P. kellyanus*, *H. haemorrhoidalis* et *S. inermis* (Longo, 1986; Lacasa et al., 1996; Marullo, 1998; Vassiliou, 2007, Varikou et al., 2009). D'autres espèces associées aux agrumes ont également été mentionnées, telles que *F. occidentalis* (Pergande), *T. major* (Uzel) et *T. tabaci* (Lindeman). Bien que ces espèces peuvent être très abondantes pendant la floraison, sur les fleurs ou sur les jeunes fruits, aucune d'elle n'a eu d'importance économique sur les agrumes (Lacasa et al., 1996).



Figure 11. Dégâts de thrips (Vincenot & Quilici, 1993)



Les acariens : On rencontre essentiellement :

Les Tarsonèmes (*Polyphagotarsonemus latus* Bank.) : Ces minuscules acariens jaune-vert, non à voir à l'œil nu, mesurent environ 0,2 mm. Ils pullulent spécifiquement sur jeunes feuilles et jeunes fruits. En provoquant souvent la déformation des feuilles et des plages argentées se développent aussi sur fruits. Les variétés les plus sensibles sont les citrons, les limes et les pamplemousses.



Figure 12. Attaque de tarsoneme (Vincenot & Quilici, 1993)

Le Phytote (*Phyllocoptruta oleivora* Ashmead) : Ces minuscules acariens sont caractérisés par une forme conique et 2 paires de pattes. De coloration jaunâtre ils forment une mince pellicule farineuse à la surface du fruit. Les dégâts sont effectués très tôt dès la nouaison des fruits et se caractérisent ensuite par un brunissement du fruit pour les oranges et les mandarines et un aspect plus argenté pour les limes et pamplemousses.



Figure 13. Attaque de phytote (Quilici, 2003).



Les Tétranyques (araignées rouges : *Tetranychus.spp*) : Ces acariens dont la taille peut atteindre 0,8 mm sont pour les adultes de couleur rouge et les larves plutôt jaunâtre. Les dégâts se manifestent par des tâches sur feuilles et sur fruits, leurs donnant un aspect terne et bronzé avec parfois des tâches argentées. Les produits acaricides utilisés contre le phytopte sont également efficaces contre ces tétraniques. Ces acariens apparaissent généralement quelques temps après un traitement insecticide.



Figure 14. Acarien rouge et dégâts sur agrumes (Quilici, 2003)

Les nématodes

Les agrumes sont attaqués par plusieurs nématodes dont un complexe de 189 espèces de nématodes est associé à cette culture (Praloran, 1971). *Tylenchus semipenetrans* est l'espèce la plus nocive et la plus étudiée, Elle est responsable du dépérissement des *Citrus*, connu sous le nom de « Slow décline ». Les nématodes s'installent uniquement sur les radicelles qui présentent des nécroses étendues, qui prennent un aspect tourmenté et sont plus épaisses et plus courtes que les racines saines (Chapot et Delucchi, 1964).

« *Les Diaspididae* »



1 - Introduction

Les dégâts causés par les déprédateurs particulièrement les insectes sont impressionnants et les pertes occasionnées sur agrumes ne cessent d'augmenter chaque année. D'après **Van Lenteren (1981)**, l'organisation d'un programme de lutte contre un ravageur débute par la définition de son statut, la détermination de sa systématique, et la connaissance de sa biologie et sa répartition mondiale.

Les agrumes sont la cible d'une large communauté de ravageurs qui peuvent altérer la plante hôte à différents stades phénologiques (**Quilici et al., 2003**). Parmi les ravageurs les plus redoutables on pourra citer les Homoptères. C'est au sein de cet ordre que l'on rencontre les cochenilles qui constituent certainement un souci majeur essentiellement en arboriculture.

Les cochenilles, nommées Poux des plantes, en raison de ses pièces buccales permettant d'aspirer la sève, Les ces insectes vivent toujours exposés, c'est-à-dire ne produisant jamais de galles ni d'excroissances anormales sur les plantes hôtes.

Depuis quelques années, la problématique des cochenilles en agrumiculture prend de l'ampleur un peu partout dans le monde. La nuisibilité des cochenilles, ces caractères invasifs et leurs potentiels d'acclimatation, permettent l'introduction d'espèces de cochenilles indigènes dans le monde entier. De ce fait, le nombre des espèces de cochenilles s'est dédoublé, passant de 5000 espèces à la fin des années 80 pour atteindre environ 8000 espèces appartenant à plusieurs familles en 2014 (Fig.15).

Actuellement, 8194 espèces de cochenilles ont été décrites par la plupart des «coccidologues » qui les ont classées dans une cinquantaine de familles (**Garcia et al, 2016**).

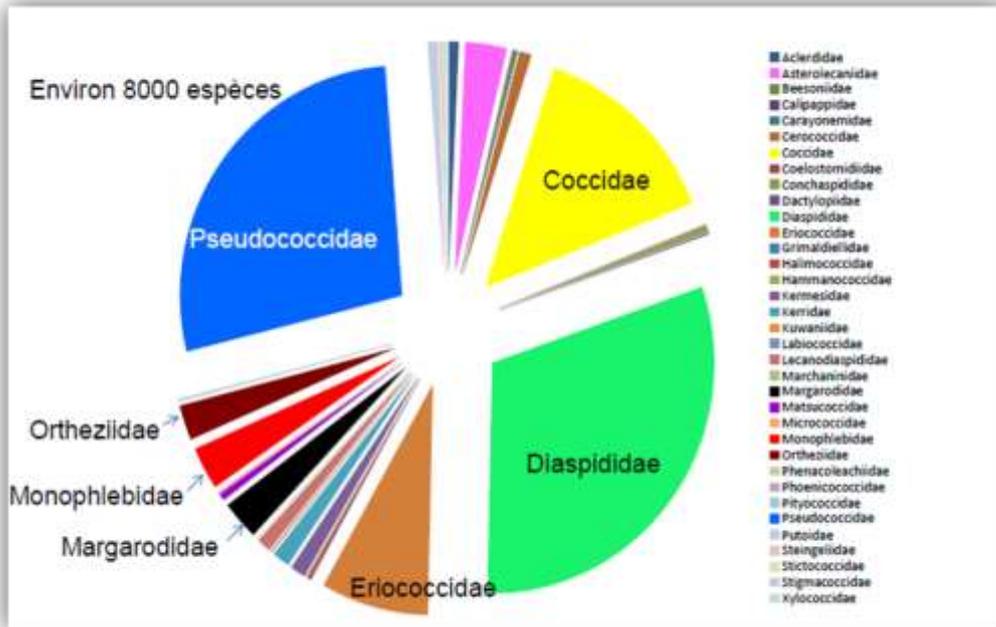


Figure 15. Différentes familles des cochenilles répertoriées dans le monde (Germain, 2014).

Les cochenilles sont toutes considérées comme des espèces phytophages, elles peuvent coloniser toutes les parties de la plantes : racines, tronc, rameaux, feuilles, fruits et même les zones sous de ces végétaux (Loussert, 1989). Les cochenilles les plus vulnérables aux *Citrus* se subdivisent en 3 familles en fonction de leurs caractéristiques (Tab. 1) :

Tableau 1. Classification des cochenilles selon leurs aspects extérieurs (Bernhard *et al*, 2014).

| Cochenilles | Caractéristiques |
|---|--|
| Les cochenilles à carapace ou lécanine ou pulvinaires (famille des Coccidae). | - Absence de bouclier cireux protecteur. - Femelles adultes à téguments durs, rigides, coriaces, imprégnés de cire ou de laque. - Anneau anal débouchant entre deux plaques triangulaires, Larves semi-mobiles. Femelles adultes seules fixes, |
| Les cochenilles farineuses (famille des Pseudococcidae) | Femelles adultes à téguments mous, sécrétant de cire blanches, d'aspect floconneux. Larves mobiles à tous les stades. Pattes et antennes bien développées, Insectes de forme ovale, de taille moyenne (3-6mm), Pattes et antennes de la couleur des téguments ou légèrement plus sombres, jamais noires. |
| Les cochenilles à bouclier (famille des Diaspididae). | Femelles adultes recouvertes d'un bouclier cireux protecteur de consistance solide, Bouclier formé de trois enveloppes superposées de forme variable. Insectes de très petite taille, 1 à Millimètres ; segment anal triangulaire différencié (pygidium). larves néonates seules mobiles. |

La distinction entre les **Diaspididae** et les **Coccidae** est basé sur la disposition du bouclier (attaché au corps ou non) représenté dans le la figure suivante (Fig. 8).

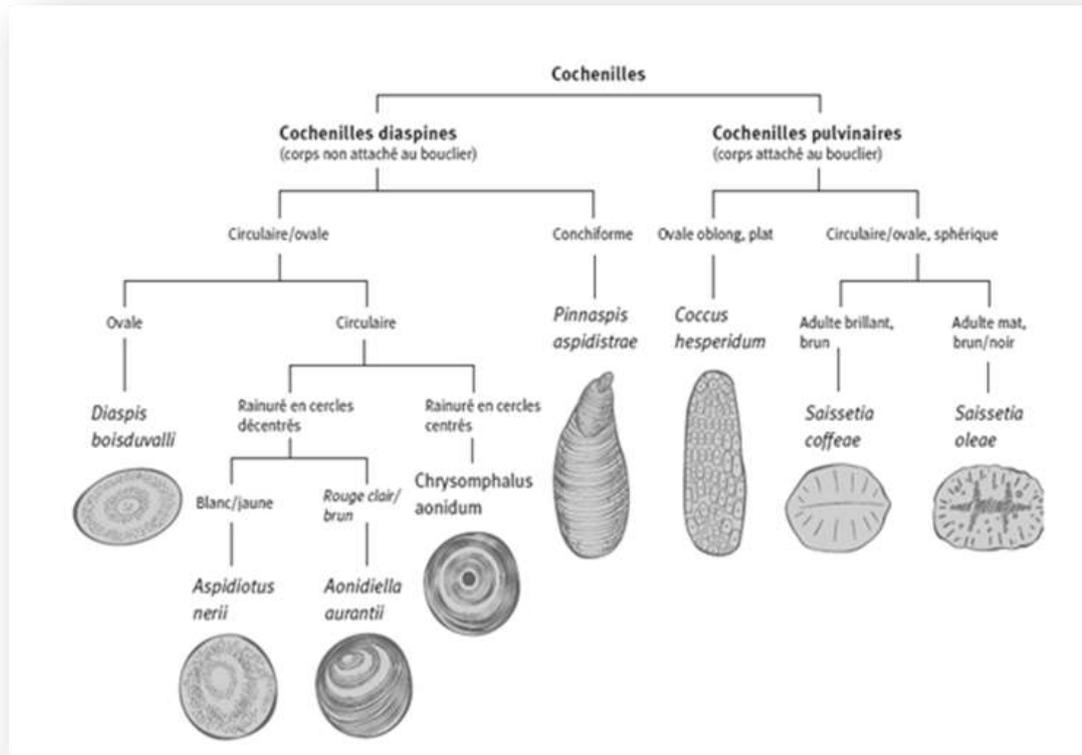


Figure 16. Distinction entre les cochenilles à bouclier et à carapace (Bernhard *et al*, 2014).

Compte tenu du nombre de genres (405) et d'espèces (2479), la famille des Diaspididae est la plus évoluée (www.scalenet, 2013). A cause de l'aisance avec laquelle elles peuvent être transportées, la plupart des espèces de cette famille sont devenues cosmopolites (Martel, 1970) et constituent actuellement un ravageur de premier ordre dans la plus part des pays du monde. En Algérie sur toute la bande Nord, les infestations sur les productions végétales fruitières à noyau et à pépin y compris les plantes ornementales sont causées principalement par les cochenilles diaspines (Belguendouz, 2014).

Cependant dans les vergers agrumicoles de cette étude, une panoplie de diaspines ont retenues notre attention et qui provoquent d'énorme dégâts.



Cette famille présente plusieurs exceptions corporelles par rapport aux autres cochenilles, aux hémiptères ou même aux autres insectes. Tels que la série de régressions morphologiques : perte des antennes, des yeux et des pattes. L'un des caractères morphologiques essentiels des Diaspines concerne les derniers segments abdominaux de 4 ou 5 jusqu'à 8 qui fusionnent en formant un pygidium rigide, important au plan de la systématique par la disposition et la diversité des glandes tégumentaires et par ses microstructures (palettes, peignes, soies) (Foldi *et al*, 1983). Et des exceptions comportementales tel que la perte de mobilité chez le stade adulte et par la construction d'un bouclier protecteur (Brown et McKenzie, 1962 ; Beardsley et Gonzalez, 1975 ; Miller et Kosztarab, 1979 ; Foldi, 1982).

2 – Taxonomie

Selon Paulian (1950), la systématique des Cochenilles fait appel à des caractères microscopiques d'ornementation du corps, Comstock (1940) et Balachowsky (1935) partagent les cochenilles en 7 familles dont il contribué en 1954 a une classification des cochenilles repose sur les caractères morphologiques des mâles et femelles. Plus tard, Imms (1957) et Bomor et Delong (1964) subdivisent les cochenilles en 15. Récemment, une nouvelle classification a été établie (<http://scalenet.info/catalogue/>), où l'on retrouve une subdivision en 17 familles.

| | |
|------------------------|-----------------------|
| Embranchement : | Arthropoda |
| Classe : | Insecta |
| Division : | Exopterygota |
| Super ordre : | Hemipteroïdea |
| Ordre : | Homoptera |
| Sous ordre : | Sternorrhyncha |
| Super famille : | Coccidoïdae |
| Famille : | Diaspididae |

Actuellement, la famille Diaspididae se subdivise en huit (08) sous familles : Aspidiotinae, Diaspidinae, Entimococcinae, Eriococcinae, Leucaspinae Lepidosaphinae, Margarodinae et les Steingeliinae (<https://www.catalogueoflife.org/data/taxon/4X4LZ>). Ce sont les Aspidiotini, Parlatorini et Diaspidini, qui englobent la majorité des espèces rencontrés sur les agrumes de la zone de la Mitidja.



Tableau 2. Classification de principales cochenilles inféodées aux agrumes dans les principales tribus des Diaspididae

| Tribu | Caractéristiques | Espèces rencontrées |
|--------------------|---|---|
| Aspidiotini | Bouclier sensiblement circulaire exuvie larvaire centrale, cône très surbaissé dite en « chapeau chinois ». | <i>Aonidiella aurantii</i> <i>Chrysomphalus dictyospermi</i> |
| Parlatorini | Bouclier quadrangulaire, très surbaissé à exuvie larvaire très excentrique déportée en avant parfois presque en dehors du follicule principal. | <i>Parlatoria pergandei</i> |
| Diaspidini | Bouclier allongé, forme très particulière, donnée par l'accroissement du seul secteur postérieur s'allongeant en s'évasant, telle la croissance d'une coquille de moule | <i>Lepidosaphes beckii</i> <i>Lepidosaphes gloverii</i> |

3 – Caractéristiques biologiques

3.1 - Biologie

Le développement des Diaspididae se fait par temps chaud et humide. La reproduction des femelles de ce groupe d'insecte à lieu soit par voie agame (**Piguet, 1963**) soit par voie normale (sexuée) et parfois adopte les deux modes de reproduction en même temps. Les femelles sont recouvertes d'un bouclier cireux protecteur servant aussi à abriter la ponte (**Foldi, 1983**). Elles seront aptes à s'accoupler 14 jours après la dernière mue et une seule fois pendant leur existence et les mâles meurent juste après. A ce moment les ovocytes sont prêts à être fécondés, les diaspines sont ovipares, vivipares ou ovovivipares (**Balachowsky et Mesnil, 1935**).

L'élasticité numérique des œufs est en étroite corrélation avec les conditions climatiques et la plante hôte et la cochenille elle-même. Les femelles diaspines expulsent progressivement chaque jour sur une période plus en moins longue, en moyenne un nombre approximatif de 20 à 50 œufs et parfois dépassent largement ces chiffres, prenant comme exemple le Pou de Californie (*A. aurantii*), dans les conditions normales la femelle adulte de cette espèce peut pondre entre 10-35 œufs (**Dao, 2012**).



Willard (1972) a obtenu un maximum de jeunes larves (267 larves/femelle) à une température de 30°C et un minimum de larves (46 larves/femelle) à 15°C. **Wentel (1979)** a noté que cette espèce pond environ 123 larves/ femelle à 20°C alors qu'à une température plus élevée, la fécondité étant le double (266 larves/femelle). Au moment de la ponte, la femelle se rétrécit et finit par mourir après avoir expulsé sous ses œufs.

Les cochenilles que l'on trouve sur les plantes peuvent être sous forme d'œufs, de larve ou de femelle adulte (**Danbir, 2017**). Les larves mobiles passent par un certain nombre de stades de développement pour atteindre le stade adulte (mâle ou femelle). Après la fécondation des femelles, les larves mâles vont apparaître en passant par deux phases de développement supplémentaires durant lesquels s'opère la nymphose. De ce fait la maturation sexuelle n'est pas synchronisée chez la lignée mâle et femelle de la même génération. Chez *A.aurantii* les femelles vont être fécondées par les mâles de la dernière émergence de la saison (**Biche et al, 2012**). Les générations des diaspidines s'échelonnent sur toute l'année et varient en nombre en allant de un jusqu'aux six générations tout dépend des conditions climatiques et du support végétal.

3.2 - Cycle biologique

Le cycle évolutif des diaspidines est spécifique par le fait que les femelles développent une forme adulte particulière et ne ressemble pas à celui des autres insectes. Les œufs pondus éclosent et donnent naissance à des larves de premier stade (L_1) mobiles qui parcourent l'arbre à la recherche d'un site de fixation et s'installent par sur les rameaux, les feuilles et le fruit.

Ces L_1 peuvent se fixer directement sous le bouclier de la femelle et engendrer une superposition de boucliers ou encroutements. Certaines larves de premier stade vont donner : **La lignée mâle** constituée de deux stades larvaires (L_1 et L_2), des stades supplémentaires (prénymphé et nymphé), qui donneront un adulte avec une forme typique d'un insecte. D'autres L_1 vont donner la **lignée femelle** qui compte deux stades larvaires (L_1 et L_2) et un stade adulte.

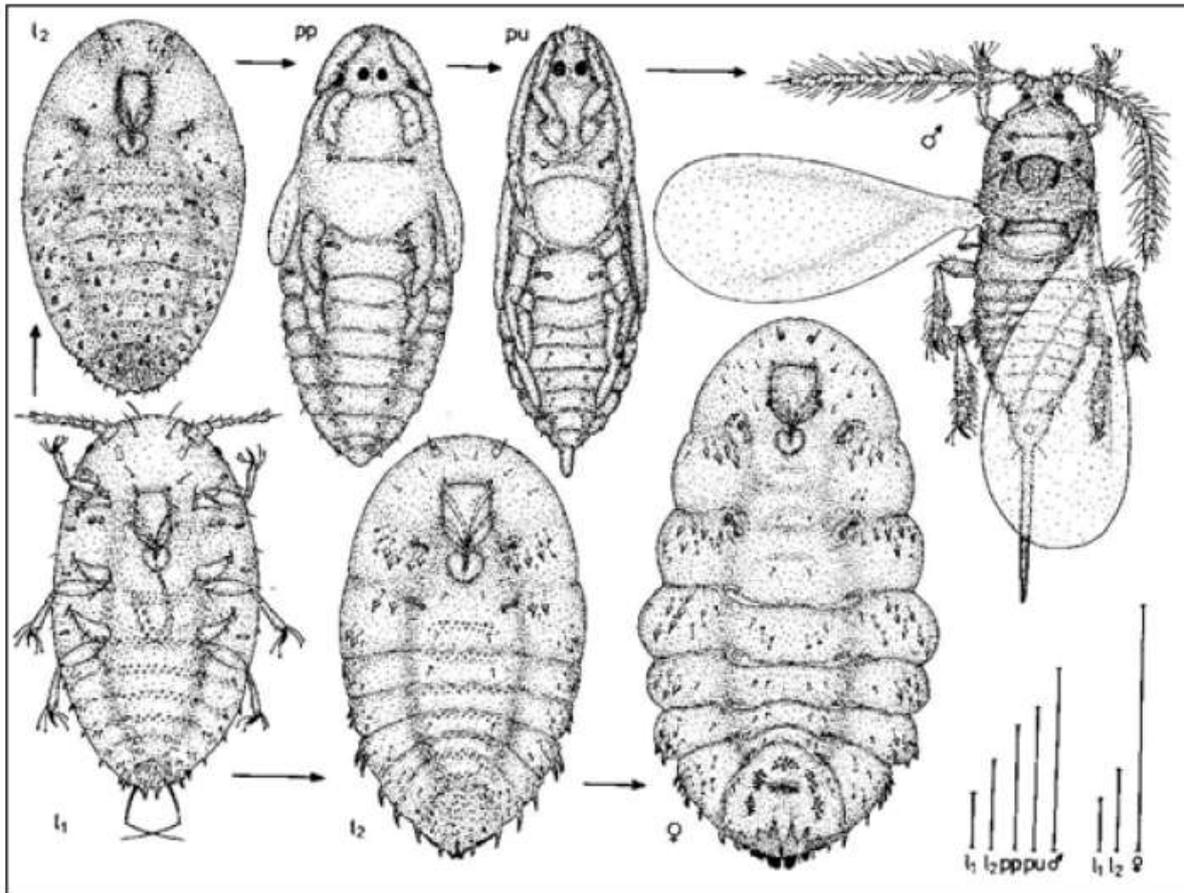


Figure 17. Cycle de vie des Diaspididae (l1m : Larve du premier stade ; l2m : Larve de deuxième stade, pp : Prénympe, pu : Nympe) (Rosen, 1990).

3.3 – Nombre de génération

Les suivis expérimentaux annuel et bisannuel de plusieurs espèces de diaspidines à travers le monde dans les différents biotopes affirment que le nombre de générations chez la même espèce, dépend des conditions climatiques, cependant le nombre de génération varie de 1 à 5 et parfois on assiste à des générations chevauchantes. Également, le nombre de génération est en étroite corrélation avec la plante hôte.



4 - Morphologie

4.1 - Aspect général

L'aspect morphologique des diaspines est complètement différents des insectes, pour ce même groupe d'insecte en soulevant un bouclier formé de trois exuvies (Fig. 19)

On assiste un dimorphisme sexuel très marqué or la femelle ne présente aucun point de ressemblance corporelle par rapport au mâle. Ce sont des insectes microscopiques mesurant entre 5 à 20 mm (**Belguendouz, 2014**), ils présentent un mode d'évolution biologique très homogène pour l'ensemble des espèces diaspines caractérisé par 3 stades femelles et cinq mâles et une parfaite symétrie axial.

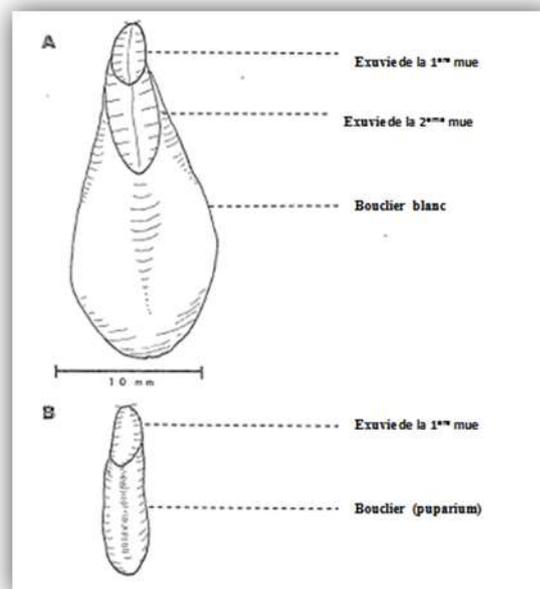


Figure 18. Bouclier et exuvies larvaires d'une diaspine
A, bouclier de la femelle **B**, bouclier du mâle **Henderson (2011)**.

La clé de détermination des Diaspididae repose sur la morphologie et l'ultrastructure du pygidium des femelles adultes où plusieurs auteurs ont traité la morphologie des formes immatures citant comme exemple **Takagi (2000, 2002)** ; **Aono (2009)** et **Henderson (2011)**.

Selon **Ferrière (1956)**, la femelle chez les cochenilles diaspines est néoténique et ressemble aux formes larvaires. Selon les espèces, elle mesure entre 1,5 et 3,5 mm et possède un bouclier qui varie de forme et de couleur selon l'espèce. Il peut être circulaire, ovale, allongé ou en forme d'huître, plus ou moins élevé de couleur blanc, gris ou brun selon les



espèces. Le bouclier n'est pas fixé au corps il peut être aisément enlevé, et, sans son bouclier, l'insecte se déshydrate rapidement. La couleur de la cochenille varie d'une espèce à l'autre et d'un genre à l'autre, mais elle est le plus souvent blanche, jaunâtre à marron-gris. Généralement, le bouclier du mâle est différent de celui de la femelle, car il l'érige uniquement durant les deux premiers stades de croissance. Il est plus petit, et comprend une seule exuvie, souvent décentrée. Sa texture peut être lisse comme celui de la femelle ou feutrée (http://entomofaune.qc.ca/entomofaune/cochenilles/cochenilles_diaspididae.html), sont des insectes élancés, à la tête, au thorax et à l'abdomen nettement différenciés, aux longues antennes, aux pattes fines terminées par un tarse uni articulé, armé d'un crochet simple et toujours pourvus d'une seule paire d'ailes fonctionnelles, la deuxième étant réduite à l'état de crochets. Le bouclier ou puparium est souvent plus petit que celui de la femelle (dimorphisme sexuel). Certaines espèces n'ont pas de mâles.

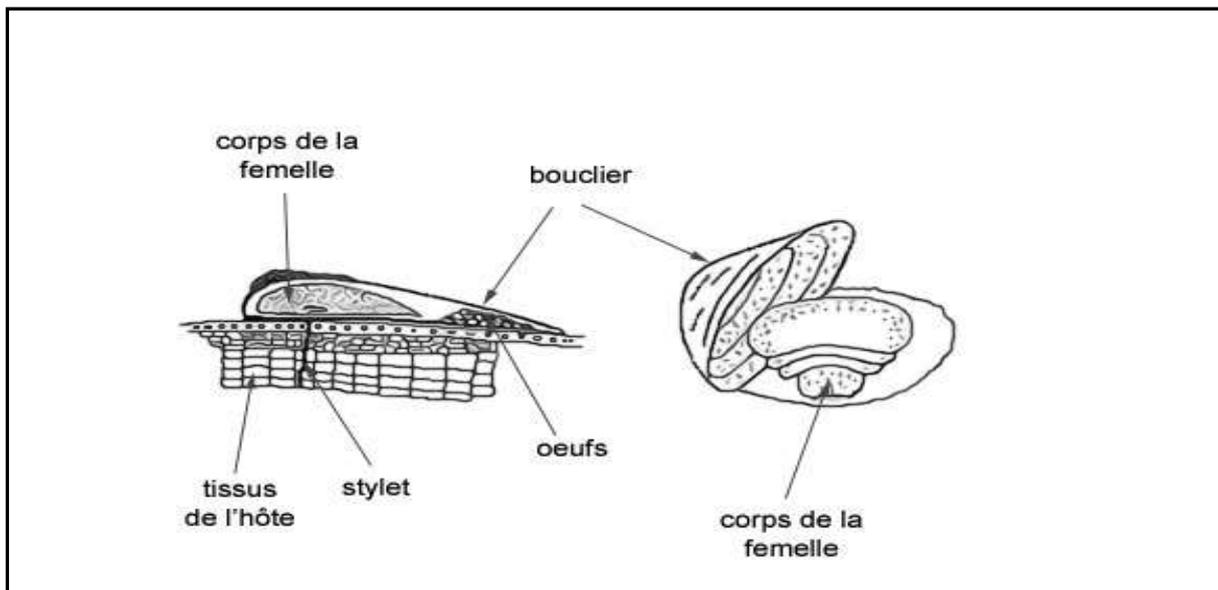


Figure 19. Aspect morphologique de la femelle des Diaspididae (INRA., 1979 in Belguendouz, 2014).

4.2 - Caractéristiques macroscopiques

4.2.1 - Bouclier

Le bouclier, ou follicule, est une formation particulière caractéristique de la sous-famille des Diaspididae en lui assurant une protection indispensable, puisque les individus



découverts, se dessèchent rapidement sous les conditions naturelles (Geier, 1949). La taille, la forme, la texture et la couleur du bouclier varient selon l'espèce (Pilon, 2012).

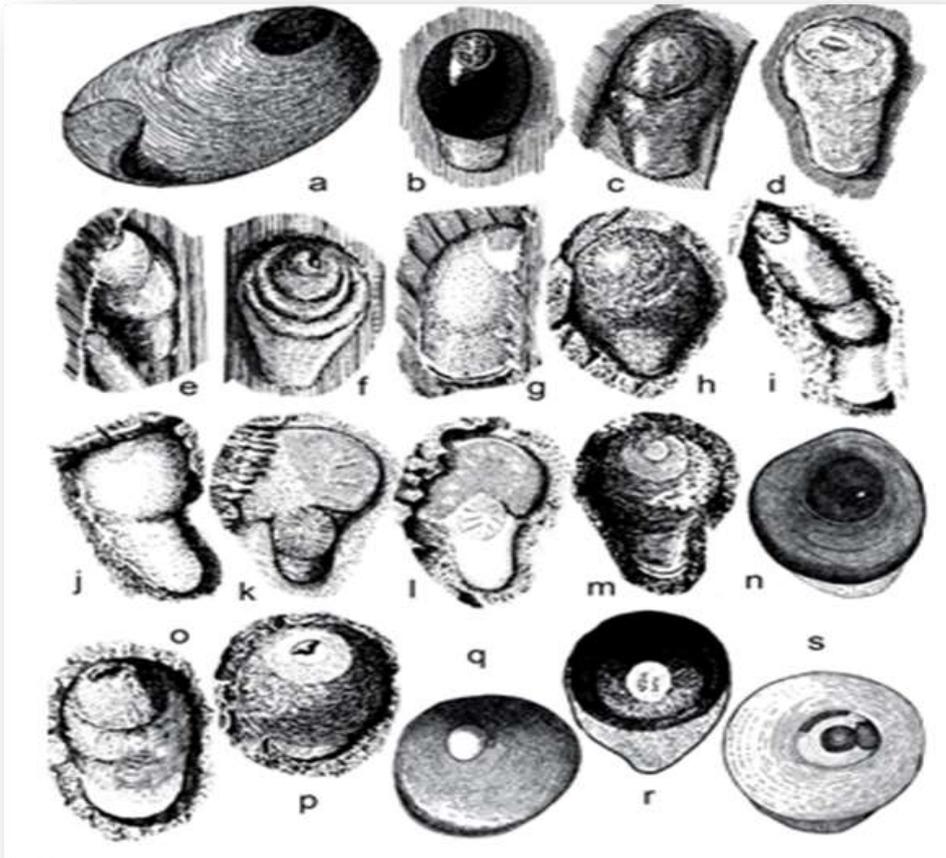


Figure 20. Différents forme de boucliers chez les tribus : Aspidiotini, Diaspidini et Odonaspidini (Taille : 1,5 – 3 mm) (Balachowsky 1958).

a : *Morganella longispina* ; b : *Cryptoparlatoria leucaspis* ; c : *Circulaspis canaliculata* ; d : *Froggatiella inusitata* ; e : *Froggatiella penicillata* ; f : *Chortinaspis chortina* ; g : *Chortinaspis biloba* ; h : *Melanaspis odontoglossi* ; i : *Rugaspidotinus fuscitatis* ; j : *Rugaspidotus arizonicus* ; k, *Mancaspis piriformis* ; l, *Mancaspis lunata* ; m, *Diaspidiotus laurinus* ; n : *Acutaspis ramirezi* ; o : *Hemiberlesia diffinis* ; p : *Targionia yuccarum* ; q : *Sudanaspis vulleti* ; r : *Spinaspidotus fissidens* ; s : *Melanaspis bolivari*

4.2.1.1 - Composition du bouclier

Selon Metcalf et Hockenyos (1929), la sécrétion des boucliers se compose de cire détectée à l'aide d'un solvant « le tétrachlorure de carbone », ils ont qui possède un point de fusion de 86-88. Les glandes responsables de la sécrétion de la cire ou glandes séricigènes, se situe à la surface dorsale du pygidium (Martel, 1970). Les autres corps non identifiés sont essentiellement des lipides et des protides (Benassy, 1961).



4.2.1.2-Formation du bouclier

Le bouclier des Diaspididae est le résultat de la superposition de trois couches qui recouvre entièrement le corps afin de protéger de cire successivement déposées pendant les étapes du développement de la cochenille. Chez les diaspines, la forme du bouclier, sa couleur et sa forme donne la possibilité d'une reconnaissance rapide des espèces de cochenilles aperçus.

Des chercheurs ont réalisé des études détaillées sur la fabrication du bouclier du Pou rouge de Californie (*Aonidiella aurantii*), et ont observé que dès qu'il trouve un site qu'il juge adéquat, le stade mobile entre ses stylets dans la plante, commence à se nourrir et produit de minces filaments blancs (<http://entomofaune.qc.ca/Bulletin.html>). Les filaments s'entremêlent au-dessus de l'individu et créent une espèce de feutrage. La cochenille tourne autour de ses stylets pendant trente à 40 minutes. C'est ce mouvement oscillatoire, accompagné par la production de sécrétions, qui donne une forme circulaire au bouclier (Rosen, 1990). Après quelques heures (six à 10 heures) on assiste à la formation d'un bouclier blanc, en forme de disque au-dessus de la cochenille (Rosen, 1990).

Une étude de la composition chimique du bouclier d'*Aonidiella aurantii* a démontré qu'il était composé de 45% de cire, 47 % de substances protéiniques et de 8 % d'exuvies. Au second stade, le corps du mâle s'allonge et il effectue des oscillations de moindre ampleur. C'est ce qui donne au bouclier une forme allongée, avec l'exuvie de la première mue décentrée. Le mâle cesse d'édifier le bouclier lorsqu'il passe au stade prénymphal.

4.2.2 - Caractéristiques microscopiques

➤ Appareil buccal

Sur le plan nutritionnel et comparativement aux autres insectes, les diaspines sont les plus évoluées et les plus particulières où ils se caractérisent par l'exacerbation de cette fonction. Les stades larvaires et les femelles adultes possèdent un appareil buccal de type piqueur-suceur situé ventralement, capable d'absorber l'alimentation liquide disponible dans les vaisseaux conducteurs de la sève brute ou élaborée en perçant les tissus végétaux. Cette fonction d'aspiration est assurée par le stylet qui est à l'origine des mandibules et des maxilles ont subi une transformation particulière pour donner en quelque sorte un faisceau de stylets fins mandibulaires externes et maxillaires internes (<http://entomofaune.qc.ca/Bulletin.html>).



Cette fraction buccale, en phase de repos s'enroule en boucle dans une poche ventrale interne appelée « Grumena ». À chaque mue, les stylets sont abandonnés dans l'hôte et régénérés à partir de cellules situées à la base du rostre (McClure, 1990a).

Les mâles ne s'alimentent pas vu qu'ils sont dépourvus de pièces buccales ou alors celles-ci sont très rudimentaires (Germain, 2011).

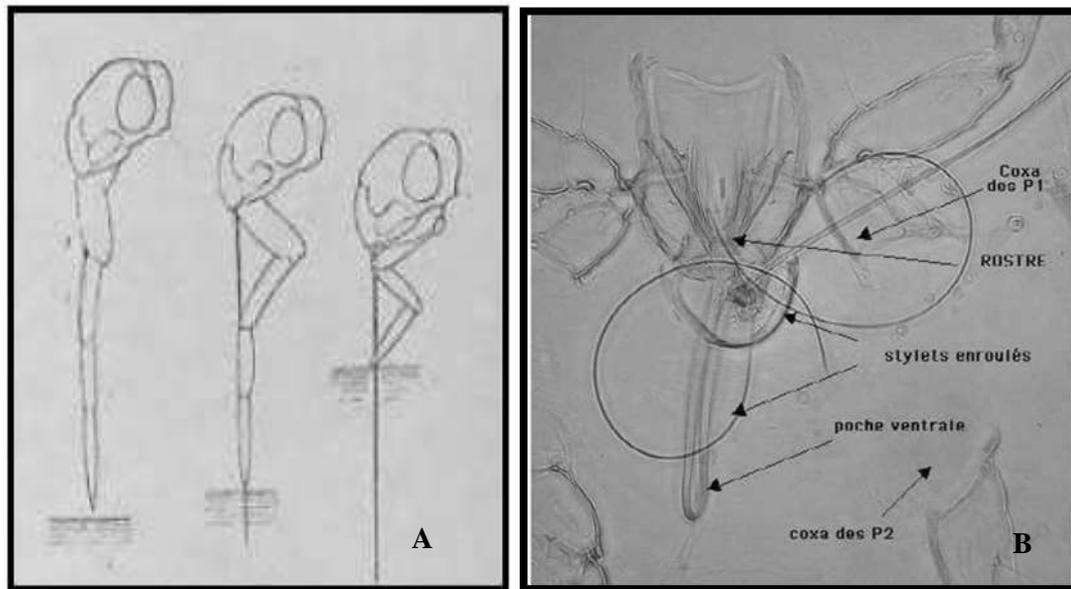


Figure 21. Stylets : Présentation (A) et ultrastructure (B) (<http://aramel.free.fr>).

➤ Pygidium

En prélevant le bouclier de la femelle, on aperçoit trois parties distinctes sur le corps de la cochenille : la première, forme un ensemble non segmenté, comprend la tête et le thorax fusionné avec à la partie antérieure, les pièces buccales formant une longue trompe. La deuxième partie est dentelée forme le pygidium (Balachowsky, 1953). Ce qui nous intéresse plus c'est les segments abdominaux ou pygidium dont leur aspect ultra structural constitue une base d'identification des espèces Diaspididae. Les quatre derniers segments abdominaux sont fusionnés en un pygidium orné de palettes, de peignes et d'épines glandulaires (Germain et Chatot, 2011). Le pygidium joue un rôle clé dans la production du bouclier. Ses muscles développés permettent à la cochenille de tourner et d'étaler la cire et les sécrétions anales.

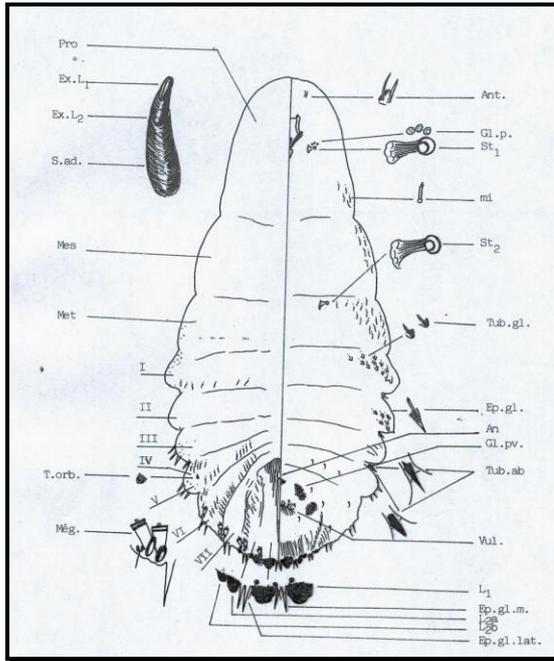


Figure 22 : Morphologie d'une Femelle de *L.beckii*

Légende de la figure 21

- D. : Face dorsale
- V. : Face ventrale
- t : Tentorium
- m : Mentum
- St₁ et St₂ : Stigmate antérieur et Stigmate postérieur
- Gl.c : Glandes circumgénitales
- Crp : Crête périvulvaire
- Crgl : Crête glandulaire
- Pl₁ et Pl₂ : Groupe de peignes latéraux
- S. : Soies
- Ta : Talon
- Pm : Peigne médiane
- Pr. : Prothorax
- Ma. : Macropore tubulaire dorsaux
- Cs. : Crete marginales serriforme
- L₁, L₂, L₃ : Palettes latérales
- P.e Ex. : Peigne externes
- Pa. : Paraphyse
- Sc. : Scléroses intersegmentaires marginales

5 - Dommages causés par les Diaspididae

Les dégâts sont observés sur les rameaux, les feuilles et les fruits. L'action dévastatrice des femelles, est beaucoup supérieures à celle des mâles, Les femelles s'y agglutinent et sucent la sève provoquant de multiples dégâts. Parfois des décolorations sont observées suite à la succion nourricière sur le végétal, influe sur la photosynthèse et donc le rendement en provoquant la formation de plages chlorotiques autour des points de pénétration des stylets de la cochenille. En outre, la cire secrétée lors de la formation des boucliers agglutine les particules et empêchent à leurs tour le processus de la photosynthèse. En ces points, sous l'effet de toxines injectées par la diaspine, la chlorophylle est détruite au cours de sa nutrition qui entraîne un dépérissement prématuré de la plante (Avtoov et Henratz, 1969). À cet effet chlorotique, s'ajoute le disfonctionnement des stomates lors de fortes pullulations, a pour conséquence le jaunissement et la chute des feuilles.



Après la mort de ces diaspines, leurs boucliers restent coller sur le végétal. La succession des générations finit par la formation des amas et des encroutements qui entravent les échanges gazeuse et hydrique de la plante et leurs fruits entraînant des « écarts de fruits » impropre à la vente. A noter que les fortes pullulations des diaspines, affaiblit l'arbre et entraînent au fur et à mesure le dessèchement complet de l'arbre et sa mort au bout de 2 ou 3 ans si elles ne sont pas combattues efficacement.

Compte tenu des divers types de dégâts et de l'importance économiques que représentent les diaspines. Dans notre vergers d'étude, on peut classer les diaspines des inventoriés par ordre de nuisibilité en trois groupes :

6 - Moyen de lutte

La lutte contre les ennemis des cultures animaux ou végétaux, est devenue une nécessité. Cette nécessité est particulièrement ressentie en agrumicultures où la production de fruits sains, indemnes et attirants est maintenant un impératif économique.

Du fait de particularités morphologiques bien marquées qui permettent de différencier les grands groupes de cochenilles ; la lutte sera conduite en fonction du comportement biologique de la famille d'appartenance de la cochenille considérée. La détermination au rang de l'espèce permet idéalement d'optimiser le contrôle, entraînant de meilleurs choix de traitement, comme une rationalisation de leur utilisation ou de leur positionnement (**Crespel et al, 2018**).

6.1 - Lutte culturale

Les premières armes de lutte contre les cochenilles c'est l'utilisation de procédés culturaux (**Berthet, 1998**).

La taille adéquate reste le moyen de lutte le plus propice en ce qui concerne ce type d'insecte. En effet, une fois que l'arbre est entré en production, il suffit de l'entretenir à raison d'une taille effectuée après la récolte. Consiste à dégarnir légèrement l'intérieur de l'arbre, éliminer les branches enchevêtrées, le bois sec, les gourmands les branches chétives ou malades afin : d'assurer une bonne aération de l'arbre, éviter la formation des foyers de



cochenilles et faciliter la pénétration des produits phytosanitaires, ainsi que le désherbage de la végétation spontanées pour améliorer l'état phytosanitaire de ces arbres fruitiers (**Bénaouf, 2005**).

Certains agrumiculteurs procèdent à des méthodes mécaniques d'élimination des cochenilles par brossage des parties de l'arbre infestées.

L'apport d'une fumure équilibrée avec une fertilisation du sol par dosage judicieux des amendements et de fumure et apporter des fumures en eau d'irrigation c'est ce qu'on appelle la ferti-irrigation. Toute fertilisation azotée excessive avec des produits organiques à minéralisation rapide doit être évitée sous peine d'accentuer la sensibilité aux ravageurs notamment aux cochenilles (**ITAFV, 2015**).

6.2 - Lutte chimique

La lutte chimique en agrumiculture est devenue une nécessité et si les vergers ne sont pas traités avec des insecticides, les dommages causés à la fois par les Diaspines et sur tout par le pou de Californie ont été estimé à 40% (**Tuncyiurek, 1970**). L'apparition, après la seconde guerre mondiale, des premiers insecticides de synthèse a représenté pour l'agriculture un progrès considérable, aujourd'hui avec la rénovation de la, lutte chimiques en matière de mode d'action et substances actives et avec l'évolution de la réglementation phytosanitaire, l'impact des cochenilles est limité sur de l'aspect qualitatif des fruits ou le marché nécessite une production quasi-totalement saines.

Les premiers insecticides avaient cependant des défauts : forte rémanence et large spectre d'activité, en particulier. Ils ont de plus été souvent mal utilisés et les conséquences néfastes ne se sont fait attendre. Depuis les trente dernières années les chercheurs en beaucoup travailler pour proposer une utilisation raisonnée de tous ces produits cela suppose une connaissance approfondie du ravageur qu'on veut combattre afin de choisir le moment propice pour intervenir. Le traitement d'hiver, effectuées au moment du gonflement des bourgeons sur des végétaux à feuille caduques, tel que le citronnier reste la base de la protection contre les cochenilles en arboriculture fruitières.



Pour bien réguler ces populations, il est très important de réaliser les traitements à base d'huiles d'hiver (d'anthracène, les oléomalathions, les oléoparathions et les huiles de pétrole) appliquée à haut volume. Ces huiles ont une action asphyxiante sur les larves néonates de cette cochenille ainsi des autres cochenilles diaspidines. En effet, il est préférable de détruire les jeunes larves avant la période où leurs ennemis naturels sont susceptibles d'intervenir (**Coutin, s.d.**). Lors des traitements il faut bruler les branches issues de la taille.

Aujourd'hui, afin de limiter la propagation des cochenilles, les agriculteurs ciblent les produits chimiques qui n'affecte pas l'environnement, plusieurs produits homologués en agrumiculture contre les cochenilles arrivent sur le marché, certains ont eu un grand succès tel que le **Spirotetramate** du groupe chimique des Ketoenoles. L'évaluation continue de cette nouvelle matière active systémique contre les cochenilles d'agrumes a dénoté sa grande aptitude en matière d'efficacité, le fait que cette matière active ait pu rendre le niveau de la population nul ou presque (**www.Bayer-agri.fr**).

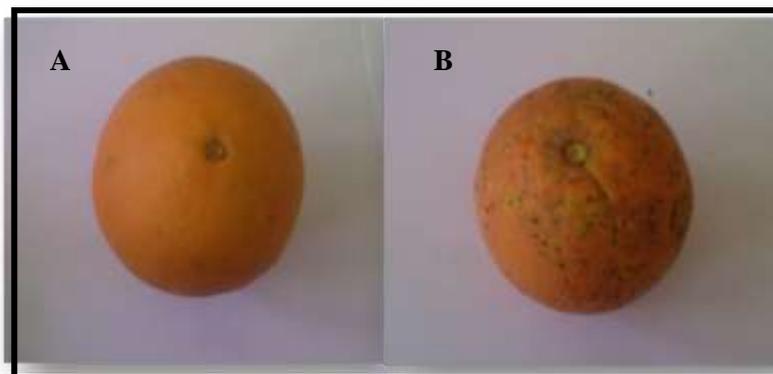


Figure 23. Evaluation de l'efficacité du Movento contre les cochenilles d'agrumes à Rouiba : A : Fruit d'agrumes indemne de cochenilles (Traité par le Movento), B : Fruit d'agrumes infesté de cochenilles (Non traité) (**Agagna, 2009**).

6.3- Lutte biologique

Il existe une foule d'ennemis naturels, prédateurs et parasites susceptibles d'endiguer les pullulations des ravageurs. Le premier grand succès de la lutte biologique fut obtenu en 1889-1890 contre la cochenille australienne des agrumes *Icerya purchasi* à l'aide d'une coccinelle *Rodolia cardinalis*. Cependant, d'autres essais de lutte biologique tentés à l'aide des



parasitoïdes ont été une réussite et constitue une solution intéressante complétée par l'action de la faune prédatrice (Foldi, 2003).

Ce complexe d'auxiliaire constitue aujourd'hui la base de la lutte biologique contre les cochenilles, notamment l'emploi des hyménoptères parasitoïdes et les coccinelles coccidiphages qui pourraient présenter un intérêt dans le nettoyage des encroutements.

Afin de limiter et réguler les pullulations des déprédateurs de plantes, un complexe naturel de parasitoïdes et de prédateurs est associé contre chaque insecte nuisible, dont l'action de chaque élément de ce complexe dépend en premier lieu des facteurs climatiques de la localité et à la compétition interspécifique.

En Algérie, le monde des entomophages sur les populations de cochenilles est très diversifié, Biche (2012) a dressé un inventaire, rapporté ci-dessous, a donné une idée sur la richesse des diaspines agrumicoles en entomophages : parasitoïdes et prédateurs (Tab. 3).

Tableau °3. Inventaire qualitatif des parasites et prédateurs des cochenilles diaspines sur agrumes (Biche, 2012).

| Classe | Ordre | Famille | Sous famille | Tribu | Espèce | |
|--------------|-------------|-----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Arachnides | Gamasides | Cheyletidae | - | - | <i>Cheletogenes ornatus</i> | |
| Insectes | Hémiptères | Anthocoridae | - | - | <i>Anthocoris sp.</i> | |
| | Coléoptères | Nitidulidae | - | - | <i>Cybocephalus sp.</i> | |
| | | Coccinellidae | Coccinellinae | Novinii | | <i>Rodolia (Novius) cardinalis</i> |
| | | | Scymninae | Scymnini | | <i>Pullus mediterraneus</i> |
| | | | | | | <i>Pullus subvillosus</i> |
| | | | | | | <i>Nephus peyerimhoffi</i> |
| | | | | <i>Scymnus apetzoides</i> | | |
| | | Sticholotidinae | Sticholotidini | | <i>Pharoscyrmus sp.</i> | |
| | Névroptères | Coniopterygidae | - | - | <i>Coniopteryx sp.</i> | |
| | | Chrysopidae | - | - | <i>Chrysoperlla carnea</i> | |
| Hyménoptères | Aphelinidae | - | - | <i>Aphytis lepidosaphes</i> | | |
| Diptères | Syrphidae | Syrphinae | Syrphini | <i>Syrphus balteatus</i> | | |

« *Les Aphytis* »



Tous les organismes vivants hébergent des parasites. Leur diversité est considérable tant en nombre d'espèces (probablement la moitié des espèces vivantes). Les impacts des parasites sur la reproduction, la croissance ou la survie de leurs hôtes en font potentiellement des agents importants de régulation au sein des communautés et des écosystèmes (**Thomas, 2012**).

Les diaspines disposent de deux types de parasitoïdes, dont la majorité de ces espèces appartient à l'ordre des hyménoptères qui est un don du ciel, puisqu'il contient à la fois la plupart des insectes pollinisateurs et la plupart des insectes parasitoïdes ou en retrouve les endoparasitoïdes (co-évoluent à l'intérieur du corps de la cochenille) et les ectoparasitoïdes (co-évoluent à l'extérieur du corps de la cochenille). Les espèces les plus rencontrées appartiennent au genre *Aphytis*, qui représente l'immense majorité des insectes parasitoïdes de Diaspididae, compte tenu de la distinction de près de 80 espèces par **Debach et Rosen, (1976)**.

1 – Genre *Aphytis*

1.1 – Morphologie générale

Les espèces du genre *Aphytis* sont minuscules (environ 1 mm), de couleur jaune ou grisâtre et font partie des insectes holométaboles dont ils passent par quatre stades de développement : Œuf, Larve, Nymphe et Adulte décrites par **Rosen & Eliraz (1978)** et **Rosen & DeBach (1979)**.

Le corps des *Aphytis* est divisé en plusieurs segments ou on peut distinguer trois parties, caractéristiques aux insectes, comprennent : la tête, le thorax et l'abdomen. Ces parties possèdent plus ou moins des caractères morphologiques spécifiques qui permettent leur reconnaissance. Les antennes présentent des funicules formés de trois segments :

- Le propodeum est relativement long et crénelé sur le bord.
- Absence de pilosité sur les ailes antérieures et qui présentent une large bande au milieu.

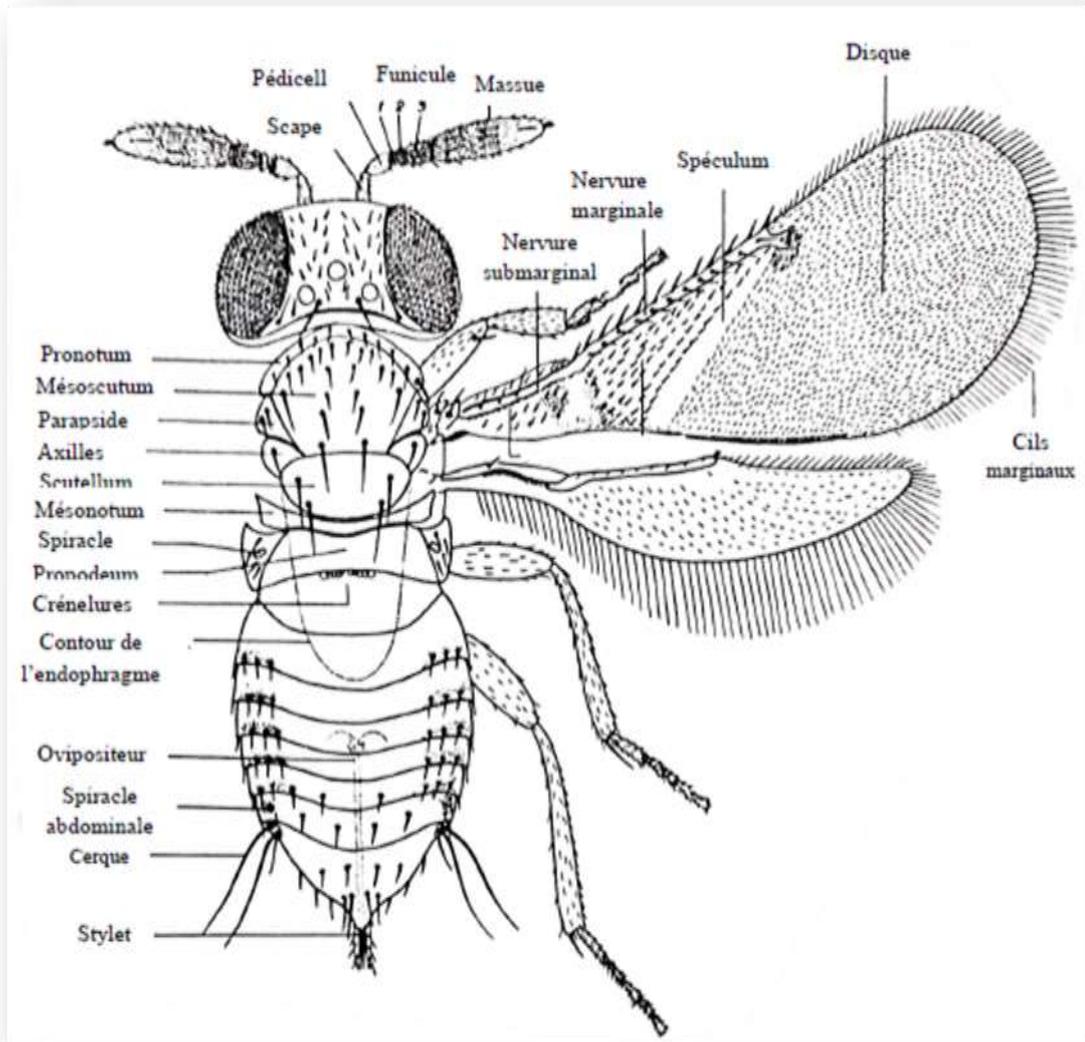


Figure 24. Schéma de la morphologie générale d'un parasitoïde hyménoptère de type *Aphytis* (Rosen et DeBach, 1979).

1.2 – Reproduction

La reproduction chez la majorité des espèces d'*Aphytis* se fait par voie sexuée. Les femelles sont monogamiques c.-à-d. elles s'accouplent une seule fois dans leur vie ou le réservoir spermatique sera stocké dans un réservoir spermatique ou spermathèque. En revanche les mâles des *Aphytis* sont polygamiques dont ils peuvent s'accoupler à plusieurs femelles dans leur vie. Cependant les femelles sont issues d'un œuf fécondé tandis que les mâles résultent uniquement d'un gamète femelle (voie parthénogénétique).



Lors de la ponte la femelle perce le bouclier de la diaspine par son ovipositeur afin de diriger un œuf ou plusieurs sur le corps de son hôte. En effet, ces derniers sont riches en liquide indispensable pour la survie de ces parasitoïdes qui sont koïnobiontes l'hôte ne meurt qu'après avoir épuisé ces réserves.

1.3 – Position systématique

L'insuffisance des caractères taxonomiques chez les *Aphytis* a rendu l'identification de leurs espèces très difficile (**Rosen et DeBach 1979**), souvent la détermination spécifique s'entreprend sur les nymphes et très difficilement sur les adultes (**Pekas et al, 2011**). Le genre *Aphytis* est classé comme suit :

| | |
|------------------------|----------------|
| Embranchement : | Arthropoda. |
| Classe : | Insecta. |
| Ordre : | Hymenoptera. |
| Super famille : | Chalcidoïdea. |
| Famille : | Aphelinidae. |
| Sous famille : | Aphelininae. |
| Genre : | <i>Aphytis</i> |

1.4 - Biologie

Chez les représentants du genre *Aphytis*, dont la biologie a fait jusqu'ici l'objet de publications, les femelles choisissent leur hôte dans une gamme assez large de stades de développement : l'œuf est déposé pour une même espèce de parasite, aussi bien sur de jeunes femelles ayant depuis peu effectué leur seconde mue, que sur des femelles en période de ponte. Dans tous les cas, l'œuf du parasite est pondu au travers du bouclier, directement au contact du corps de l'hôte ou à proximité de celui-ci (**Fabres, 1973**).

La femelle *Aphytis* dépose l'œuf sur la partie dorsale ou ventrale de son hôte, les œufs sont blanchâtres, semi-transparentes et ressemblent aux larmes.

Le développement larvaire est caractérisé par trois stades tous montrent un aspect ovale dont le premier se caractérise par une taille petite, au fur et à mesure que les larves s'alimentent l'hôte se rétrécit et les larves grandissent pour atteindre L₃.



Le stade nymphal représente 8 % de la durée totale de développement de l'insecte, dans cette phase la larve s'allonge dans sa partie caudale qui devient pointue à ce moment la pronymphe se forme et cesse de s'alimenter.

L'insecte passe à la forme nymphale, L'appareil digestif évolue dans partie postérieure on assiste à une liaison entre l'intestin moyen et l'intestin postérieur afin d'excréter des granulés bruns ou marron connu par le Méconium.

L'éclosion des œufs d'*Aphytis* dépend de la température. Cependant l'éclosion des œufs a lieu après cinq jours à 20 C° alors qu'à 26,7 C° les œufs éclosent en deux jours (Yu, 1986 ; Yu et Luck, 1988). *Aphytis melinus* passe environ 18% du temps total de développement sous forme d'œuf (Yu, 1986 ; Yu et Luck, 1988). Total de développement sous forme d'œuf (Yu et Luck, 1988).

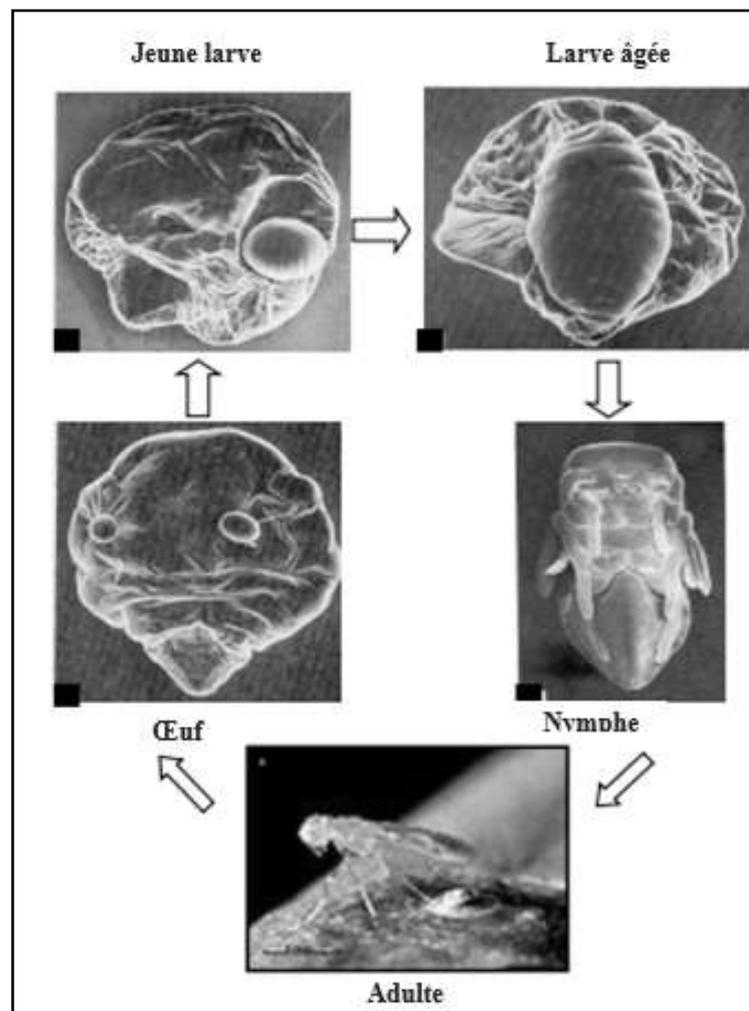


Figure 25. Cycle de développement des *Aphytis* (Belguendouz, 2014).



1.5 – Régime alimentaire

A l'éclosion, la jeune larve, peu mobile comme chez tous les *Aphytis*, se trouve au milieu des mues de la cochenille et s'en nourrit. Uniquement une partie du contenu de chaque œuf est exploité, si bien que la larve est entourée de 3 à 4 œufs dont la couleur, blanche à l'origine, a viré au brun. Tous les œufs ne sont pas attaqués et les éclosions de jeunes cochenilles sont synchrones de la progression de la larve d'*Aphytis* vers la femelle-hôte. Celle-ci sera dévorée à son tour. Chez les autres *Aphytis*, des cas d'oophagie peuvent être observés mais de façon très occasionnelle. La jeune larve issue d'un œuf déposé sur une femelle-hôte en phase de ponte, pourra se nourrir accessoirement des œufs de la cochenille (Fabres, 1973).

2 - *Aphytis melinus*

Considéré un parasite important de plusieurs espèces de cochenilles dont *A.aurantii* et *L. becki*. Cet ennemi naturel joue un rôle important dans la limitation des populations de ces diaspines en produisant une génération pour chaque génération de son hôte.

2.1 - Description

2.1.1 - Particularité morphologique de l'adulte

A.melinus est une petite guêpe de couleur jaune clair mesurant environ 2 mm de long ; la taille du mâle est plus faible que celle de la femelle.

Ce micro hyménoptère présente des antennes courtes noueuses, deux paires d'ailes membraneuses plus longues que le corps. Les trois paires de patte sont de couleur jaunâtre, l'abdomen présente une bande sombre et porte à son extrémité des cerques avec trois soies.

Lors de l'examinations des organes de citronnier infestés par le pou de Californie, on a observé d'importantes colonies de cochenilles avec des boucliers troués, c'est le signe de présence d'un parasitoïde « *Aphytis melinus* ». Identifié par Monsieur Biche Mohamed professeur au département de Zoologie Agricole et Forestière à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach (ex. INA)

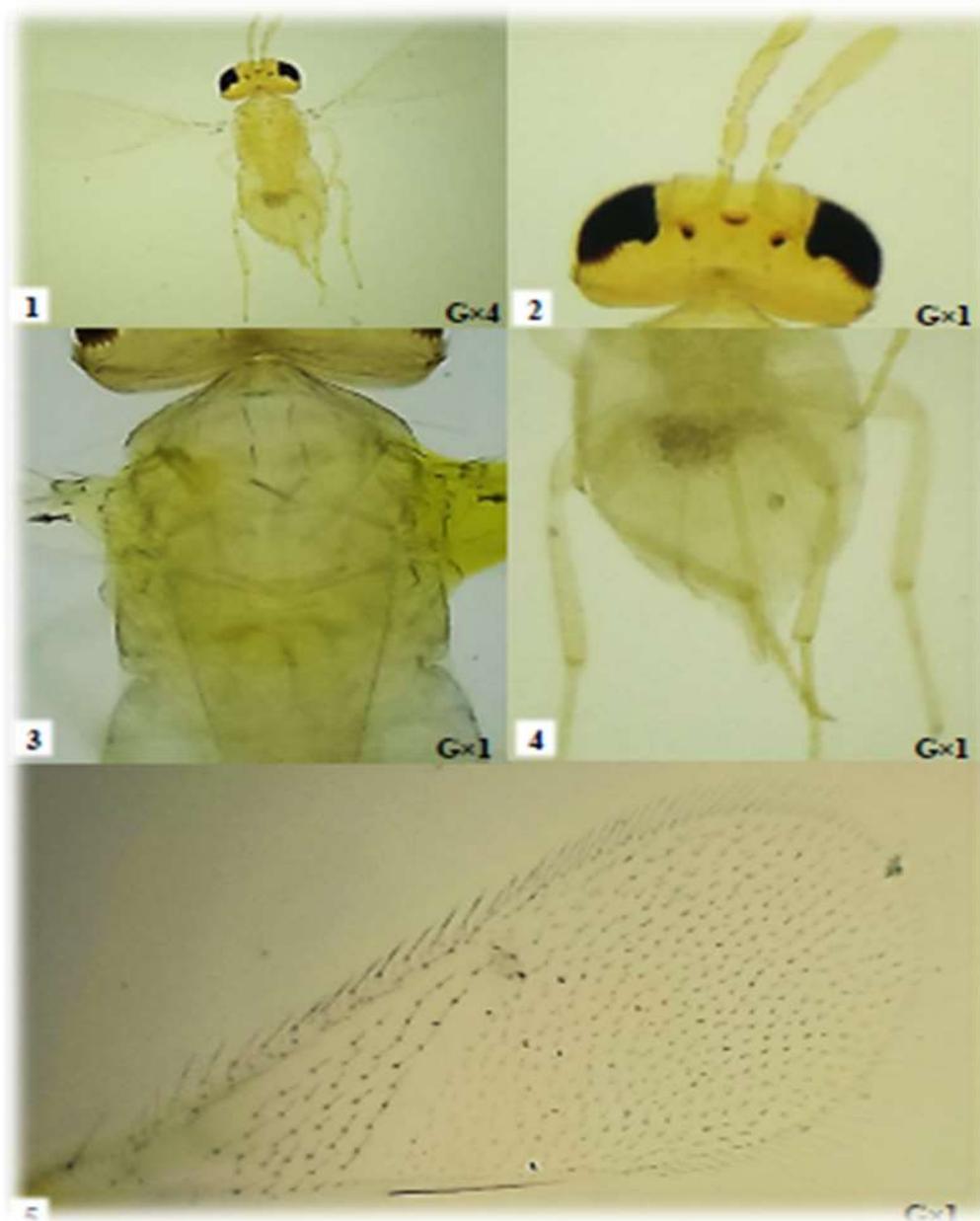


Figure 26. *Aphytis melinus* Adulte observée sous microscope optique (1) aspect général, (2) tête et antennes, (3) thorax, (4) extrémité abdominale, (5) aile (Attafi, 2019a).

2.1.2 - Particularité morphologique du stade nymphale

La nymphe d'*Aphytis melinus* est caractérisée par un modèle de pigmentation jaune, partiellement brunâtre et sombre.

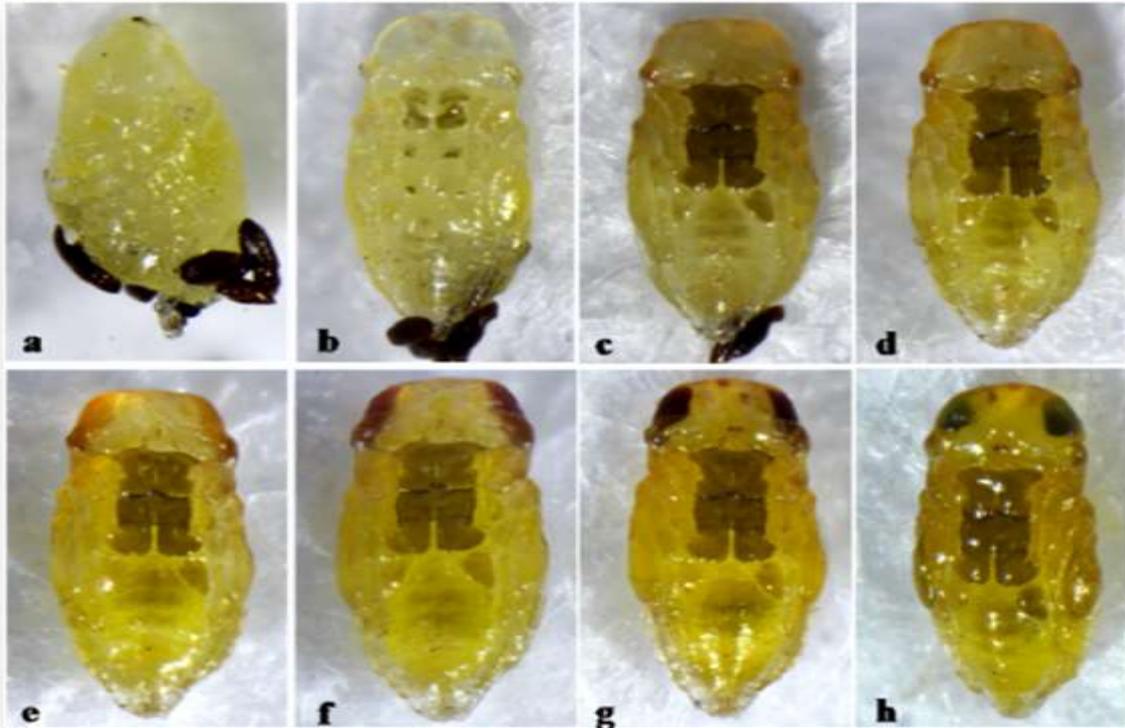


Figure 27. *Aphytis melinus* DeBach (Wang *et al.*, 2021)

(a) Pronymphe et meconium. ♀Nymphe, (vue ventrale) ; (b) 1 jour, (c) 2 jours, (d) 3 jours, (e) 4 jour, (f) 5 jours, (g) 6 jours et (h) 7 jours (mature).

2.1.3 – Cycle biologique

Selon **Rosen et Debach (1979)**, la durée de développement des *Aphytis* est généralement courte à moins qu'elle soit interrompue par une diapause. Ces micro hyménoptères par leurs pièces génitales organisées en tarière, percent le bouclier de la cochenille et déposent leurs pontes directement au contact du corps de l'hôte. L'éclosion de l'œuf donne la larve qui se nourrit de la cochenille ce qui la tue, la nymphose aura lieu juste après un adulte qui se libère en perçant un trou de sortie circulaire.

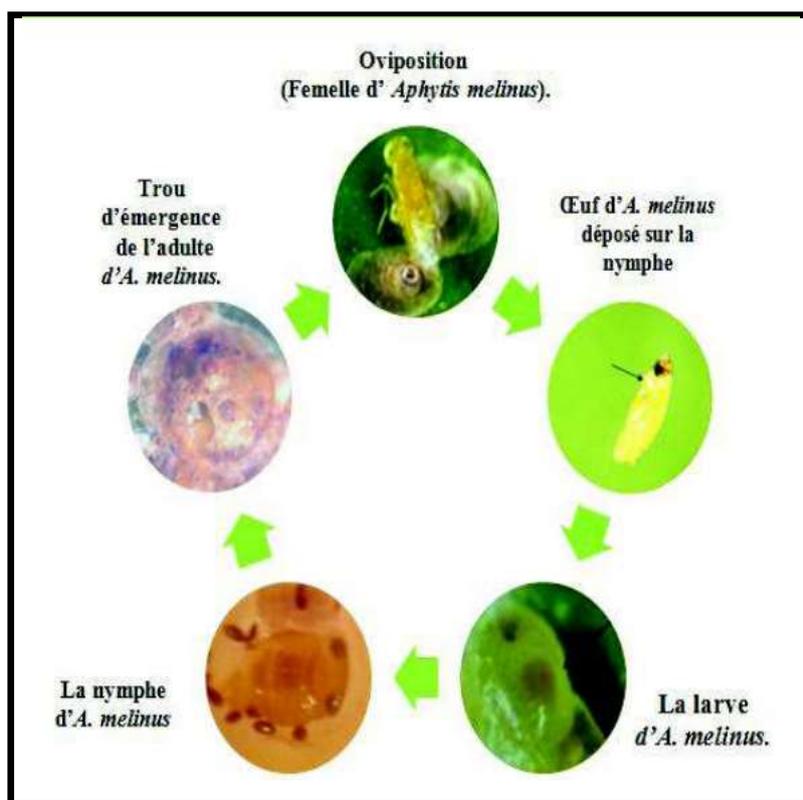


Figure 28. Cycle biologique d'*Aphytis melinus* sur *Aonidiella aurantii* (Agagna, 2016).

2.2 - Biologie d'*Aphytis melinus*

2.2.1 - Ponte

La femelle d'*A. melinus* détecte leurs hôtes à l'aide de ces antennes. Préfère les femelles Immatures et dépose un œuf sous chaque bouclier. Elle peut pondre 1 ou plusieurs œufs dans la cochenille, selon la taille de son hôte. L'Aphytis peut pondre jusqu'à 25 œufs pendant toute sa vie.



Figure 29. Oviposition d'*Aphytis melinus* (Cors'Aphyt, 2013).

2.2.2 - Phases larvaires

Les larves issues de l'éclosion, sont peu mobiles se nourrissent du corps de la cochenille qui sera transformé finalement, en cadavre plat et déshydraté.

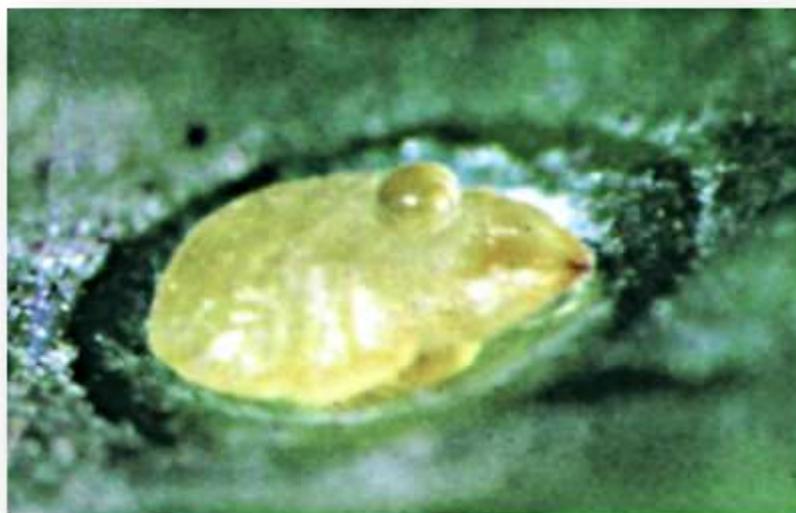


Figure 30. Larve d'*Aphytis melinus* sur la face dorsale du corps de la femelle d'*Aonidiella aurantii* (Asplanato and Garcia, 2002).



2.2.3 – Phase nymphale

Les nymphes sont de couleur jaune citron. Aucune pigmentation Caractéristique ne vient marquer les téguments. Le méconium émis au moment de la nymphose est déposé de part et d'autre en boulettes ovoïdes.

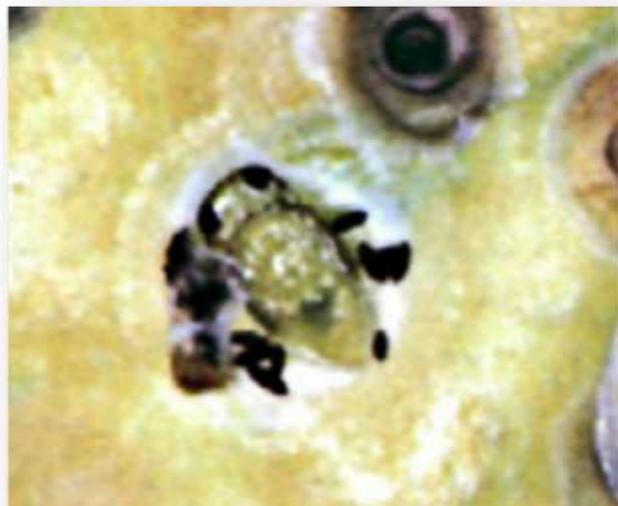


Figure 31. Nympe d'*Aphytis melinus* sur *Aonidiella aurantii* (Asplanato et Garcia, 2002).

2.2.4 - Emergence de l'adulte

Aphytis Melinus achève son développement (2-3 semaines) jusqu'à l'âge adulte. Enfin, le parasite adulte émerge du corps de la cochenille. Un seul trou de sortie lui permet de s'échapper pour continuer la recherche de nouvelles proies.

3 - *Aphytis lepidosaphes*

3.1 - Description

3.1.1 - Particularités morphologiques

C'est un micro hyménoptères à corps allongé, la femelle mesurant environs 1,20 mm de long et 0,90 mm de large. Le mâle à une taille plus faible que celle de la femelle, il mesure entre 0,5 à 1,10 mm. La tête est plus large que longue portant des antennes entièrement claires



à 6 articles. Le dos du thorax porte des cils fins, jaunâtres ou pales. Les ailes sont membraneuses plus courtes que le corps. Les trois paires de pattes sont de couleurs jaunâtres. Quant à l'abdomen il est court et uniformément pigmenté de couleur claire, portant à son bord postérieur des cirques avec trois soies, deux longues et une courte.

On peut caractériser *A. lepidosaphes* par un stade de développement nymphal spécifiquement jaune et sans pigmentation (Wang *et al*, 2021).



Figure 32. Stades nymphal de *Aphytis lepidosaphes* Compere
 ♀Nympe, vue ventrale : (a) , Pronympe (1 jour) (b) Nympe (4 jours)
 et (c) Nympe mature (7 jours) (Wang *et al*, 2021).

3.1.2 – Cycle biologique

La période de développement des Aphytis est généralement courte, sauf en cas d'interruption par une phase de diapause. Ces micro-hyménoptères utilisent leur appareil génital organisé en tarière pour percer le bouclier de la cochenille et déposer leurs œufs directement en contact avec le corps de l'hôte. À l'éclosion de l'œuf, une larve se développe en se nourrissant de la cochenille jusqu'à sa mort, suivie d'une nymphose et de l'émergence d'un adulte qui s'envole après avoir percé un trou de sortie circulaire.



3.1.2.1- Ponte

Les œufs sont pondus de préférence sur de jeunes femelles mais il arrive cependant que des cochenilles en période de ponte soient choisies pour hôtes (**Fabres, 1974**). Parfois plusieurs œufs sont pondus sur un même hôte. Dont la femelle ne peut pas détecter la cochenille saine de la cochenille parasitée, Cependant des larves déjà âgées et des œufs déposés récemment (ou bien des œufs pondus sur le corps d'un hôte déjà mort). (Fig. 32).

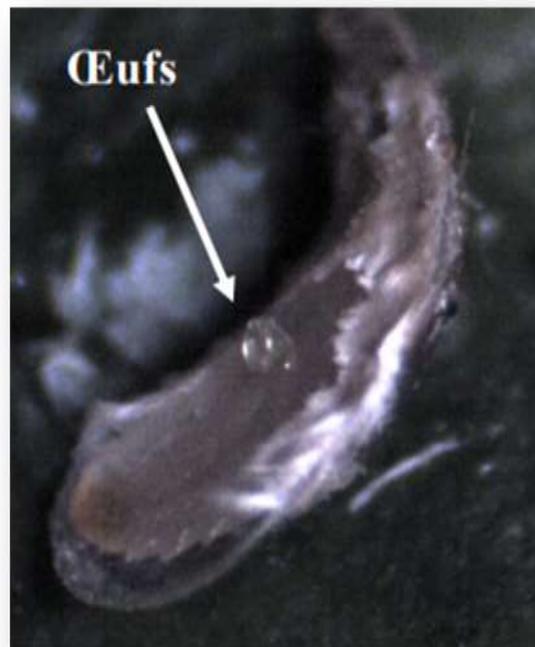


Figure 32. Œufs d'*Aphytis lepidosaphes* déposés sur *Lepidosaphes beckii* (**Zaabta, 2016**)

3.1.2.2 – Phase larvaire

Selon **Fabres (1974)**, les larves sont peu mobiles et ne bougent pas sous le bouclier. Qui se nourrissent du corps de l'hôte qui s'atrophie progressivement en perdant sa turgescence et se trouve finalement réduite à une lame tégumentaire (Fig.34).

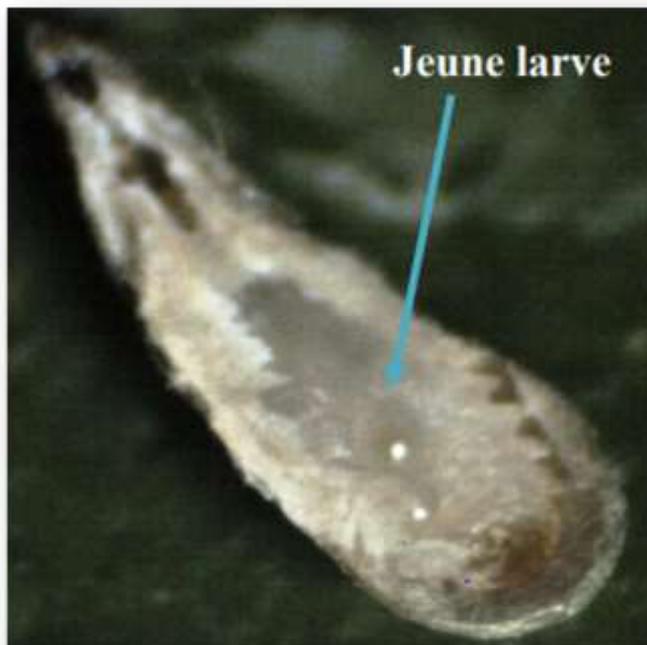


Figure 34. Larves d'*Aphytis lepidosaphes* sur le corps de la femelle de *L. beckii* (Zaabta, 2016).

3.1.2.3 – Phase nymphale

Les nymphes sont au début translucide et prennent une couleur jaune d'or que l'on retrouve chez l'adulte. Aucune pigmentation caractéristique ne vient marquer les téguments. Le méconium émis au moment de la nymphose est déposé en boulettes fusiformes bien individualisées et dispersées postérieurement (Fig. 35).



Figure 35. Nymphe et Pronymphe d'*Aphytis lepidosaphes* sous le bouclier de *L. beckii*.

3.1.2.4 – Emergence de l'adulte

L'éclosion des adultes se fait au-dessus du bouclier ou du puparium de la femelle ou du mâle hôte (**Rosen and De Bach, 1979**). Un seul trou de sortie permet aux adultes de s'échapper. Sur place, les exuvies jaune translucide et le méconium tous deux caractéristiques du parasite restent restent sous le buclier (**Fabres, 1974**).



Figure 36. Adulte d'*Aphytis lepidosaphes* émergé du bouclier de *L. beckii* (**Sival, 2014**).



Chapitre II :

Cadre d'étude & Méthodologie



1 - Monographie générale de la Région d'étude

1.1 – Cadre géographique

La prospection des cochenilles et des Parasitoïdes a été réalisé dans deux exploitations agricoles à vocation arboricole de la zone orientale de la Mitidja (l'Est de l'Algérois). Situées dans la commune de Rouïba, ainsi que la commune de Heuraoua. Circonscriptions administratives de la Wilaya d'Alger.

1.1.1-Situation géographique de Heuraoua

Zone côtière, située à 33 Km de l'est d'Alger, s'étend entre 3°07 et 3°27 de longitude et est entre 36°46 et 36°49 de l'attitude nord. Issue du découpage administratif de 1984, elle faisait auparavant partie de la commune d'Aïn Taya. Limitée au Nord par la mer méditerranéenne (plage El -Kadous), de l'Est par le lac de Reghaïa et au Sud par la commune de Rouiba.

1.1.2-Situation géographique de Rouiba

La commune de Rouiba se situe à 25 km de la capitale d'Alger et à 7 km de la mer méditerranée, elle est limitée au nord par la commune de Heuraoua, au sud par la commune de Khemis-El-Khechna, à l'est par la commune de Reghaïa et à l'ouest par la commune de Dar el beida. Cette région s'étend entre 3°07 et 3°27 de longitude et est entre 36°43 et 36°49 de l'attitude nord, elle s'élève à 25 m par rapport au niveau de la mer.

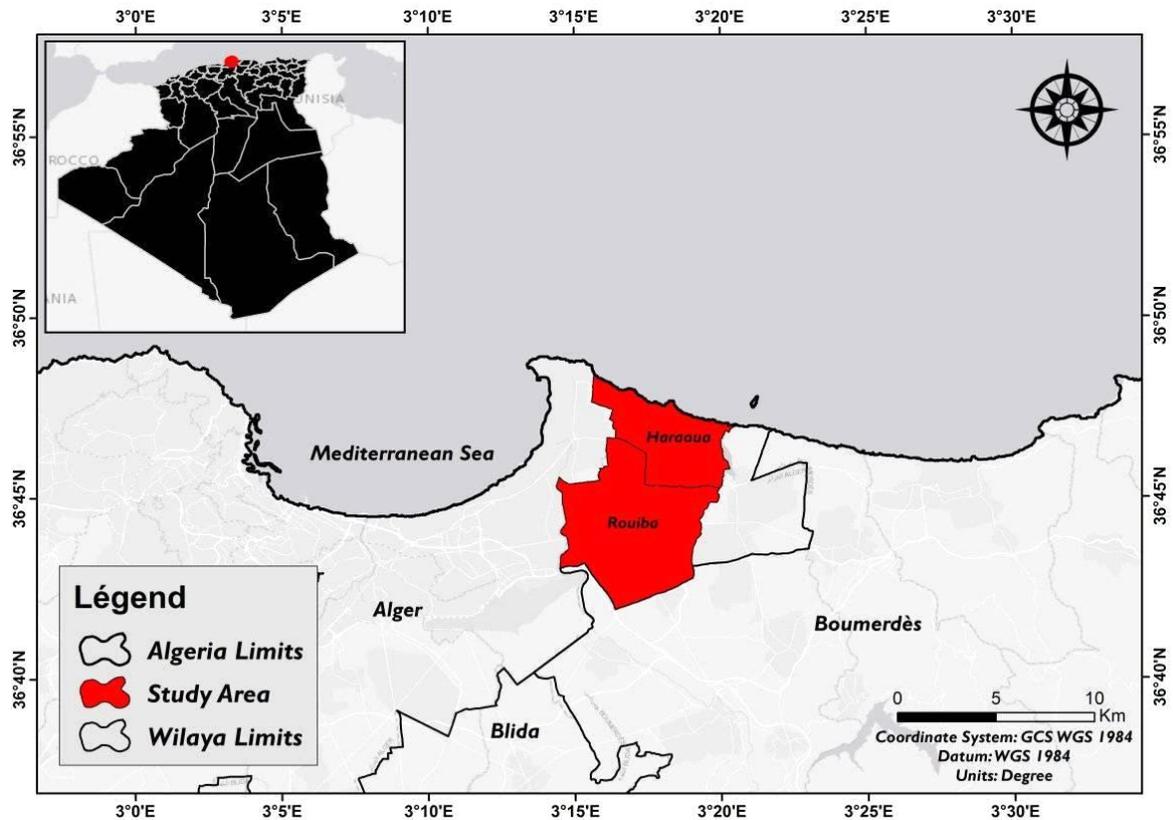


Figure 37. Situation géographique des deux régions d'étude dans la plaine de la Mitidja orientale.

2 – Cadre expérimental

L'expérimentation a été réalisée dans deux vergers de citronnier : (*Citrus limon* var. Eureka) situés dans deux localités différentes à savoir : Rouïba et Heuraoua.

Le premier verger de Heuraoua se situe en face de l'Institut de Technologie Moyen Agricole Spécialisé en cultures maraîchères et industrielles (Ex-ITH Aïn Taya) qui constitué d'une seule parcelle citricoles (Fig. 37)



Figure 38. Situation géographique du verger d'étude de heuraoua par rapport à l'Institut Technologique Moyen Agricole Spécialisé ([www.google earth.com](http://www.google.com)).

Pour le deuxième verger de Rouiba, nous avons choisis un verger de citronniers (*Citrus lemon*) situé dans une exploitation privée au sud de la région de Rouiba, renfermant également des orangers, des poiriers et la vigne (Fig. 38).



Figure 39. Localisation du verger de citronnier de la région de Rouiba ([www.google earth.com](http://www.google.com)).



2.1 - Protocole expérimental

Sur le terrain, les échantillonnages ont été effectués trois fois par mois pendant 2 ans, d'octobre 2016 jusqu'à décembre 2018, soit 26 mois. A chaque sortie, dans chaque verger, 9 arbres sont échantillonnés. A partir de chaque arbre, nous prélevons pour les quatre directions cardinales, ainsi qu'au centre : 2 rameaux de 10 à 20 cm de long, 2 feuilles et 1 fruit, les plus infestés. Au total l'examen a porté sur 14040 rameaux, 14040 feuilles et 7020 fruits.

En laboratoire, les échantillons infestés sont soigneusement examinés sous le stéréomicroscope les cochenille suivantes : *Lepidosaphes beckii*, *Aonidiella aurantii*, *Lepidosaphes gloverii*, *Crysomphalus dictyoperii*, *Parlatoria pergandii* et *Parlatoria ziziphii* pour dénombrer les individus vivants, morts et parasités de ces espèces de cochenilles et évaluer l'impact des deux parasitoïdes du genre *Aphytis* sur les populations des cochenilles. Ce genre de parasitoïdes a été identifié en fonction de la coloration de ces nymphes (**Pekas et al, 2016**).

2.1.1 - Cadre pédoclimatique

Le pouvoir de croissance des populations de toutes espèces est plus ou moins stabilisé par les facteurs de l'environnement. Parmi eux, on distingue couramment les facteurs abiotiques (climat, air, sol, espace, lumière.).

2.1.1.1 - Cadre climatique

Le climat est la composante majeure dans un milieu, cependant elle résulte du comportement d'un ensemble de facteurs climatiques dans l'atmosphère : humidité, pluie, température, éclaircissement et vent (**Boudy, 1952**).

Les phénomènes de développement des ravageurs tel que la fécondité, cycle de vie, stade réceptif et autres dépendent largement des conditions climatiques (**Biliotti and Brader, 1975**). Duquel en doit étudier en détail cette composante.



Les informations climatologique de chaque biotope offre les possibilités de fixer les périodes convenables d'intervenir contre les ravageurs. Les données climatiques utilisées dans cette étude proviennent de la station météorologique de Dar el Beida (Alger).

➤ Températures

Elles jouent un rôle inhibiteur dans la détermination du seuil de l'activité de l'insecte. Chez les cochenilles, l'effet de la température s'étale sur le cycle biologique complet de l'insecte depuis l'éclosion des œufs jusqu'à la fixation des larves mobiles à la maturation sexuelle. Toutes ces phases sont sous l'étroite dépendance de ce facteur climatique, cependant l'augmentation de la température se traduit globalement par une diminution de la durée du développement, aussi bien embryonnaire que larvaire et accélère la maturation sexuelle des cochenilles adultes (**Obame Minko, 2009**).

Les moyennes mensuelles des températures (Tab. 4) confirment que le mois de janvier durant la période d'étude 2016/2017 est le mois le plus froid avec une moyenne minimale de 8,1°C. Pour la seconde période (2017/2018) le mois de février demeure le mois le plus froid avec une moyenne minimale de 7,2°C, par la suite les températures augmentent d'une allure régulière jusqu'au mois d'août qui représente le mois le plus chaud avec une moyenne maximale de 32°C pour les deux périodes d'études (Tab. 4).

Tableau 4. Températures en C° en période : 2007- 2017 (Source : ONM Dar el beida –Alger-2018).

| Année | Mois T C° | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A | S |
|---------------|--------------|---------------|-------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| | | 2016- 2017 | T min | 18 | 18 | 11 | 8,1 | 11 | 10 | 11 | 15 | 19 | 21 |
| T max | 28 | | 28 | 18 | 17 | 19 | 21 | 22 | 26 | 29 | 30 | 32 | 30 |
| T © Moy | 32 | | 23 | 15 | 21 | 15 | 15 | 16 | 20 | 24 | 25 | 27 | 24 |
| 2017- 2018 | T min | 15 | 11 | 9,3 | 9,6 | 7,2 | 11 | 12 | 13 | 18 | 21 | 20 | 18 |
| | T max | 26 | 21 | 16 | 18 | 16 | 19 | 21 | 22 | 28 | 32 | 32 | 28 |
| | T © Moy | 21 | 16 | 16 | 14 | 12 | 15 | 16 | 18 | 26 | 27 | 26 | 23 |



➤ Pluviométrie

A la lecture des données pluviométriques de la région d'étude pendant la décennie (2007-2017) représentées dans le tableau ci-dessous, les mois les plus pluvieux sont novembre et décembre. Les mois de janvier, février et mars sont en principe moins pluvieux. Tandis que le mois de juillet et d'août constituant les mois les plus secs.

Tableau 5. Précipitations en mm en période : 2007- 2017(Source : ONM Dar el beida –Alger- 2018).

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Max | 141,9 | 244,3 | 152,4 | 176,8 | 112,4 | 51,6 | 10,3 | 52,3 | 92,6 | 143,2 | 253,4 | 192,4 |
| Min | 9,7 | 15,5 | 26,2 | 0,2 | 6,5 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 8,3 | 14,4 | 21,3 | 0,0 |
| Moy | 70,8 | 85,14 | 69,3 | 52,0 | 45,5 | 10,8 | 1,6 | 13,9 | 28,1 | 65,5 | 118,2 | 100,8 |

➤ Humidité

L'humidité relative est un paramètre climatologique très important qui présente le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau à l'air humide et la pression de saturation à la même température.

Par le processus de l'évapotranspiration, les arbres dégagent de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ce qui influe sur le taux d'humidité local et permet de tempérer les variations extrêmes du climat (Verheij, 2003).

Le facteur hygrométrique favorise l'existence des cochenilles en revanche il n'affecte pas la durée de développement des différents stades et du cycle biologique (Minko, 2009).

Les valeurs moyennes de l'humidité relative et qui s'étalant sur la période de (2007-2017), dépasse 70% deux stations d'étude (Tab. 6), enregistre son maximum le mois de décembre avec une moyenne hygrométrique de 91%.



Tableau 6. Taux d'humidité en période : 2007- 2017 (Source : ONM Dar el beida –Alger- 2018).

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Max | 88,0 | 84,0 | 83,0 | 91,0 | 80,0 | 76,0 | 78,0 | 76,0 | 78,0 | 79,0 | 83,0 | 85,0 |
| Min | 77,0 | 73,0 | 72,0 | 72,0 | 69,0 | 67,0 | 66,0 | 67,0 | 64,0 | 71,0 | 68,0 | 76,0 |
| Moy | 80,6 | 78,0 | 77,0 | 77,2 | 74,9 | 71,3 | 70,3 | 71,0 | 72,8 | 74,8 | 77,4 | 80,9 |

➤ Vent

Selon **Labrie et al (2010)**, la dissémination des insectes, sont influencés par la vitesse du vent et sa direction détermine la distribution et l'aptitude de déplacement des insectes. Ils sont transportés à de longues distances qui peuvent atteindre 150 à 300 km (**Robert, 1982**). Le tableau ci –dessous enregistre les variations de la vitesse mensuelle du vent durant notre période d'étude dans la zone de Rouiba et Heuraoua.

Tableau 7. Variations de l'évolution de la vitesse moyenne mensuelle du vent (période 2007– 2017) (Source : ONM Dar el beida –Alger- 2018).

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Max | 15,4 | 13,3 | 14,9 | 12,2 | 11,9 | 12,2 | 11,8 | 12,0 | 11,5 | 11,1 | 11,2 | 11,0 |
| Min | 7,3 | 9,7 | 8,6 | 8,0 | 8,6 | 7,8 | 8,0 | 9,1 | 9,0 | 8,4 | 7,7 | 7,0 |
| Moy | 10,0 | 11,4 | 11,3 | 10,7 | 10,5 | 10,6 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 9,6 | 9,7 | 8,9 |

➤ Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gaussen

Ce diagramme pluviothermique a été réalisé avec les données climatiques relevées durant de la période 2007-2017 dans la station météorologique de Dar el beida. Selon **Bagnouls et Gaussen (1953)**, on porte sur le même graphe les précipitations mensuelles moyennes et inférieure ou égale au double de la température moyenne mensuelle, en conséquence et d'après la figure ci-dessous on déduit la période sèche qui s'étale du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre.



Pour la détermination du type de climat qui règne ces dernières années dans notre zone d'étude, nous avons eu recours à l'utilisation du quotient pluviothermique d'Emberger. Ce quotient est généralement le plus utilisé dans les régions de l'Afrique du Nord. $Q_2 = 2000 / (M^2 - m^2)$:

P : précipitation moyenne annuelles (mm).

M : Températures moyennes des minimums des mois le plus froid ($^{\circ}\text{K}$).

m : températures moyennes des minimums du mois le plus froid ($^{\circ}\text{K}$) .

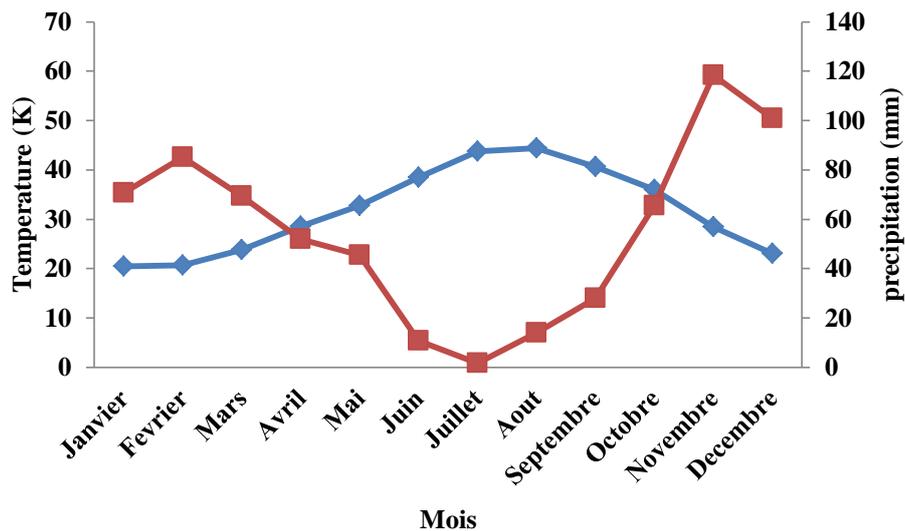


Figure 40. Diagramme pluviothermique de Bagnouls et Gausse durant la période (2007-2017).

➤ Ambiance bioclimatique

Tableau 8. Ambiance bioclimatique de la région d'étude.

| M (K) | m(K) | P (mm) | Q2 | Ambiance bioclimatique | |
|-------|--------|--------|--------|------------------------|----------|
| | | | | Etage | Variance |
| 308,5 | 292,05 | 661,6 | 101,08 | Subhumide | Frais |

Les données motionnées dans le tableau ci-dessus nous ont permis de situer schématiquement notre zone d'étude sur le climatogramme pluviothermique d'Emberger dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver frais.

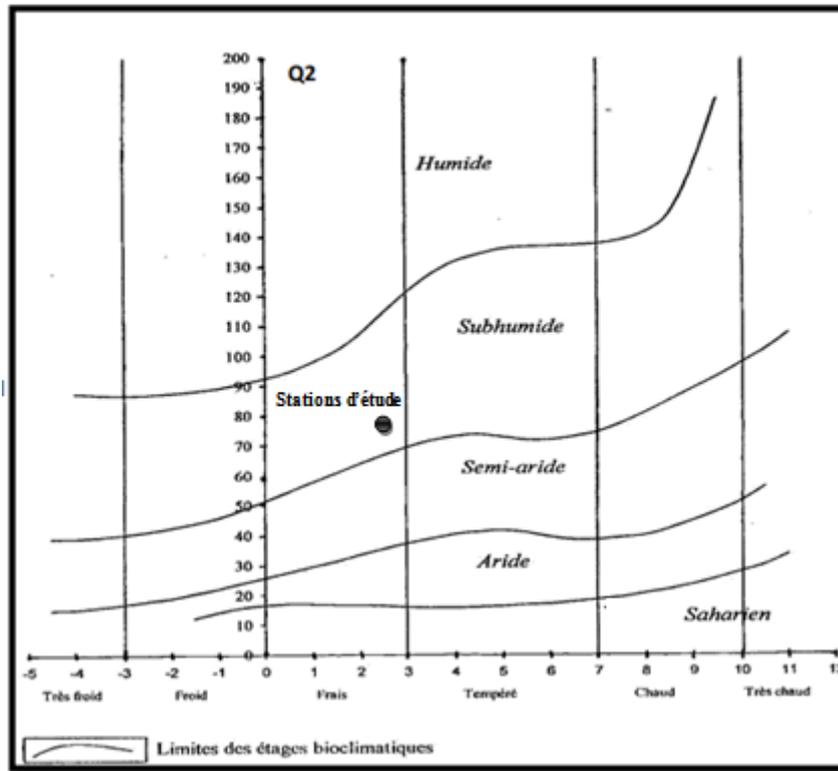


Figure 41. Aire de projection de la station d'étude dans le climagramme d'Emberger.

2.1.2 - Cadre pédologique

2.1.2.1 - Analyse physico-chimique du sol

L'analyse physicochimique du sol a été conduite au niveau du laboratoire de science du sol département pédologie de l'ENSA. Cependant l'objectif général de cette analyse est de contribuer à l'évaluation multicritère du système sol basée sur les paramètres suivants :

Le dosage du calcaire total, le dosage du carbone organique, Le dosage du phosphore, la capacité d'échange cationique, le dosage de l'azote total et la granulométrie (voir annexe les différents modes opératoires).



2.1.2.2 - Evaluation des propriétés physicochimique et granulométriques des sols des deux parcelles d'étude

L'analyse de terre, son interprétation et le conseil de fertilisation qui en découle sont des outils indispensables.

L'interprétation des analyses du sol contribue à la connaissance des propriétés physico-chimiques des sols et ainsi au choix d'itinéraires phytotechniques respectueux de l'environnement.

Tableau 9. Analyse des sols des deux régions d'étude.

| Analyses pédologiques Régions | Heuraoua | Rouiba |
|----------------------------------|----------|--------|
| pH eau | 7,10 | 7,20 |
| C.E (ds/m) | 0,814 | 0,971 |
| Calcaire total (%) | 1,89 | 1.05 |
| Azote (%) | 0,02 | 0,011 |
| M.O (%) | 4.2 | 3.16 |
| Phosphore (ppm) | 101,17 | 81,2 |
| C.E.C (meq/100g) | 23,9 | 19,3 |

➤ Statut acido-basique

Selon l'échelle d'interprétation du pH signalé par **Gagnard *et al.*, (1988)**, l'interprétation relatif aux analyses physicochimiques des deux sols étudiés montre des taux de pH moyennement alcalins (7,1 à Heuraoua et 7,2 à Rouiba). Le maintien d'un bon pH est que la disponibilité optimale des éléments nutritifs en dépend ; il est de même pour l'activité chimique et biologique du sol. Les pH situés entre 6,0 et 7,0 sont les meilleurs compromis (**Carrier, 2003**).



Un sol trop alcalin ou trop acide induit des fortes carences en oligo-éléments. On considère que le potentiel de fertilité n'est pas affecté quand le pH se situe dans une plage entre 6,5 (légèrement acide) à 7,5 (légèrement alcalin) Le pH des sol de Heuraoua et Rouiba peut de ce fait, être riche en éléments nutritifs.

La présente étude a pour but de caractériser et évaluer la qualité physico-chimique des sols agricoles.

➤ **Conductivité électrique**

La salinisation des sols constitue un problème qui menace l'équilibre de l'environnement à différentes échelles, de la cellule végétale jusqu'à l'écosystème (**Dutuit et al, 1994**).

Selon le plan global de salinité au-delà de l'échelle de salure établie par **Aubert and Vogel (1978)**, ces sols ne sont pas salés, la CE est de l'ordre de 0,375 et 0,971 (ds/m) dans le verger de Heuraoua et de Rouiba respectivement. L'effet de la salinité est accentué en climat sec et chaud plutôt qu'en climat frais et humide qui caractérise les deux régions d'étude.

➤ **Statut calcique**

La présence de calcaire dans un sol, dès la surface, provoque une augmentation de la teneur en matière organique totale, marquant qu'une teneur en calcaire inférieur de 3% peut provoquer plusieurs problèmes sur les agrumes. Les plus importants c'est le dessèchement des branches de l'arbre et les racines deviennent plus sensibles. Les sols étudiés présentent de très faible teneur en calcaire (1,05% à Rouiba), cette teneur est légèrement plus importante à Heuraoua (1,89%).

➤ **Statut organique**

La matière organique du sol représente l'indicateur principal de la qualité des sols (**Genot et al, 2012**). en améliorant ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau,...) et chimiques par la libération progressive des éléments nutritifs et l'augmentation de leur pouvoir absorbant en éléments minéraux apportés par les engrais (**Callot et al., 1982**). Donc le statut organique d'un sol illustre l'état de sa fertilité, les résultats représentés dans le



tableau ci-dessus montrent que le taux de la M.O. des sols des deux localités d'étude se situe sous des valeurs optimales, représentées par 2,93 % pour Heuraoua et de 3,16% pour Rouiba.

➤ Capacité d'Echange Cationique du sol (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) est la quantité totale de cations qu'un poids déterminé de sol (habituellement 100 grammes) peut adsorber sur son complexe argilo-humique et échanger avec la solution du sol dans des conditions de pH données (Locatelli, 2013). Plus exactement le CEC représente les charges négatives du sol disponibles pour la fixation des ions et les cations basiques Ce paramètre donne une notion sur la fertilité chimique du sol.

Le sol de Heuraoua présente un CEC élevé (23,9 meq/100g) par contre la dans notre station d'étude la valeur de CEC est estimée à n le sol de Rouiba présente aussi un CEC élevé mais moins important par rapport à celui de Heuraoua (19,3 meq/100g). Ces niveaux élevés de C.E.C est dû à la quantité relativement importante d'argile ce qui lui donne la propriété absorbante pour fixer les cations.

Le phosphore comme les autres éléments majeurs constitue un moyen très efficace pour accroître les rendements des cultures en participant à l'augmentation de la grosseur du grain, amélioration de la rigidité de la paille et rentabilisant au maximum la fumure azotée.

Le phosphore est l'un des nutriments indispensables à la croissance des végétaux. Concentré dans la partie superficielle du sol, le phosphore provient de l'altération des roches (forme minérale) ou de la dégradation des végétaux par la faune et la flore du sol (forme organique). La biodisponibilité du phosphore dépend des caractéristiques des sols et de l'exigence des plantes, autrement dit de la capacité des plantes à extraire plus ou moins facilement le phosphore. Des plantes déficientes en phosphore montrent un retard de croissance (réduction de la croissance des cellules et des feuilles, de la respiration et de la photosynthèse), **Fox et Kamprath (1970)** et **Barber (1995)** ont suggéré qu'une concentration de 0,2 ppm de phosphore était adéquate pour une croissance optimale. Cependant, pour que les plantes absorbent les quantités totales de phosphore nécessaires afin de donner de bons rendements, la concentration en phosphore de la solution du sol en contact avec les racines doit être maintenue pendant tout le cycle de croissance.



➤ Azote

L'azote (N) est un des facteurs les plus limitant en systèmes agriculture représente l'azote (N) est l'élément nutritif le plus important en système agricole, est reste le facteur limitant majeur pour la croissance des cultures et les niveaux des rendements, en effet c'est principalement l'azote qui détermine le développement des racines et le reste de la plante. L'azote en quantité adéquate, participe considérablement dans la stimulation de l'absorption des autres éléments nutritifs du sol (N'dayegamiye, 2007). La teneur de cet élément est insuffisante dans le sol de Rouiba et Heuraoua, elle scille respectivement entre 0,011 et 0,02%, ces sols ne fournissent pas les besoins réels des arbres en azote.

➤ Statut granulométrique

L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules (sable, limon et argile). Cette méthode dépend de la nature du sol et, plus précisément, de la forme géométrique des particules et du pourcentage des matières organiques qu'elles renferment. Selon le triangle de texture (USDA, 1954) qui détermine la classe texturale des sols, les résultats de l'analyse granulométrique des sols sont interprétés dans le tableau suivant :

Tableau 10. Analyse granulométrique du sol de la région d'étude.

| Sols | Argile% | Limon% | Limon grossier | Sable fin | Sable grossier | Texture |
|-----------------|---------|--------|----------------|-----------|----------------|----------|
| Rouiba | 40,15 | 18,10 | 19,9 | 9,5 | 12,55 | Argileux |
| Heuraoua | 42,13 | 20,05 | 18,17 | 9,30 | 10,35 | Argileux |

Le sol de la région de Heuraoua ainsi que la région de Rouiba se caractérisent par une texture argileuse, Les sols caractérisés par cette texture sont généralement fertiles, stockent facilement l'eau et possèdent une bonne capacité d'auto structuration.



3.3 - Cadre morphométrique

3.3.1 - Analyse dimensionnelle

Afin de comprendre la relation entre la taille de l'hôte et le parasitisme, nous avons mesuré la taille de 50 boucliers de jeune femelle et 50 boucliers de femelle adulte de *L. beckii* parasités en provenance de chacune des deux localités (Rouïba et Heuraoua), en utilisant un stéréomicroscope avec un micromètre dans l'oculaire, une étude comparative des mensurations des boucliers des femelles de *L. beckii* et de *A aurantii* parasités est réalisée entre les deux localités (Rouïba et Heuraoua).

Le calcul de la surface du bouclier des deux cochenilles est réalisé, grâce à des formules établies par le Professeur **LEGGAT Réda** enseignant de mathématiques à l'Université d'Abou Beker Belkaid, Tlemcen-Algérie. Cette formule nécessite l'identification de quatre dimensions micrométriques (a, b, c et d), à partir d'une identification triangulaire représentées sur un modèle de bouclier de la femelle de *L. beckii* (fig. 2) sous la formule suivante :

$$\text{Surface du bouclier parasité en (mm}^2\text{)} \approx \left[\left(\frac{ac}{4} + \frac{bc}{4} \right) + \left(d * \sqrt{b^2 + \frac{c^2}{4}} \right) \right]$$

3.3.2- Analyse statistique

Nos données sont soumises à une ANOVA, les moyennes ont été séparées par le test de Tukey à un niveau de signification de 5%. Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Excel Stat 2014.

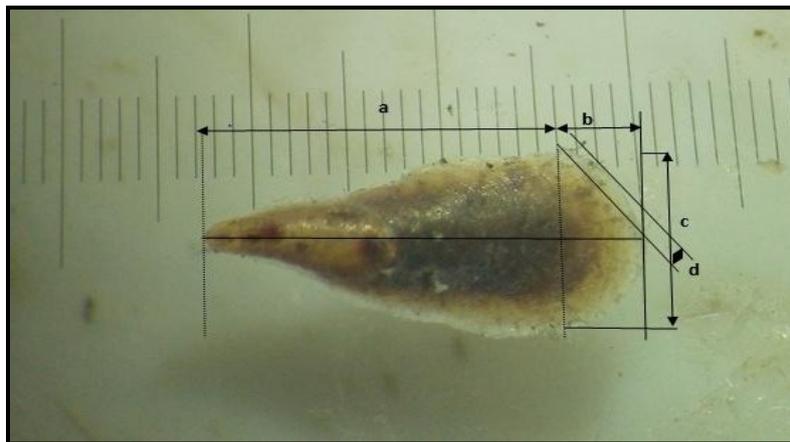


Figure 42. Méthode de mensuration du bouclier de la femelle de *L. beckii* parasitée.



Chapitre III :

Résultats & discussions

Partie 1

Ecologie évolutive



Etude du niveau d'abondance des cochenilles diaspines en fonction de la localité



1- Caractérisation des communautés des cochenilles diaspines inventoriées

Dans cette partie, nous présenterons les résultats obtenus de la dominance et le niveau d'infestation des différentes espèces de cochenilles diaspines rencontrées sur citronnier dans les deux localités, Rouïba et Heuraoua durant les années d'étude.

1.1 - Etude de l'état des cochenilles rencontrées

L'étude comparative globale des populations vivantes toutes espèces confondues, montre que l'abondance est nettement plus importante dans le verger de Heuraoua (**84,22%**) que dans celui de Rouïba (**15,78%**) (Tab. 11). Nous remarquons que les populations mortes ou parasitées sont également les plus élevées à Heuraoua qu'à Rouïba.

Tableau 11. Résultats comparatifs globaux des populations de cochenilles vivantes, mortes et parasitées de toutes espèces confondues dans les deux localités.

| | | V | M | P |
|--------------|--------|------------|------------|------------|
| Rouïba | 53093 | 15,78 | 14,68 | 6,68 |
| | 11126 | | | |
| | 2364 | | | |
| Heuraoua | 283375 | 84,22 | 85,32 | 93,32 |
| | 64652 | | | |
| | 33050 | | | |
| Total | 381077 | 100 | 100 | 100 |

V : vivant ; M : Mort, P : Parasité

Comparativement, entre la localité de Rouïba et Heuraoua, le taux de la population vivante toutes espèces confondues est nettement très important. En effet, on note **79,74%** à Rouïba contre **74,36%** à Heuraoua (Tab. 12). Les taux de la population morte varient entre **16,71 %** à Rouïba à **16,97%** à Heuraoua. Par contre, la population parasitée, est relativement élevée à Heuraoua (**8,67%**) qu'à Rouïba (**3,55%**) (Tab. 12).



Tableau 12. Résultats comparatifs des populations de cochenilles toutes espèces confondues selon les deux localités.

| | Nb | % |
|-----------------|--------|-------|
| Rouiba | 53093 | 79,74 |
| | 11126 | 16,71 |
| | 2364 | 3,55 |
| Total | 66583 | 100 |
| Heuraoua | 283375 | 74,36 |
| | 64652 | 16,97 |
| | 33050 | 8,67 |
| Total | 381077 | 100 |

L'échantillonnage réalisé dans le verger de citronnier au niveau des deux localités fait état de présence de six espèces de cochenilles diaspines à incidence économique non négligeable.

L'étude comparative du taux d'abondance des populations vivantes entre les différentes espèces de cochenilles, présentes dans les deux localités, a montré que *A. aurantii* et *L. beckii* sont les plus abondantes durant toute la période d'étude, avec des taux évalués respectivement de **37,48%** et **35,49 %**. Par contre dans la dans la localité de Heuraoua, nous remarquons que l'abondance de *L.beckii* est plus abondante que toutes les autres cochenilles avec un taux de **46,21 %**. Les abondances relatives des autres espèces varient entre **18,77%** et **7,26 %** dans la localité de Heuraoua (Tab. 13).

Tableau 13. Importance de différentes espèces de cochenilles dans les deux localités.

| | Heuraoua | Rouiba |
|-------------------------|----------|--------|
| <i>A. aurantii</i> | 37,48 | 8,77 |
| <i>L. beckii</i> | 35,49 | 46,21 |
| <i>C. dictyospermii</i> | 19,71 | 7,26 |
| <i>P. ziziphii</i> | 3,19 | 0,04 |
| <i>P. pergandei</i> | 0,9 | 14,5 |
| <i>L. gloverii</i> | 3,22 | 13,22 |



Cependant, pour le reste des espèces, l'étude montre leur présence selon l'ordre de coexistence suivant les conditions biotiques et abiotiques des vergers. Dans la région de Rouïba l'espèce *C. dictyospermi* arrive en troisième position, après les deux espèces dominantes (*A. aurantii* et *L. beckii*), avec un taux de présence de **19,71%**. Alors que dans la localité de Heuraoua, c'est *P. pergandii* qui vient en troisième position avec le taux de présence de **14,50%**. En dernière position, nous retrouvons *P. ziziphii*, avec un taux de présence plus faible de la population de cette cochenille évaluée à **3,19 %** et **0,04 %** respectivement à Rouïba et à Heuraoua. *L. gloverii* reste la cochenille la moins présente aussi bien à Rouiba qu'à Heuraoua (Tab. 14).

Tableau 14. Etat des différentes espèces de cochenilles diaspines inventoriées dans les deux localités durant l'année 2017 et 2018.

| | | <i>A.aurantii</i> | <i>L.beckii</i> | <i>C.dictyospermi</i> | <i>P.ziziphii</i> | <i>p.pergandei</i> | <i>L.gloverii</i> |
|-----------------|---|-------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Rouiba | V | 19901 | 18844 | 10463 | 1696 | 478 | 1711 |
| | % | 83,18 | 72,54 | 82,55 | 71,74 | 53,65 | 54,98 |
| | M | 3735 | 4039 | 2104 | 538 | 133 | 577 |
| | % | 15,61 | 15,55 | 16,60 | 22,76 | 14,93 | 18,54 |
| | P | 145 | 1548 | 54 | 65 | 140 | 412 |
| | % | 0,61 | 5,96 | 0,43 | 2,75 | 15,71 | 13,24 |
| Heuraoua | V | 53182 | 130942 | 20584 | 109 | 41083 | 37475 |
| | % | 83,14 | 65,68 | 80,79 | 64,50 | 86,42 | 84,10 |
| | M | 7871 | 45876 | 4570 | 48 | 1242 | 5045 |
| | % | 12,31 | 23,01 | 17,94 | 28,40 | 2,61 | 11,32 |
| | P | 2910 | 22548 | 325 | 12 | 5214 | 2041 |
| | % | 4,55 | 11,31 | 1,28 | 7,10 | 10,97 | 4,58 |

Conclusion

A la lumière de ces résultats, *L.beckii* et *A. aurantii* restent les espèces de cochenilles les plus dominantes sur le citronnier à Rouïba et à Heuraoua, par ailleurs dans cette dernière région l'importance numérique de *L. beckii* est très signifiante ainsi que l'activité parasitaire sur cette même espèce. Les autres diaspines sont présentes avec des effectifs plus ou moins importants et coexistent ensemble dans le même milieu. Nos résultats corroborent avec ceux



de **Beardsley et Gonzalez (1975)** et récemment par **Beloued (2017)**, rapportent qu'il existe une compétition interspécifique entre les espèces de cochenilles qui colonisent le même hôte. Cette compétition est établie pour réguler l'abondance et la distribution des cochenilles vivantes sur un même hôte et ayant les mêmes exigences.

La coexistence des espèces est l'un des piliers majeurs du maintien de la biodiversité ; la simultanéité des espèces exploitant les mêmes ressources ne serait possible que si la compétition interspécifique est moins forte que la compétition intraspécifique (**Schoener 1976**).

Ce constat a été observé dans notre étude. Cependant si en compare la biodiversité dans chacune des deux localités par rapport aux études précédentes (**Agagna, 2009 et 2016**) ; ont remarqué que les espèces de cochenilles rencontrées dans les localités d'études actuellement se sont enrichies par deux espèces de diaspines ; il s'agit de *Parlatoria pergandei* et *L.gloverii* en plus de *Parlatoria ziziphii*, *A. aurantii*, *L. beckii* et *Chrysomphalus dictyospermi* déjà recensées durant les années d'études précédentes.

De même une comparaison avec le listing dressé par **Aroua et al (2019)**, confirme l'enrichissement de la biodiversité de notre inventaire par les mêmes espèces de cochenilles diaspine recensées dans les vergers d'agrumes ciblés par les expérimentations fréquentes au niveau de la Mitidja Est et Ouest. Un inventaire intégral récent effectué par **Biche et al (2022)**, démontre l'enrichissement de la tribu des Diaspididae en Algérie actuellement par plus de 38 genre appartenant à 18 genres.

Ces travaux d'inventaire réguliers, au niveau des mêmes zones agrumicoles des cochenilles proclament l'impact des changements climatiques sur la biodiversité et le zoogéographisme des cochenilles au cours du temps.



Évolution temporelle de la population de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités d'étude



1 - Ecologie de *L. beckii* dans les deux localités

Afin de comprendre la répartition temporelle de *L. beckii*, il est nécessaire de rassembler le maximum d'informations liées aux facteurs de développement de cette cochenille ; qui seront détaillés dans les parties relatives à la variation temporelle, climatiques et d'autres paramètres se rapportant à la répartition cardinale et spatiale. Ces informations nous permettent d'apprécier la fluctuation de ces cochenilles diaspines dans leur biotope sont répertoriés dans la première partie. Il est à noter qu'aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué dans ce verger d'étude.

1.1 – Cas de Heuraoua

L'examen de la figure 43, montre une activité intense de *L. beckii* durant toute la période d'étude. L'évolution temporelle globale de cette cochenille, fait ressortir l'alternance de périodes faible, moyenne et forte activité qui laisse apparaître des sommets annuels plus en moins importants.

En effet, durant la période 2016/2017, l'évolution de *L. beckii* affiche trois sommets de forte activité. Le premier est enregistré au cours du mois de décembre avec un effectif de **2260** individus vivants. Le deuxième sommet est enregistré au cours du mois de mai 2017 avec un effectif de **4589** individus. Par la suite, on assiste à une régression de l'activité de la population atteignant son plus bas niveau au cours du mois de juillet (le 04/07/2017) avec un total de **116** individus uniquement. Le troisième et dernier pic d'activité est enregistré durant le mois d'aout avec un total de **1472** individus.

Pour la période suivante (2017/2018), l'allure de l'évolution de *L. beckii* est presque identique à celle de la période précédente (2016/2017) avec un pic d'activité supplémentaire avec **622** individus au mois de décembre (le 03/12/2017). Cette activité est suivie par une augmentation remarquable de la population de cette cochenille atteignant un total de **1174** individus durant le mois d'octobre 2017. Plus tard, on remarque un accroissement de ce nombre, représentant le premier pic d'activité, estimé à **2791** individus noté au cours du mois de mai représentant le deuxième sommet. Un troisième sommet est enregistré par la suite durant le mois d'Aout 2018 avec **1472** individus, suivi par une dernière régression au mois



d'octobre 2018 avec **1070** individus montrant un sommet de moindre importance comparé à toute cette période d'étude.

L'examen global des fluctuations des populations de diaspine fait ressortir donc trois phases d'activité importantes sur le Citronnier dans la localité de Heuraoua durant la 1^{ère} période et quatre sommets importants durant la 2^{ème} période d'étude.

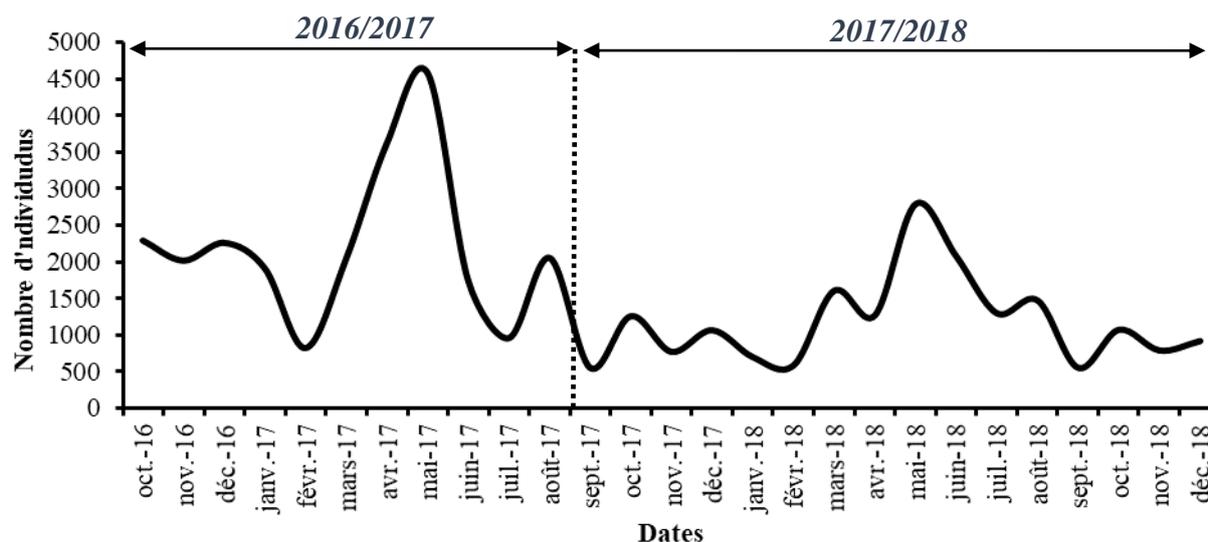


Figure 43. Fluctuation de la population globale de *L. beckii* sur citronnier à Heuraoua durant la période d'étude 2016/2018.

1.2 – Cas de Rouiba

Les données du graphique ci-dessous représentent l'évolution temporelle de *L. beckii* au cours des années d'étude (2016/2018) à Rouiba.

L'évolution temporelle globale de cette cochenille montre l'alternance des périodes de faible, moyenne et forte activité qui fait apparaître des sommets annuels plus en moins importants. En effet, durant la période 2016/2017, l'évolution de *L. beckii* est marquée par la présence de trois sommets d'activité.

Le premier sommet est enregistré durant le mois de mars 2017 avec **678** individus, le deuxième est noté au mois de mai avec un total de **926** individus et le dernier pic est repéré au mois de septembre avec un total de **651** individus.



Concernant la deuxième période, les trois sommets sont enregistrés successivement chaque trois mois comme suit : un premier pic d'activité remarqué au mois de janvier 2018 avec un total de **773** individus ; le deuxième pic est positionné au mois de mai 2018 avec un nombre de population important évalué à **822** individus. Puis une régression du nombre de la population marquant le troisième pic d'activité au mois de septembre avec un total de **321** individus.

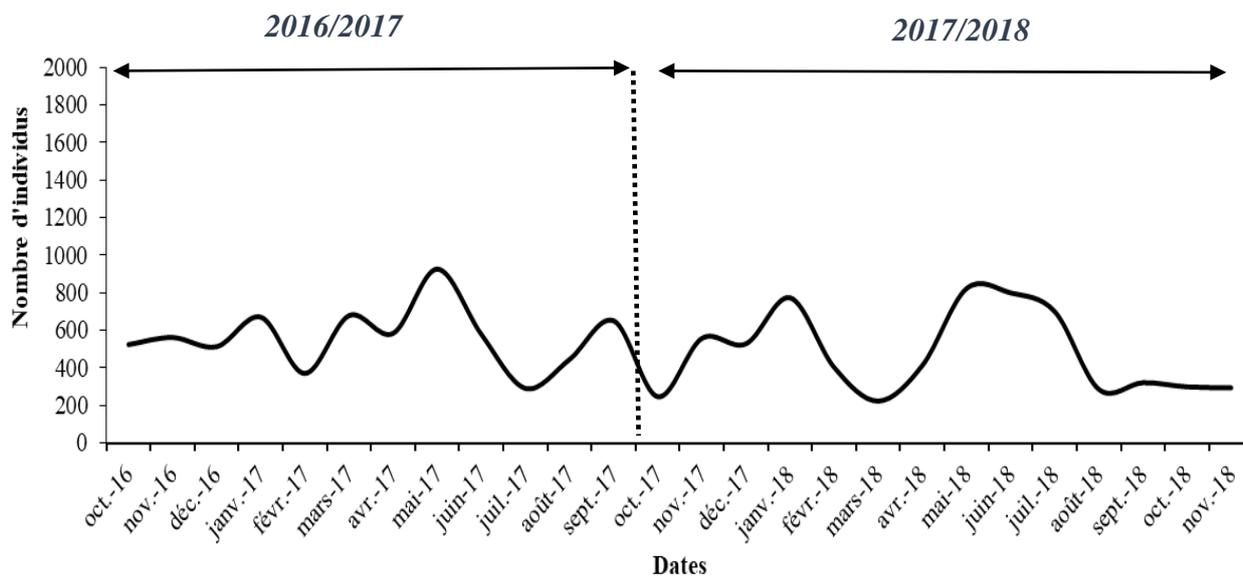


Figure 44. Fluctuation de la population globale de *L. beckii* sur citronnier à Rouiba durant la période d'étude 2016/2018.

Conclusion

La périodicité des infestations par la cochenille virgule, durant toute la période d'étude, se résume entre trois à quatre périodes d'activité : automnale, printanière et parfois jusqu'aux deux activités intenses en période estivale. Les effectifs les plus élevés de la population sont enregistrés au cours de périodes printanière et estivale ; alors qu'en hiver la cochenille hiverne sous ses formes de développement de sa génération avec une légère dominance des stades âgés.

Sous l'influence des conditions climatiques favorables, la première génération apparaît en printemps; par ailleurs en début d'été l'évolution de cette diaspine est accélérée par les températures élevées, de ce fait cela permet à *L.beckii* de développer une deuxième et troisième générations estivales durant la deuxième période d'étude (2017/2018) à Heuraoua,



c'est la période de forte activité qui précède l'automne qui marque la persistance des températures moyennement importantes permet l'apparition d'une dernière génération. Par la suite, sous le froid hivernal, cette cochenille passe par un ralentissement notable dans l'évolution des jeunes stades et des femelles.

2 - Fluctuation des stades de développement de *L. beckii* dans les deux localités

2.1 - Fluctuation des larves du premier stade

Les larves du premier stade sont représentées par les larves néonates et des larves fixées. L'étude de la fluctuation des larves de *L. beckii*, nous a permis de montrer l'existence de trois générations qui pullulent sur le citronnier dans la région de Heuraoua Rouiba (Fig.45)

Cependant durant la période de juin-juillet à septembre, on enregistre une dernière pullulation très importante.

Dans la région de Heuraoua durant la période 2016/2017 ; le premier sommet est enregistré durant le mois de février 2017 avec un taux de **38,45%**. Celui-ci provient probablement des femelles adultes hivernantes. Le second sommet est enregistré au cours du mois de d'aout 2017 avec **34,85%** individus. A partir de cette proportion, on assiste à un décroissement de la population larvaire pour atteindre son plus bas niveau au mois septembre 2017 avec **4,98%**. Le développement larvaire de cette première période se finalise par un sommet de **31,16%** marqué le mois d'octobre 2017.

Durant la deuxième période de l'étude 2017/2018, les larves vont maintenir à une allure identique à la période précédente mais de moindre importance. Toutefois, nous remarquons trois sommets, le premier au mois de février 2018 correspondant à la saison printanière avec **24,60%**, le second enregistré vers la fin de la saison estivale de **36,34%** au mois d'aout 2018 avec un taux de **42,24%** et le dernier au milieu de la saison automnale au mois d'octobre 2018 avec **27,29%**.



Quant à l'évolution de cette cochenille dans la région de Rouiba, le stade larvaire affiche des effectifs relativement faibles par rapport à ceux décomptés tout au long des deux périodes d'étude. Au cours de la première période (2016/2017), les proportions des larves prend des valeurs moins importantes. Pendant le dernier mois de la saison automnale le taux de la population larvaire atteint pour un premier sommet de cette période un taux de **19,35%** le mois de décembre **2016**. Leur effectif augmente et atteint **26,85%** le mois d'avril 2017. Un dernier sommet est noté au mois de septembre 2017 avec **30,09%** (Fig. 45).

Durant la deuxième période d'étude (2017/2018), les larves ont atteint le nombre de **10,94%** au mois de décembre correspondant au premier sommet. Le nombre de ces larves décroît et presque s'annule au mois de février 2018. Plus tard, un second sommet est situé vers la le mois de juillet 2018 avec **29,87%** individus et le dernier sommet est remarqué le mois de septembre 2018 avec un taux de **31,08%**.

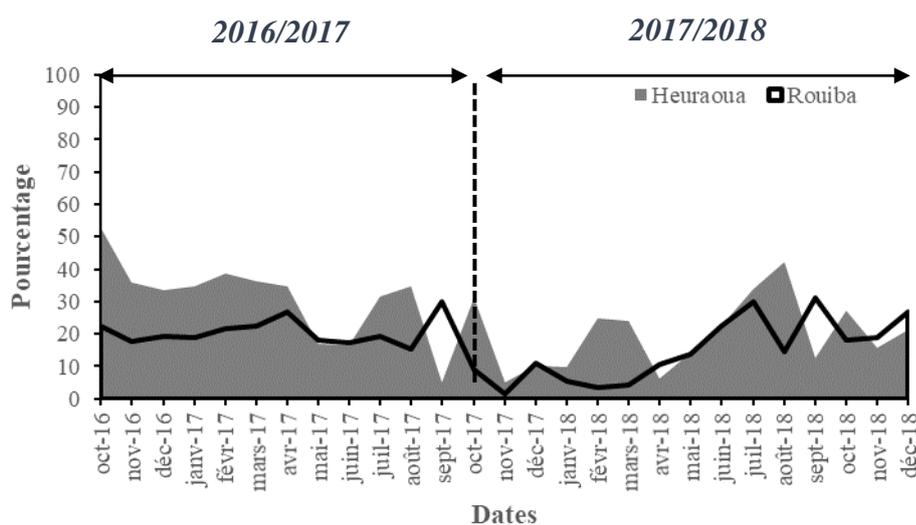


Figure 45. Fluctuation des larves du premier stade de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018.



2.2 - Fluctuation des larves du deuxième stade

D'après les résultats obtenus l'évolution temporelle des larves du 2^{ème} stade coïncide avec l'allure des fluctuations des larves néonates.

En effet, dans la localité de Heuraoua, ces larves enregistrent trois sommets de populations durant la période 2016/2017. Le premier accumule un taux de **14,69%** enregistrés au cours du mois de janvier 2017, le second vers le mois de mai 2017 avec un taux de **16,52%**. Le troisième et dernier sommet noté le mois de septembre 2017, mais de moindre importance en proportionnelle, avec **18,90%**.

L'examen des résultats de la deuxième période (2017/2018), nous ont permis de retrouver presque la même évolution de ces larves.

En effet, on enregistre un premier sommet au mois de mars 2018 avec un taux de **16,45%**, un deuxième sommet est consigné au mois de mai 2018 avec un taux de **16,01%**. Un troisième sommet est remarqué au mois de septembre 2018 avec un taux de **20,70%** (Fig.46).

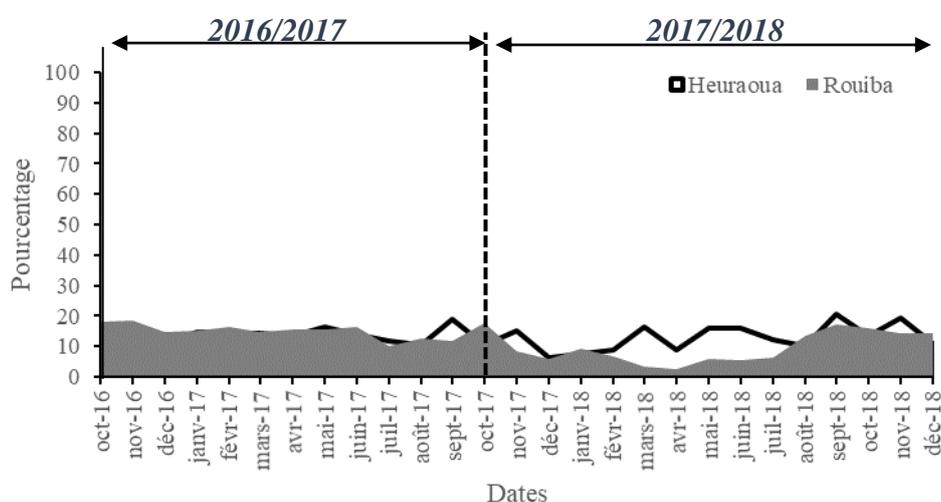


Figure 46. Fluctuation des larves du deuxième stade de *L.beckii* sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018.



Dans la localité de Rouiba, les résultats de l'évolution temporelle des larves du deuxième stade suivent la même allure que celle des fluctuations des larves néonates (Fig.46). Il s'avère la présence de trois 03 sommets des populations durant la période 2016/2017. Le premier est enregistré au mois de mars 2017 avec un taux de **14,54%** correspondant à la génération printanière ; le second durant le mois de mai 2017 avec un taux de **15,48%** correspondant à la génération estivale et le troisième situé au mois de septembre 2017 avec un taux de **17,80%** correspond à la génération automnale.

La population larvaire décroît de manière considérable jusqu'au mois de janvier 2018 où les proportions de cette population augmentent progressivement pour atteindre un premier pic durant la deuxième période d'étude correspondant à 2017/2018 avec un taux de **9,06%** (Fig. 46). Un second pic est remarqué au mois d'avril 2018 avec un taux très faible de **5,82%**. Un dernier sommet pour cette période est observé au mois de septembre 2018 avec le taux le plus élevé durant toute cette période de **17,28%**.

2.3 - Fluctuation des stades nymphaux

Les résultats reportés dans le graphe de la figure ci-dessous, montrent que les nymphes et les pronymphes sont présentes durant toute la période d'échantillonnages. Toutefois, on enregistre dans la région de Heuraoua durant la première période des sommets de populations plus faibles comparativement aux autres stades.

Le premier pic est enregistré au mois de décembre 2016 avec un taux de **14,85%** provenant des larves du deuxième stade larvaire mâle de la saison précédente. Le deuxième pic est enregistré au mois de avril 2017 avec un taux de **11%** suite à la mue des larves du deuxième stade mâle de la saison printanière et un dernier pic enregistré pour cette période, au mois de septembre 2017 avec un taux de **9,53%**.

Pour la période 2017/2018 l'effectif des nymphes décroît et affiche un pic de **16,64%** le **mois de novembre 2017**, cette diminution du nombre de nymphes fait suite à la sensibilité des nymphes et pronymphes aux basses températures enregistré pendant la période hivernale précédente. Par la suite, le nombre de la population nymphale augmente de nombre vers le



mois de mai 2018 ; puis on note un deuxième sommet de **12,25%**. Au mois de octobre 2018, on enregistre le pic le plus important durant toute notre d'étude avec un taux de **11,90%**.

Au niveau de la localité de Rouiba, l'évolution des stades de cette cochenille, montre un nombre de la population nymphale, comme le reste des autres stades, inférieur par rapport au nombre enregistré à Heuraoua (Fig. 47). Cependant il est à constater que l'influence des facteurs macro-climatiques des deux localités (Rouiba et Heuraoua) offre exceptionnellement pour ce stade nymphal un développement presque identique aux deux localités.

De ce fait, la première période se caractérise dans cette localité par trois pics nymphaux enregistrés comme suit : Un premier pic relevé au mois de mars 2017 avec **10,30%**. Le deuxième sommet de nombre important est remarqué au mois de mai 2017 avec **13,09%**. Le dernier sommet est situé vers le mois d'octobre 2017 avec **17,05%**.

La deuxième période on en enregistre des pics très faibles par rapport à la période précédente enregistré comme suit un premier pic évalué avec **7,48%** au mois de janvier 2018. Un deuxième pic atteignant un taux de **8,65%** nymphes au mois de juin 2018. Le troisième et dernier pic totalisant la somme de **11,68%** au mois d'octobre 2018.

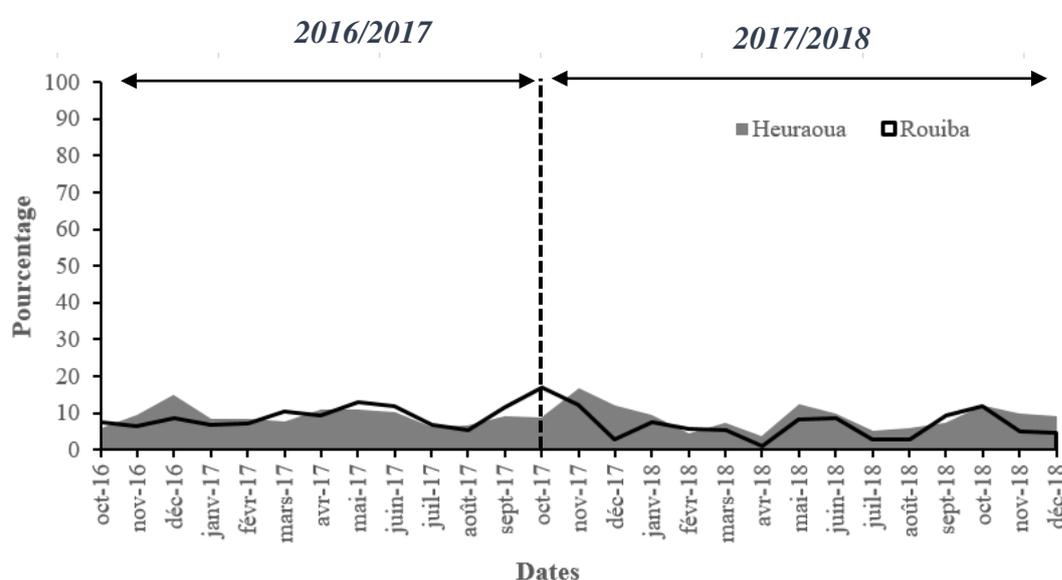


Figure 47. Fluctuation des stades nymphaux de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018.



2.4 - Fluctuation des femelles

Cette catégorie de population représentant le stade clé et l'origine de chaque nouvelle génération.

Au niveau du verger de Heuraoua, durant la première période (2016/2017) les jeunes femelles et les femelles adultes sont représentées en deux pics, le premier est enregistré vers le mois de janvier 2016 avec **15,56%** femelles issues des larves de la saison automnale. Le deuxième est repéré vers le mois de juin 2017 avec un taux de **27,91%**. Le dernier le mois de septembre 2017 avec un taux de **35,20%**. Durant la deuxième période (2017/2018), un premier sommet débute avec un taux très élevé estimé à **53,88%** vers le mois de janvier 2018 coïncidant avec la saison hivernale. Le deuxième est enregistré au mois de juin 2018 avec un taux de **27,31%** ; ainsi qu'un dernier sommet dénombrant à peine **27,31%** femelles au mois de septembre 2018.

Pour la localité de Rouiba, la fluctuation globale des femelles suit la même allure de développement des femelles que dans la région de Heuraoua mais avec un effectif moins important.

Ainsi, on signale durant la première période 2016/2017, trois pics de développement enregistré au mois de décembre 2016 avec un taux de **30,37%** ; un deuxième pic est noté au mois d'avril 2017 avec un taux de **17%** elles. Enfin, un dernier pic est remarqué pour cette première période avec **45,31%** femelles enregistré vers le mois de juillet 2017.

Alors qu'à la deuxième période, on remarque la présence aussi de trois sommets à partir de la période hivernale. Le pic débute au mois de décembre 2017 avec un total de **60,83%** suivi d'un deuxième pic avec un taux de **47,55%** repéré vers le mois de mars 2018. Et enfin un dernier pic est repéré au mois d'Aout 2018 avec un cumul de **43,65%** (Fig.48).

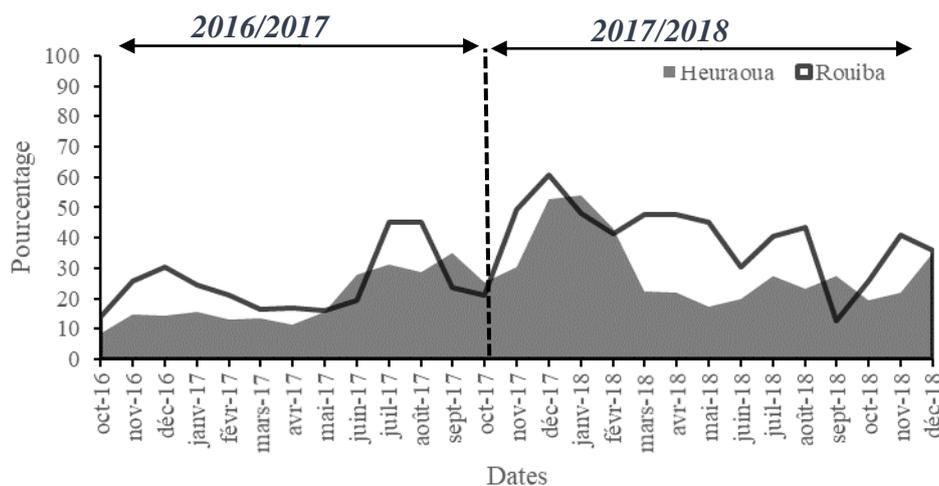


Figure 48. Fluctuation des femelles de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018.

2.5 - Fluctuation des mâles

La proportion des mâles adultes au sein des populations de cette cochenille demeure assez faible par rapport aux autres stades biologiques de développement particulièrement au niveau de la localité de Rouiba. Il est à signaler que d'une part ils sont rarement trouvés sous les pupariums. D'autre part, ils ne sont pas dotés d'appareil buccal, à leur émergence du stade nymphale ils cherchent des femelles pour s'accoupler et ils ne vivent qu'un jour à trois jours.

Par contre, la fluctuation des mâles à Heuraoua marque une importance numérique des individus mâles enregistrée durant la première et la deuxième période de notre étude. Cependant, on a enregistré un taux de **13,01%** au mois de mai de l'année 2017 (1^{ère} période) contre **13,18%** pour le mois de mai de l'année suivante 2018 (2^{ème} période).

La fluctuation des mâles à Rouiba fait ressortir un nombre de population mâle inférieure à celle enregistrée à Heuraoua. Ainsi, le 1^{er} pic est noté au mois de janvier 2017 avec un taux de **12,53%** ; juste après, un autre pic est enregistré au mois de mars 2017 représenté par un taux de **11,69%**. Un dernier pic repéré pour cette période est enregistré le mois de mai 2017 avec un taux de **8,91%**. Concernant, la 2^{ème} période, le premier pic est enregistré au mois de mars 2018 avec un taux de **90,98%**, suivi par un deuxième pic enregistré au mois de juin 2018 avec un taux de **18,76%** (Fig. 49).

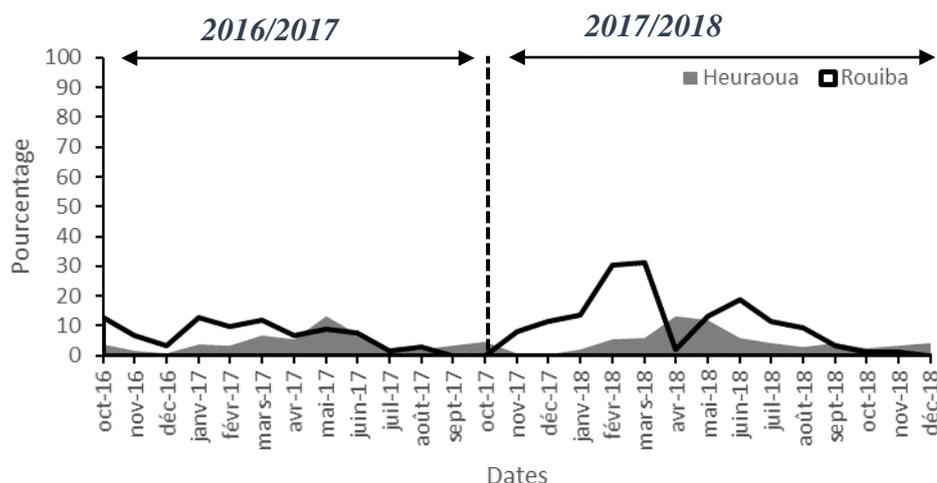


Figure 49. Fluctuation des mâles de *L. beckii* sur citronnier dans les localités (Heuraoua et Rouiba) durant la période d'étude 2016/2018.

2.6 - Vols des mâles

La représentation graphique du vol des mâles coïncide plus au moins avec l'allure des fluctuations des femelles. Trois pics sont enregistrés pour chaque période d'étude (Fig.50).

A Heuraoua, durant la première période d'étude (2016/2017), le premier pic est enregistré vers le mois d'octobre avec un total de **183** pupariums vides, le second est noté vers le mois d'août avec un total de **287** pupariums vides. Le dernier pic est enregistré au mois d'août 2017 avec un effectif, plus important, évalué à **1397** pupariums vides. En effet ils représentent les mâles de la saison estivale (Fig.50).

En ce qui concerne la deuxième période d'étude (2017/2018), trois pics de développement sont notés. Le premier est relevé au mois de mars 2018 avec **206** pupariums vides. Le second est repéré au mois d'août avec **943** pupariums vides ainsi qu'un dernier pic de développement est situé au mois d'octobre 2018 avec un nombre de **298** pupariums vides.

Dans la deuxième localité de Rouiba, d'après le graphique de la figure n°50, on remarque l'existence de deux pics durant la première période d'étude (2016/2017), le premier est repéré vers le mois de décembre 2016 avec **86** pupariums vides, le second situé vers le mois de mai 2017 avec **40** pupariums vides.



Pour la deuxième période 2017/2018, comparativement à la première période (2016/2017) il existe trois pics de développement et le cycle se termine par un pic supplémentaire.

On note un premier pic vers le mois d'août 2017 avec un total de **115** pupariums vides. Le deuxième pic est localisé au mois de janvier 2018 avec un cumul de **160** pupariums vide. Le dernier pic est repéré au mois de juin de la même année avec un total de **106** pupariums vides.

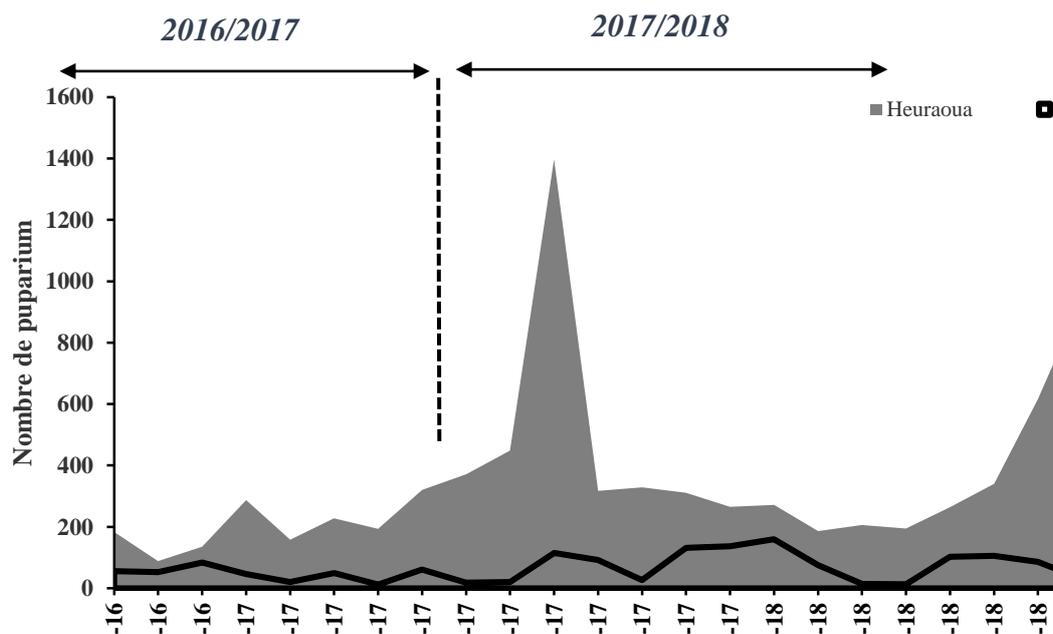


Figure 50. Nombre de pupariums vides des mâles de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités (Rouiba et Heuraoua) durant la période d'étude 2016/2018.

Conclusion

A travers les résultats obtenus dans les deux sites d'études (Heuraoua et Rouiba), on peut déduire que *L. beckii* est présente tout au long de la période d'étude où la population de la cochenille est représentée par ces différents stades biologiques : larves, nymphes et adultes. Corrélativement a un nombre de génération élevé de cette cochenille : on distingue 3 à 4 générations dans la localité de Heuraoua avec une génération plus marqué par rapport à la localité de Rouiba (3 générations).

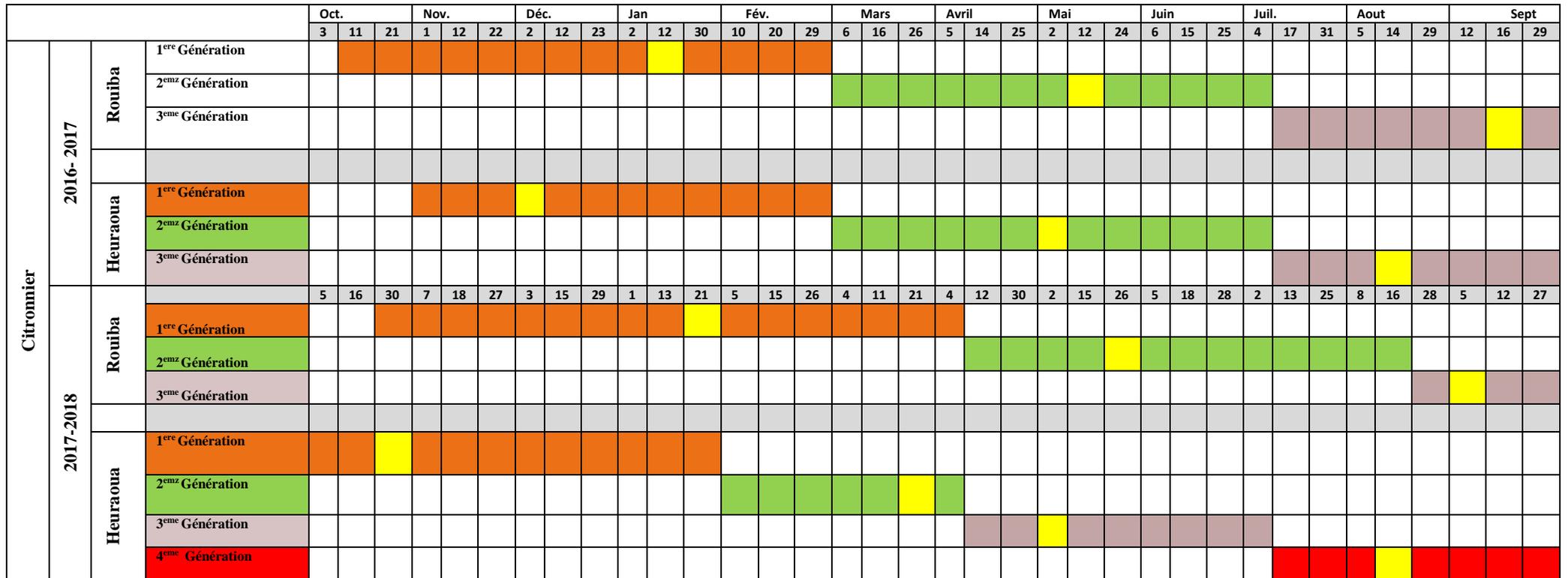


Les générations estivales, montrent des densités de population plus élevés durant toute la période d'étude dans les deux localités.

Le nombre de génération et l'intensité de la population de cette cochenille dépendent de l'effet simultané de l'interaction entre les conditions climatiques et microclimatiques, la phénologie de la plante hôte et les conditions environnementales des deux régions d'études. L'étude de l'évolution temporelle de cette diaspine en précisant les périodes de fortes et faibles pullulations, permettra d'établir un plan de lutte convenable.



Figure 51. Décalage temporel de la population globale de *L. beckii* sur le citronnier à Rouïba et à Heuraoua durant la période 2016-2018.





Détermination du nombre de génération de *L. beckii* par l'utilisation de la méthode des degré-jours



Il est reconnu depuis longtemps que la température constitue le facteur le plus déterminant du développement des stades immatures et de la maturation des adultes chez la plupart des insectes. Toutefois un certain nombre de Degrés-Jours de Croissance (**DJC**) doit s'accumuler pour que l'insecte passe d'un stade de croissance à l'autre.

Cette méthode permet de mieux comprendre et prévoir l'évolution théorique de l'insecte entre autre les cochenilles et discerner la corrélation avec leur évolution sur le terrain par utilisation de modèles mathématiques approprié.

Peu d'études ont été réalisées pour déterminer les relations température-taux de développement chez les cochenilles en Algérie, citant seulement **Guedada (2016)** et **Boudjemaa (2021)** qui ont étudié cet aspect pour le Pou Rouge de Californie et **Boukhobza (2021)** sur *L.beckii* dans la région de Rouiba et Sidi Moussa.

1 - Modèle linéaire

La méthode la plus communément utilisée pour prévoir le taux de développement de différents stades est le modèle des sommes de températures. Cette approche est basée sur l'hypothèse qu'au-dessus d'une certaine température-seuil de développement, la relation entre la température et le taux de développement est linéaire. Ainsi un nombre constant d'unités de température (généralement exprimé en degrés-jours) au-dessus de ce seuil est nécessaire pour compléter le développement (**Wagner et al 1984 ; Fletcher, 1989**).

Certains paramètres physiologiques sont utilisés pour caractériser le développement d'un insecte en fonction de la température : la température de base (T Base), en dessous de laquelle aucun développement ne se produit, et la constante thermique, qui s'exprime en degré-jours effectif (**DJE**), et qui définit le temps physiologique nécessaire pour le développement d'un organisme ectotherme (**Trudgill et al., 2005**).

Esmaeili (2022) estime le seuil de température pour le développement de la cochenille virgule est de 8°C. Le même auteur estime que pour produire une génération, le nombre de degré jour nécessaires est 1104. Ce chiffre est calculé à partir de l'équation de régression, en utilisant la relation $y = KI (x-t)$ ou t est la température en-dessous de laquelle le



développement est nul) est alors déterminée par extrapolation, la constante K (le nombre de degrés-jours au-dessus de la température-seuil requis pour compléter le développement **(Fletcher, 1989)**).

Quand le modèle des sommes de températures est utilisé pour calculer les temps de développement dans le cas de températures journalières fluctuantes, le nombre de degrés jours par jour peut être déterminé par la formule $((T_{\max} + T_{\min})/ 2) - t$; si la température minimale (T_{\min}) reste au-dessus de la température-seuil de développement. Dans notre cas, un relevé de température des températures mensuelles appropriées entre T_{\max} et T_{\min} sera nécessaire pour calculer les temps de développement en utilisant la température moyenne qui est la résultante de la moyenne de T_{\max} et T_{\min} .

Le modèle des sommes de températures a prouvé qu'il était suffisamment précis pour prévoir les temps de développement au champ, particulièrement quand les températures restent dans une gamme favorable au développement **(Fletcher, 1989)**. Cependant, des problèmes peuvent se poser dans la prévision des taux de développement pour les périodes de l'année où la température moyenne se situe autour de la température-seuil de développement ou lorsqu'elle passe au-dessus du niveau optimal de développement. En effet, la relation température-taux de développement dévie le plus de la linéarité aux abords des températures extrêmes. De plus, bien que la gamme de températures constantes dans laquelle le développement peut se réaliser soit limitée par les seuils létaux inférieurs et supérieurs.

2 – Détermination du nombre de génération

Le tableau suivant représente les détails de calculs pour le cumul de degrés-jours (en base 8°C) nécessaire de compter le nombre de génération annuelle suivant la formule ci-après en fonction de la gamme thermique de chaque période :



Tableau 15. Nombre degré jour effectif (DJE) dans la région d'étude pour la période 2016/2018.

| | 2016/2018 | |
|-----------------------|---------------|----------------|
| | DJE | DJE*N |
| Octobre 2016 | 15,38 | 476,78 |
| Novembre 2016 | 15,05 | 451,5 |
| Décembre 2016 | 6,54 | 202,74 |
| Janvier 2017 | 4,31 | 133,56 |
| Février 2017 | 6,725 | 188,3 |
| Mars 2017 | 7,36 | 228,24 |
| Avril 2017 | 8,37 | 251,1 |
| Mai 2017 | 12,17. | 377,42 |
| Juin 2017 | 15,81 | 474,37 |
| Juillet 2017 | 17,35 | 537,85 |
| Aout 2017 | 18,85 | 584,35 |
| Septembre 2017 | 15,95 | 478,5 |
| Somme | 131,69 | 4384,71 |
| Octobre 2017 | 12,67 | 392,77 |
| Novembre 2017 | 8,23 | 246,9 |
| Décembre 2017 | 4,75 | 147,25 |
| Janvier 2018 | 5,79 | 179,49 |
| Février 2018 | 3,62 | 101,5 |
| Mars 2018 | 6,95 | 215,45 |
| Avril 2018 | 8,14 | 244,2 |
| Mai 2018 | 9,59 | 297,21 |
| Juin 2018 | 15,36 | 460,87 |
| Juillet 2018 | 18,85 | 584,35 |
| Aout 2018 | 17,8 | 551,8 |
| Septembre 2018 | 15,05 | 451,5 |
| Somme | 126,8 | 3873,29 |

N : Nombre de jour.

$$\text{Nombre théorique de génération} = \sum (\text{DJE} * \text{N}) / 1104$$

Que ce soit pour la première ou la deuxième période d'étude (2016/2017) le calcul de degré jour permet d'obtenir un nombre de génération avoisine 4 générations/an (de trois jusqu'à quatre) calculé comme suit :

Pour la première période : $\sum (\text{DJE} * \text{N}) / 1104 = 4384,71 / 1104 = 3,97 \approx 4$.

Pour la deuxième période : $\sum (\text{DJE} * \text{N}) / 1104 = 3873,30 / 1104 = 3,51 \approx 4$.



A l'optique des résultats, nous constatons que le nombre de générations de *L. beckii* durant les deux périodes d'étude et dans les deux localités Rouiba et Heuraoua qui dépend des mêmes conditions climatiques avoisine 4 générations par an.

Pour la première période (2016/2017) le cumul de degré jour atteint **4384,71** DJE ce qui correspond au développement de **3** jusqu'à **4** générations / an pareil pour la deuxième période (2017/2018) ou le cumul de degré jour est de **3873,30** DJE ce qui correspond plus au développement de 4 générations. Le même résultat est rapporté par **Esmaeili (2022)**, où il note 3 générations annuelles dans son calcul du nombre de génération par cette formule.

L'alternance de la périodicité de faibles et fortes périodes d'activité de cette diaspine est nettement liée au changement thermique saisonnier. Le tableau n° marque une forte activité en période estivale noté par un DJE le plus important au mois d'Aout 2017 et 2018 avec respectivement **18,85** et **17,8C°** relatifs au pics d'activités de la saison estivale aperçu précédemment sur la dynamique de population de la cochenille virgule. Par ailleurs le DJE le moins important a été relevé le mois de janvier que ce soit pour la première période d'étude ou bien la deuxième période d'étude avec respectivement **4,31** et **5,79°C** valeurs correspondants au ralentissement de l'activités de cette diaspine en périodes hivernales.

Conclusion

Cette partie nous a fourni des informations sur l'influence de la température sur la biologie de développement de *L. beckii*. Ces informations apportent une meilleure et de nouvelles connaissances sur cette espèce tout en confortant plus ou moins le peu de données disponibles sur elle. Le développement de cette cochenille est intimement lié à phénologie de la plante hôte (citronnier quatre saisons) témoigné par le synchronisme entre le nombre de génération et les 4 poussées de sève annuelles.

De ce fait la connaissance de l'influence de la température sur le cycle de développement peut permettre de comprendre et d'expliquer la répartition spatio-temporelle de cette diaspine. Enfin ces données servent comme références permettant de suivre et lutter efficacement cette diaspine.

Cependant, il conviendra de compléter cette première approche par l'évaluation d'autres paramètres tels que l'influence de facteurs thermiques sur le potentiel de la fécondité et le parasitisme. Il conviendrait aussi d'investiguer d'autres facteurs susceptibles d'agir sur le développement de la cochenille virgule comme l'humidité.



Abondance relative de la population de *L. beckii* selon la répartition spatiale et cardinale



Abondance relative de la population de *L. beckii* selon la répartition spatiale et cardinale



Etude de la mortalité naturelle de *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités (Heuraoua et Rouiba)



La mortalité naturelle chez les cochenilles est due à trois facteurs essentiels : les facteurs climatiques, la compétition et le parasitisme. Bien que les fortes températures estivales sont le facteur le plus important en dehors de toute autres influences. De ce fait, nous avons mené cette étude sur la mortalité naturelle de la cochenille virgule (*L. beckii*) suivant les variations thermales de ces deux localités.

1 - Mortalité globale chez les différents stades de *L. beckii*

Pour avoir une idée générale sur mortalité globale chez les différents stades à Rouiba ainsi qu'à Heuraoua, nous avons tracés les graphes de la figure 55 et 56.

1.1 - Mortalité globale chez les différents stades de *L. beckii* à Rouiba

La représentation globale de la mortalité des différents stades de *L. beckii* au cours de la période d'étude 2016/2018 est montrée au niveau de la figure 55.

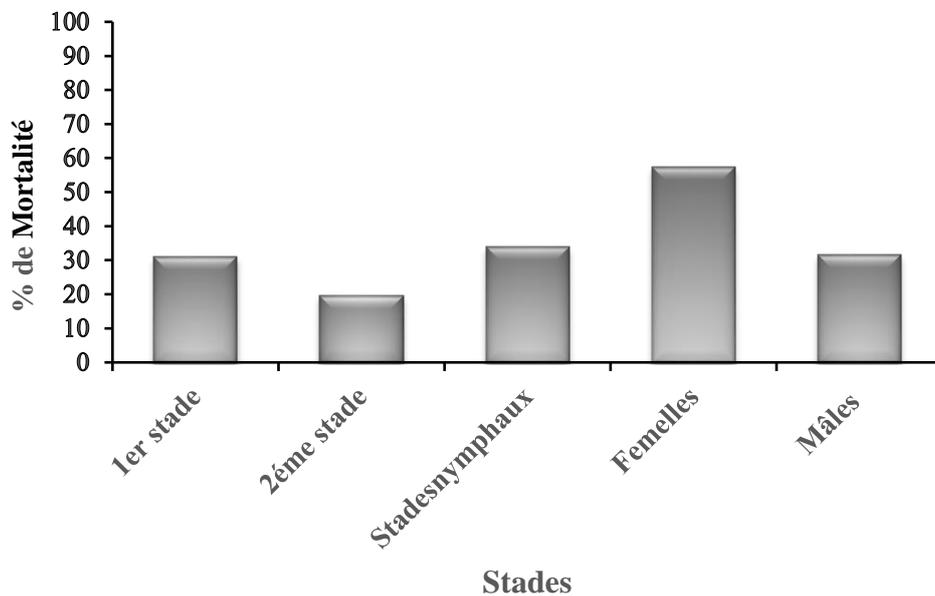


Figure 55. Mortalité globale des différents stades de *L. beckii* durant la période d'étude 2016/2018 à Rouiba.



D'après Les colonnes de la figure 55, nous remarquons que *L. beckii* morte est majoritaire chez les femelles avec un taux de **57,32%**, suivi du stade nymphal avec un taux de **33,94%**. Par ailleurs, on constate que la mortalité annuelle du 2^{ème} stade reste la plus faible (**19,54%**). Par contre, la mortalité annuelle chez les larves des premiers stades sont un plus élevés, le taux de mortalité chez les mâles affiche **31,59%**.

Si on compare la mortalité globale entre les jeunes stades et les stades adultes, on remarque qu'elle s'accroît chez les adultes suite à la multitude des facteurs qui les affectent Par rapport aux jeunes stades qui ne peut être liés qu'au facteur température.

1.2 - Etude de la mortalité globale chez les différents stades à Heuraoua

Au cours de la période d'expérimentation, nous avons effectué également un comptage des différents stades morts de la cochenille virgule afin de calculer le taux de mortalité globale de cette diaspine. Les résultats obtenus sont visualisés dans la figure ci-dessous.

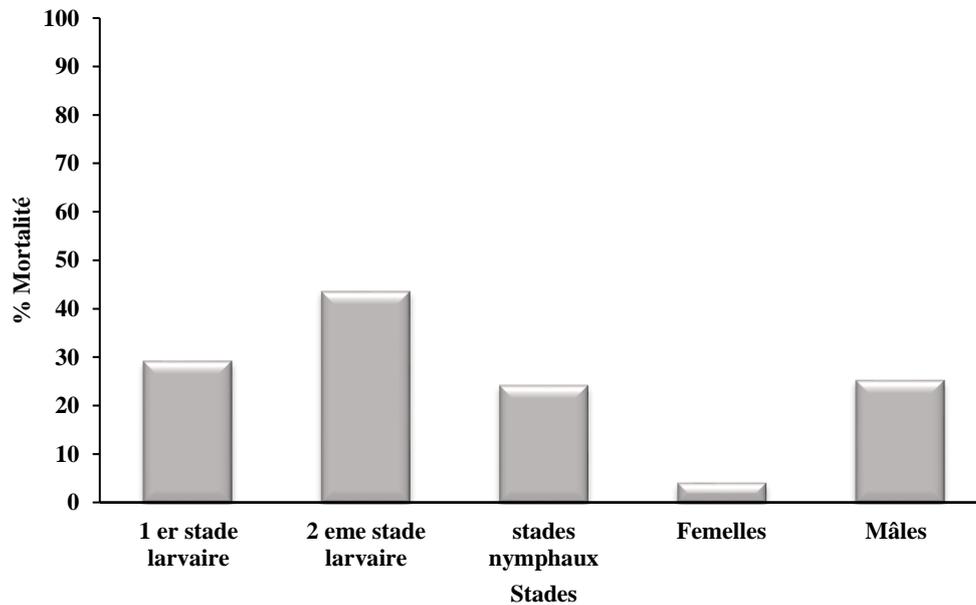


Figure 56. Mortalité globale des différents stades de *L. beckii* durant la période d'étude 2016/2018 à Heuraoua.



Selon la figure 56 le taux de mortalité globale aperçue pour les différents stades de *L. beckii* dans la région de Heuraoua au cours du période d'étude 2016/2018, montre une importance

Pour les autres stades de développement, on aperçoit une diminution de la mortalité, toutefois on enregistre un taux de **29,31%** pour le premier stade larvaire, **25,36%** pour les mâles, **24,29%** pour les stades nymphaux, le taux minimal de mortalité est enregistré chez les femelles (**4,27%**).

Ainsi, si on compare la mortalité globale entre les jeunes stades et les stades adultes, on remarque qu'elle s'accroît chez les jeunes stades par rapport aux stades adultes. Cette différence se peut être liée à l'exposition des feuilles, les organes le plus infestés aux différents aléas climatiques qui affectent plus les jeunes stades.

Selon **Dajoz (1985)**, les facteurs écologiques agissent sur les êtres vivants en modifiant leurs taux de la mortalité, ainsi que sur les cycles de développement, et alors sur les densités des populations. La mortalité naturelle affecte tous les stades, mais à des degrés différents. Pour les jeunes stades, elle est due aux conditions climatiques et pour les femelles adultes est de nature physiologique. La mortalité des mâles est due à leur sensibilité aux fortes températures (**Belguendouz et al, 2013**).

2 - Mortalité cardinale

L'étude de la mortalité chez *L. beckii* a été réalisée dans cette partie d'une manière globale en fonction des organes à Rouiba ainsi qu'à Heuraoua.

2.1 - Cas de Rouiba

La mortalité de l'ensemble des écophases de *L. beckii* suivant l'organe végétal dans la localité de Rouiba, est illustré dans la figure n°56 pour la période 2016/2017 et dans la figure pour la période 2017/2018.

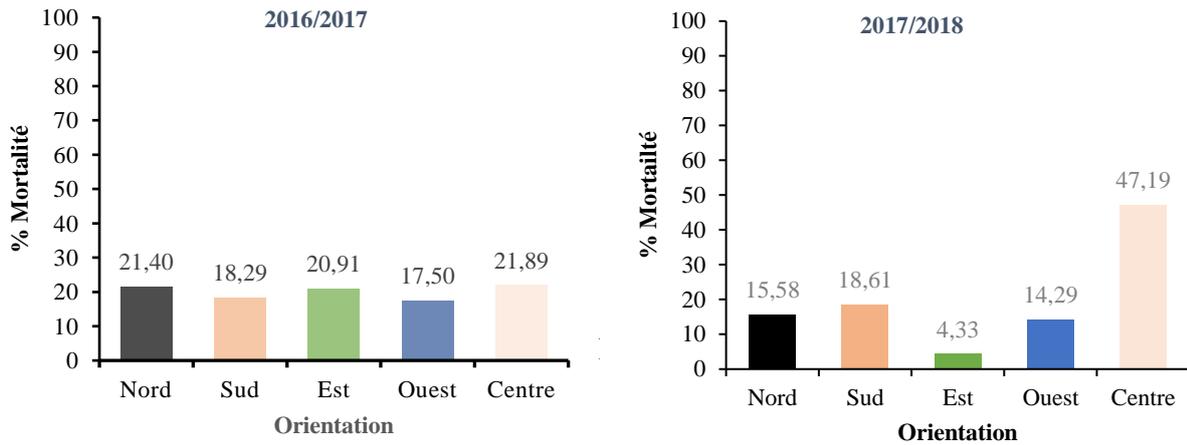


Figure 57. Mortalité cardinale de la cochenille virgule à Rouiba (2016/2018).

Durant la période d'étude 2016/2017 à Rouïba, la mortalité cardinale est évaluée entre 17 à 21% pour les différentes orientations du citronnier ainsi qu'au Centre. Toutefois nous remarquons que les plus forts taux de mortalité de la population de *L.beckii* sont élevés au niveau du Centre et au Nord de l'arbre avec respectivement **21,89** et **21,40%**, suivi par l'Est avec **20,91%**. Le Sud avec **18,21%** et en dernier l'orientation Ouest avec **17,5%** (Fig. 57).

Pour la période 2017/2018, la mortalité se répercute différemment d'où on remarque des écarts très nette du taux de mortalité de *L.beckii* entre les orientations :

On note le taux de mortalité le plus élevé sur l'orientation Centre avec **47,19%**. Suivi par l'orientation Sud avec un taux de mortalité de **18,61%**, le Nord avec **15,58%**, l'Ouest avec **14,29%**. Le taux de mortalité le moins important a été enregistré à l'Est de l'arbre avec **4,33%**.

Nous pouvons dire que les facteurs climatiques jouent un rôle très important. Les variations de températures et d'humidité relative de l'air qui créent parfois des microclimats défavorables pour le développement des populations de la cochenille. La mortalité est plus élevée pour l'orientation Centre durant toute la période d'étude, il semble que les conditions de température et d'humidité au niveau de cette direction créent un micro climat défavorable pour le développement de cette diaspine.



2.2- Cas de Heuraoua

La mortalité de l'ensemble des écophases de *L. beckii* suivant l'organe végétal dans la localité de Heuraoua, est illustré dans la figure n°57 pour les deux périodes 2016/2017 et 2017/2018.

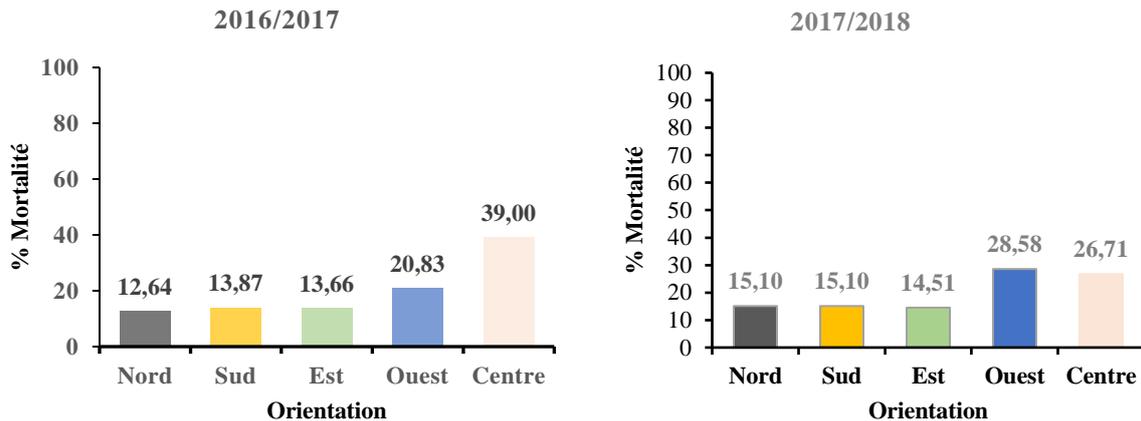


Figure 58. Mortalité cardinale de la cochenille virgule à Heuraoua (2016/2018).

Selon la figure 58, la mortalité la plus importante est enregistrée à l'Ouest et au Centre de l'arbre avec respectivement un taux de **20,83%** et **39%** pour la première période et **28,58** et **26,71%** pour la deuxième période. Pour les autres orientations le taux de mortalité est presque identique à ces niveaux tout au long de la période d'étude oscillant entre (**12,64%** à **13,66%**) en 2016/2017 et (**14,51%** et **15,10%**) en 2017/2018.

En comparaison avec la fluctuation de la totalité des stades sur les mêmes orientations on remarque une homogénéité de répartition analogue au taux de mortalités enregistrées.

Les facteurs climatiques de la région ainsi que les facteurs physiologiques de la cochenille elle-même sont à l'origine de la mortalité naturelle parcellaire, et ont un impact non négligeable dans la régulation des niveaux de population de cette cochenille. Freinant ainsi le pouvoir de multiplication de la cochenille qui est très sensible aux petites variations de la température. Cette mortalité est d'ordre climatique pour les jeune stades (stades larvaires) et d'ordre physiologique pour les stades adultes, une fois les femelles expulsent leurs œufs elles se dessèchent et meurent naturellement.



La mortalité naturelle devient relativement un facteur suffisant, pour assurer efficacement un équilibre naturel de ce ravageur par l'intervention du complexe parasitoïdes-prédateurs

3 - Mortalité spatiale

3.1- Cas de Rouiba

L'analyse de la figure 59 relative à la répartition spatiale globale de *L. beckii* dans la région de Rouiba montre un intervalle de répartition très important entre les feuilles, les fruits et les rameaux. Toutefois et inversement à la région de Heuraoua, on enregistre un taux très faible de mortalité sur l'organe feuilles durant les deux périodes d'étude (**2,14%** pour la première période et **10,22%** pour la deuxième période. Un taux intermédiaire sur l'organe rameaux (**48,53%** pour la première période et **37,26%** pour la deuxième période). Le taux le plus élevée a été reportée sur l'organe fruits (**49,33%** pour la première période et **52,52%** pour la deuxième période).

Comparativement à nos résultats, l'étude de mortalité spatiale menée par **Zaabta (2016)** sur oranger à Rouiba, montre un taux de mortalité plus élevée sur les feuilles par rapport aux autres organes.

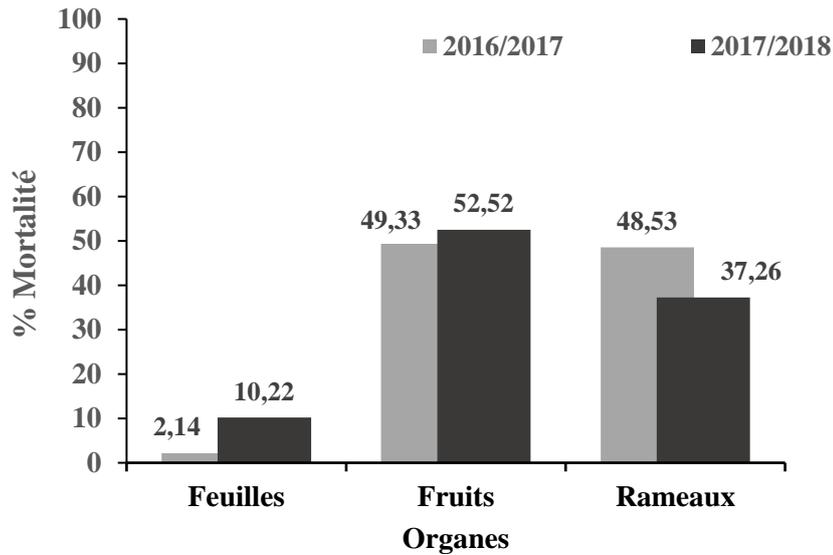


Figure 59. Mortalité spatiale chez *L. beckii* dans la région de Rouiba durant toute la période d'étude.

3.2- Cas de Heuraoua

La fluctuation de la mortalité des différents stades évolutifs selon la répartition spatiale marque un grand écart. Toutefois, on a remarqué que cette cochenille monte un taux de mortalité supérieur sur les fruits, suivi par les rameaux et en derniers les feuilles et ça tout au long de la période d'étude 2016/2018 (Fig. 60).

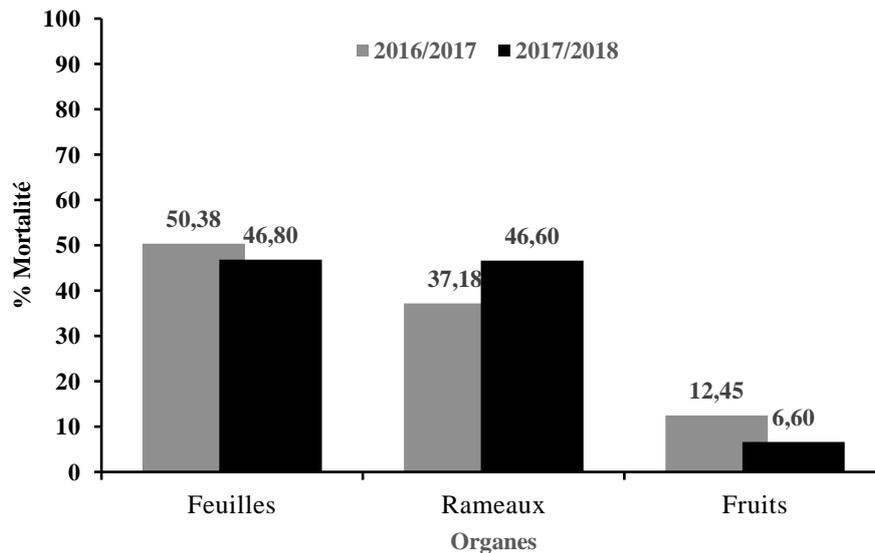


Figure 60. Mortalité spatiale chez *L. beckii* dans la région de Heuraoua durant toute la période d'étude.



D'après l'histogramme du graphique ci-dessus, nous nous marquons un taux de **50,38%** sur les feuilles durant la première période (2016/2017) et **46,80%** durant la deuxième période 2017/2018 sur le même organe. Suivi par un taux de mortalité plus en moins important au niveau des rameaux (**37,18%** pour la première période et **46,60%** pour la deuxième période).

Au niveau des fruits, le taux de mortalité est minimal, on enregistre un taux de **12,45%** pour la période 2016/2017. Ce taux décroît durant la deuxième période et atteint **6%**. L'amplitude de mortalité est proportionnelle avec la concentration de la population de *L. beckii* ainsi enregistré sur feuilles et rameaux. Cette diaspine arrive à survivre mieux sur les feuilles plus exactement à la face inférieure qui offre les meilleures conditions climatiques par rapport aux autres organes (Fig.60).

Conclusion

Les endroits les plus exposés aux aléas climatiques sont les plus néfastes au développement de la cochenille. En effet les feuilles restent la partie la plus exposées à ces aléas, et il semblerait également que l'épaisseur de l'écorce des rameaux et la rugosité des épidermes restent des endroits défavorables au développement de cette cochenille.



Etude des parasitoïdes hyménoptères du genre Aphytis



La prospection réalisée au niveau des deux localités d'études (Heuraoua et Rouiba) révèle que les cochenilles parasitées présentent en nombre important. Par conséquent, les fortes attaques sur *L. beckii* dans les deux vergers sont accompagnées par une forte pullulation de parasitoïdes hyménoptères et essentiellement du genre *Aphytis*. De ce fait, dans cette partie, nous développerons l'aspect écologique et biologique de ces parasites hyménoptères.

1 - Etat du parasitisme de *L. beckii* par les espèces *Aphytis*

Le tableau ci- dessous regroupe les espèces d'*Aphytis* recensées sur le citronnier durant notre expérimentation :

Tableau 16. Inventaire qualitatif des parasites hyménoptères de *L. beckii* sur le citronnier dans la région de Heuraoua et Rouiba.

| Classe | Ordre | Famille | Genre | Espèce | |
|---------|-------------|-------------|----------------|-----------------------------|--|
| Insecta | Hymenoptera | Aphelinidae | <i>Aphytis</i> | <i>Aphytis lepidosaphes</i> | Ectoparasitoïde de <i>L. beckii</i> à Heuraoua et Rouiba |
| | | | | <i>Aphytis melinus</i> | Ectoparasitoïde de <i>L. beckii</i> à Heuraoua |

L'inventaire des parasitoïdes de *L. beckii* reporté dans le tableau ci-dessus, fait ressortir deux espèces représentées par *A. lepidosaphes* et *A. melinus* à Heuraoua et uniquement *A. lepidosaphes* à Rouiba. Notant que *A. melinus* est signalé pour la première fois sur *L. beckii*.

Afin d'apporter davantage de connaissances nécessaires dans un programme de lutte biologique, nous avons réalisé cette étude, qui a pour but de mieux comprendre l'écologie et le mécanisme de distribution des deux parasitoïdes et leur comportement vis-à-vis de leur cochenille-hôte *L. beckii*. Pour cela, nous avons réalisé une analyse comparative du développement des populations de la cochenille et l'évolution de ses deux parasitoïdes sur citronnier entre deux régions différentes (Heuraoua et Rouiba).



Par conséquent et étant donné que ce nouveau parasitoïde *A. melinus* est retrouvé pour la première fois sur *L. beckii*, cette situation nous offre la possibilité d'étudier sa biologie et d'apprécier ses qualités d'agent régulateur des populations de *L. beckii*. Dans le même contexte, cette étude favorise la comparaison directe d'*A. lepidosaphes* parasite indigène de *L. beckii* avec un parasite qui s'est avéré jusqu'à présent le mieux adapté à plusieurs diaspines.

Les caractéristiques biologiques recueillies par **Agagna (2016)**, dans une étude sur l'impact d'*A. melinus* sur *Aonidiella aurantii* révèle la grande efficacité dans la régulation biologique de la population de cette diaspine. La comparaison que nous avons établie avec *A. lepidosaphes* le met bien souvent en lumière. Cependant certains caractères tels la résistance aux conditions de fortes températures et le pouvoir de se maintenir dans les populations de son hôte à des faibles densités sont à souligner. Ceux-ci concourent à faire d'*A. melinus* un agent biologique d'appoint, utilisable en association avec *A. lepidosaphes* là où ce dernier n'est pas pleinement efficace.

2 – Dynamique globale des populations des deux *Aphytis*

2.1 – Abondance relative globale d'*A. lepidosaphes*

2.1.1 – Cas de Rouiba

L'abondance relative globale des différents stades évolutifs d'*A. Lepidosaphes* dans les populations de son hôte est invoqué dans la figure ci-dessous (Fig. 61).

En effet, la proportion des œufs enregistre un taux important équivalent de **6,95%** au cours de la l'année 2017 contre uniquement **6,95%** au cours de L'année 2018. En ce qui concerne les jeunes larves, elles affichent un taux moyennement important comparativement aux œufs passant de **22,34%** durant la première période 2017 à **25,08 %** durant la deuxième année 2018. Concernant les larves âgées, on enregistre des valeurs moyennement importantes par rapport aux autres stades du parasitoïde. En effet, on enregistre **20,58%** au cours de la première année et **19,95%** au cours de la deuxième année. Le stade nymphal, marque également les taux les plus importants par rapport aux autres stades où l'on note **30,71%** pour la première période et **31,70 %** pour la deuxième année. Enfin, le stade adulte présente des taux entre **19,12%** et **16,32%**.

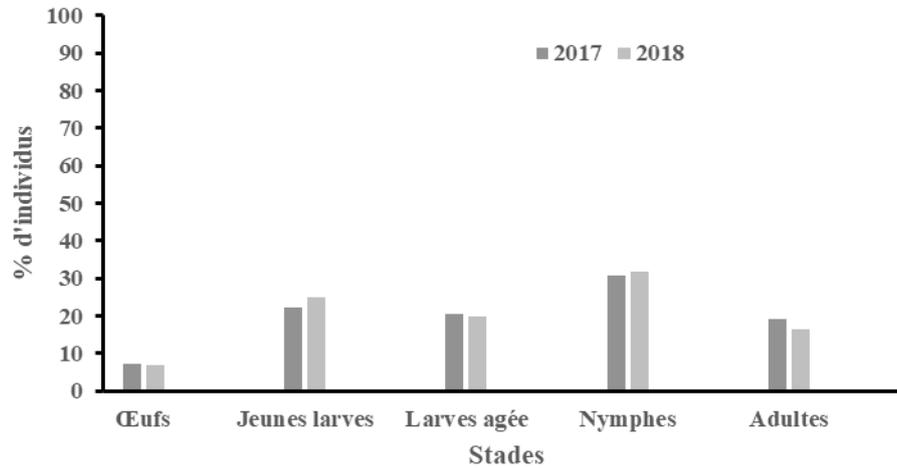


Figure 61. Abondance relative globale des différents stades évolutifs d'*A. lepidosaphes* sur *L. beckii* sur le citronnier à Rouiba.

2.1.2 – Cas de Heuraoua

Les résultats de parasitisme enregistrés chez les différents stades d'*A. lepidosaphes* sur *L. beckii*, ressort des taux moyennement faible (Fig. 62). Pour la première année d'étude on enregistre **15,92%** pour le stade œuf. **20,19%** pour le stade jeune larve et de **9,09%** pour les larves âgées. Par ailleurs les nymphes indiquent un taux équivalent de **28,23%** or c'est la valeur la plus importante durant toute la période d'étude pour ce parasitoïde. Le second stade qui est le stade adulte se proclame par un pourcentage de **23,79%**. La deuxième année de fluctuation évolutif du cycle de développement de ce parasitoïde (2017/2018) s'approche de l'allure de fluctuation de celle de l'année précédente.

On enregistre pour les œufs un taux de **7,14%**, les jeunes larves **18,84%**, les larves adultes **19,79%**, les nymphes **29,29%** et en dernier les adultes avec **24,93%**.

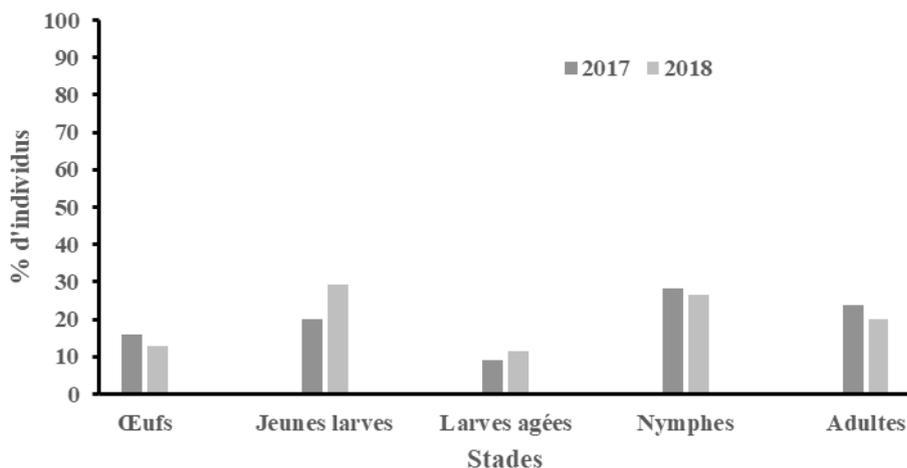


Figure 62. Abondance relative globale des différents stades évolutifs d'*A.lepidosaphes* sur *L.beckii* sur citronnier à Heuraoua.

2.2 – Abondance relative globale d'*A. melinus*

2.2.1 - Heuraoua :

La figure 63, représente l'abondance relative globale des différents stades évolutifs d'*A.melinus* dans les populations de son hôte à Heuraoua. La lecture de ces résultats, montrent que Les pourcentages relatifs à l'abondance globale des différents stades de développement du parasitoïde *A. melinus* sur *L. beckii* durant les deux périodes d'étude à Rouiba demeurent assez importants. En effet, la proportion des œufs enregistré seulement **8,85%** au cours de la première année 2017 contre **7,68%** au cours de la deuxième année 2018. En ce qui concerne les jeunes larves, elles affichent le taux le plus important comparativement aux œufs passant de **16,03%** durant l'année 2017 à **18,33%** durant l'année 2018. Concernant les larves âgées, on enregistre des valeurs moyennement importantes par rapport aux autres stades du parasitoïde. En effet, on enregistre **17,30%** au cours de la première période et **17,89%** au cours de la deuxième période. Le stade nymphal, marque également des taux importants par rapport aux autres stades où l'on note **34,83%** pour la première période et **30,25%** pour la deuxième période. Enfin, le stade adulte présente des taux de **22,98%** et **25,85%** respectivement pour les deux années 2017 et 2018.

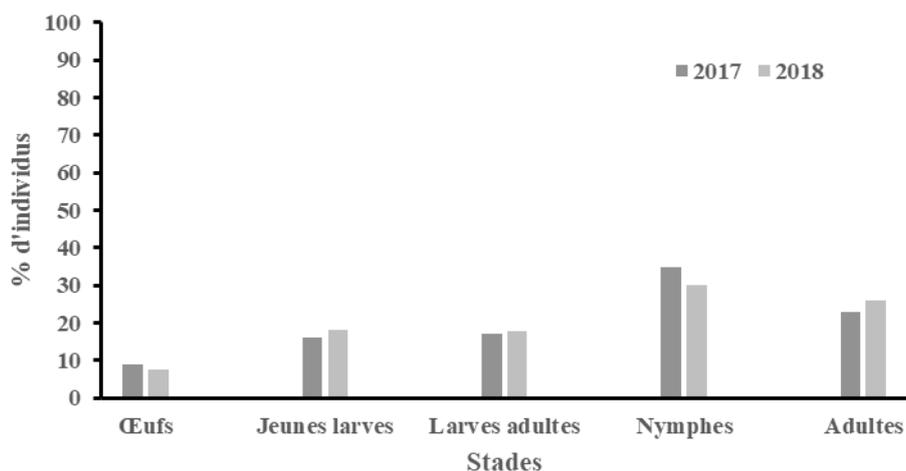


Figure 63. Abondance relative globale des différents stades évolutifs d'*A. melinus* sur *L. beckii* sur citronnier à Heuraoua.

Cependant *A. lepidosaphes* se manifeste comme parasitoïde secondaire comparativement à *A. melinus* dans la localité de Heuraoua.

Dans l'ensemble, on distingue une abondance régulière des différents stades des deux espèces d'*Aphytis* sur *L. beckii* dans les deux localités. Toutefois, nous mentionnons que l'abondance relative d'*Aphytis melinus* sur *L. beckii* exprime des taux élevés par rapport à ceux de d'*A. lepidosaphes* dans la même localité. Il est à noter que *A. lepidosaphes* est présent uniquement à Heuraoua avec des taux de parasitisme relativement élevés sur les différents stades de *L. beckii*.

L'abondance des populations des ennemies naturelles et notamment les parasitoïdes hyménoptères du genre *Aphytis* peuvent être induite par les facteurs climatiques immédiats responsables du déclenchement puis du bon déroulement et l'accentuation de l'activité des *Aphytis*.

Plusieurs études, telles que celles menées par **Zappala et al (2012)** et **Palmeri et al (2008)**, ont mis en évidence les caractéristiques de dominance et d'abondance d'*Aphytis melinus* en se concentrant sur sa concurrence avec d'autres parasitoïdes. Cependant, en situation de compétition, il a été constaté que ce parasitoïde est plus efficace lorsqu'il s'agit de lutter contre sa diaspine hôte. Ces auteurs ont également révélé la capacité de dominance d'*A. melinus*,



ainsi que sa capacité de dispersion maximale. Ils ont constaté que la densité de chaque stade d'*Aphytis* fluctue autour d'une valeur moyenne d'équilibre relative aux capacités de croissance de chaque espèce d'*Aphytis*.

Il est intéressant de noter que la capacité d'accroissement d'*A. lepidosaphes* sur *L. beckii* est moins importante que celle d'*A. melinus* sur la même diaspine, ce qui met en évidence une fois de plus l'importante capacité de dispersion d'*A. melinus*.

3 – Activité saisonnière des *Aphytis*

Le graphique ci-dessous permet de déterminer la fluctuation saisonnière marquée pour les deux espèces d'*Aphytis* dans les deux régions d'études au cours des deux périodes d'étude : 2016/2018).

Le taux de la population hivernante d'*A. melinus* a montré une augmentation significative durant la deuxième période d'étude (2017/2018), atteignant **67,95%** par rapport à **50,60%** lors de la première période (2016/2017), en raison de l'augmentation numérique des larves hivernantes âgées. Tout au long de la période d'étude, le taux de présence d'*A. melinus* sur *L. beckii* à Heuraoua a été relativement stable, restant autour de **50%**, tandis que celui d'*A. lepidosaphes* sur *Lepidosaphes beckii* à Rouiba était d'environ **40%**. Pendant la période printemps-été, le taux moyen de présence d'*A. lepidosaphes* sur *L. beckii* était de **10%** en raison d'une faible activité de ponte chez les femelles pondueuses. En revanche, *A. melinus* était largement présent dans les deux localités avec un taux moyen de **40%** à Rouiba et **50%** à Heuraoua.

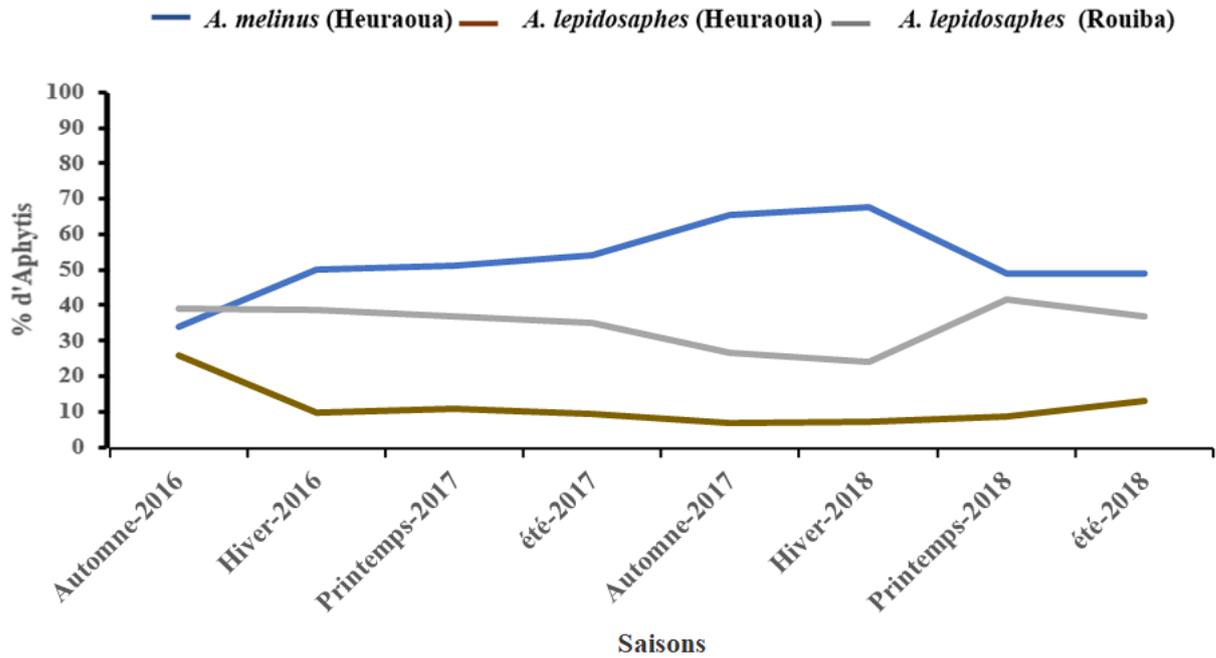


Figure 64. Evolution saisonnières des espèces d'*Aphytis* soumis à contrôler *L. beckii* sur citronnier dans les deux localités (Rouiba et Heuraoua).

On peut déduire de cette partie que l'activité réduite d'*A. lepidosaphes* en période estivale pourrait être due à la sensibilité de cette espèce aux températures élevées. De plus, la forte présence d'*A. melinus* dans la région de Heuraoua sur la même hôte *L. beckii*, pourrait également expliquer cette faible activité. Selon **Podoler et al. (1983)**, les variations saisonnières du climat dans les zones tempérées permettent à un parasitoïde écologiquement secondaire de coexister dans la même localité qu'un parasitoïde dominant lorsque ce dernier ne s'adapte pas bien aux températures chaudes.

Partie 2

Ecologie fonctionnelle



Relation écologique entre l'abondance de *L. beckii* et de ses deux parasitoïdes du genre Aphytis



L'étude entreprise a pour but de comprendre le comportement de deux hyménoptères parasitoïdes *A. melinus* et *A. lepidosaphes* vis-à-vis de *Lepidosaphes beckii* dans deux vergers de citronnier dans deux localités : Heuraoua et Rouïba.

Selon **Zappala et al., (2012)**, comprendre les mécanismes de différenciation des populations chez les parasitoïdes est essentiel. En effet, de nombreux travaux de recherches s'orientent vers ce concept où nous pouvons citer les études sur la compétition interspécifique entre les parasitoïdes menées par **Sorribas et al., (2010)** et **Cebolla (2018)** qui ont montré la capacité d'*A. melinus* à contrôler *A. aurantii* en éloignant *A. lepidosaphes*.

Malheureusement en Algérie, très peu d'études approfondies ont été réalisées sur les parasitoïdes des cochenilles diaspines jusqu'à présent (**Moumen, 1989 ; Chergui, 1990 ; Moussaoui, 1990 ; Amr Chentir, 1990 et Biche et Bourahla 1993**) à l'exception de celles menées par **Biche (1988)** sur la biologie d'*A. maculicornis*, un parasitoïde externe de *Parlatoria oleae* ravageur de l'olivier.

Afin d'apporter davantage de connaissances nécessaires pour un programme de lutte biologique, nous avons réalisé cette étude, qui a pour but de mieux comprendre le mécanisme de distribution de deux parasitoïdes, à savoir *A. lepidosaphes* et *A. melinus* et leur comportement vis-à-vis de leur cochenille-hôte *L. beckii*. Pour cela, nous avons réalisé une analyse comparative du développement des populations de la cochenille et l'évolution de ses deux parasitoïdes sur citronnier entre deux localités différentes (Heuraoua et Rouïba).

1 – Incidence parasitaire globale d'*A. melinus* et d'*A. lepidosaphes* sur *L. beckii* à Rouïba et à Heuraoua).

Les résultats de l'incidence parasitaire comparée dans les populations de *L. beckii* entre les deux localités, révèlent qu'à Rouïba, *L. beckii* n'est parasité que par *A. lepidosaphes* avec un taux de parasitisme globale de **25,21%**. Par contre à Heuraoua, nous avons constaté la présence des deux parasitoïdes : *A. melinus* et *A. lepidosaphes*. Toutefois, *A. melinus* parasite *L. beckii* avec un taux de **27,12 %**, alors que son parasitoïde principale *A. lepidosaphes* a montré un impact parasitaire relativement faible de l'ordre de **1,55%**.

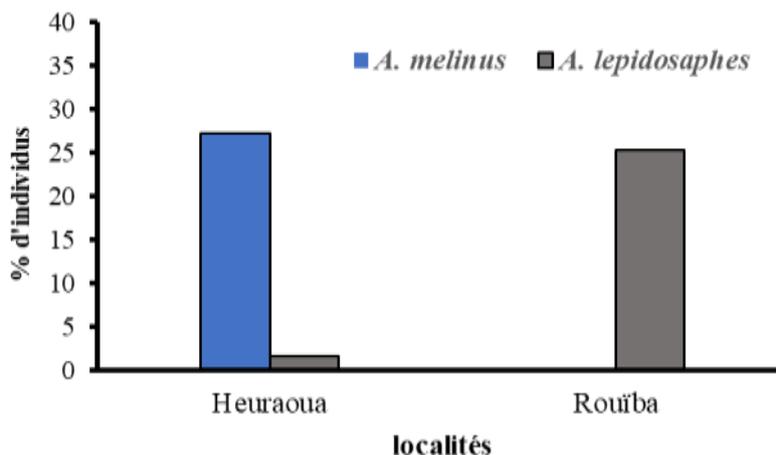


Figure 65. Incidence parasitaire d'*A. melinus* et d'*A. lepidosaphes* sur *L. beckii* sur le citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua).

Dans la région de Rouïba, le taux de parasitisme induit par *A. lepidosaphes* est nettement plus élevé (25,21%) à celui enregistré dans la région de Heuraoua (1,55%) (Fig. 65). Par contre, dans la région de Heuraoua, c'est *A. melinus* qui induit un fort taux de parasitisme (27,12%). Nous pensons que, la présence simultanée d'*A. melinus* et *A. lepidosaphes* sur le même hôte et dans le même biotope provoque une compétition trophique interspécifique, affectant leur incidence parasitaire. Il semblerait qu'à Heuraoua, *A. melinus* est plus actif que *A. lepidosaphes* et a pu exercer une forte compétition pour l'éloigner des populations de *L. beckii*.

2 - Écologie comportementale des deux parasitoïdes

L'étude de l'écologie comportementale comparée des deux parasitoïdes sur *L. beckii* dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua) permet de discuter les interactions suivantes :

2.1 – Nombre de génération et impact climatique

D'après les résultats reportés sur la figure 66, il ressort que *L. beckii* a montré 3 périodes d'activité importantes dans la région de Rouïba contre quatre sommets importants dans la localité de Heuraoua durant chacune des deux années d'étude. Nous avons remarqué également que le développement des deux parasitoïdes suit la même évolution que la cochenille hôte.

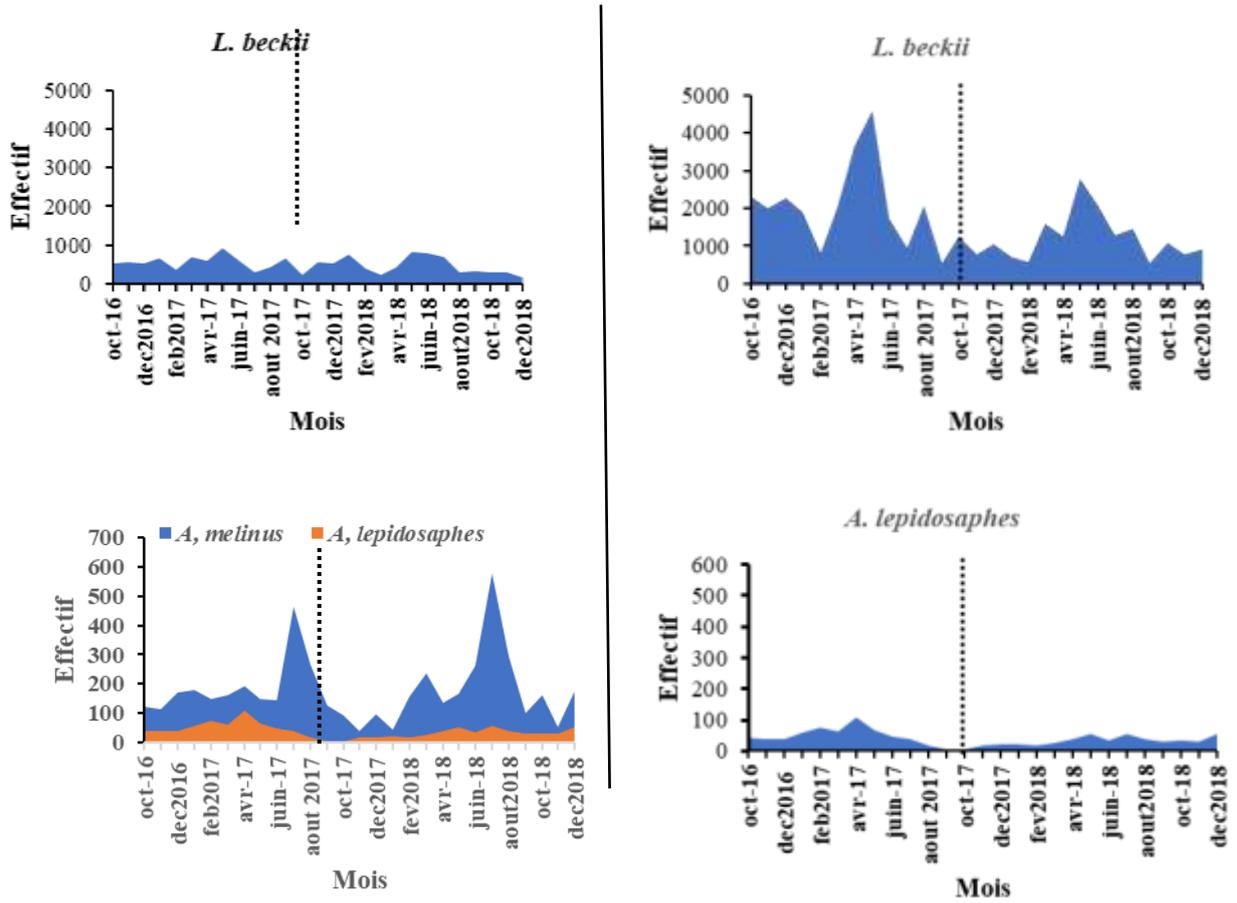


Figure 66. Fluctuation de la population globale de *L. beckii* et de ses deux parasitoïdes (*A. melinus* et *A. lepidosaphes*) sur citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua).

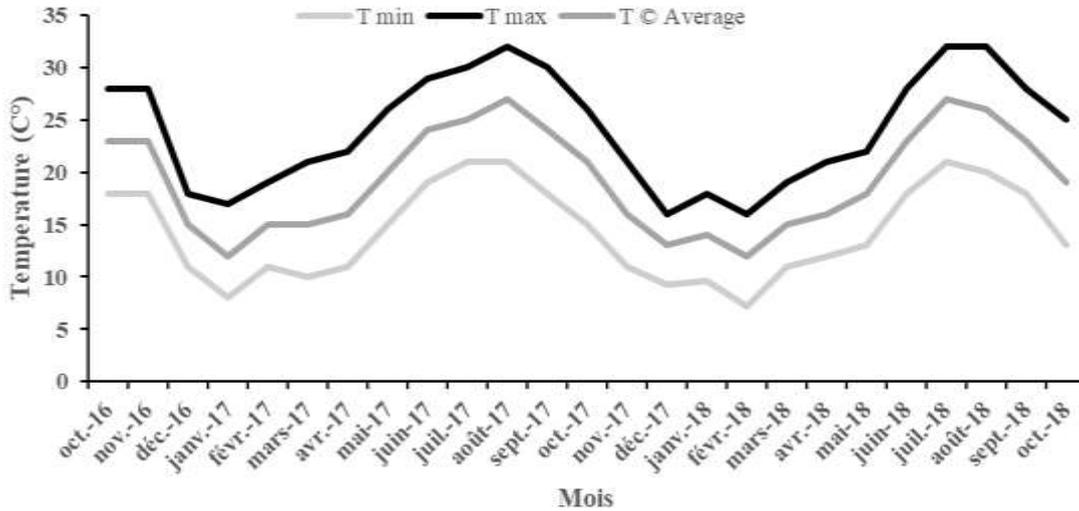


Figure 67. Fluctuation des températures dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua) pour la période 2016/2017 et 2017/2018.



Le suivi saisonnier de la dynamique du complexe cochenille – parasitoïdes dans les deux vergers au cours des deux années d'étude, est dicté principalement au climat qui caractérise les deux localités. En effet, les résultats montrent que *L. beckii* développe 3 générations annuelles à Rouïba alors que 4 générations par an sont enregistrées à Heuraoua. Cette différence dans le nombre de génération de la cochenille *L. beckii* est très probablement liée vraisemblablement à la phénologie de la plante hôte et aux conditions microclimatiques de chaque zone notamment à l'humidité relative élevée à Heuraoua comparée à celle de Rouïba. Ceci est le fait que le verger de Heuraoua est sous l'effet de proximité de la mer méditerranéenne et du marais de Réghaia. Ce résultat est en accord avec les travaux de **Cohic (1955)** qui note que cette cochenille présente une affinité marquée pour les endroits ombragés se caractérisant par un taux d'humidité élevé. **Schvester (1956)** considère que la plante-hôte intervient comme un véritable facteur écologique, dont l'action se superpose à celle des facteurs climatiques. Avant lui, plusieurs autres chercheurs avaient été amenés à classer les plantes-hôtes des espèces polyphages en hôtes "normaux" (primaires ou principaux), qui permettent un développement et une multiplication de l'insecte sensiblement réguliers ; en hôtes "secondaires" qui permettent le développement, mais sur lesquels on observe que peu ou pas de multiplication et sur lesquels l'infestation peut diminuer lentement; et en hôtes "exceptionnels" (ou occasionnels) qui permettent juste le développement de l'insecte, mais sur lesquels l'infestation décline rapidement.

De plus, nous remarquons que le développement des deux parasitoïdes est en synchronisation parfaite avec la disponibilité et le développement de leur hôte *L. beckii*. D'après **Kfir et Luck (1984)**, **Kalyebi et al (2005)**, **Duale (2005)**, **Peacock et al. (2006)** et **Sorribas et al. (2010)**, les parasitoïdes hyménoptères ont une relation directe et étroite avec leurs hôtes et partagent les mêmes conditions de développement. Cependant, le nombre d'individus des deux parasitoïdes est variable tout au long de la période d'étude. Effectivement, *A. lepidosaphes* a atteint un maximum d'abondance durant la période allant du mois d'octobre au mois de février qui correspond à la période automnale et hivernale au cours des deux années d'étude. Puis, avec l'arrivée des fortes chaleurs (juillet-août) on assiste à une baisse régressive. Il semblerait qu'*A. lepidosaphes* est mieux adapté aux basses températures (période froide). D'un autre côté, les populations d'*A. melinus* atteignent leur maximum pendant la période estivale (de juin à août) et ce durant les deux années d'étude. Nous pouvons dire qu'*A. melinus* préfère les températures plus ou moins élevées pour son



développement optimal. Les températures maximales ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) enregistrées durant la période allant de juin à août (Fig. 67) viennent confirmer cela. Les travaux de **Pekas *et al* (2010)** sont en accord avec nos résultats en signalant que ce parasitoïde montre une fréquence élevée dans les régions caractérisées par des périodes chaudes.

L'activité des deux parasitoïdes vis -à-vis de leur hôte est liée à plusieurs facteurs entre autres, les facteurs climatiques (la température et l'humidité relative) qui ont un effet majeur sur le développement de ces ennemis naturels. La présence d'une génération supplémentaire de la cochenille dans la localité de Heuraoua, est liée probablement au taux d'humidité élevé (avoisinant les **100%**). De plus, l'activité faible d'*A. lepidosaphes* en période estivale, peut être expliqué par la forte présence d'*A. melinus* dans cette région pour la première fois en Algérie sur l'hôte *L. beckii*. D'après **Podoler *et al* (1983)**, les variations climatiques saisonniers dans les zones tempérées permet à un parasitoïde écologiquement secondaire de coexister dans la même localité avec un parasitoïde dominant lorsque ce dernier s'adapte mal en période chaude ou froide.

2.2 – Distribution du parasitisme en fonction de l'organe végétal

Dans les deux localités, les populations de *L. beckii* ainsi que celles des deux parasitoïdes sont réparties différemment sur les organes végétaux du Citronnier (rameaux, feuilles et fruits).

En effet, dans la localité de Rouïba, nous avons remarqué que les populations de *L. beckii* sont plus abondantes sur les rameaux et ce durant les deux années d'étude. Le taux de parasitisme induit par *A. lepidosaphes* est élevé enregistrant **58,31%** pour la première année (2016/2017) et **31,66%** durant la deuxième année (2017/2018). Dans la localité de Heuraoua, *L. beckii* est beaucoup plus active sur les feuilles et plus précisément sur la face inférieure. De même, nous avons noté un taux de parasitisme élevé de **53,7%** durant la 1^{ère} période pour *A. melinus* et de **30,39%** pour *A. lepidosaphes*. Au cours de la deuxième année, *A. melinus* a montré la même incidence parasitaire que pour la période d'étude précédente (2016/2017) alors que pour *A. lepidosaphes* le taux de parasitisme était de **26,97 %** (Fig. 68).

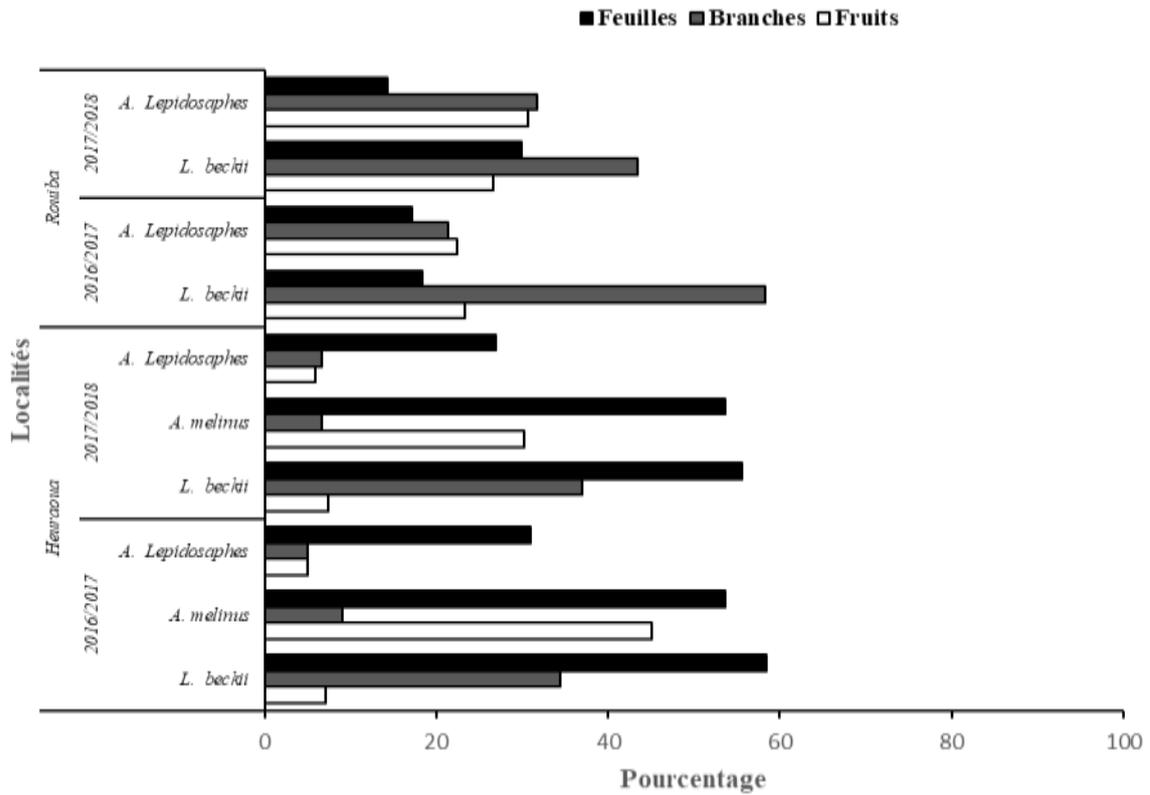


Figure 68. Distribution de *L. beckii* et de ses deux parasitoïdes selon l'organe végétal sur le citronnier dans les deux localités (Rouïba et Heuraoua) durant la période 2016/2017 et 2017/2018

Les parasitoïdes se concentrent préférentiellement dans les zones où leur cochenille hôte sont à des densités élevées (Wajnberg et Ris, 2007). En effet, nos données recueillies relatives à la répartition spatiale des parasitoïdes montrent que ces ennemis naturels se localisent là où les populations de leur hôte sont importantes. Ils développent une pression parasitaire proportionnelle à la densité de la cochenille, ce qui montre leur grand pouvoir d'adaptation.

2.3 – Comportement de ponte chez les deux parasitoïdes

Durant notre période d'étude, des observations divergentes sont notées concernant le comportement de ponte des deux parasitoïdes (*A. melinus* et *A. lepidosaphes*) vis-à-vis de leur cochenille hôte (*L. beckii*) entre les deux localités (Rouïba et Heuraoua) (Fig. 69).



En effet, à Rouïba, nous avons constaté que, la femelle d'*A. lepidosaphes* dépose le plus souvent un seul œuf sur son hôte mais peut parfois pondre jusqu'à deux œufs sur la femelle adulte de la cochenille. Au total, **101** œufs sont comptés tout au long de notre période d'étude. Par contre, dans la région de Heuraoua, nous avons remarqué qu'*A. melinus*, pond un seul œuf sur la jeune femelle alors que sur la femelle adulte, caractérisée par une grande taille, **2** œufs par hôte sont dénombrés fréquemment. Au total, **369** œufs sont pondus par *A. melinus* sur *L. beckii* dans cette région. Concernant la femelle d'*A. lepidosaphes*, nous avons observé que celle-ci dépose un seul œuf uniquement sur la jeune femelle de *L. beckii*, avec un total de **83** œufs durant toute la période d'étude.

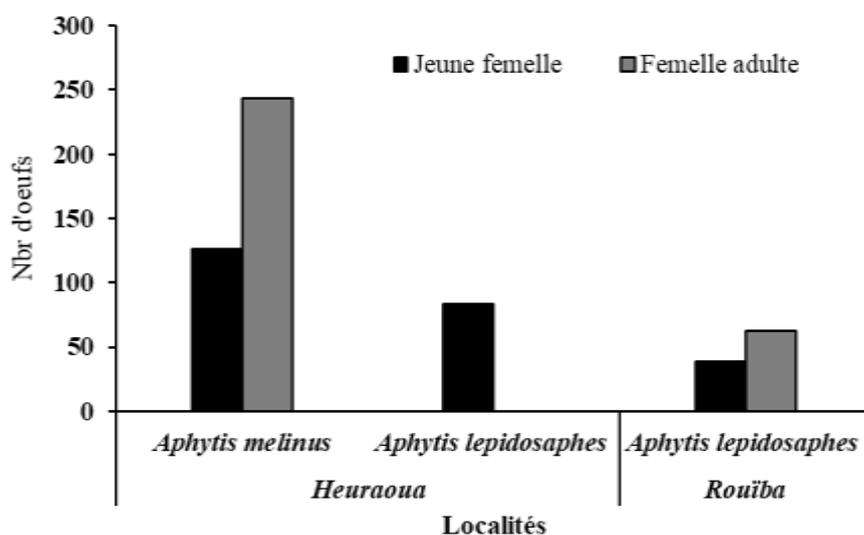


Figure 69. Nombre d'œufs pondus des deux parasitoïdes sur les jeunes et femelles adultes de *L. beckii* dans les deux localités (Heuraoua et Rouïba).

Comparativement, nous avons constaté une activité de ponte intense à Heuraoua qu'à Rouïba. Cela peut être expliqué principalement par les capacités adaptatives et la plasticité écologique aux conditions environnementales qui peuvent être favorables au développement des deux parasitoïdes dans la localité de Heuraoua. D'autre part, Il est remarqué que la cochenille n'est parasitée qu'une seule fois, puisque *Aphytis* est capable de détecter préalablement la cochenille parasitée et abandonne celle déjà attaquée (Abbassi, 1980). Ludeho (1968) signale de son côté que le développement des larves d'*A. lepidosaphes* sur une jeune femelle de *L. beckii*, provoque souvent une déformation du bouclier qui permet à



Aphytis de reconnaître extérieurement les formes parasitées (**Fabres, 1974**). Sur une femelle adulte de la cochenille, nous avons dénombré deux œufs de la même espèce du parasitoïde. Effectivement, la femelle d'*A. melinus* et d'*A. lepidosaphes* lors de la ponte, ont souvent déposé deux œufs chacune sur le corps de leurs hôtes (Phénomène de grégarisation). **Nicholson et Bailey (1935)** déclarent qu'*A. lepidosaphes* est une espèce, grégaire et spécifique ne pond que sur *L. beckii*. De plus, **Gonzalez (2015)** rapporte avoir observé le phénomène de grégarisme facultatif chez *A. melinus*. D'autre part, nous avons constaté qu'*A. melinus* domine complètement sur les femelles adultes dans la région de Heuraoua où la ponte d'*A. lepidosaphes* est nul sur les hôtes physiologiquement bien développées (Femelle adulte). Cela peut être expliqué par le fait qu'*A. melinus* pourrait concurrencer et éliminer *A. lepidosaphes* du stade femelle adulte.

En effet, *L. beckii* possède des individus physiologiquement résistants, ce qui incite les espèces du genre *Aphytis* à adopter une stratégie de reproduction qui leur apporte un bon développement. Cependant, il a été rapporté par **Winkler (1981)** et **Briggs (1993)** que l'hôte résistant déterminé par une grande taille (stade adulte), sera monopolisé par le parasitoïde dominant. En l'occurrence, il s'agit de *A. melinus* dans la région de Rouïba. **Pekas et al (2016)** ajoutent que ce parasitoïde gagne toujours en occupant la meilleure cochenille. Cependant, les femelles du parasitoïde secondaire seront obligées de parasiter une cochenille hôte plus petite qui révèle un comportement compétitif entre les espèces parasitoïdes. D'ailleurs, *A. lepidosaphes* parasite uniquement les jeunes femelles de *L. beckii* de petite taille dans la région de Heuraoua, donc celui-ci vit en compétition avec *A. melinus* uniquement sur les jeunes femelles.

3 – Etude morphométrique du bouclier femelle

La morphométrie repose sur l'analyse des variations de forme et de leur variation avec d'autres variables (**Bookstein, 1991**). Elle est composée de deux éléments : la taille (size) c'est-à-dire la taille de l'objet et la conformation (shape), l'information spatiale hors échelle intrinsèque à l'objet.



3.1 - Mensurations des boucliers des femelles parasitées

Afin de comprendre le comportement des parasitoïdes vis-à-vis du même hôte, une étude comparative des mensurations des boucliers des femelles de *L. beckii* parasitées est réalisée entre les deux localités (Rouïba et Heuraoua). On a déjà évoqué la méthodologie de calcul (cf. chapitre méthodologie) de la surface du bouclier de la femelle effectuée au laboratoire de Zoologie Agricole et forestière de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (El Harrach).

Les mensurations des boucliers sont effectuées sous une loupe binoculaire munit par un micromètre oculaire où nous avons mesuré : la longueur et la largeur a et b et les identifiants morphométriques (c et d) de la partie postérieure du bouclier (Fig. 70).

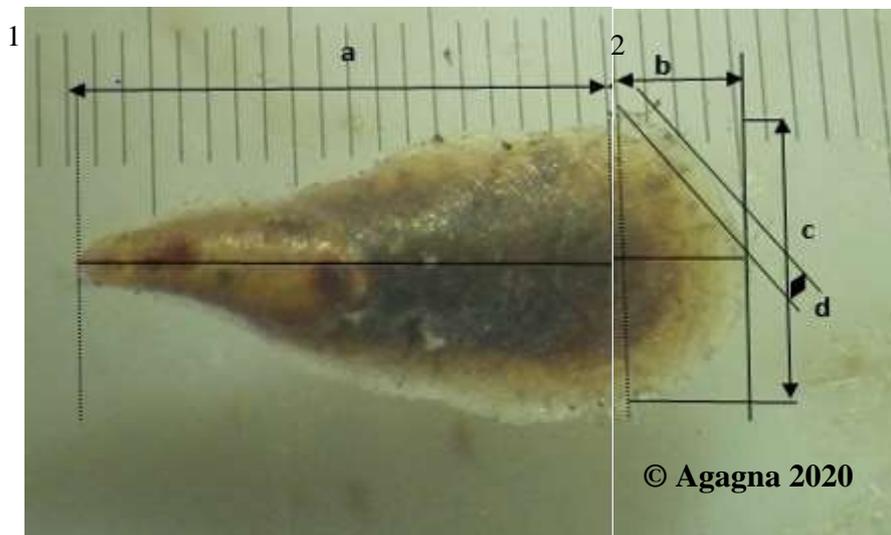


Figure 70. Découpage de bouclier en deux formes (1 et 2) et l'identification de quatre dimensions micrométriques (a, b, c et d).

Nos données des mensurations sont ensuite soumises à une ANOVA, les moyennes ont été séparées par le test de Tukey à un niveau de signification de 5%. Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel Excel Stat 2014.



Tableau 17. Comparaison de la taille des boucliers des femelles de *L. beckii* parasitées par *A. lepidosaphes* et *A. melinus* entre les deux localités (Heuraoua et Rouïba).

| hôte | Taille du bouclier parasité (Heuraoua) | Taille du bouclier parasité (Rouïba) |
|----------------|--|--------------------------------------|
| Jeune femelle | 9,61 a | 7,09 b |
| Femelle adulte | 21,48 a | 14,21 b |

La comparaison de la surface des boucliers des femelles parasitées entre les deux localités, montre que ceux notés à Heuraoua sont plus grands que ceux de la région de Rouïba. En effet, l'analyse statistique révèle que pour les jeunes femelles ($F = 30,48$; $df. = 99$; $p < 0,0001$) ainsi que pour les femelles adulte ($F=63,92$; $df.=99$; $p < 0,0001$), les individus en provenance de Heuraoua sont significativement plus grands que ceux provenant de Rouïba. Le test de Tukey montre l'existence de deux groupes (a et b).

Les résultats obtenus, montrent que les boucliers des femelles parasitées provenant de Heuraoua sont plus grands que ceux de la localité de Rouïba. Cela peut expliquer l'activité parasitaire importante observée dans la région de Heuraoua où nous avons remarqué la présence de deux parasitoïdes à savoir *A. melinus* et *A. lepidosaphes* avec un total de 452 œufs de parasitoïdes recensés. De plus, la présence de deux œufs par hôte était souvent rencontrée dans cette localité. Alors que dans la région de Rouïba, un seul parasitoïde est noté durant notre étude, avec une activité de ponte relativement faible de l'ordre de 101 œufs. Effectivement, la taille de l'hôte est connue pour avoir une forte influence sur diverses composantes de la condition physiologique de l'*Aphytis* adulte, tels que la longévité, la fécondité ou la capacité de recherche de l'hôte (**Godfray, 1994**). En conséquence, les plus grands hôtes sont de meilleure qualité car ils devraient donner lieu à des parasitoïdes plus performants et plus efficaces (**Pekas, 2010**). Ceci est accord avec nos résultats et confirme l'impact de la surface de bouclier de l'hôte sur le parasitisme. Des résultats similaires sont notés par **Boudjemaa et al (2020)** qui signalent la présence d'une relation positive entre la surface du bouclier de l'hôte *Aonidiella aurantii* (Homoptera : Diaspididae) et le taux de parasitisme d'*A. melinus*. De ce fait, on conclue que l'activité parasitaire élevée dans la région de Heuraoua par rapport à la région de Rouïba est liée directement à la taille de l'hôte.



D'autre part, la taille de la cochenille peut être affectée considérablement par la qualité de la sève et les variations climatiques des différentes localités (**Pekas, 2010**). Cependant, l'agrandissement de la taille de la cochenille dans la région de Heuraoua peut être lié au microclimat et l'effet de la plante-hôte qui caractérisent chacune des deux régions et qui influent sur la plante hôte et indirectement sur la taille de la cochenille. Selon **Fabres (1979)**, l'influence des conditions thermo hygrométriques idéales de l'habitat sont très favorables au développement optimal de *L. beckii*. En l'occurrence, le verger de Heuraoua est exposé à un niveau très élevé d'humidité (à proximité de la mer et du marais de Reghaia) du verger par rapport au verger de Rouïba. Nous pensons que ce taux d'humidité élevé pourrait favoriser la présence de cochenille de grande taille à Heuraoua. De leur côté, **Biche et Sellami (1999)** ont montré que la plante hôte agit comme un véritable facteur écologique où l'action se traduit sur la durée du cycle, le sex-ratio, la fécondité et aussi sur la taille des femelles.



Ecologie nutritionnelle du complexe: *L. beckii*- Aphytis



Le phosphore (**P**) avec l'azote (**N**) et le potassium (**K**) constituent les éléments indispensables à la croissance des végétaux, concentrés dans la partie superficielle du sol. Ces trois éléments (**N, P, K**,) sont les principaux facteurs de croissance chez les plantes et offrent une richesse minérale ou le flux de la sève qui les conduit vers les différents organes est incessant.

1 - Relation nutritionnelle : Sol- Citronnier- *L. beckii* - *Aphytis*

Les diaspines, représentent les facteurs limitant de la productivité agrumicole, leurs dégâts sont liés au changement de la qualité chimique des nutriments notamment contenu dans les feuilles où ces éléments interagissent par différentes voies sur les ravageurs (reproduction, hibernation et comportement) (**Belguendouz, 2014**).

En effet, la fertilisation azotée en plus de son impact sur les ravageurs, elle peut avoir un effet sur leurs ennemis naturels (**Rusch et al., 2010**). **Safraz et al. (2009)** ont étudié l'effet de la fertilisation sur la fausse teigne des crucifères *Plutella xylostella* (Lepidoptera, Plutellidae), et son parasitoïde *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae) sur la culture de Colza. Ils ont démontré que *D. insulare* a mieux performé sur des plants ayant reçu de fortes doses de fertilisants et que la proportion de *P. xylostella* ayant échappé au contrôle par le parasitoïde était supérieure sur les plants ayant reçu moins de fertilisants (**Sarfraz et al., 2009**).

Selon **Landis et al. (2000)**, la plupart des facteurs qui limitent l'efficacité des ennemis naturels dans les systèmes agricoles sont ; les pesticides, le manque de nourriture ou l'absence d'hôtes alternatifs sont des conséquences des régimes de perturbations imposés à ces systèmes.

Les efforts de conservation des ennemis naturels devraient viser les relations Plante-Parasite qui sont d'ordre nutritionnel relatif en premier lieu à la nature du sol.



2 - Propriétés physico-chimique des sols de la région d'étude

Afin de mieux comprendre le comportement et le développement de *L. beckii* ainsi que les *Aphytis*, on a procédé une analyse de la composition des deux sols (Rouiba et Heuraoua) en éléments nutritifs ainsi que ces propriétés physico-chimiques reportée dans le tableau ci-dessous (Tab. 17).

Tableau 18. Analyse comparative des sols des deux régions d'étude.

| | Heuraoua | Rouiba |
|----------------------------|----------|--------|
| pH Ea | 7,10 | 7,20 |
| C.E (ds/m) | 0,814 | 0,971 |
| Calcaire total (%) | 1,89 | 1.05 |
| Azote (%) | 0,02 | 0,011 |
| M.O (%) | 4.2 | 3.16 |
| Phosphore (ppm) | 101,17 | 81,2 |
| Potassium (mg/100g) | 0.79 | 0.63 |
| C.E.C (meq/100g) | 23,9 | 19,3 |

Les variations des teneurs d'éléments nutritifs, peuvent avoir des effets positifs ou négatifs, directs ou indirects sur le comportement ou la morphologie de la cochenille ou son parasitoïde. Cela dépend des besoins et des tolérances de ces espèces d'insectes à ces différents éléments. Concernant les éléments majeurs, l'azote affiche une teneur de **0,02%** pour le sol de la localité de Heuraoua alors qu'il affiche une valeur moins importante dans la région de Rouiba.

Les valeurs autres éléments tels que le phosphore et l'azote, restent toujours plus importante pour le sol de Heuraoua. Cependant, les valeurs affichent respectivement **101,17** ppm et **0,79 mg/100g** pour le sol de Heuraoua et **81,2** ppm **0.63 mg/100g** pour le sol de Rouiba.

En général, pour son développement complet des cochenilles, ils cherchent le meilleur endroit pour alimenter, en effectuant des arrêts d'alimentation nécessaires à la reconnaissance de meilleur site de fixation. Un équilibre en substances minérales apparait primordial à l'apparition et la disparition des cochenilles.



Le **calcaire**, vu que cette substance donne la résistance aux tissus végétaux, les attaques sont possibles si sa teneur descend à un seuil inférieure de **3%**.

D'après **Martin-Prevel et al (1984)**, les éléments calciques intervient dans la formation des parois cellulaires pecto-cellulosiques et jouent le rôle d'un béton armé dans les parois végétales. Le manque de calcium constitue une barrière pour l'octroi aux cochenilles des éléments minéraux. Le calcium à **3%** constitue un élément barrière pour le développement des cochenilles, élément clé pour la nutrition optimale des *Citrus* ainsi que l'augmentation de l'apport K/Ca.

Dans notre cas, le citronnier des deux localités (Rouiba et Heuraoua) présente une forte sensibilité aux attaques des cochenilles suite à la faible teneur calcique du sol de Heuraoua (**1,89%**) et Rouiba (**1,05%**). Le phosphore, l'Azote et la matière organiques, poussent profusément les fortes pullulations de cette cochenille. Car ils sont les éléments recherchés et indispensables à son développement et largement disponibles dans les deux vergers d'étude (Fig. 70).

De ce fait, *L. beckii* dans les deux localités, peut perforer facilement pour trouver assez d'aliment nécessaire à son développement puisque la teneur de calcaire ne dépasse pas **3 %** et en profiter des éléments nutritifs disponibles dans la plante.

Selon les reportés dans le tableau 14 et la figure n° 78 on remarque une forte corrélation entre la population de cette cochenille, les *Aphytis* et l'abondance de ces éléments nutritifs :

A Heuraoua, dont les proportions des éléments sont plus important (par rapport à Rouiba, le sol offre **0.02%** d'azote, **4,2%** de matière organique et **101,17 ppm** de phosphore et **0,79mg/100g** de potassium. Par contre celui de Rouiba, le sol offre seulement **0.01%** d'azote, **3.16%** de matière organique et **81,2 ppm** de phosphore **0,63mg/100g** de potassium. En conséquence, la population de la cochenille est plus importante à Heuraoua représentée par un nombre total d'individus de **283 375** lors de toute la période d'étude contre **53 093** individus à Rouiba.



L'étude comparative entre la surface du bouclier des femelles parasitées de la région de Heuraoua et Rouïba évoque dans le chapitre précédent, déduit une relation positive entre la surface du bouclier de la cochenille et le taux de parasitisme. Ce taux augmente avec l'augmentation de la surface des boucliers des cochenilles hôtes. Afin de vérifier que cette relation : cochenille -*Aphytis* est d'ordre trophique basée essentiellement sur la nutrition minérale de la cochenille- hôte, une étude comparative est poursuivie sur la surface du bouclier de *L.beckii* des femelles de tous âges des deux localités.

Le balayage micrométrique sous loupe binoculaire de 200 boucliers soit 100 boucliers pour chaque localité) dont la moitié représente les jeunes femelles et l'autre moitié représente les femelles âgées.

La comparaison de la surface des boucliers montre que les femelles de Rouïba, que ce soit âgées ou jeunes, présentent une taille assez réduite par rapport à celles de Heuraoua. Toutefois, la surface moyenne du bouclier de la femelle adulte de la région de Rouïba oscille entre ($7,62 \mu\text{m}^2$ et $21 \mu\text{m}^2$) et entre ($15,17\mu\text{m}^2$ à $40,80 \mu\text{m}^2$) pour la région de Heuraoua, soit presque le double de la taille des femelles adulte de la région de Rouïba.

Cette différence de taille est observée même chez les jeunes femelles issues de Rouïba. Pour les jeunes femelles de Heuraoua, la surface du bouclier varie entre $5,30 \mu\text{m}^2$ – $13,87 \mu\text{m}^2$ contre $4,86 \mu\text{m}^2$ et $11,63 \mu\text{m}^2$ pour celle de Rouïba.

La différence prononcée, distinguée entre la surface des boucliers des femelles adultes des deux localités, est dû à la surexploitation de l'alimentation par les femelles adultes lors de l'alimentation de reproduction. Cette alimentation permettra à la femelle adulte de se préparer au passage au stade reproducteur (femelle pondreuse) en tirant d'avantage les éléments nutritifs qui sont en meilleure disponibilité à Heuraoua. Le sol de cette localité, prospère avec des teneurs en éléments nutritifs plus élevées par rapport à Rouïba. Cela expliquera la surface importante des boucliers des femelles adultes de la localité de Heuraoua comparativement à celles de Rouïba. De ce fait, le bouclier de cette diaspine acquiert une surface importante si le sol présente une richesse importante en éléments nutritifs nécessaire à son développement.



Conclusion

La constitution du sol et la qualité des éléments nutritifs ont un effet majeur sur l'aspect morphologique des femelles ainsi que sur l'abondance de *L. beckii*.

Il ressort bien que l'étude de l'écologie nutritionnelle de la cochenille virgule sur le Citronnier dans les deux localités à une importance majeure puisqu'elle nous informe sur la relation entre la performance biologique de ce ravageur et la qualité nutritive de sa plante hôte. De plus, ces résultats peuvent être considérés comme un des indicateurs importants de la dynamique des populations de la chaîne trophique cochenille-parasitoïdes.



Toutefois, la fréquence du parasitisme est aussi en forte corrélation avec l'abondance de la cochenille hôte dont on a ressenties **22548** individus parasitée de *L. beckii* à Heuraoua, cette dernière qui est doublement parasitée par *A. lepidosaphes* et *A. melinus* suite au nombre important d'individus cela assurera un bon contrôle de la population de cette cochenille dans cette région.

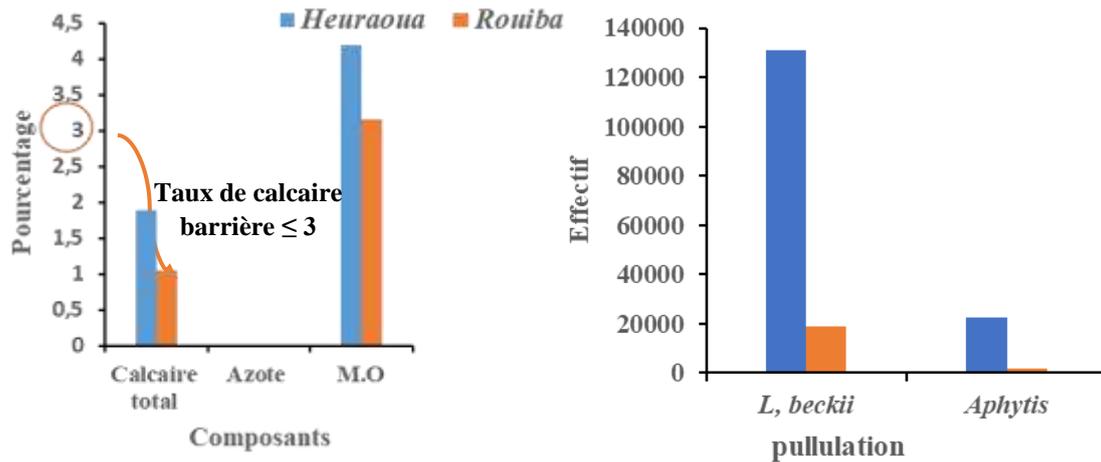


Figure 71. Effet de la nutrition minérale sur la population globale de *L. beckii* et et son influence sur les *Aphytis*.

Donc la composition minérale du sol offre une relation de transmission vis-à-vis les cochenilles et ces parasitoïdes *Aphytis* à travers le support végétal. Par le déficit en calcium distingué dans les deux localités, cette relation s'exprime positivement et influe directement sur la capacité de succion et la pénétration des stylets de la diaspine dans le végétal.

3 - Impact de la nutrition minérale sur la morphométrie de *L. beckii*

Les cochenilles peuvent être considéré comme des ravageurs de faiblesse, puisqu'elles parasitent préférentiellement les végétaux en état de stress, D'après **Sadof et Neal (1993)**, le stress hydrique implique une mauvaise conductivité des éléments nutritifs dans un arbre et favorisera le développement des populations des Diaspididae qui se nourrissent exclusivement de la sève brute.

Les facteurs intervenant dans les phénomènes des pullulations de cochenilles sont complexes, puisqu'ils font intervenir des interactions multiples mettant en jeu les compartiments climat-sol/plante/ravageur. Néanmoins, un déséquilibre en éléments nutritifs transférés du sol à la plante, peut affecter la variation de la masse volumique corporelle de la cochenille.



Conclusions générales



Le problème phytosanitaire des attaques de cochenilles des agrumes a pris de l'ampleur ces dernières années, qui s'inscrit à la fois dans un contexte agronomique qui cible la préservation des agroécosystèmes arboricoles et dans un contexte socio-économique axé sur la production fruitière optimale, basé sur la sensibilisation des acteurs sociales tels que les agriculteurs aux bonnes pratiques phytosanitaires et techniques correctes. Ce concept holistique de continuer les recherches entreprises visant à mettre au point des solutions alternatives à ces ravageurs nuisibles.

Par la présente étude menée dans la zone orientale de la Mitidja (Rouiba et Heuraoua), nous avons prospecté depuis 2016 à travers un dénombrement tri-mensuel, une communauté de six espèces de Diaspididae, en examinant leurs statuts généraux relatifs essentiellement aux variations climatiques interannuelle en focalisant principalement notre curiosité sur la bioécologie de *L.beckii*, espèce majeure sur le citronnier. Par ailleurs, cette étude a initié une nouvelle approche qui vise à examiner les interactions entre ce ravageur et les facteurs biotique et abiotique de ces régions d'études. Tout d'abord, nous avons examiné la relation de la cochenille avec ses parasitoïdes hyménoptères du genre *Aphytis*, en se concentrant sur la biologie et l'incidence d'*A. melinus*, un nouveau ravageur de *L. beckii*, ainsi que l'incidence d'*A. lepidosaphes*, son ravageur indigène. Ensuite, on a fait ressortir les relations écologiques et nutritionnelles de la chaîne tri-trophique : *Aphytis* - cochenille - plante hôte.

Toutefois, étudier la dynamique des populations du ravageur au sein de variables environnementales est un élément clé pour comprendre les phénomènes biologiques qui régissent l'évolution du ravageur et pour mieux définir les techniques de lutte à adopter.

Le troisième et dernier chapitre de cette thèse a fourni des éléments de réponse relatifs à cette problématique. Ce chapitre était consacré aux résultats et aux discussions et comportait huit parties principales, dont les objectifs étaient les suivants :

Pour ce qui est de **la diversité des Diaspididae**, ce panel revêt une importance cruciale dans la compréhension des interactions interspécifiques ainsi que dans la distinction des espèces dominantes et récessives au sein de cette famille, de même que pour l'identification du cortège parasitaire associé. Dans cette optique, l'inventaire exhaustif des espèces a révélé que la population de Heuraoua est cinq fois supérieure à celle de Rouiba. En effet, les abondances numériques sont respectivement de 53 093 et 283 375 Heuraoua et Rouiba.



Bien que les deux localités présentent une liste d'espèces identique mais classées dans un ordre chronologique différent. Les espèces les plus dominantes sont *L. beckii* et *A.aurantii*, suivies de *C.dictyospermi* à Rouiba et de *P. pergandii* à Heuraoua. Tandis que *L. gloverii* vient en dernière position dans les deux localités. Cette différence significative est exclusivement attribuable aux variations des conditions biotique et abiotique, qui seront explorées en détail dans les sections suivantes. En somme, ces résultats confirment l'importance de prendre en compte les facteurs environnementaux dans l'étude de la distribution des espèces, et ont des implications importantes pour la gestion et la conservation de la biodiversité dans ces régions.

Cette section de notre recherche nous a permis aussi de qualifier *L. beckii* comme étant une espèce potentiellement dominante dans les deux localités d'étude, caractérisée par une spécificité parasitaire par le genre *Aphytis*. L'ensemble de ces indicateurs vitaux nous a ainsi conduits à détailler son étude.

Pour ce qui est de **la bioécologie de *L. beckii***, à l'issue de notre étude sur la dynamique de ses populations, nous avons observé une représentation des différents stades biologiques de cette cochenille. La périodicité des infestations par la cochenille virgule, durant toute la période d'étude, se résume entre trois à quatre périodes d'activité : automnale, printanière et parfois jusqu'aux deux activités intenses en période estivale. Les effectifs les plus élevés des populations sont enregistrés au cours de périodes printanière et estivale ; alors qu'en hiver la cochenille hiverne sous ses formes de développement de sa génération avec une légère dominance des stades âgés où cochenille connaît un ralentissement notable dans l'évolution des jeunes stades et des femelles.

Sous l'effet simultané de l'interaction entre les conditions climatiques et microclimatiques, nous avons remarqué que le développement de cette cochenille est étroitement lié à la phénologie de la plante hôte dans la localité de Heuraoua, témoigné par le synchronisme entre le nombre de génération et les 4 poussées annuelles de sève.

En outre, **la méthode de degré-jours effectif (DJE)** a permis de confirmer nos observations sur l'impact des variations thermiques sur l'écologie de *L. beckii*. Ces résultats ont contribué à une meilleure compréhension de cette espèce, tout en révélant que la température avait une corrélation significative sur la dynamique des populations de la cochenille tout au long des



différentes saisons de l'année. En effet, les pics d'activité de la saison estivale ont été associés à des valeurs élevées du DJE, tandis que les périodes hivernales ont présenté des valeurs plus basses. Ces observations renforçant les connaissances déjà dispensée par la partie précédente et soulignent l'importance de considérer l'influence de facteurs thermiques sur le potentiel de développement de la cochenille virgule. Ceci nous incite d'investiguer d'autres facteurs susceptibles d'agir ainsi sur cette espèce comme l'humidité.

A propos de **la distribution spatiale et cardinale de *L. beckii***, cette section aborde la résilience de la cochenille virgule, principalement assurée par son déplacement vers des micro-sites favorables à son développement. Cependant, *L. beckii* adopte une stratégie comportementale invasive de type temporelle et spatio-cardinale, qui est liée à plusieurs facteurs, tels que le climat, le microclimat, la physionomie de l'arbre et les conditions nutritionnelles. Démontrant une préférence pour les rameaux à Rouiba et une affinité pour la face inférieure des feuilles des citronniers de Heuraoua. Par ailleurs, nous avons également remarqué que le centre de l'arbre était l'endroit le plus affecté par *L. beckii* dans les deux localités d'étude. Ces résultats mettent en évidence l'importance de prendre en compte à la fois la répartition spatiale et la répartition cardinale de cette espèce nuisible dans le développement de stratégies de gestion efficaces. En ciblant les zones de fortes concentrations de cette espèce.

Quant à **la mortalité naturelle de *L. beckii***, elle varie suivant le stade de développement de cette espèce. Elle est d'ordre climatique pour les jeunes stades larvaires du fait de l'absence ou de la finesse de leur bouclier protecteur, et d'ordre physiologique pour les femelles adultes. En effet, une fois que ces femelles expulsent leurs œufs, se dessèchent et meurent naturellement. Révélant que les endroits les plus exposés aux aléas climatiques sont les plus néfastes au développement de la cochenille. En effet, les feuilles restent l'endroit le plus exposé à ces aléas d'où la mortalité naturelle. Et il semblerait également que l'épaisseur de l'écorce des rameaux et la rugosité des épidermes restent des endroits défavorables induisant un taux de mortalité naturelle de 46,60% sur cet organe.

En matière de **parasitisme**, les fortes attaques sur *L. beckii* dans les deux vergers sont accompagnées par une forte pullulation de parasitoïdes hyménoptères et essentiellement du genre *Aphytis*. Cette étude nous a permis de distinguer essentiellement la capacité de dispersion importante d'*A. melinus* sur *L. beckii* comparativement par *A. lepidosaphes* parasitoïde indigène de cette diaspine. Toutefois, il convient de souligner que ces deux



parasitoïdes démontrent une activité antagoniste et complémentaire. En effet, *A. lepidosaphes* se révèle être très actif durant la saison automnale, tandis qu'*A. melinus* atteint son pic d'activité pendant la période estivale.

Pour ce qui est de **la relation écologique**, la présente section confirme l'impact significatif de la surface de bouclier de l'hôte sur le taux de parasitisme ou la comparaison de la surface des boucliers des femelles parasitées entre les deux localités, montre que ceux notés à Heuraoua sont plus grands que ceux de la région de Rouïba.

Ainsi, nos données recueillies relatives à la répartition spatiale des parasitoïdes montrent que ces ennemis naturels se localisent là où les populations de leur hôte sont importantes. Ils développent une pression parasitaire proportionnelle à la densité de la cochenille, ce qui montre leur grand pouvoir d'adaptation. En ce qui concerne le comportement de ponte, *A. melinus* dans la région de Rouïba, révèle que dans le cas du double parasitisme dans la région de Heuraoua, *A. lepidosaphes* parasite uniquement les jeunes femelles de *L. beckii* de petite taille, donc celui-ci vit en compétition avec *A. melinus* uniquement sur les jeunes femelles.

Ces résultats soulignent l'importance de la connaissance des comportements de ponte des parasitoïdes, l'affinité de ce parasitoïde en fonction de la taille et la distribution de la cochenille. Tous ces traits écologiques font comprendre les interactions hôte-parasitoïde afin de développer des stratégies de lutte biologique efficaces.

L'écologie nutritionnelle, constitue la section finale de la partie des résultats de cette étude, qui a mis en lumière l'influence considérable de la composition du sol et de la qualité des éléments nutritifs sur l'aspect morphologique des femelles de *L. beckii*, ainsi que sur leur abondance. Le citronnier des deux localités d'étude, présente une forte sensibilité aux attaques de cette cochenille suite à la faible teneur calcique du sol de Heuraoua. Le Phosphore, l'Azote et la matière organique, poussent profusément les fortes pullulations de cette cochenille. Car ils sont les éléments recherchés et indispensables et largement disponibles.



Dans l'ensemble, cette étude a permis d'approfondir la compréhension de plusieurs aspects tel que la biodiversité des Diaspididae et en particulier, la bioécologie de *L. beckii* a été étudiée profondément, dont on a mis en évidence les paramètres de développement de cette cochenille à l'instar de la détermination du nombre de génération par la méthode de degré-jours, la distribution spatiale et cardinale, la mortalité naturelle et le parasitisme dans la régulation des populations de cette espèce.

Par ailleurs, les résultats ont également permis de mieux comprendre la relation écologique entre l'abondance d'*Aphytis* et *L. beckii*, ainsi que l'écologie nutritionnelle du complexe formé par ces deux espèces. Ces éléments de recherches rassemblées sont cruciaux pour élaborer des stratégies efficaces de contrôle des infestations de *L. beckii* et maintenir un équilibre écologique entre ce ravageur ainsi que ces parasitoïdes dans les écosystèmes agrumicoles.



Perspectives



Perspectives

Ce présent travail effectué sur période de deux années consécutives sur la citronnier dans deux localités différentes, a permis de mettre en évidence l'importance de prendre en compte les paramètres environnementaux dans l'étude de ce ravageur, afin de mieux comprendre la complexité de ses interactions, les adaptations morphologiques et comportementales observées et les variations de la richesse des vergers agrumicoles en termes de cochenilles et d'ennemis naturels.

Les résultats de cette étude nous ont conduits à constater qu'il est nécessaire de dépasser les simples programmes de lutte intégrée et les calendriers de surveillance en élargissant l'optique de la poursuite des recherches dans un contexte agro-écologique pertinent. En effet, il est impératif d'entreprendre de nouveaux axes de recherche pour parvenir à une agrumiculture durable, tels que le développement de la résistance des variétés d'agrumes aux cochenilles en exploitant des réponses épigénétiques de ces espèces pour la mise en place de la lutte biologique. Pour ce faire, il convient d'explorer judicieusement l'impact des changements climatiques, qui est la principale cause de dysfonctionnement global de tous les écosystèmes agricoles.



Références bibliographiques



1. **Abbassi M., 1980.** Recherche sur deux homoptères fixés des Citrus, *Aonidiella aurantii* Mask. (Homoptera, Diaspididae) et *Aleurothrixus floccosus* Maskell (Homoptera, Aleurodidae). Les Cahiers de la recherche agronomique. Institut national de la recherche agronomique du Maroc, 35, pp: 1–168.
2. **Agagna Y., 2009.** Effet du Spirotetramat sur une population de *Lepidosaphes beckii* (Homoptera, Diaspididae) dans un verger d'agrumes à Rouïba. Mém. Ing. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 73 p.
3. **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 . Mem. Magist, Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 120 p.
4. **Amouroux C.P., Crochard D., Germain J.F., Correa M., Ampuero J., Groussier G., Kreiter P., Malausa T. & Zaviezo T., 2017.** Genetic diversity of armored scales (Hemiptera, Diaspididae) and soft scales (Hemiptera, Coccidae) in Chile. Scientific Reports, 12 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01997-6>.
5. **Aono M., 2009.** Taxonomic study on Odonaspidini, with particular reference to sexual dimorphism in the second instar (Sternorrhyncha: Coccoidea, Diaspididae). Insecta Matsumurana (New Series), 65, pp : 1–92.
6. **Aroua K., Kaydan M.B., Achiri T.A. & Biche A., 2020.** The influence of the region and the host plant on population dynamics of *Parlatoria ziziphi* (Lucas) (Hemiptera: Diaspididae) in Mitidja (Algeria). Eco. Env. and Conserv, 26(1) : pp 333-340.
7. **Aroua K., Kaydan M.B., Belguendouz R., Achiri T.D. & Biche M., 2019.** Inventory the scale insect of citrus fruits (clementine and orange) in two regions of Mitidja (Algeria). Agrobiologia, 9(2) : pp 1707-1714.
8. **Asplanato G. & Garcia-Marí F., 2002.** Parasitismo de la cochinilla roja californiana *Aonidiella aurantii* (Homoptera : Diaspididae) en la zona citrícola sur de Uruguay. Bol San-Veg Plagas, 28 : pp 5-20.
9. **Attafi M., 2019A.** Comportement des parasitoïdes hyménoptères *Comperiella bifasciata* (Hymenoptera, Encyrtidae) et *Aphytis melinus* (Hymenoptera, Aphelinidae) dans les populations d'*Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879) (Homoptera, Diaspididae) dans un verger d'oranger a Rouïba. Mém. Ing. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 129 p.
10. **Attafi M., 2019B.** Les parasitoïdes hyménoptères des cochenilles diaspines dans un verger d'oranger à Rouïba. Mém. Mas. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 116 p.
11. **Aubert B. & Vogel R., 1978.** Réactions observées sur la combava, *Citrus hystrix* vis à vis de la souche réunionnaise de Tristeza. Fruits, 36 (6), pp: 351-359.
12. **Aubert B. & Vullin, G. 1997.** Pépinières et plantations, d'agrumes. Montpellier. CIRAD, 184 p.
13. **Avidov Z. & Harpaz I., 1969.** Plant Pests of Israel. Israel Univ. Press, Jerusalem, 549 p.
14. **Bagnouls F. & Gaussen H., 1957.** Les climats biologiques et leur classification. In Annales de géographie 66 (355), pp : 193-220.



15. **Balachowsky A. S., 1935.** Sur une Diaspine nouvelle du Sud de l'Espagne (Hymenoptera, Coccidae). Bulletin de la Société entomologique de France, 40(16), pp : 233-236.
16. **Balachowsky A.S. & Mesnil L., 1935.** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs et leur destruction. Ed. Etablissement Buisson, Paris, 627 p.
17. **Balachowsky A., 1958.** Les cochenilles de France, d'Europe, du nord de l'Afrique et du bassin Méditerranéen. Volume 1: Les diaspididés. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 725 p.
18. **Bancroft M.C., Gardner P.D., Eckert J.W. & Baritelle J.L., 1984.** Comparison of decay control strategies in California lemon packing houses. Plant Diseases, 68, pp : 24-28.
19. **Barber S.A., 1995.** Soil nutrient bio-availability . John Wiley & Sons Inc., New York. 414 p.
20. **Barrett H.C. & Rhodes A.M., 1976.** A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated Citrus and its close relatives. Systematic Botany, pp 105-136.
21. **Beardsley Jr, J.W. & Gonzalez R.H., 1975.** The biology and ecology of armored scales. Annual Review of Entomology, 20(1), pp : 47-73.
22. **Belguendouz R., Harchouche C., Biche M. et Houmani Z., 2013.** Evaluation de l'effet insecticide de l'huile essentielle de Citrus aurantium (Rutacées) sur la dynamique des populations de *Parlatoria ziziphi* Lucas. (Homoptera, Diaspididae). Revue des Régions Arides. n° 35 (3/2014), pp : 1981-1986.
23. **Belguendouz-Benkhefala R., 2014.** Relations plantes hôtes–cochenilles diaspires sur les agrumes (Citrus spp) en Algérie. Mém. doc. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 325 p.
24. **Beloued I., 2017.** Ecologie de deux cochenilles du clémentinier *Parlatoria ziziphi* et *Parlatoria pergandei* (Hom : Diaspididae) à Oued El Alleug). Mem. Magist., Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 173 p.
25. **Bénaouf G., 2005.** Produire des agrumes en agriculture biologique. Institut technique de l'agriculture biologique (ITAB), Civam Bio Corse, 4 p.
26. **Benassy C., 1961.** Contribution à l'étude de l'influence de quelques facteurs écologiques sur la limitation des pullulations des cochenilles diaspires. Ann. Epiphyt., 12, hors sér., 157 p.
27. **Benassy, C., & Balachowsky, A. S., 1972.** Contribution à l'étude des cochenilles Diaspididae (Homoptera) de France et des régions voisines. Annales de la Société Entomologique de France, 8(4), pp : 749-776.
28. **Benfradj N., Migliorini D., Luchi N., Santini, A. & Boughalleb-M'Hamdi N., 2017.** Occurrence of Pythium and Phytophythium species isolated from citrus trees infected with gummosis disease in Tunisia. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 50(5-6), pp: 286-302.
29. **Bernhard K., von Dahl C. C., & Gebhardt M., 2014.** Insect cochenille de l'agrumes (*Planococcus citri*) : biologie, écologie et gestion. Journal of Applied Entomology, 138(1-2), pp : 1-13.



30. **Bertin Y. & Flhor C., 2002.** Note technique sur la culture des agrumes. Projet d'appui aux producteurs de fruits des marquises, 17 p.
31. **Biche M., 1988.** Etude biologique d'*Aphytis maculicornis* M. (Hymenoptera. Aphelinidae) parasite externe de *Parlatoria oleae* (Hom. Diaspididae) ravageur de l'olivier dans la région du Cap Djinet pour une éventuelle lutte biologique. Annales de l'Institut national agronomique El Harrach, n° spécial 1, pp : 119–163.
32. **Biche M. & Bourahla M., 1993.** Observations sur la bioécologie de *Lepidosaphes destefanii Leonardi*, ravageur de l'olivier dans la région du Cap-Djinet (Algérie) (Homoptera, Diaspididae). Bulletin de la Société entomologique de France, 98, pp: 23–27.
33. **Biche M. & Sellami, M., 1999.** Etude de quelques variations biologiques possibles chez *Parlatoria oleae* (Colvée) (Homoptera, Diaspididae). Bulletin de la société entomologique de France, 104(3), pp : 287-292.
34. **Biche M., Siafa A., Adda R. & Gherbi R., 2012.** Biologie de *Aonidiella aurantii* (Homoptera, Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouiba. Lebanese Science Journal, 13 : pp : 59-64.
35. **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, 36 p.
36. **Biche M., Aroua K., Medani N., Belguendouz R., Boukhobza L., Zaabta I., Kaci Z., Dahmani L., Ercan C., Achiri D.T., Kaydan M. B. & Chebli A., 2022.** The armored scales (Homoptera Diaspididae) of Algeria. Biodiversity Journal, 13 (3), pp: 495–514. <https://doi.org/10.31396/Biodiv.Jour.2022.13.3.495.514>.
37. **Biliotti E. & Brader L., 1975.** Informations internes sur l'agriculture : méthodes de lutte intégrée et de lutte biologique en agriculture conditions et possibilités de développement. Commission des communautés européennes. 149, 81p: doi <http://aei.pitt.edu/36499/1/A2505.pdf>.
38. **Blanche R., 2001.** Guide des fruits et légumes tropicaux. Ed : Eugen Ulmer, Paris. 288 p.
39. **Borror D.J. & DeLong D.M., 1964.** An introduction to the study of insects, rev. ed. Holt, Rinehart & Winston, New York. 819 p.
40. **Boudi M., 2005.** Vulgarisation agricole et pratiques des agrumiculteurs de la Mitidja. Mem. Magist, Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger). 133 p.
41. **Boudjemaa K., Karaca I. & Biche M., 2020.** Morphometric comparison between two populations of *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera: Diaspididae) from Algeria and Turkey. Ukrainian Journal of Ecology, 10 (5) ? pp : 241-24. https://doi.org/10.15421/2020_237.
42. **Boudjemaa-Gamaz K., 2021.** Ecologie du Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879) (Homoptera: Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouïba. Mém. doc. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 165 p.
43. **Boudy P., 1952.** Guide forestier en Afrique du Nord. Ed. La maison rustique. Paris. 505 p.
44. **Bouhadiba R., 2014.** Etude de l'effet insecticide de *Mentha piperita* et de *Nerium oleander* sur *Aphis spiraecola*. 92 p.



45. **Boukhobza L., Zaabta I., Belguendouz R., Mimeche F., & Biche M., 2020.** Role of hymenopterous parasits Aphelinidae in the regulation of levels of *Lepidosaphes beckii* (Newton, 1869) (Homoptera Diaspididae) populations on orange trees in Rouiba area (Algeria). *Biodiversity Journal*, 2020,11 (4), pp : 845–852.
46. **Boukhobza L., 2021.** Ecologie de deux bioagresseurs des agrumes, *Lepidosaphes beckii* Newmann (Hom: Diaspididae) et *Icerya purchasi* (Hom: Monophlebidae) dans la région de Rouiba et Sidi Moussa. *Mém. Doc. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger)*, 250 p.
47. **Bové J.M., 2006.** Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of plant pathology*. pp : 7-37.
48. **Briggs C.J., 1993.** Competition among parasitoid species on an age structured host and its effect on host suppression. *American Naturalist*, 14 , pp: 372–397.
49. **Browns S. & McKenzie H., 1962.** Evolutionary patterns in the armored scale insects and their allies (Homoptera: Coccoidea: Diaspididae, Phoenicococcidae, and Asterolecaniidae). *Hilgardia*, 33(4), pp : 141-170.
50. **Callot G., Chamagou H., Maertens C. & Salsac L., 1982.** Mieux comprendre les interactions entre sol-racines, incidences sur la nutrition minérale. Ed. INRA, Paris., 325 p.
51. **Cebolla R., 2018.** Effect of competition between *Aphytis chrysomphali* (Mercet) and *A.melinus* (Hymenoptera, Aphelinidae), on their coexistence and efficacy as biological control agents of *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae). PhD. Thesis. Department of Agricultural and Natural Sciences. Universitat Jaume I. Valencia. 202p.
52. **Chapot H. & Delucchi V. L., 1964.** Maladies, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc. INRA Rabat. 339 p.
53. **Chafaa S., Biche M., Chenchouni H., Sellami M., & Si Bachir A., 2013 A.** Effet du climat et de l'exposition sur la dynamique des populations de la cochenille violette, *Parlatoria oleae* Colvée (Hemiptera: Diaspididae), en conditions arides. In *Annales de la Société entomologique de France*, ns Taylor & Francis, 49(3), pp : 291-297.
54. **Chafaa S., 2013 B.** Contribution à l'étude de l'entomofaune de l'olivier, *Olea europaea* et de la dynamique des populations de la cochenille violette *Parlatoria oleae* Colvée, 1880 (Homoptera: Diaspididae) dans la région de Batna. *Mem. Doc. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger)*, 168 p.
55. **Chekkal H., 2016.** Rôle de *Comperiella bifasciata* Howard, 1906 (Hymenoptera: Encyrtidae) dans la limitation des populations d'*Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879)(Homoptera: Diaspididae) sur citronnier à Rouïba . *Mem. Mas. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger)*, 57 p.
56. **Chentir A., 1990.** Bioécologie de *Parlatoria oleae* (Homoptera: Diaspididae) sur pommier dans la région de Miliana et étude biologique de son parasite externe *Aphytis maculicornis*. M. (Hym: Aphelinidae). Mémoire Ingénierie Agronomie Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique Alger, 58 p.



57. **Chergui K., 1990.** Bioécologie de *Parlatoria oleae* C.(Homoptera, Diaspididae) ravageur du cerisier dans la région de Miliana et étude biologique de son parasite externe *Aphytis maculicornis* (Hymenoptera, Aphelinidae). Mém. Ing. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 85 p.
58. **Cock M.J.W., Biesmeije J.C., Cannon R.J.C., Gerard P.J., Gillespie D., Jiménez J.J., Lavelle P.M. & Raina S.K., 2011.** Climate change and invertebrate genetic resources for food and agriculture: state of knowledge, risks and opportunities. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Background Study Paper No. 54. Rome, FAO. <http://www.fao.org/docrep/meeting/022/mb390e.pdf>.
59. **Cohic F., 1955.** Rapport d'une mission aux établissements français de l'Océanie. Fascicule III. Enquête sur les parasites animaux des cultures. Institut Français d'Océanie, Nouméa, ORSTOM, 68 p.
60. **Colombo A., 2004.** La culture des agrumes. Vecchi S.A, Paris. 133p. ISBN 10 : 2732813591 ISBN 13 : 9782732813592 P 1-5-98-94.
61. **Comstock W.P., 1940.** Butterflies of New Jersey. J. New York Ent. Soc. 48, pp: 47-84.
62. **Cors' Aphy., 2013.** Evaluation de la régulation assurée par les espèces du genre *Aphytis* et d'autres auxiliaires indigènes sur les communautés de cochenilles diaspiques dans les vergers d'agrumes, Réunion du CROS à Ajaccio, 9 p.
63. **Comstock, H., 1965.** A revision of the genus *Lepidosaphes* (Homoptera: Diaspididae). Bulletin of the Connecticut Agricultural Experiment Station, 698, pp : 1-147.
64. **Couplan D., 2008.** Le citronnier. Dans Le citronnier et les agrumes Editions Quae. Pp : 11-24.
65. **Coutin R., 1988.** Les cochenilles des conifères. Revue Phytoma, Défense des cultures, 395, pp : 2-44.
66. **Coutin R., 2003.** Les insectes de l'olivier. Insectes, 19 (3) pp: 130 p.
67. **Crespel L., Morel, P., Li-Marchetti C., Deogratias J. M., Ferre A., Stapel O. & Robert F., 2018.** Contrôler l'architecture des plantes horticoles en prenant en compte les facteurs génétiques, environnementaux et culturels. Innovations Agronomiques, 63, pp : 43-55.
68. **Curk F., Ancillo G., Ollitrault F., Perrier X., Jacquemoud-Collet J. P., Garcia-Lor A. & Ollitrault, P., 2015.** Nuclear species-diagnostic SNP markers mined from 454 amplicon sequencing reveal admixture genomic structure of modern citrus varieties PloS one, 10(5), e0125628.
69. **Dajoz R., 1985.** Linné, un précurseur de l'écologie. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 54(8), pp : 53-64.
70. **Dao TH., 2012.** Ecology offre scale (*Aonidiella aurantii* (Maskell) [Hemiptera : Sternorrhyncha : Diaspididae]) in citrus orchards on the Central Coast of New South Wales. Univ. Western Sydney, PhD thesis, 466 p.
71. **Debach P. & Rosen D., 1976.** Twenty new species of *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae) with notes and new combinations. Annals of the Entomological Society of America, 69 (3), pp : 541-545.



72. **Delvare G. & Aberlenc H.P., 1989.** Les insectes d'Afrique et d'Amérique Tropicale Clés pour la reconnaissance des familles. Prifas, CIRAD, Montpellier, 302 p.
73. **Djazouli Z.E. & Merah O., 2014.** Leave composition of popular in natural plantation affects *Chaitophorus leucomelas* and *Phlocnistis unipuntella* dynamic populations. Bothalia journal, 44, pp: 98–112.
74. **Duale A.H., 2005.** Effect of Temperature and Relative Humidity on the Biology of the Stem Borer parasitoid *Pediobius furvus* (Gahan) (Hymenoptera, Eulophidae) for the Management of Stem Borers. Environmental Entomology, 34, pp: 1–5.
75. **Duale A.H., 2005.** Effect of temperature and relative humidity on the biology of the stem borer parasitoid *Pediobius furvus* (Gahan) (Hymenoptera, Eulophidae) for the management of stem borers. Environmental Entomology, 34, pp : 1–5.
76. **Dubois J.-M., 2006.** Les agrumes : botanique, biochimie et technologie Tec & Doc Lavoisier. 1, 510 p.
77. **Dutuit P., Pourrat Y. & Dutuit J. M., 1994.** La notion de stress de la cellule à l'écosystème. Sécheresse, 5(1), pp : 23-31.
78. **Ebeling W., 1959.** Subtropical fruit pests. University of California Press, California. USA, 436 p.
79. **Eckert J.W. & Eaks I.L., 1989.** Diseases of Citrus Fruits. The Citrus Industry: Crop protection, postharvest technology, and early history of citrus research in California, 33(26), 179 p.
80. **Esmaili S., Damavandian M. R., Ahadiyat A. & Faez R., 2022.** A field study on the biology of the purple scale, *Lepidosaphes beckii* (Newman) (Hemiptera, Diaspididae) on citrus trees in Mazandaran, Iran. Arthropods, 11(2), pp: 81-96.
81. **Fabres A., 1973.** Particularités biologiques d'*Aphytis cochereaui* Rosen parasite de *Lepidosaphes beckii* NEWMAN en Nouvelle-Calédonie. C. R. Acad. Sci (Paris) 277, pp : 1159- 1160.
82. **Fabres G., 1974.** Contribution à l'étude d'*Aphytis cochereaui* et d'*A. lepidosaphes* (Hym: Aphelinidae) parasites de *Lepidosaphes beckii* (Hom: Diaspididae) en Nouvelle-Calédonie. Annales de la Société entomologique de France, 10, pp: 371–379.
83. **Fabres G., 1979.** Analyse structurelle et fonctionnelle les coccides. Annales de Biologie, 37, pp: 321–341.
84. **Fajinmi A.A., Fajinmi O. B. & Amusa N.A., 2011.** An overview of citrus virus disease and its control in Nigeria. Journal of Advances in Developmental Research, 1(2), pp : 151-157.
85. **FAO 2013.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical Yearbook: World Food and Agriculture. Rome. 307 p.
86. **Federici C.T., Fang D.Q., Scora R.W. & Roose M. L., 1998.** Phylogenetic relationships within the genus Citrus (Rutaceae) and related genera as revealed by RFLP and RAPD analysis. Theoretical and Applied Genetics, 96, pp : 812-822.
87. **Ferrière C., 1956.** Encyrtides parasites de syrphides. Entomophaga, 1, pp : 54-64.
88. **Fletcher B.S., 1989.** Movements of tephritid fruit flies. Fruit flies: their biology, natural enemies and control, 3, pp : 209-219.



89. **Foldi I. , 1982.** Structural and experimental-study of the scale-cover formation in scale insects (Hom, Coccoidea, Diaprididae). *Annal. Soc. Entomol. France.* 18(3), pp : 317-330.
90. **Foldi I., 2003.** Les cochenilles. *Revue Insectes*, (129), 2 p.
91. **Foldi N. S., Cicone, M. & Gardner, H., 1983.** Pragmatic aspects of communication in brain-damaged patients. In *Language functions and brain organization*, pp : 51-86.
92. **Fox R. L. & Kamprath E. J., 1970.** Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil science society of america journal*, 34(6), pp : 902-907.
93. **Froelicher A.C., Mouhaya W. & Bassene J.B., 2018.** Combining field observations and high-throughput phenotyping to reveal the genetic architecture of flowering time in citrus. *BMC Plant Biol* 18, 210 p. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1423-9>
94. **Gagnard J., Huguet C. & Ryser J. P., 1988.** L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation. Le contrôle de la qualité des fruits. OILB/SROP, Edition - Diffusion ACTA., 87 p.
95. **García J. F., Olmo M. & García J. M., 2016.** Decay incidence and quality of different citrus varieties after postharvest heat treatment at laboratory and industrial scale. *Postharvest Biology and Technology*, 118, pp : 96-102.
96. **Garnier M., Latrille J. & Bové J. M., 1976.** *Spiroplasma citri* and the organism associated with likubin: comparison of their envelope systems. In *International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings* 7(7), pp : 1957-2010.
97. **Guillaume E., 2017.** Impact du développement de la fumagine sur l'état nutritionnel et la physiologie du mandarinier en culture in vitro. *Mem. Doc., Université de la Réunion.* 344 p.
98. **Geier P. W., 1949.** Contribution à l'étude de la cochenille rouge du poirier (*Epidiaspis leperii* Sign.). *Mem. Doc. Agro. ETH Zurich Suisse.* 226 p.
99. **Génot J. C. & Schnitzler A., 2013.** Rewilding France via Feral Nature. *International Journal of Wilderness*, 19(2), pp : 30-33.
100. **Germain J. F. & Chatot C., 2011.** Nouveaux bio-agresseurs des pommes de terre. *PHYTOMA-La Défense des Végétaux*, 17(64).
101. **Germain J. F., 2014.** Les Coccidae de France métropolitaine (Insecta, Hemiptera, Coccoidea) : Inventaire, répartition, écologie et biologie. *Revue de l'Association Roussillonnaise d'Entomologie*, 23(3), pp : 126-167.
102. **Godfray H.C.J., 1994.** Parasitoids: Behavioral and evolutionary ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 473 p.
103. **Gonzalez Z.J., Castillo M. & Avilla C., 2015.** Improving the knowledge *Aphytis melinus* biology to optimize its mass production: influence of food source, host and parasitoid densities. *Bulletin of Insectology*, 68, pp: 31–38.
104. **Gourmel Ch., 2014.** Catalogue illustré des principaux insectes ravageurs et auxiliaires des cultures de Guyane. Coopérative Bio Savane, Sinnamary, 77 p.



105. **Gottwald T. R., Graham J. H. & Schubert T. S., 2002.** Citrus canker: the pathogen and its impact. *Plant health progress*, 3(1), 15 p.
106. **Guedada-Gougam F., 2016.** Ecologie du Pou de Californie, *Aonidiella aurantii* (Hom: Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouiba . *Mem. Magist, Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger)*, 127 p.
107. **Henderson R. C., 2011.** Diaspididae (Insecta: Hemiptera: Coccoidea). *Fauna of New Zealand* 66, 275 p.
108. **Herrero R., Asins M. J., Carbonell E. A. & Navarro L., 1996.** Genetic diversity in the orange subfamily Aurantioideae. I. Intraspecies and intragenus genetic variability. *Theoretical and Applied Genetics*, 92, pp : 599-609.
109. **Hmimina G., Merlier E., Dufrêne E. & Soudani K., 2015.** Deconvolution of pigment and physiologically related photochemical reflectance index variability at the canopy scale over an entire growing season. *Plant, cell & environment*, 38(8), pp :1578-1590.
110. **Hmimina M., Allam L., Ougass Y. & Marmouche A., 1994.** Circonstances des pullulations de *Tetranychus urticae* Koch (Tetranychidae, Acari) en verger d'agrumes. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 14(1), pp : 45-52.
111. **I.T.A.F.V., 2015.** Djenane Mitidja, Bultin d'information mensuel, Édité par la ferme de démonstration de Boufarik, 22, 6 p.
112. **Imbert E., Loeillet D., Vannière H., Bertin Y., Vernière C., Quilici S., Didier C. & Bourgeois P., 2006.** Pomelo. *FruiTrop (h.s. FOCUS)*. CIRAD, Montpellier. 108 p.
113. **Imenes S. D. L.; Bergmann E. C. ; Peronti A. L. B. ; Ide S. & Martins G., 2002.** Aphids (Hemiptera, Aphididae) and their parasitoids (Hymenoptera) in *Ixora* spp. (Rubiaceae) in the states of Bahia and São Paulo, Brazil. Formal records of interactions. *Arquivos do Instituto Biológico de São Paulo*, 69, pp : 55–64.
114. **Imms A. D., 1957.** A general Textbook of Entomology. 9th Ed., rev. by O. W. Richards and R. G. Davies. London : Methuen. London. 886 p.
115. **Isshiki T., Pearson B., Holbrook S. & Doe C. Q., 2001.** *Drosophila* neuroblasts sequentially express transcription factors that specify the temporal identity of their neuronal progeny. *Cell*, 106(4), pp : 511-521.
116. **Jacquemond C., Curk F. & Heuzet M., 2013.** Les clémentiniers et autres petits agrumes. *Quae*, pp : 17–36.
117. **Jamoussi B., 1955.** Les maladies de dépérissement des agrumes. *Rev. Mycol*, 20, pp : 1-47.
118. **Kalyebi A., Overholt W. A., Schulthess F., Mueke J. M., Hassan S. A. & Sithanatham S., 2005.** Functional response of six indigenous trichogrammatid egg parasitoids (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Kenya: influence of temperature and relative humidity. *Biological Control*, 32(1), pp : 164-171.
119. **Kalyebi A., Sithanatham S., Overholt W.A., Hassan S.A. & Mueke J.M., 2005.** Parasitism, longevity and progeny production of six indigenous Kenyan (Hym: Trichogrammatidae) at different temperature and relative humidity regimes. *Biocontrol Science and Technology* 15, pp : 255–270.



120. **Kebdani M., 2017.** Identification des souches locales de *Bacillus thuringiensis* en vue d'une lutte biologique contre *Ceratitis capitata* et autres pathogènes de l'oranger. Mem. Doc. Univ. Abou Baker Belkaid (Tlemcen). 130 p.
121. **Danbir K., 2017.** Stratégie de lutte biologique contre la cochenille farineuse sur *Choisya Ternata* (Oranger du Mexique). Mem. Doc. Univ. Rennes (Angers-Cedex). 57 p.
122. **Kfir R. & Luck R. F., 1984.** Effects of temperature and relative humidity on developmental rate and adult life span of three Aphytis species (Hymenoptera, Aphelinidae) parasitising California red scale. Zeitschrift für Angewandte Entomologie, 97(5), pp : 314-320.
123. **Kheder S. B., Jerraya A., Jrad F. & Fezzani M., 2002.** Étude de la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera, Gracillariidae) dans la région du Cap Bon (Tunisie). Fruits, 57(1), pp : 29-42.
124. **Klotz L. J. et Fawcett H. S., 1952.** Maladies des Citrus. Société d'édit. Techn. coloniales, 40, 152 p.
125. **Labrie G., 2010.** Synthèse de la littérature scientifique sur le puceron du soya, Aphis glycines Matsumura. 54 p.
126. **Lacasa A. & Llorens J. M., 1996.** Trips y su control biológico. Edición especial para la Consejería de medio ambiente, agricultura y agua de la región de Murcia, Quinta Impresión, Alicante, Spain, 312 p.
127. **Landis D. A., Wratten S. D. & Gurr G. M., 2000.** Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annual review of entomology, 45(1), pp : 175-201.
128. **Locatelli B., 2013.** Services écosystémiques et changement climatique. Mem. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Grenoble1. 79 p.
129. **Longo S., 1986.** Thrips on citrus groves. In Integrated Pest Control in Citrus-Groves , pp : 121-126.
130. **Loussert R., 1989.** Les agrumes“. Production. Ed. Sci. Univ. Vol 2. Liban, 280 p.
131. **Louveaux J., 1984.** Les traitements phytosanitaires et les insectes pollinisateurs. Pollinisation et productions végétales. P. Pesson & J. Louveaux (eds). INRA-Paris, pp : 565-575.
132. **Ludeho Y., 1968.** *Aphytis mytilaspidis* (Le Baron) parasite de *Parlatoria blanchardi* (Targ.) dans les palmeraies de l'Adrar mauritanien. Fruits, 23, pp:271–275.
133. **Luro F., Jacquemond C. & Curk F., 2013.** La clémentine dans la diversité génétique des agrumes. In: C. Jacquemond F. Curk and M. Heuzet (eds.), Les clémentiniers et autres petits agrumes, Quae, Versailles, pp : 17-36.
134. **Mabberley D. J., 1997.** A classification for edible Citrus (Rutaceae). *Telopea*, 7(2), pp : 167-172.
135. **MADR., 2009.** La Ministre de l'Agriculture et du développement du Rural. La direction des statistiques Agricoles et des systèmes d'information. MADR. Algérie.
136. **Mariau D., 1996.** Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures pérennes tropicales. Ed. CIRAD. Paris, 67 p.



137. **Mariau D., 1999.** Integrated pest management of tropical perennial crops. CIRAD. 173 p.
138. **Martel P., 1970.** Étude de la cochenille du pin, *Phenacaspis pinifoliae* (Fitch) (Homoptera: coccidae) dans les Cantons de l'Est. Mem. Doc, Université de Sherbrooke. 186 p.
139. **Martin-Prével P., Gagnard J. & Gautier P., 1984.** L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. Édit. Tech et Doc. Lavoisier., Paris, pp : 187-224.
140. **Marullo R., 1998.** *Pezothrips kellyanus* un nuovo thripide parassita delle culture meridionali. Inform. Fytopatol. 10, pp : 72-74.
141. **McClure M. S., 1990a.** Ecology: influence of environmental factors,. III D. Hosen [ed.], Armored scale insects: their hiology, natural enemies and control. Elsevier, Amsterdam. pp : 319-329.
142. **Menzer N., 2016.** Entomofaune de l'olivier dans quelques régions d'Algérie Mém. doc. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 79 p.
143. **Merazi N., 2010.** Rôle des parasites dans la régulation des populations de cochenilles sur leurs hôtes. Mem. Ing. Agron., Ecole Nat. Sup. Agron. El-Harrach, Alger, 40 p
144. **Metcalf C.L. & Hockenyos G.L. 1929.** The nature and formation of scale insect shells . Trans. 111. State Acad. Sci. 22, pp : 166-184.
145. **Miller D. R. & Kosztarab M., 1979.** Recent advances in the study of scale insects. Annual review of entomology, 24(1), pp : 1-27.
146. **Morin O., 2005.** Le Partenariat euro-méditerranéen: A la recherche d'un nouveau souffle. Etudes, 402(2), pp : 163-174.
147. **Moumen K., 1989.** Bioécologie du Pou de San José, *Quadraspidiotus perniciosus* C. (Hom ; Diaspididae) dans un verger de pommiers dans la région de Koléa et approche biologique de son parasite externe *Aphytis mytilaspidis* Le Baron (Hymenoptera ; Aphelinidae). Mem. Ing., INES, Blida, 134 p.
148. **Moussaoui N., 1990.** Etude préliminaire sur la biologie de *Parlatoria pergandii* C. (Homoptera: Diaspididae) sur clémentinier dans la région de Boufarik et sa relation avec son parasite externe *Aphytis hispanicus* Mercet. (Hym : Aphelinidae). Mem. Ing., INES, Blida, 184 p.
149. **Mutin, G., 1980.** Agriculture et dépendance alimentaire en Algérie. *Maghreb Machrek: monde arabe*, 90 p.
150. **N'Dayegamiye A. D. R. I. E. N., 2007.** Le travail du sol: une importante régie agricole. *Le producteur de lait quebecois*, pp : 39-42.
151. **Nicholson A.J. & Bailey V.A., 1935.** The balance of animal populations. Part I. Proceedings of the Zoological Society of London, pp : 551-598. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1935.tb01680>.
152. **Nicolosi E., Deng, N.Z., Gentile A., La Malfa S., Continella G. & Tribulato E., 2000.** Citrus phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers. Theor. Appl. Genet. 100, pp : 1155-1166.



153. **ONAGRI., 2018.** Note de veille Agrumicole Un regard sur le marché mondial et Tunisien des Agrumes. 3p.
154. **O.N.M., 2018.** Relevés météorologiques de l'année 2016 et 2017. Office National de météorologie Station de Dar El Beida.
155. **Obame Minko D., 2009.** Influence des facteurs écologiques (température et hygrométrie) sur le développement de la cochenille farineuse du manioc (*Phenacoccus manihoti* Matile Ferrero, Homoptera: Pseudococcidae). *Tropicultura*, 27. (1), pp : 21-25.
156. **OILB, 1974.** Lutte biologique contre les cochenilles et aleurodes des agrumes. Bulletin OILB (Organisation Internationale de Lutte Biologique), 3, 174 p.
157. **Ollitrault P., Terol J., Chen C., Federici C. T., Lotfy S., Hippolyte I. & Brunel D., 2012.** A reference genetic map of *C. clementina* hort. ex Tan.; citrus evolution inferences from comparative mapping. *BMC genomics*, 13(1), pp : 1-20.
158. **Onillon J. & Abbassi M., 1973.** Notes bioécologiques sur l'aleurode flocconeux des agrumes *Aleurothrixus floccosus* Mask. (Homoptera, Aleurodidae) et moyens de lutte. *Al-Awamia*, 49, pp : 99-116.
159. **Ouédraogo S.N., 2011.** Dynamique spatiotemporelle des mouches des fruits (Diptera, tephritidae) en fonction des facteurs biotiques et abiotiques dans les vergers de manguiers de l'ouest du burkina faso. Mem. Doc. Univ. Paris Est. 184 p.
160. **Ouedraogo SN., 2002.** Etude diagnostique des problèmes phytosanitaires du « manguiers » (*Mangifera indica* L.), de l'oranger (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) et du mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) dans la province du Kéné Dougou. Mem. Ing. agro. Univ. polytechnique de Bobo-Dioulasso Institut du développement rural (Burkina Faso), 94p.
161. **Paulian R., 1950.** Insectes utiles et nuisibles de la région de Tananarive. Tananarive, 120 p.
162. **Peacock L., Worner S. & Sedcole R., 2006.** Climate variables and their role in site discrimination of invasive insect species distributions. *Environmental entomology*, 35(4), pp : 958-963.
163. **Pekas A., 2010.** Factors affecting the biological control of California red scale *Aonidiella aurantii* by *Aphytis* in eastern Spain Citrus: host size, ant activity, and adult parasitoid food sources. Universidad Politécnica de Valencia. Doc. Thesis, 146 p.
164. **Pekas A., A. Tena A. Aguilar A. & Garcia-Marí F., 2010.** Effect of Mediterranean ants (Hymenoptera: Formicidae) on California red scale *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae) populations in citrus orchards. *Environmental Entomology*, 39, pp: 827-834.
165. **Pekas A., Aguilar A., Tena B. & Garcia-Marí F., 2010.** Influence of host size on parasitism by *Aphytis chrysomphali* and *A. melinus* (Hymenoptera, Aphelinidae) in Mediterranean populations of California red scale *Aonidiella aurantii* (Hemiptera, Diaspididae) *Biological Control*, 55, pp: 132-140.
166. **Pekas A., Tena A., Aguilar A. & Garcia-Marí F., 2011.** Spatio-temporal patterns and interactions with honeydew-producing Hemiptera of ants in a Mediterranean citrus orchard. *Agricultural and Forest Entomology*, 13(1), 89 p.



167. **Pekas A., Tena A., Harvey J.A., Garcia-Mari F. & Frago E., 2016.** Host size and spatio-temporal patterns mediate the coexistence specialist parasitoids. *Ecology*, 97, pp: 1345–1356.
168. **Palmeri V., & Lentini, A., 2008.** Citrus pests and their natural enemies in the Mediterranean area. *IOBC/WPRS Bulletin*, 31(2), pp: 25-32.
169. **Penjor T., Yamamoto M., Uehara M., Ide, M., Matsumoto N., Matsumoto R. & Nagano Y., 2013.** Phylogenetic relationships of Citrus and its relatives based on match gene sequences. *PloS one*, 8(4), pp : 562-574.
170. **Perera M.R., Vargas R.D.F. & Jones M.G. K., 2005.** Identification of aphid species using protein profiling and matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117, pp: 243-247.
171. **Piguet P., 1960.** Les ennemis animaux des agrumes en Afrique du Nord. Ed. Société Schell d'Algérie, Alger, 117 p.
172. **Pilon S., 2012.** Interaction of selenium and non accumulators during co cultivation on seleniferous or non-seleniferous soil- The importance of having good neighbors. *New Phytol.* 194, pp: 264-277.
173. **Podoler H., 1983.** Effects of variable temperatures on responses of *Aphytis melinus* and *A. lingnanensis* to host density. *Phytoparasitica*, 9, pp: 179–190.
174. **Powell G., Tosh C. R. & Hardie J., 2006.** Host plant selection by aphids: behavioral, evolutionary, and applied perspectives. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, pp : 309-330.
175. **Praloran J.C., 1971.** Les agrumes, Techniques agricoles et productions tropicales. Ed.G.P Maisonneuve et Larose, Paris, 485 p.
176. **Quilici S., 2003.** Analyse du risque phytosanitaire(ARP) ; organisme nuisible : *Parlatoria ziziphi* sur les agrumes, 28 p.
177. **Quilici S., Vincenot D. & Franck A., 2003.** Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de La Réunion. France: CIRAD - Chambre d'Agriculture de la Réunion. 168 p.
178. **Richard D., 2004.** Orange et Citron. Ed. Devecchi S.A. Montmartre, Paris, pp : 20-31.
179. **Robert Y., 1982.** Fluctuations et dynamique des populations de pucerons. Jour. étu info. sur les pucerons des cultures. 2- 4 mars 1981, Paris, pp : 21-25.
180. **Rosen D. & Debach P., 1974.** Biosystematic studies on the species of *Aphytis* (Hym: Aphelinidae). *Bulletin SROP*, 3, pp: 21–38.
181. **Rosen D. & Eliraz A., 1978.** Biological and systematic studies of developmental stages in *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae): I. Developmental history of *Aphytis chilensis* Howard. *Hilgardia*, 46(3), pp : 77-95.
182. **Rosen, R. F., 1979.** Biology and ecology of armored scales. *Annual Review of Entomology*, 24(1), pp : 187-208.
183. **Rosen D., 1990.** Armored scale insect. Their biology, natural enemies and control. Vol. A. Amsterdam: Elsevier. 384 p.
184. **Rosen D., DeBach P., Rosen D. & DeBach P., 1979.** Collecting and mounting specimens. *Species of Aphytis of the World: Hymenoptera: Aphelinidae*, pp : 14-17.



185. **Rusch A., Valantin-Morison M., Sarthou J. P. & Roger-Estrade J., 2010.** Biological control of insect pests in agroecosystems: effects of crop management, farming systems, and seminatural habitats at the landscape scale: a review. *Advances in agronomy*, 109, pp : 219-259.
186. **Sadof C. S. & Neal J. J., 1993.** Use of host plant resources by the euonymus scale, *Unaspis euonymi* (Homoptera: Diaspididae). *Annals of the Entomological Society of America*, 86(5), pp : 614-620.
187. **Sarfraz M., Dosdall L. M. & Keddie B. A., 2009.** Host plant nutritional quality affects the performance of the parasitoid *Diadegma insulare*. *Biological Control*, 51(1), pp : 34-41.
188. **Schoener TW., 1974.** Resource partitioning in ecological communities. *Science* 185, pp:27-39
189. **Schvester D., 1956.** Rapports écologiques entre les cochenilles diaspines et leurs plantes hôtes. *Rev. Zool. Agric. Appli.*, 4(6), pp : 72-85.
190. **Scora R. W., 1975.** On the history and origin of Citrus. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, pp : 369-375.
191. **Sorribas J. & Garcia-Mari F., 2010.** Comparative efficacy of different combinations of natural enemies for the biological control of California red scale in Citrus groves. *Biological Control*, 55, pp: 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.06.012>
192. **Sorribas J., Rodriguez R. & Garcia-Mari F., 2010.** Parasitoid competitive displacement and coexistence in Citrus agroecosystems: linking species distribution with climate. *Ecological Applications*, 20, pp: 1101-1113. <https://doi.org/10.1890/09-1662.1>
193. **Sorribas J., Van Baaren J. & Garcia-Mari F., 2012.** Effects of climate on the introduction, distribution and biotic potential of parasitoids: applications to biological control of California red scale. *Biological Control*, 62(2), pp : 103-112.
194. **Sorribas J.J., Rodríguez R., Rodrigo E. & García-Mari F., 2008.** Parasitism levels and species of natural enemies in field populations of California red scale *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae) in eastern Spain. *IOBC/wprs Bull*, 38, pp : 26-33.
195. **Swingle W.T. & Reece PC., 1967.** The botany of citrus and its wild relatives. In: Reuther W, Webber HJ, Batchelor LD (eds) *The Citrus Industry*, Vol 1 (rev). Univ of California Press, Berkley, CA, USA, pp : 190-430.
196. **Swingle, W.T., 1948.** The botany of citrus and its wild relatives of the orange subfamily. In: *citrus industry* .Chap IV.Univ. Calf. Press, Berkelyand Los Angeles. pp : 12-60.
197. **Tabet O., 2017.** Incidence parasitaire de *Comperiella bifasciata* (Hym: Encyrtidae) et d'*Aphytis melinus* (Hym: Aphelinidae) sur les populations du pou de Californie *Aonidiella aurantii* (Hom: Diaspididae) dans un verger d'oranger à Rouïba. *Mem. Mas. Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger)*, 133 p.
198. **Tahiri A., 2007.** Maladies virales des agrumes, Département de Protection des plantes. ENA Meknès. 2 p.



199. **Takagi S., 2002.** One new subfamily and two new tribes of the Diaspididae (Homoptera: Coccoidea). *Insecta Matsumurana New Series*, 59, pp : 55–100.
200. **Takagi S., 2000.** Four extraordinary diaspidids (Homoptera: Coccoidea). *Insecta Matsumurana New Series*, 57, pp : 39–87.
201. **Tanaka S., & Yamada S., 1961.** Citrus virus diseases in Japan. In *International Organization of Citrus Virologists Conference Proceedings*, 2(2), pp : 1957-2010.
202. **Thomas D. B., 2012.** Comparison of insect vacuums for sampling Asian citrus psyllid (Homoptera: Psyllidae) on citrus trees. *Southwestern Entomologist*, 37(1), pp : 55-60.
203. **Trudgill D. L., Honék A., Li D. & Straalen N. M., 2005.** Thermal time: concepts and utility. *Annals of Applied Biology*, 146, pp : 1-14.
204. **Tuncyierek N., 1970.** Les cochenilles nuisibles aux citrus en Turquie, Plant Protection Institute Bornova-Izmir (Turquie) AL AWAMIA, pp : 67-80.
205. **USDA., 1954.** Keys to soil taxonomy, 332p.
206. **Van Lenteren J.C. and DeBach P., 1981.** Host discrimination in three ectoparasitoids (*Aphytis coheni*, *A. lingnanensis* and *A. melinus*) of the oleander scale (*Aspidiotus nerii*). *Netherlands Journal of Zoology*, 31(3), pp: 504-532.
207. **Varikou K., Tsitsipis I., Alexandrakis V. & Hoddle M., 2009.** Effect of temperature on the development and longevity of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera, Thripidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 102(5), pp : 835-841.
208. **Vassiliou V., 2007.** Chemical control of *Pezothrips kellyanus* (Thysanoptera, Thripidae) in citrus plantations in Cyprus. *Crop Prot.* 26, pp: 1579-1584.
209. **Verheij E., 2003.** Agroforesterie. Agrodock 16 CTA Agromisa. Wageningen, The Netherlands. 97 p.
210. **Vet L. E., Van Lenteren J.C. & Woets J., 1980.** The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* (Hymenoptera, Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) IX. A review of the biological control of the greenhouse whitefly with suggestions for future research. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 90 (5), pp : 26-51.
211. **Vincenot D. & Quilici S., 1993.** Lutte intégrée en verger d'agrumes à l'île de la Réunion : Expérimentation et Développement. In *lutte intégrée en agrumiculture*. Ed by Vincenzo Vacante. Bull. OILB. SROP., 18(5), pp: 140–159.
212. **Wagner T. L., Wu H. I., Sharpe P. J., School field R. M. & Coulson R. N., 1984.** Modeling insect development rates: a literature review and application of a biophysical model. *Annals of the Entomological Society of America*, 77(2), pp : 208-220.
213. **Wajnberg E. & Ris N., 2007.** Parasitisme et lutte biologique. Chapitre 8, pp. 257–299. In: Thomas F., Guégan J.F. & Renaud F. (Eds.), *Écologie et évolution des systèmes parasités*, De Boeck, Belgium, 485 p.
214. **Wang Z., Si, Y., Zhang H., Zhang Z., Polaszek A. & Huang J., 2021.** The Pupal Pigmentation Pattern and Pupal Development in the Species of *Aphytis* Howard (Hymenoptera: Aphelinidae). *Insects*, 12(5), 399 p.



215. **Wiedemann C. R. W., 1824.** Ausereuropäische zweiflügelige Insekten. Als Fortsetzung des Meigenschen Werks. Zweiter Theil. Schulz-Wundermann, Hamm. 154 p.
216. **Willard J. R., 1972.** Studies on rates of development and reproduction of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.) (Homoptera, Diaspididae) on citrus. Australian Journal of Zoology, 20(1), pp : 37-47. www.Bayer-agri.fr.
217. **Winkler D.W. & Hall C., 1981.** The dynamics of multiparasitoid-host interactions. American Naturalist, 117, pp: 526–543.
218. **Yu D. S. & Luck R. F., 1988.** Temperature-dependent size and development of California red scale (Homoptera, Diaspididae) and its effect on host availability for the ectoparasitoid, *Aphytis melinus* DeBach (Hymenoptera, Aphelinidae). *Environmental Entomology*, 17(2), pp : 154-161.
219. **Yu D.S., 1986.** The interactions between California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell), and its parasitoids in citrus groves of inland southern California. Doc. Thesis, University of California, Riverside, 105 p.
220. **Zaabta I., 2016.** Ecologie de deux bioagresseurs des agrumes *Lepidosaphes beckii* et *Parlatoria ziziphi* (Homoptera: Diaspididae) dans un verger d'oranger à Rouiba. Mem. Magist, Ecol. Nat. Sup. Agro. El Harrach (Alger), 148 p.
221. **Zaabta I., Boukhobz, L., Mimeche F., & Biche M, 2020.** Role of *Aphytis lepidosaphes* Compere, 1955 (Hymenoptera Aphelinidae) in limiting *Lepidosaphes beckii* (Newman, 1869) (Homoptera Diaspididae) populations in an orange orchard in Rouiba (Algeria). *Biodiversity Journal*, 2020, 11 (1), pp : 35–40.
222. **Zappalà L., Campolo O., Grande S.B., Saraceno F., Biondi A., Siscaro G. & Palmeri V., 2012.** Dispersal of *Aphytis melinus* (Hymenoptera, Aphelinidae) after augmentative releases in citrus orchards. *European Journal of Entomology*, 109, pp: 561–568, <https://doi.org/10.14411/eje.2012.0>



Références Webographiques



1. <https://fr.statista.com/statistiques/990991/production-totale-d-agrumes-par-type-algerie>.
2. www.filaha.com.
3. [www.google earth.com](http://www.google-earth.com).
4. www.Profert.dz.
5. www.scalenet, 2013.
6. <https://fdc.nal.usda.gov/> (USDA 2019).
7. <https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/> (USDA, 2017).
8. <https://fr.statista.com/statistiques/990991/production-totale-d-agrumes-par-type-algerie/> (STATISTA, 2019).
9. <https://www.agroligne.com/site-map/articles/119-e-agroligne/ou-se-rencontrent-ils/france/23814-le-sival-le-salon-des-productions-vegetales.html> (SIVAL, 2014).
10. <https://www.inrae.fr/actualites/zestes-recherche> (INRA 2016).
11. <https://www.agri-mag.com/2017/06/16/agrumes-surproduction-commercialisation/>
12. www.Profert.dz342423
13. <http://entomofaune.qc.ca/Bulletin.html> ((Québec, 2020).
14. <http://aramel.free.fr>.
15. www.Bayer-agri.fr
16. <https://www.catalogueoflife.org/data/taxon/4X4LZ>
17. <http://scalenet.info/catalogue/>



Annexes



Annexe 1- Les protocoles de mesure des paramètres physico-chimiques du sol.

- Mesure du pH

La mesure du pH est une méthode couramment utilisée pour caractériser la réaction du sol, qui est un indicateur de son état d'acidité ou d'alcalinité. En effet, la mesure du pH permet de déterminer le degré d'acidité du sol, qui influe sur la réaction globale du sol. Lorsque la valeur de pH est élevée, la réaction du sol sera alcaline, tandis que si elle est basse, la réaction sera acide. Selon Coineau (1974), le niveau d'acidité du sol est considéré comme l'un des facteurs abiotiques ayant un impact sur la faune du sol.

- Mode opératoire pour mesurer le pH du sol

La mesure du pH du sol est une étape cruciale pour caractériser sa réaction et déterminer sa qualité. Pour cela, un mode opératoire précis doit être suivi pour garantir des résultats fiables. Tout d'abord, il convient de peser 20g de terre tamisée à 2mm et de les placer dans un bêcher de 100ml. Ensuite, 50ml d'eau distillée dégazée doivent être ajoutés, après avoir été bouillie pendant 30 minutes. La suspension doit être agitée à la main et laissée refroidir avant de mesurer le pH en plongeant l'électrode dans la suspension. Il est important de noter que la valeur de pH doit être lue lorsque la lecture s'est stabilisée. Après chaque mesure, l'électrode doit être rincée à l'eau distillée pour éviter toute contamination. Ce mode opératoire permet d'obtenir des résultats précis pour la mesure du pH du sol, qui est un indicateur important pour la qualité et la santé des écosystèmes terrestres.

- Mode opératoire pour mesurer la conductivité du sol

La mesure de la conductivité électrique du sol par l'eau est une méthode couramment utilisée pour diagnostiquer la salinité des sols. Elle est également importante pour évaluer l'aptitude des eaux d'irrigation. La salinité des sols est un problème majeur pour les écosystèmes terrestres, car elle peut affecter la croissance des plantes, réduire la productivité agricole et causer des dommages environnementaux. Pour mesurer la conductivité électrique du sol, un mode opératoire précis doit être suivi. Tout d'abord, 10g de sol tamisé à 2mm doivent être pesés et placés dans un bêcher de 100ml. Ensuite, 50ml d'eau distillée doivent être ajoutés et la suspension doit être agitée avant de laisser reposer. Enfin, la conductivité électrique doit être mesurée à l'aide d'un conductimètre. Cette méthode permet d'obtenir des informations précises sur la salinité des sols, qui sont essentielles pour la gestion des ressources naturelles et la préservation de l'environnement.



- Dosage du calcaire total

Le calcaire total est la quantité totale de calcaire mesurée en utilisant la méthode de destruction à l'HCL, qui est réalisée à l'aide du calcimètre de Bernard. Cette méthode utilise la mesure du CO₂ dégagé par le calcaire (CaCO₃) présent dans 0,5 g de terre neutralisée par de l'acide chlorhydrique. Le dispositif de réaction, également appelé calcimètre de Bernard ou procédé gazométrique, se compose d'une burette pour mesurer le volume de CO₂ dégagé, d'un tube à essai pour l'HCL et d'un erlenmeyer contenant le sol. Le pourcentage de CaCO₃ est calculé à l'aide de la formule suivante : $\% \text{ CaCO}_3 = 0,3 * v * 100 / V * P$, où V est le volume en ml de CO₂ dégagé par 0,3 g de CaCO₃ pur, v est le volume moyen en ml de CO₂ dégagé par l'échantillon et P est la prise d'essai en g. Les résultats peuvent être interprétés en fonction des teneurs en calcaire total selon la proposition suivante : moins de 1 % indique une absence de calcaire, 1 à 5 % indique un faible taux de calcaire, 5 à 25 % indique un taux modéré de calcaire, 25 à 50 % indique un taux élevé de calcaire, 50 à 80 % indique un taux très élevé de calcaire.

- Dosage du carbone organique :

Le dosage du carbone organique repose sur la combustion humide des composés organiques avec un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique, à une température d'environ 125°C. Après la combustion humide, le bichromate de potassium restant est titré à l'aide d'une solution de sel de Mohr. Voici les étapes à suivre : peser 0,2 g de terre séchée (pour les échantillons riches en matière organique contenant plus de 2,5 % de carbone, réduire la quantité à 0,1 g), mettre la prise d'essai dans un ballon à col large de 500 ml, ajouter 10 ml de solution de bichromate de potassium et préparer un témoin (sans échantillon de terre pour valider la normalité de la solution de sulfate de fer), ajouter 15 ml d'acide sulfurique mesuré à l'aide d'une éprouvette, agiter le ballon et le chauffer jusqu'à ébullition, laisser refroidir, transférer la solution dans une fiole de 200 ml en ajoutant de l'eau distillée, prélever 20 ml de contenu avec une éprouvette et le faire passer dans un erlenmeyer de 250 ml, diluer avec 100 ml d'eau distillée, ajouter une pincée de fluorure de sodium en poudre et 5 à 6 gouttes de diphénylamine, et enfin titrer avec la solution de Mohr 0,2N. Lorsque la couleur commence à changer du brun vers le pourpre ou le bleu-violet, ralentir la titration. Le virage est obtenu lorsque la couleur vire vers le vert. La teneur en carbone organique du sol est alors donnée par la formule suivante : $\% \text{ C.O} = (N-n)/p * 0.615$, où N est le volume de sel de Mohr utilisé pour le titrage du témoin, n est le volume de sel de Mohr utilisé pour le titrage de l'échantillon, et p est le poids de



l'échantillon en gramme. Pour obtenir la teneur en matière organique, il suffit de multiplier le pourcentage de CO par 1,72.

-Dosage du Phosphore

La détermination de la concentration de phosphore est cruciale pour la croissance des racines, la production, la floraison et le mûrissement des fruits. Plusieurs méthodes existent pour cette détermination, parmi lesquelles la méthode suivante a été utilisée :

Extraction du phosphore assimilable

- Prendre 5g de terre et les placer dans une fiole de 200ml
- Ajouter 100ml de solution d'extraction (NaHCO₃, 0.5N)
- Ajouter une pincée de charbon actif
- Agiter pendant 30 minutes et filtrer toute la suspension sur un papier à filtration lente.
-

- Dosage par colorimétrie

- Prélever 5ml du filtrat et ajouter 3ml du réactif CSM (chloro-sulfo-molibidique) et laisser le CO₂ se dégager
- Ajouter 2ml d'acide ascorbique, puis chauffer au bain-marie pendant 5 minutes jusqu'à ce que la couleur bleue apparaisse
- Passer au colorimètre pour effectuer une lecture de la densité optique et utiliser également la gamme étalon pour le calcul du coefficient de lecture (C)

La concentration de phosphore assimilable est exprimée en ppm sous forme de P₂O₅. La formule de calcul est la suivante :

$$P_2O_5 \text{ ppm} = X/1000U/vV/P*1000$$

- **X** : concentration obtenue fonction du coefficient de lecture
- **U** : volume colorimétrique (25ml)
- **v** : volume de la prise d'essai (5ml)
- **V** : volume de la solution d'extraction (100ml)
- **P** : poids de la prise d'essai de terre



- Capacité d'échange cationique (CEC)

Mesure l'aptitude d'un matériau à retenir les cations sous forme échangeable, ce qui est une propriété intéressante pour les sols. La méthode opératoire est la suivante :

- Peser 5g de sol dans des tubes à centrifuger de 50ml
- Ajouter 33ml de solution d'acétate de sodium (82g/l) et agiter pendant 15 minutes
- Centrifuger 15 minutes et éliminer le surnageant
- Répéter trois fois l'opération avec de l'acétate de sodium
- Laver le sol avec de l'alcool (éthanol absolu) avec 33ml de solution d'alcool
- Agiter et centrifuger pendant 15 minutes
- Répéter cette opération deux fois
- Reprendre l'échantillon par 33ml d'acétate d'ammonium, remettre le sol en suspension puis laisser en contact (agiter 15 minutes)
- Centrifuger 15 minutes et récupérer la solution limpide dans une fiole jaugée de 100ml, répéter l'opération trois fois.
- Passer au spectrophotomètre pour effectuer une lecture de la densité optique

La formule de calcul de la capacité d'échange cationique est la suivante : $CEC = L/CBD100/P1000$.

Dosage de l'azote total

La méthode de Kjeldahl est utilisée pour mesurer le taux d'azote total dans un sol. L'azote peut se présenter sous forme organique ou minérale, et pour obtenir une mesure précise, il est nécessaire de détruire les composés organiques en effectuant une minéralisation. Cette étape est réalisée en utilisant de l'acide sulfurique concentré et chaud, ainsi qu'un mélange de catalyseurs. Une fois la minéralisation effectuée, l'azote est dosé par une méthode de dosage acide-base. Pour cela, on alcalinise le minéralisat en utilisant une lessive de soude NaOH pour transformer les ions ammonium en ammoniac. Ce dernier est capté sous forme de vapeurs et recueilli dans une solution d'acide borique. L'ammoniac est alors titré par de l'acide sulfurique, et le taux d'azote total est calculé en utilisant la formule $N\% = (A-B) \times N \times 14.007 \times 100/P$ mg, où A représenté la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour le titrage de l'échantillon, B la quantité nécessaire pour le titrage du témoin, N la normalité de l'acide sulfurique, et P la prise d'essai en mg.



-Analyse granulométrique

Également connue sous le nom d'analyse mécanique, consiste à classer les éléments du sol en fonction de leur taille et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (sable, limon, argile). Cette méthode, effectuée selon la technique Rouiller de 1994, permet de définir la texture du sol et d'expliquer ses propriétés physiques, son comportement face à l'eau, l'air et les racines, ainsi que d'évaluer sa stabilité structurale. Pour réaliser cette analyse, on utilise de la terre fine tamisée à maille 2mm, dont la matière organique a été éliminée avec un oxydant énergétique (H₂O₂) pendant une durée qui varie selon la teneur en matière organique (de 24 à 48 heures). Les particules minérales sont ensuite dispersées à l'aide d'un dispersant alcalin (hexametaphosphate de sodium). Les particules de plus de 50 mm de diamètre sont séparées par tamisage, tandis que les particules moyennes et fines sont obtenues par la mesure de la vitesse de sédimentation. Enfin, en utilisant le triangle de texture, on définit la texture du sol.



Annexe 2- Fiche de suivi des cochenilles diaspines

Date :

Espèce :

Date de sortie :

Plante hôte : citronnier

Région d'étude : Heuraoua / Rouiba

Orientation de l'arbre :

Etat phytosanitaire du verger :

| Organe végétatif | Feuilles | | Rameaux |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------|
| | Face inférieure | Face inférieure | |
| Stade de l'insecte | | | |
| Larve 1 mobile vivante | | | |
| Larve 1 mobile morte | | | |
| Larve 1 fixe vivante | | | |
| larve 1 fixe morte | | | |
| Larve 2 femelle vivante | | | |
| Larve 2 femelle morte | | | |
| Larve 2 mâle vivante | | | |
| Larve 2 mâle morte | | | |
| Jeune femelle vivante | | | |
| Jeune femelle morte | | | |
| Pronymphe vivante | | | |
| Pronymphe morte | | | |
| Nymphe vivante | | | |
| Nymphe morte | | | |
| Jeune femelle vivante | | | |
| Jeune femelle morte | | | |
| Femelle adulte vivante | | | |
| Femelle adulte vivante | | | |
| Mâle vivant | | | |
| Mâle vivant | | | |
| Puparium vide | | | |



Annexe 3 -Eléments graphiques relatifs à la fécondité de *L. beckii* à Heuraoua et Rouiba durant la période d'étude 2016/2018 :

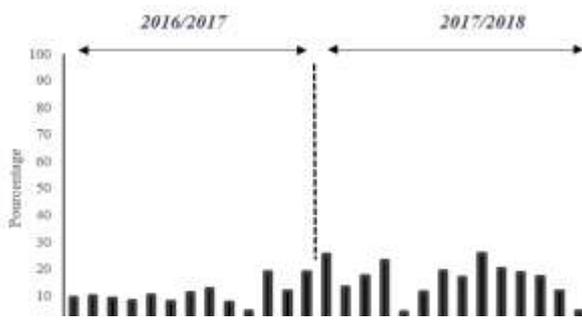


Figure 72 Fécondité moyenne mensuelle de la cochenille virgule sur citronnier à Heuraoua durant la période 2016/2017 et 2017/2018.

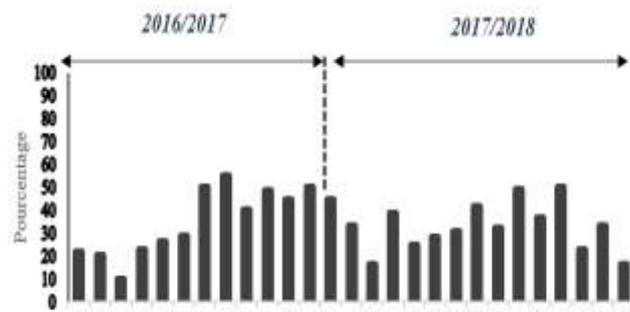
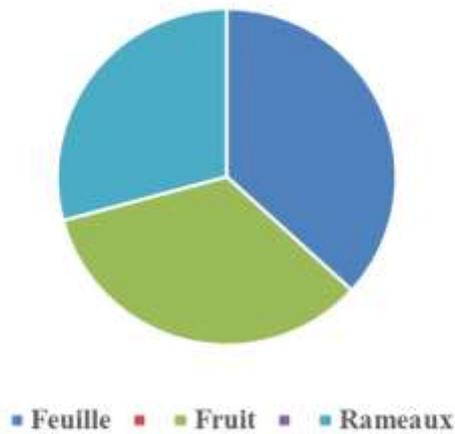
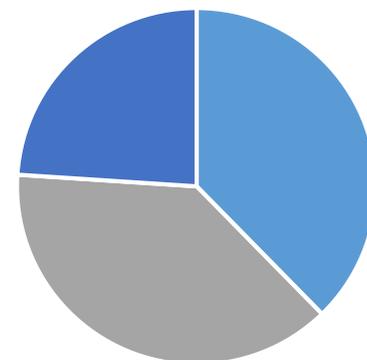


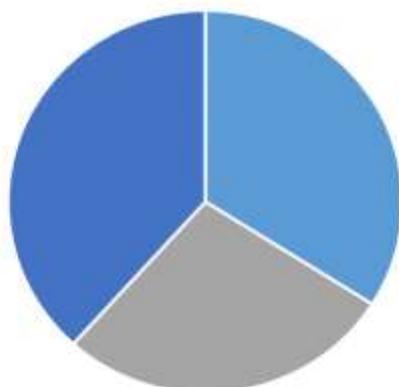
Figure 73. Fécondité moyenne mensuelle de la cochenille virgule sur citronnier à Rouïba durant la période 2016/2017 et 2017/2018.



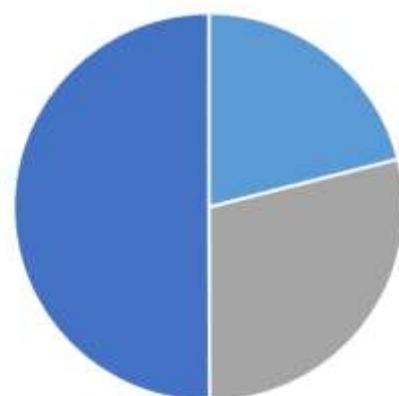
■ Feuille ■ Fruit ■ Rameaux



■ Feuille ■ Fruit ■ Rameaux



■ Feuille ■ Fruit ■ Rameaux



■ Feuille ■ Fruit ■ Rameaux

Figure 74. Fécondité moyenne chez la cochenille virgule (*L. beckii*) en fonction de l'organe sur citronnier à Rouiba durant la période 2016/2017

Figure 75. Fécondité moyenne chez la cochenille virgule (*L. beckii*) en fonction de l'organe sur citronnier à Rouiba durant la période 2017/2018.

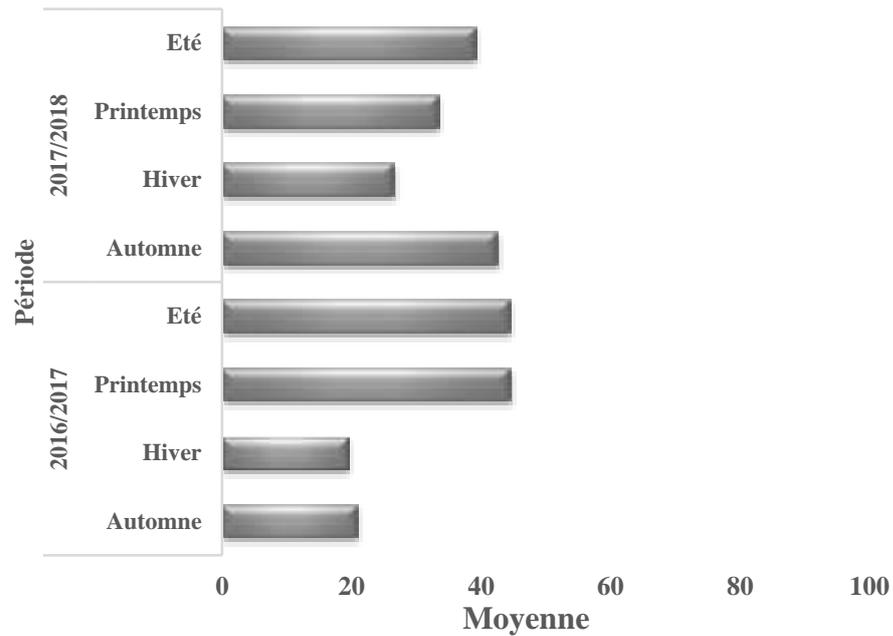


Figure 76. Fécondité moyenne saisonnière chez la cochenille virgule sur citronnier à Heuraoua durant la période 2016/2017 et 2017/2018.

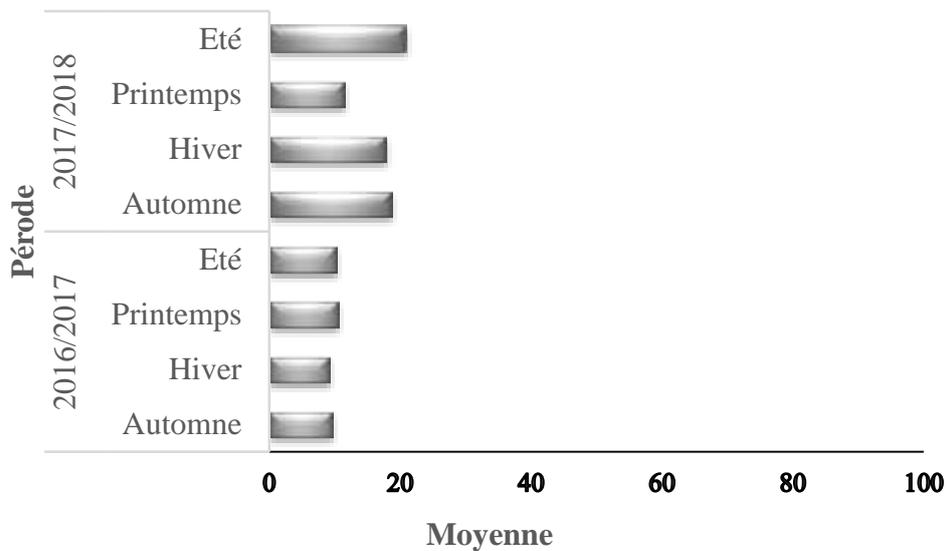
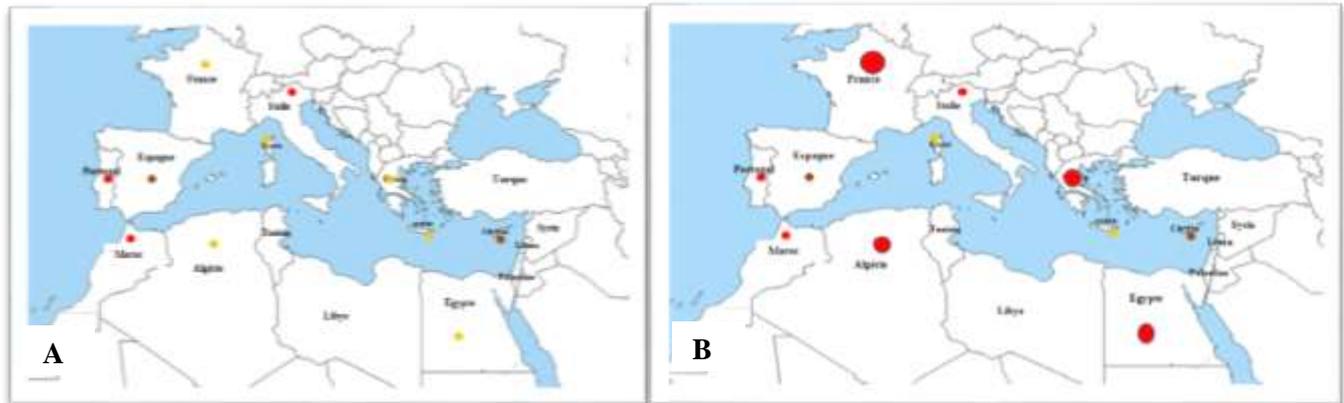


Figure 77. Fécondité moyenne saisonnière chez la cochenille virgule sur citronnier à Rouiba durant la période 2016/2017 et 2017/2018.



Annexe 4- Profil de la cochenille virgule (*L. beckii*) dans la région méditerranéenne (pays partageant les mêmes conditions climatiques) au cours des dernières années.



● + Important ● + - Important ● - Important

Fig. 78. Profil de virgule dans la région méditerranéenne avant (A) et après (B) la dernière décennie.



Publications

Publication 1

Ecological relationship between *Lepidosaphes beckii* (Newman, 1869) (Homoptera Diaspididae) and its two parasitoids *Aphytis melinus* DeBach, 1959 and *A. lepidosaphes* Compere, 1955 (Hymenoptera Aphelinidae) on lemons orchards in two localities of Mitidja Algeria

Yasmina Agagna¹, Khadidja Boudjemaa¹, Narimene Oussalah¹, Ibtissem Beloued¹, Khaoula Aroua² & Mohamed Biche¹

¹Ecole Nationale Supérieure Agronomique 16200 El Harrach Algiers, Algeria

²Département de Biologie. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abbes Laghrour Khenchela, Algeria

*Corresponding author, e-mail: m.biche@ensa.dz

ABSTRACT

The study purpose is to understand the behavior of two hymenoptera parasitoids from *Aphytis* genus, *Aphytis melinus* DeBach, 1959 and *A. lepidosaphes* Compere, 1955, against armored scale host, *Lepidosaphes beckii* (Newman, 1869), in two lemon trees orchards of two localities: Heuraoua and Rouïba. The scale insect (*L. beckii*) develops 3 generations per year in Rouïba locality and 4 generations per year in Heuraoua locality. However, the parasitoid incidence of the two parasitoids species (*A. melinus* and *A. lepidosaphes*) are different between the two localities, according to the seasons and the plant organ. Indeed, the parasitism rate of *A. lepidosaphes* is higher in Rouïba than Heuraoua. Whereas, *A. melinus* activity is very important in Heuraoua and completely absent in Rouïba. Moreover, we noticed an important activity of *A. lepidosaphes* during the autumn and winter period, on branches while *A. melinus* is more active during summer period on scale populations attached to leaves. The comparative study of the morphometric measurements of *L. beckii* female parasitized covers between both localities demonstrate a positive relationship between the measurements of female covers and the parasitism rate recorded in these regions.

KEY WORDS

Aphytis lepidosaphes; *Aphytis melinus*; *Lepidosaphes beckii*; Mitidja; morphometry.

Received 04.11.2021; accepted 11.05.2022; published online 03.06.2022

INTRODUCTION

Citrus are affected by many species harmful insects (scales). Armored scales are economically the most important, by damage and number (419 genus) (Amouroux, 2017). Several species have been recorded in the world and in Algeria. How-

ever, they are difficult to control because of their waxy cover protection (Balachowsky & Mensil, 1935). However, it is possible to break the life cycle of the insect by destroying young larvae, and using natural enemies (Coutin, 1988).

A large number of natural enemies are recorded in the *Citrus* ecosystem as predators and parasitoids

that can decrease scales populations. Among parasitoid taxon, the species of *Aphytis* genus are primary ectoparasitoids and the most important natural biological agents of the scale insect (Rosen & Debach, 1974). Their effectiveness in biological control of scales has been successfully demonstrated since the 1970s, due to the intensive studies organized by the OILB group work (1974). According to Zappala et al. (2012), understanding the mechanisms of population differentiation in parasitoids is essential. Indeed, many research works are directed towards this concept, citing the studies on interspecific competition between parasitoids undertaken by Sorribas & Garcia-Mari' (2010), Sorribas et al. (2010), Cebolla (2018) which have shown the capacity of *Aphytis melinus* DeBach, 1959 to displace *A. crysomphalii* Mercet, 1912 on *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879). Unfortunately, in Algeria, very few studies have been done in details on the parasitoids of armored scales until now (Moumen, 1989; Chergui, 1990; Moussaoui, 1990; Amr Chentir, 1990 and Biche & Bourahla, 1993). Except those carried out by Biche (1988) on the biology of *Aphytis maculicornis*, an external parasitoid of *Parlatoria oleae* pest on olive tree.

In order to provide more knowledge needed in a biological control program, we conducted this study, which aims to better understand the two parasitoids distribution: *A. lepidosaphes* and *A. melinus*, towards their hosts, *Lepidosaphes beckii*. For this purpose, we carried out a comparative analysis of the development of the scale populations and its two parasitoids on lemon trees between two different localities in Algeria (Heuraoua and Rouïba).

MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in two lemon trees orchards (Eureka Lemon: *Citrus limon* var. *eureka*) located in two different regions: Rouïba (36°18'47.25"N) and Heuraoua (3°18'43.33"E), in the eastern part of the Mitidja, north of Algiers (Fig. 1).

In each locality, sampling were collected three times a month from October 2016 to December 2018. Each orchard was divided into 9 plots from each block, we choose one of the most infested trees. From four cardinal directions, as well as the

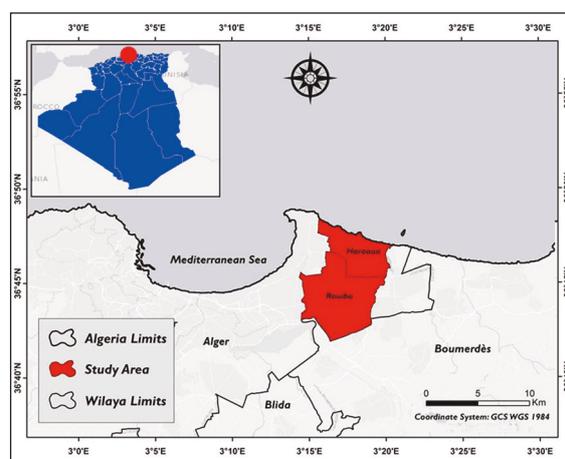


Figure 1. Location of the two studied orchards in the Mitidja plain (Algeria).

center of each tree: 2 twigs of 20 cm long, 2 leaves and 1 fruit are taken. We examined 81 samples with a total of 14040 twigs, 14040 leaves and 7020 fruits.

Samples were carefully observed under stereomicroscope to quantify the alive, dead and parasitized scales individuals and evaluate the impact of two *Aphytis* species (*Aphytis melinus* and *A. lepidosaphes*) on the scale (*L. beckii*).

Thus, the *Aphytis* parasitoids were identified according to their pupae coloration (Pekas, 2016). Besides, in order to understand the relationship between host size and parasitism, we measured the size of 50 parasitized covers of young females and 50 parasitized covers of adult females of *L. beckii* from each of the two localities in Algeria (Rouïba and Heuraoua), using a stereomicroscope with an ocular micrometer.

To calculate the surface of cover scale, we used a formula established by a Professor Leggat Réda, a mathematics teacher from the University of Boubaker Belkaid (Tlemcen-Algeria). This formula requires the identification of four micrometric dimensions (a, b, c, and d), from a triangular shape surface represented on a cover model of the female *L. beckii* (Fig. 2) under the following formula:

Parasitic cover surface in mm²

$$\approx \left[\left(\frac{ac}{4} + \frac{bc}{4} \right) + \left(d * \sqrt{b^2 + \frac{c^2}{4}} \right) \right]$$

Excel Stat 2014 software was used for the Statistical analyses. Our data are subjected to ANOVA, means were separated by Tukey’s test at 5% level of significance.

RESULTS AND DISCUSSION

Scales recorded

In addition to the presence of *Lepidosaphes beckii* in both lemon trees orchards (Heuraoua and Rouïba), we also noticed other armored scales species such as: *Anidiella aurantii*, *Chrysomphalus dictyospermi*, *Lepidosaphes gloverii*, *Parlatoria pergandii* and *Parlatoria ziziphi*.

The comparative study of the abundance rate between the different species of scale insects in the two localities showed that *L. beckii* and *A. aurantii* are the most abundant during the whole period of study, representing respectively a rate of 35.49% and 37.48% in the locality of Rouïba and a rate of 46.21% and 18.77% in the locality of Heuraoua (Fig. 3).

Parasitism incidence of A. melinus and A. lepidosaphes on L. beckii in two localities

The results of the comparative parasitism incidence in the populations of *L. beckii* between the two localities reveals that in Rouïba, *L. beckii* is only parasitized by *A. lepidosaphes* with 25.21% of parasitism rate. In Heuraoua, we found the presence of both parasitoids: *A. melinus* and *A. lepidosaphes*. However, *A. melinus* parasitized *L. beckii* with a rate of 27.12%, while its main parasitoid *A. lepidosaphes* showed a relatively low parasitism impact evaluated at 1.55%.

The parasitism rate induced by *A. lepidosaphes* in Rouïba locality (25.21%) is relatively high to that recorded in Heuraoua locality (1.55%) which remains very low (Fig. 4). While incidence parasitism caused by *A. melinus* is most important (27.12%). We expect that the presence of *A. melinus* and *A. lepidosaphes* in the same locality causes an interspecific trophic competition, affecting their parasitism incidence. Indeed, it appears that *A. melinus* was able to keep *A. lepidosaphes* partially away, which explains the low parasitism rate of this parasite.

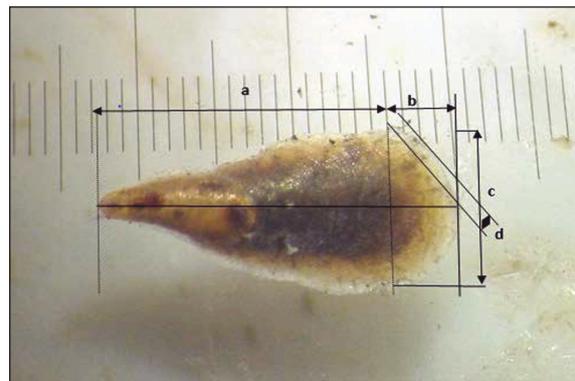


Figure 2. Identification of four micrometric dimensions (a, b, c, and d) from a cover area of *L. beckii*.

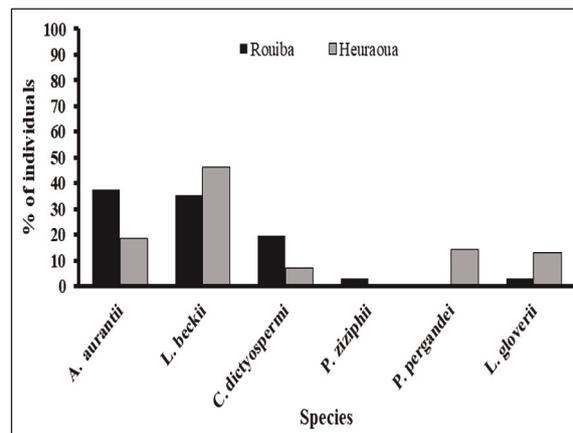


Figure 3. Importance of armored scales on lemon trees orchard in the two localities (Heuraoua and Rouïba) during the period 2016–2018.

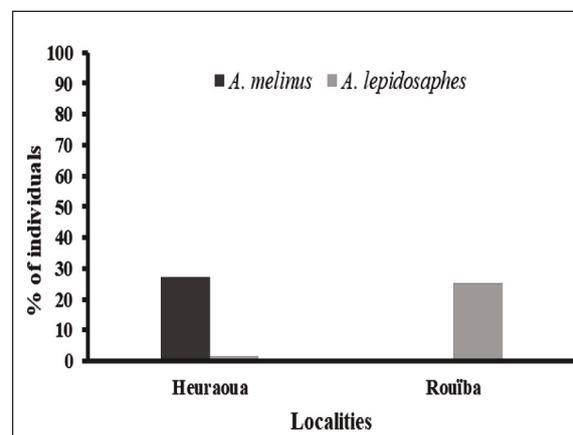


Figure 4. Parasitism incidence of *A. melinus* and *A. lepidosaphes* on *L. beckii* in the two lemon trees (Rouïba and Heuraoua).

Ecological behavior of the two parasitoids

The study of the comparative behavioral ecology of the two parasitoids on *L. beckii* in two localities (Rouïba and Heuraoua) allows us to discuss the interactions shown below.

Generation number and climate impact

From the Fig. 5, it appears that *L. beckii* showed 3 important periods of activity in the locality of Rouïba against 4 important peaks in the locality of Heuraoua during each of the two study years. We also found that the development of the two parasitoids follows the same evolution as their scale host.

The seasonal dynamics monitoring of scale-parasitoid complex in the two stations over two study years is mainly related to climate that characterized the two localities. Indeed, the results show that *L. beckii* develops 3 annual generations in Rouïba while 4 generations per year are recorded in Heuraoua.

This difference in the number of generations of the scale insect *L. beckii* is probably related to the microclimatic conditions of each area, especially the high relative humidity in Heuraoua compared to Rouïba. This is because of the orchard of Heuraoua is characterized by the effect of a relative humidity rate due to its location between the Mediterranean Sea and Lake Regaia. Our results are

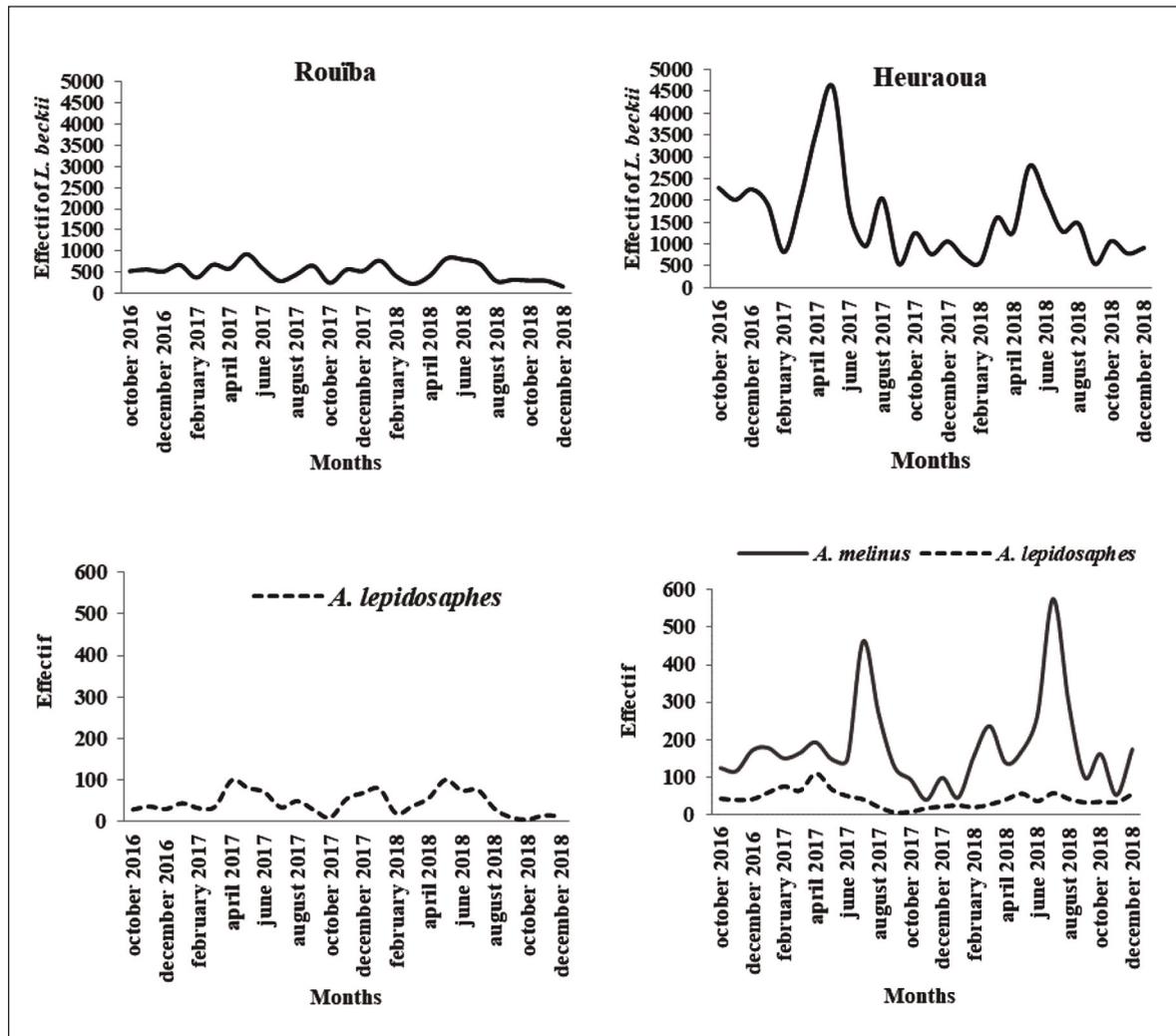


Figure 5. Fluctuation of *L. beckii* population and its two parasitoids (*A. melinus* and *A. lepidosaphes*) on two Lemon trees orchards (Rouïba and Heuraoua).

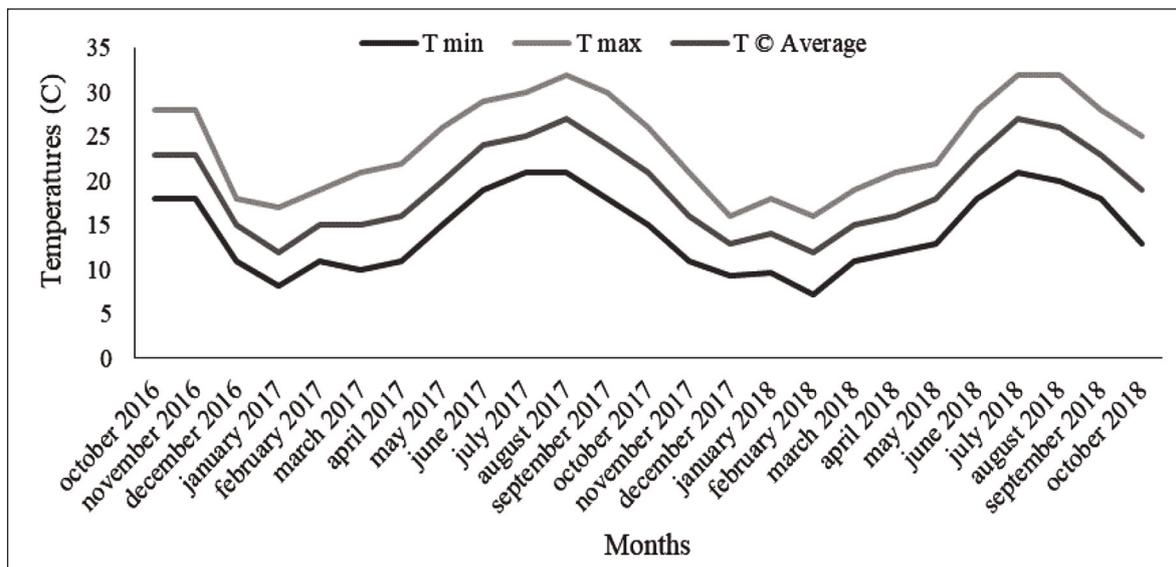


Figure 6. Temperature fluctuation in the two localities (Rouïba and Heuraoua) for the period: 2016/2017 and 2017/2018.

in agreement with Cohic work's (1955) who noticed that this scale has an affinity for shady places characterized by high humidity.

We also noticed that the development of both parasitoids is in perfect synchronization with the availability and development of their host *L. beckii*. From Kfir & Luck (1984), Duale (2005), Kalyebi et al. (2005), Peacock et al. (2006) and Sorribas et al. (2010), the parasitoids have a direct and close relationship with their hosts and share the same development conditions. However, the individuals number of both parasitoids is variable during the study period. In fact, *A. lepidosaphes* reached a maximum of its abundance during the period from October to February–autumn and winter period - during the two years of study. Then a progressive decrease is observed with the arrival of the great temperatures (July–August). It seems that *A. lepidosaphes* is better adapted to low temperatures (cold period). On the other hand, *A. melinus* populations reach their maximum abundance during the summer period (June to August) in both years of the study. We can say that *A. melinus* prefers high temperatures for its optimal development. This is confirmed by the maximum temperatures ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) recorded during the period from June to August (Fig. 6). The studies of Pekas et al. (2010) are in agreement with our results by reporting that this parasitoid shows

a high frequency in localities characterized by hot periods.

The two parasitoids activity towards their host is related to several factors, including climatic factors (temperature and relative humidity) which have a major effect on the natural enemies development. The presence of an additional generation of the scale insect in the Heuraoua region is probably related to the high humidity level (close to 100%). Moreover, the low activity of *A. lepidosaphes* in the summer period can be explained by the high occurrence of *A. melinus* in this region. From Podoler et al. (1983), seasonal climatic variations in temperate zones allow an eco-subordinate parasitoid to coexist in the same locality with a dominant parasitoid when the latter is badly adapted in hot or cold periods.

Distribution according to the plant organs.

In the two localities (Rouïba and Heuraoua), *L. beckii* populations as well as those of the two parasitoids are differently distributed on the plant organs of the lemon trees (twigs, leaves and fruits). In effect, in the Rouïba region, we found that the *L. beckii* populations are more abundant on the twigs during the two years of study. The parasitism rate induced by *A. lepidosaphes* is high recording 58.31% for the first year (2016/2017) and with

31.66% during the second year (2017/2018). In Heuraoua locality, *L. beckii* is more active on the leaves especially on the underside. Similarly, we noticed a high parasitism rate with 53.7% during the 1st period for *A. melinus* and 30.39% rate incidence for *A. lepidosaphes*. In the 2nd year, *A. melinus* showed the same parasitism incidence as in the previous study period (2016/2017) while for *A. lepidosaphes* the parasitism rate was 26.97% evaluated.

Parasitoids preferentially concentrate in areas where their scale hosts are at high densities (Wajnberg & Ris, 2007). The data collected on the spatial distribution of parasitoids show that these natural enemies are located where their host populations are important. They develop a parasitism pressure proportional to the scale density, which shows their great power of adaptation.

Oviposition behavior of the two parasitoids

During our study period, different observations were noticed concerning the oviposition behavior of the two parasitoids (*A. melinus* and *A. lepidosaphes*) towards their scale host (*L. beckii*) between the two localities (Rouïba and Heuraoua) (Fig. 8).

In fact, in Rouïba we have observed that the female of *A. lepidosaphes* lays often only one egg on

its host but can sometimes lay up to two eggs on the adult female of the scale insect. In total, 101 eggs were counted throughout our study period. However, in Heuraoua, we noticed that *A. melinus* laid only one egg on the virgin female while on the adult female, characterized by a large size, 2 eggs per host are frequently counted. In total, 369 eggs are laid by *A. melinus* on *L. beckii* in this region. Concerning the female of *A. lepidosaphes*, we observed that it lays only one egg on the virgin female of *L. beckii*, with a total of 83 eggs during the entire study period.

According to the locality, we observe an intensive oviposition activity in Heuraoua than in Rouïba. This can be explained mainly by the favorable ecological conditions for the development of the two parasitoids in Heuraoua region. On the other part, it is noticed that the scale is parasitized only once, since *Aphytis* is able to detect beforehand the parasitized scale and leave the one already attacked (Abbassi, 1980). Ludeho (1968) reports that the development of *A. lepidosaphes* larvae on a virgin female of *L. beckii* often causes a deformation of the cover which allows *Aphytis* to recognize the parasitized forms externally (Fabres, 1974). On adult female scale, we counted two eggs of the same parasitoid species. Indeed, the female of *A. melinus* and *A. lepidosaphes* during the oviposition often deposited two eggs each on the body of their hosts

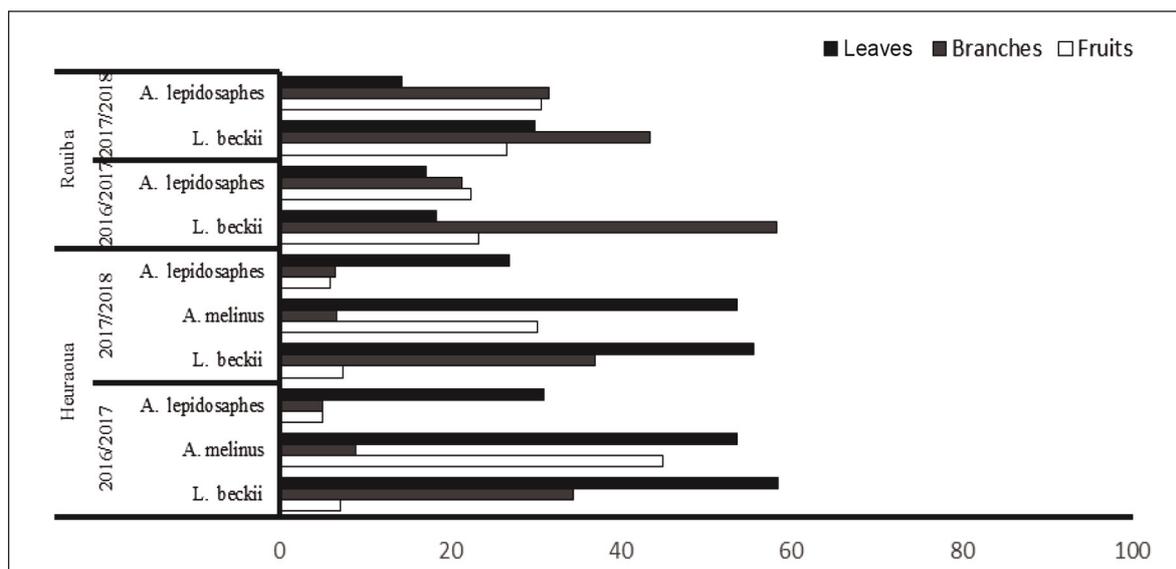


Figure 7. Distribution of *L. beckii* and its two parasitoids according to the plant organ on lemon trees in the two localities (Rouïba and Heuraoua) during 2016–2017 and 2017–2018.

(Gregarization phenomena). Nicholson & Bailey (1935) state that *A. lepidosaphes* is gregarious and specific species, it lays eggs only on *L. beckii*. In addition, Gonzalez (2015) reports observing the phenomena of facultative gregarism in *A. melinus*. On the other hand, we found that *A. melinus* completely dominates on adult females in the Heuraoua where *A. lepidosaphes* oviposition is absent on physiologically older hosts (adult female). This can be explained by the fact that *A. melinus* could compete and eliminate *A. lepidosaphes* from the adult female stage.

Indeed, *L. beckii* has physiological resistant individuals, which encourages species of the genus *Aphytis* to adopt a reproductive strategy that provides good development. However, it has been reported by Winkler (1981) and Briggs (1993) that the resistant host determined by a large size (adult stage), will be monopolized by the dominant parasitoid. In this case, it is *A. melinus* in Rouïba. Pekas et al (2016) add that this parasitoid always wins by occupying the best scale. However, the females of the secondary parasitoid will be obliged to parasitize a smaller scale host which exposes a competitive behavior between parasitoid species. Moreover, *A. lepidosaphes* only parasitizes virgin females of *L. beckii* in the Heuraoua locality, so it only competes with *A. melinus* on virgin females.

Measurement of the parasitized covers of females

In order to understand the behavior of the parasitoids against the same host, a comparative study of the measurements of the covers of the parasitized *L. beckii* females was carried out between the two localities (Rouïba and Heuraoua).

The size comparison of the parasitized covers between the two localities shows that those noticed in Heuraoua are larger than those in Rouïba locality. Indeed, statistical analysis reveals that for virgin females ($F = 30.48$; $DF. = 99$; $p < 0.0001$) as well as for adult females ($F = 63.92$; $DF. = 99$; $p < 0.0001$), individuals from Heuraoua are significantly larger than those from Rouïba. The Tukey test shows the existence of two groups (a and b) (Table 1).

The results obtained show that the parasitized covers of females from Heuraoua are larger than those from Rouïba. It may explain the important pa-

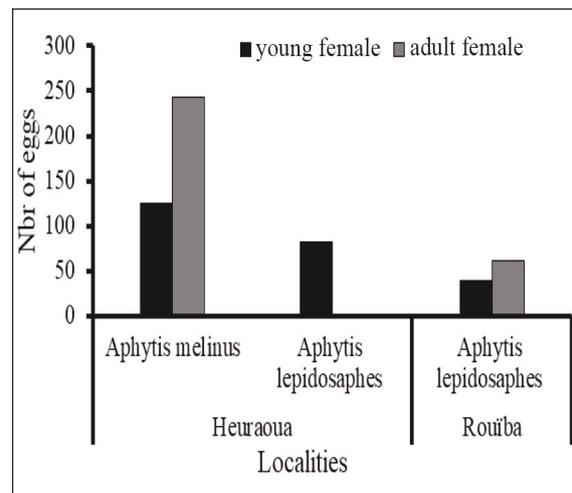


Figure 8. Number of eggs laid by the female of each of the two parasitoids (*A. melinus* and *A. lepidosaphes*) on female individuals (young female and adult female) of *L. beckii* in the two localities (Heuraoua and Rouïba).

| Host | Parasitised cover size (Heuraoua) | Parasitised cover size (Rouïba) |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Young female | 9.61 a | 7.09 b |
| Adult female | 21.48 a | 14.21 b |

Table 1. Comparison of cover size of *L. beckii* females parasitized by *A. lepidosaphes* and *A. melinus* between the two localities (Heuraoua and Rouïba).

rasite activity observed in Heuraoua region where we noticed the presence of two parasitoids: *A. melinus* and *A. lepidosaphes* with a total of 452 parasitoid eggs counted. In addition, the presence of two eggs per host was often encountered in this locality. Whereas in Rouïba, only one parasitoid was noticed during our study, with a relatively low oviposition activity of about 101 eggs. Effectively, host size is known to have an important influence on various components of the physiological condition of adult *Aphytis*, such as longevity, fecundity, or searching ability of the host (Godfray, 1994). As a consequence, larger hosts are better quality as they should result in better and more efficient parasitoids (Pekas, 2010). This is in accord with our results and confirms the impact of host size on parasitism. Si-

milar results are noticed by Boudjema et al (2020) who report the positive relationship between the host size of *Aonidiella aurantii* and the parasitism rate of *A. melinus*. From this, we can conclude that the high parasite activity in Heuraoua locality compared to Rouïba region is directly related to the host size.

On the other side, the scale size can be significantly affected by climatic variations in different localities (Pekas, 2010). However, the difference in the host size between the two localities may be related to the microclimate and host plant effect that characterized each of the two regions and that influence the host plant and indirectly the scale size. According to Fabres (1979), the influence of the perfect thermo hygrometric conditions of the habitat are very favorable to the optimal development of *L. beckii*. In this case, the orchard situated in the Heuraoua locality is exposed to a very high level of humidity (the sea and the lake approximately from the orchard) compared to the Rouïba orchard. We think that this high humidity level could favor the presence of large scales in Heuraoua. On the other side, Biche & Sellami (1999) showed that the host plant acted as a real ecological factor where the action is translated on the duration of the cycle, the sex ratio, the fecundity and also on the females.

CONCLUSIONS

In this study, several species of scale insects were observed but with very variable abundance rates. However, the scale *L. beckii* and *A. aurantii* were the most abundant in the two localities (Rouïba and Heuraoua).

In addition, we noticed the presence of two parasitoids: *A. lepidosaphes* and *A. melinus* in the *L. beckii* populations. These two hymenoptera are capable to limitate effectively the population of purple scales in an eventual biological control program. Furthermore, we found that the development of *A. melinus* and *A. lepidosaphes* is closely related to their host scale evolution, climatic factors such as temperature and relative humidity, as well as to the spatial distribution and developmental stage of their host. However, we observed competition between the two parasitoids in the Heuraoua locality. In effect, *A. melinus* showed a

superior parasitism action than *A. lepidosaphes*, the primary natural enemy of *L. beckii*. Moreover, comparison of the parasitized cover size of *L. beckii* females between the two localities revealed the presence of a positive correlation between the parasitized cover size of the parasitized scale and the parasitism rate.

REFERENCES

- Abbassi M., 1980. Recherche sur deux homoptères fixés des *Citrus*, *Aonidiella aurantii* Mask. (Homoptera, Diaspididae) et *Aleurothrixus floccosus* Maskell (Homoptera, Aleurodidae). Les Cahiers de la recherche agronomique. [Institut national de la recherche agronomique du Maroc, 35: 1–168.
- Amouroux C.P., Crochard D., Germain J.F., Correa M., Ampuero J., Groussier G., Kreiter P., Malausa T. & Zaviezo T., 2017. Genetic diversity of armored scales (Hemiptera: Diaspididae) and soft scales (Hemiptera: Coccidae) in Chile. Scientific Reports, 12 pp. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01997-6>
- Balachowsky A.S. & Mesnil L., 1935. Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs mœurs et leur destruction. Ed. Etablissement Buisson, Paris, 627 pp.
- Biche M., 1988. Etude biologique d'*Aphytis maculicornis* M. (Hym. Aphelinidae) parasite externe de *Parlatoria oleae* (Hom. Diaspididae) ravageur de l'olivier dans la région du Cap Djinet pour une éventuelle lutte biologique. Annales de l'Institut national agronomique El Harrach, n° spécial 1: 119–163.
- Biche M. & Bourahla M., 1993. Observations sur la biologie de *Lepidosaphes destefanii* Leonardi, ravageur de l'olivier dans la région du Cap-Djinet (Algérie) (Homoptera, Diaspididae). Bulletin de la Société entomologique de France, 98: 23–27.
- Biche M. & Sellami M., 1999. Etude de quelques variations biologiques possibles chez *Parlatoria olea* (Colvée) (Homoptera: Diaspididae). Bulletin de la Société entomologique de France, 104: 287–292.
- Boudjema K., Karaca K. & Biche M., 2020. Morphometric comparison between two populations of *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera: Diaspididae) from Algeria and Turkey. Ukrainian Journal of Ecology, 10: 240–244. https://doi.org/10.15421/2020_237
- Briggs C.J., 1993. Competition among parasitoid species on an age-structured host and its effect on host suppression. American Naturalist, 14: 372–397.
- Cebolla R., 2018. Effect of competition between *Aphytis chrysomphali* (Mercet) and *A. melinus* Debach (Hym:

- Aphelinidae). On their coexistence and efficacy as biological control agents of *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera; Diaspididae). PhD Thesis Universitat Jaume I, 232 pp.
- Chentir A., 1990. Bioécologie de *Parlatoria oleae* (Homoptera: Diaspididae) sur pommier dans la région de Miliana et étude biologique de son parasite externe *Aphytis maculicornis*. M. (Hym: Aphelinidae). Mémoire Ingénierie Agronomie Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique Alger, 58 pp.
- Chergui K., 1990. Bioécologie de *Parlatoria oleae* C. (Homoptera: Diaspididae) ravageur du cerisier dans la région de Miliana et étude biologique de son parasite externe *Aphytis maculicornis* (Hym: Aphelinidae). Mémoire Ingénierie Agronomie Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique Alger, 55 pp.
- Cohic F., 1955. Rapport d'une mission aux établissements français de l'Océanie. Fascicule III. Enquête sur les parasites animaux des cultures. Institut Français d'Océanie, Nouméa, ORSTOM, 68 pp.
- Coutin R., 1988. Les cochenilles des conifères. Revue Phytoma, Défense des cultures, 395: 2–44.
- Duale A.H., 2005. Effect of Temperature and Relative Humidity on the Biology of the Stem Borer Parasitoid *Pediobius furrus* (Gahan) (Hym: Eulophidae) for the Management of Stem Borers. Environmental Entomology, 34: 1–5.
- Fabres G., 1974. Contribution à l'étude d'*Aphytis coche-reau* et d'*A. lepidosaphes* (Hym: Aphelinidae) parasites de *Lepidosaphes beckii* (Hom: Diaspididae) en Nouvelle-Calédonie. Annales de la Société entomologique de France, 10: 371–379.
- Fabres G., 1979. Analyse structurelle et fonctionnelle les coccides. Annales de Biologie, 37: 321–341.
- Godfray H.C.J., 1994. Parasitoids: Behavioral and evolutionary ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 473 pp.
- Gonzalez Z.J., Castillo M. & Avilla C., 2015. Improving the knowledge *Aphytis melinus* biology to optimize its mass production: influence of food source, host and parasitoid densities. Bulletin of Insectology, 68: 31–38.
- Kalyebi A., Sithanatham S., Overholt W.A., Hassan S.A. & Mueke J.M., 2005. Parasitism, longevity and progeny production of six indigenous Kenyan (Hym: Trichogrammatidae) at different temperature and relative humidity regimes. Biocontrol Science and Technology 15: 255–270.
- Kfir R. & Luck R.F., 1984. Effect of temperature and relative humidity on developmental rate and adult life span of three *Aphytis* species (Hym: Aphelinidae) parasitizing California red scale. Journal of Applied Entomology, 97: 314–320.
- Ludeho Y., 1968. *Aphytis mytilaspidis* (Le Baron) parasite de *Parlatoria blanchardi* (Targ.) dans les palmeraies de l'Adrar mauritanien. Fruits, 23: 271–275.
- Moumen K., 1989. Bioécologie du Pou de San José, *Quadraspidiotus perniciosus* C. (Hom ; Diaspididae) dans un verger de pommiers dans la région de Koléa et approche biologique de son parasite externe *Aphytis mytilaspidis* Le Baron (Hym. Aphelinidae). Mémoire présenté pour le diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, INES, Blida, 134 pp.
- Moussaoui N., 1990. Etude préliminaire sur la biologie de *Parlatoria pergandii* C (Homoptera: Diaspididae) sur clémentinier dans la région de Boufarik et sa relation avec son parasite externe *Aphytis hispanicus* Mercet. (Hym : Aphelinidae). Mémoire présenté pour le diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, INES, Blida, 184 pp.
- Nicholson A.J., & Bailey V.A., 1935. The balance of animal populations. Part I. Proceedings of the Zoological Society of London, 551–598.
<https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1935.tb01680.x>
- OILB, 1974. Lutte biologique contre les cochenilles et aleurodes des agrumes. Bulletin OILB (Organisation Internationale de Lutte Biologique), 3, 174 pp.
- Peacock L., Worner S. & Sedcole R., 2006. Climate variables and their role in site discrimination of invasive insects species distributions. Environmental Entomology, 35: 958–963.
- Pekas A., 2010. Factors affecting the biological control of California red scale *Aonidiella aurantii* by *Aphytis* in eastern Spain *Citrus*: host size, ant activity, and adult parasitoid food sources. Universidad Politécnica de Valencia. Doctoral Thesis, 146 pp.
- Pekas A., Aguilar A., Tena B. & Garcia-Mari F., 2010. Influence of host size on parasitism by *Aphytis chrysomphali* and *A. melinus* (Hym: Aphelinidae) in Mediterranean populations of California red scale *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae) Biological Control, 55: 132–140.
- Pekas A., Tena A., Harvey J.A., Garcia-Mari F. & Frago E., 2016. Host size and spatio-temporal patterns mediate the coexistence specialist parasitoids. Ecology, 97: 1345–1356.
- Podoler H., 1983. Effects of variable temperatures on responses of *Aphytis melinus* and *A. lingnanensis* to host density. Phytoparasitica, 9: 179–190.
- Rosen D. & Debach P., 1974. Biosystematic studies on the species of *Aphytis* (Hym: Aphelinidae). Bulletin SROP, 3: 21–38.
- Sorribas J. & Garcia-Mari F., 2010. Comparative efficacy of different combinations of natural enemies for the biological control of California red scale in *Citrus* groves. Biological Control, 55: 42–48.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.06.012>

- Sorribas J., Rodriguez R. & Garcia-Mari' F., 2010. Parasitoid competitive displacement and coexistence in citrus agroecosystems: linking species distribution with climate. *Ecological Applications*, 20: 1101–1113. <https://doi.org/10.1890/09-1662.1>
- Wajnberg E. & Ris N., 2007. Parasitisme et lutte biologique. Chapitre 8, pp. 257–299. In: Thomas F., Guégan J.F. & Renaud F. (Eds.), *Écologie et évolution des systèmes parasités*, De Boeck, Belgium, 485 pp.
- Winkler D.W. & Hall C., 1981. The dynamics of multi-parasitoid-host interactions. *American Naturalist*, 117: 526–543.
- Zappalà L., Campolo O., Grande S.B., Saraceno F., Biondi A., Siscaro G. & Palmeri V., 2012. Dispersal of *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) after augmentative releases in citrus orchards. *European Journal of Entomology*, 109: 561–568, <https://doi.org/10.14411/eje.2012.070>

Publication 2

First record of *Pheidole indica* Mayr, 1879 (Hymenoptera, Formicidae) in Algeria (North Africa) and its relationships with local Hemipterans

N. Oussalah, N. Guerrouche, Y. Agagna, X. Espadaler,
A. S. Salem, M. Biche

Oussalah, N., Guerrouche, N., Agagna, Y., Espadaler, X., Salem, A. S., Biche, M., 2022. First record of *Pheidole indica* Mayr, 1879 (Hymenoptera, Formicidae) in Algeria (North Africa) and its relationships with local Hemipterans. *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 20: 1–11, Doi: <https://doi.org/10.32800/amz.2022.20.0001>

Abstract

First record of Pheidole indica Mayr, 1879 (Hymenoptera, Formicidae) in Algeria (North Africa) and its relationships with local Hemipterans. Algeria has a rich ant fauna with more than 340 known species, but the full extent of this diversity is little known. In this study, *Pheidole indica* Mayr, 1879 is recorded for the first time from Algeria. It is considered non-native for the country, taking the number of exotic ants in Algeria to 12. Data concerning its ecology is briefly extended through its relationship with local Hemipterans species and host plants. Three Hemipteran species were found as food sources for *P. indica*: *Icerya purchasi* (Maskell, 1878), *Saissetia oleae* (Olivier, 1791), *Aspidiotus hederae* (Bouché) Vallot, 1829.

Key words: Tramp ants, Algeria, *Pheidole indica*, Cohabitation ant–Hemipterans

Resumen

Primer registro de Pheidole indica Mayr, 1879 (Hymenoptera, Formicidae) en Argelia (norte de África) y sus relaciones con los hemípteros locales. Argelia posee una rica fauna de hormigas, con más de 340 especies conocidas, aunque la misma está todavía insuficientemente estudiada. En este trabajo se registra por primera vez *Pheidole indica* Mayr, 1879 en Argelia, que se considera una especie no nativa del país. Este registro eleva a 12 el número de hormigas exóticas. Sus datos ecológicos se amplían brevemente a través de su relación con las especies locales de hemípteros y la planta huésped. Se han encontrado tres especies de hemípteros como fuentes de alimento para *P. indica*: *Icerya purchasi* (Maskell, 1878), *Saissetia oleae* (Olivier, 1791) y *Aspidiotus hederae* (Bouché) Vallot, 1829.

Palabras clave: Hormigas vagabundas, Argelia, *Pheidole indica*, Cohabitación hormiga–hemípteros

Resum

Primer registre de Pheidole indica Mayr, 1879 (Hymenoptera, Formicidae) a Algèria (nord d'Àfrica) i les seves relacions amb els hemípters locals. Algèria té una rica fauna de formigues, amb més de 340 espècies conegudes, tot i que encara està insuficientment estudiada. En aquest treball es registra per primera vegada *Pheidole indica* Mayr, 1879 a Algèria, que es considera una espècie no nativa del país. Aquest registre eleva a 12 el nombre de formigues exòtiques. Les seves dades ecològiques s'amplien breument a través de la relació amb les espècies locals d'hemípters i la planta hoste. S'han trobat tres espècies d'hemípters com a fonts d'aliment per a *P. indica*: *Icerya purchasi* (Maskell, 1878), *Saissetia oleae* (Olivier, 1791) i *Aspidiotus hederae* (Bouché) Vallot, 1829.

Paraules clau: Formigues vagabundes, Algèria, *Pheidole indica*, Cohabitació formiga–hemípters

Received: 23/11/2021; Conditional acceptance: 11/01/2022; Final acceptance: 03/03/2022

N. Oussalah, Y. Agagna, M. Biche, Higher National Agronomic School Algiers, El Harrach Algiers, Algeria.– N. Guerrouche, Department of Ecology and Environment, University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria.– X. Espadaler, CREA, Autonomous University of Barcelona, Cerdanyola del Vallés, Spain.– A. S. Salem, University Mohamed Boudiaf, M'sila, Algeria.

Corresponding author: N. Oussalah. E-mail: oussalahlavende@yahoo.fr

Introduction

The term exotic does not directly imply invasiveness. It is undeniable that invasive species belong to a subset of exotic species (Williamson and Fitter, 1996). However, some researchers believe that native species of a region can also qualify as invasive when they colonize and dominate an adjacent or nearby habitat following diffusion dispersal (Thompson et al., 1995; Davis et al., 2000).

Three phases are necessary for a successful biological invasion: introduction, establishment, and expansion or spread (Sakai et al., 2001). Detailed knowledge of the presence or arrival of an exotic species in different countries is useful for precautionary management of possible invasion. Prediction of invasiveness uses convergent morphological and life history characteristics to identify potential invaders (Forcella et al., 1986; Mack, 1996; Reichard and Hamilton, 1997). Detection of a transferred species may only occur after it becomes locally abundant. Translocations may pass unnoticed, particularly when a reproducing population is not established. Furthermore, they may disappear from such areas if followed by another competitor. For example, *Linepithema humile* (Mayr) and *Pheidole megacephala* (Fabricius) periodically displace one another in Bermuda (Haskins and Haskins, 1965; Lieberburg et al., 1975). Also, the species composition of transferred 'tramp' (human commensal) ants on islands in Polynesia changes over time, with some tramp species disappearing from specific islands (Wilson and Taylor, 1967).

Invasions have complex and often immense, long-term, direct and indirect impacts. In many cases, such impacts become apparent or problematic only when invaders are well established and have large ranges (Pyšek et al., 2020). According to Lach et al. (2010), ants are among the most devastating invasive species because of their enormous impact on biodiversity. They reduce the diversity of native ants, displace many invertebrate 'arthropods' and negatively affect many vertebrate populations (Lach et al., 2010). This impacts on ecosystem functions such as seed dispersal (Lach, 2003) and soil chemistry (Lach and Hooper–Büi, 2010; Stanley and Ward, 2012) and also affects flowering plants by displacing

pollinators (Lach, 2007). In addition, invasive ants may damage electrical equipment, invade homes, transmit diseases, and constitute a major problem in agricultural areas (Pimentel et al., 2005; Moreira et al., 2005; Wielgoss et al., 2014). Plants with extra-floral nectar, however, generally benefit from the association with invasive ants because these ants are abundant and aggressive, making them better plant guards than native ant species (Lach et al., 2010). Plants hosting aphids also profit in some cases from the presence of invasive ants. One study found that Argentine ants reduced damage to plants by means of skeletonising insects by 50% (Nygaard et al., 2008).

Due to their small size and nesting habits ants are easily transported by humans (Bertelsmeier et al., 2018; Fournier et al., 2019). More than 200 species are known to have established populations outside their native area (Bertelsmeier et al., 2018) and more than 600 species have been introduced outside their native area (Miravete et al., 2013). Exotic ants are often intercepted at ports of entry, frequently detected on plants (Suarez et al., 2005). Currently, the invasive specialist group of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) lists 19 ant species as highly problematic, and five species are even on the list of 'The 100 worst invasive species': the Argentine ant (*Linepithema humile* Mayr, 1868), the yellow crazy ant (*Anoplolepis gracilipes* Smith, 1857), the electric ant (*Wasmannia auropunctata* Roger, 1863), the imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren, 1972), and the big-headed ant (*Pheidole megacephala* Fabricius, 1793) (Holway et al., 2002).

Ants can be found everywhere in Algeria, in forests and in open areas, close to water courses and in dry areas, on clay and on rocks (Cagniant, 1973). Unfortunately, knowledge of ants in Algeria remains poor. This is relatively unsurprising given the remarkable diversity of the eco-systematic, where marine, coastal, forest, mountain, steppe, desert, humid, arid environments and Mediterranean vegetation can all be found (Abdelguerfi et al., 2009). All these factors contribute to the high diversity of insect fauna, and the high degree of endemisms and exotic species. In this setting, the myrmecofauna is no exception (Cagniant, 2006).

The checklist generated in Antmap.org (2021) lists 340 ant species native to Algeria. Moreover, there are 11 exotic species considered non-native to Algeria, according to the literature: (1) *Trichomyrmex destructor* (Jerdon, 1851), mentioned by André (1883) as *Monomorium gracillimum* (Mayr, 1868) without locality name, and by Bernard (1968) as *M. gracillimum* from Tassili n'Ajjer; (2) *Monomorium pharaonis* (Linnaeus, 1758), recorded in Oran by Bernard (1968); (3) *Linepithema humile* (Mayr, 1868) by Frisque (1935), Barech et al. (2015), Slimani et al. (2020); (4) *Paratrechina longicornis* (Latreille, 1802) by Cagniant (1970) and Slimani et al. (2020); (5) *Pheidole megacephala* (Fabricius, 1793) by Chopard (1919); (6) *Tetramorium bicarinatum* (Nylander, 1846), noted by Bernard (1960) in the Gardens at Djanet; (7) *Tetramorium simillimum* (Fr. Smith, 1851), in oases at Djanet (Bernard, 1968); (8) *Tetramorium lanuginosum* (Mayr, 1870) reported by Barech et al. (2011) in an irrigated garden at Higher National Agronomic School Algiers; (9) *Lioponera longitarsus* (Mayr, 1879) by Barech et al. (2017) in an olive grove at Nouara, M'sila; (10) *Strumigenys membranifera* (Emery, 1869) recorded in Aïn Moussa, Ouargla (wild ecosystem) for the first time in Algeria by Chemala et al. (2017) and Oussalah et al. (2019) in the citrus orchard at ITMAS (Institute of Technology on Specialized Agriculture) Heuraoua Rouïba; and (11) *Nylanderia jaegerskioeldi* (Mayr, 1904) noted by Oussalah et al. (2019) in the citrus orchard at ITMAS Heuraoua Rouïba. Furthermore, Salata et al. (2021) have suggested that *Aphaenogaster splendida* might be an exotic species in the Western Mediterranean region.

These publications have provided information and knowledge about invasive species in Algeria but a more thorough investigation and more details are needed. In the present study, we provide the first records of *Pheidole indica* Mayr, 1879 for Algeria, collected in an urban ecosystem, and we include some ecological data about host plants and Hemipteran species associated with this species.

Pheidole Westwood, 1839 is one of the largest ant genera worldwide with approximately 980 described species and 142 subspecies (Longino, 2009; Bolton, 2012). The large number

of species is to be expected as *Pheidole* is the dominant taxon of the New World ground ant assemblages (Fowler, 1994). However, some species are also arboreal and others have symbiotic relationships with myrmecophytes. Indeed, *Pheidole* is now the most species-diverse group of New World organisms after beetles.

Wilson (2003) proposed 19 species groups within the New World *Pheidole* based on overall similarity. Of these species groups, 17 are of New World origin and two are of Old World origin. The two Old World groups are each represented in the New World by a single introduced species (*P. megacephala* and *P. indica*).

Fischer and Fisher (2013) reported that *Pheidole indica* (= *P. teneriffana*) is an invasive species with collection records scattered over several continents and islands across the globe. The spread of this species, like other introduced species, is often associated with the commercial trade of plants (Sarnat et al., 2015). *Pheidole indica* is placed in the category D2 of the classification of Blackbourne et al. (2011). This category includes species that are able to adapt to local environments after introduction in a new place. The success of the adaptation of *P. indica* mostly depends on its polygyny (true or facultative) and polydomy (Sarnat et al., 2015). It seems to be common in dry habitats (Wetterer, 2011), especially along coasts and in urban areas (Collingwood et al., 1997; Gómez and Espadaler, 2006). Furthermore, it has been described as aggressive toward other ant species, locally abundant, and spreading in urban areas (Collingwood, 1985; Gómez and Espadaler, 2006).

Material and methods

Two worker specimens (soldiers) of *Pheidole* sp. were collected from a building in a suburb of Algiers, from a private indoor pot plant *Chlorophytum* in November 2019. After an extensive search in the surroundings of the building, an outdoor population was found in October 2021. The nearby streets within a range of 50 m², centred round the previously mentioned building, were surveyed and a general appraisal was undertaken by identifying trees on which ant workers were present. We examined 25 sidewalk trees of three varieties, *Morus alba* L., *Ficus retusa* L., and *Cupressus sempervirens* L.) and found all were visited by *P. indica*. We counted the ants crossing a virtual horizontal line at breast height for ten minutes each afternoon at 1:00 p.m., once a week, right throughout the month of October 2021.

We also checked the identity of the host tree and the presence of possible food sources, in particular, the sugar liquids of the Hemipterans, which are very attractive for ants.

Sampling of Hemipterans was also carried out once a week during the same month. Three replicate trees were sampled for each of the three tree species. From each tree we took: two twigs of 10 to 20 cm long, and two leaves, those that were most infested by mealybugs.

Mealybugs were counted in the laboratory under a binocular magnifying glass. We counted the total number of individuals of each species of Hemipterans and also the ants that may be associated with these insects. Ants were identified using Sarnat et al. (2015) and available keys (Cagniant, 1966). However, identification of Hemipterans was based on the aspect of the shield (shape, diameter) and its coloration (Benassy, 1961). A guide of crop protection (Paternelle et al., 2000) was used for confirmation. Digital images were prepared using Keyence digital with 4x microscope objective and were taken by Julien Lalanne/(RBINS). Voucher specimens are deposited in the Royal Belgium Institute of Natural Sciences and at the Higher National Agronomic School Algiers.

Anova–one way analysis was performed to assess any differences between the presence of insects in the species trees. Statistical differences were considered as significant when p -value was below 0.05 (confidence interval of 95%). Pearson coefficient was performed to calculate the correlation between the ant and the Hemipteran insects. All statistical analyses were conducted in IBM® SPSS® STATISTICS, 20.



Fig. 1. Image of study area (Algiers, Algeria) *Morus alba* where *Pheidole indica* was detected.

Fig. 1. Imagen del área de estudio (Argel, Argelia). *Morus alba*, donde se localizó *Pheidole indica*.

Results

The study revealed the presence of *Pheidole indica* (fig. 1, 2) in Djebel Bouzegza Street, an urban area in Belfort in El-Harrach, approximately 14 km East of Algiers, and 2.5 km from the coast. The area is situated in the center of the Mitidja plain in north Algeria.

This presence of this exotic species on the three trees was highly significant in *M. alba* (mean = 94.67 ± 5.158 , $p = 0.00$), followed respectively by *F. retusa* and *C. sempervirens* (mean = 25.25 ± 3.646 , $p = 0.00$; 4.17 ± 3.186 , $p = 0.00$).

Three Hemipterans were exclusively observed on mulberry tree (table 1): *Icerya purchasi* (Maskell, 1878), *Saissetia oleae* (Olivier, 1791), *Aspidiotus hederae* (Bouché) Vallot, 1829. The mealybug *I. purchasi* was mainly present in *M. alba*, with the average approximate value of 6 (5.8 ± 1.682). The Coccidae *S. oleae* was only relatively frequent (3.2 ± 1.305) and Diaspididae *A. hederae* was poorly represented (1.33 ± 1.118). These figures do not reflect a strong infestation by Diaspididae and Coccidae (fig. 3).

It is worth pointing out that the presence of this exotic ant species associated with the Hemipterans complexes and host plant shows strong variation. *P. indica* is very important (there might be more than 90 individuals per ten minutes) in association with *I. purchasi* in which the correlation was the highest (Pearson coefficient = 0.902, $p = 0.00$), followed by *S. oleae* (Pearson coefficient = 0.832, $p = 0.00$) and finally *A. hederae* (Pearson coefficient = 0.860, $p = 0.00$).

In one tree an *M. alba* worker of *Plagiolepis schmitzii* (Forel, 1895) was also foraging but in low numbers.



Fig. 2. Soldier worker of *Pheidole indica*.

Fig. 2. *Pheidole indica obrera soldado*.

Discussion

Sarnat et al. (2015) considered *P. indica* as native to the Indomalayan bioregion and belong to the *fervens* clade. In most publications from the References section, this species is mentioned with its junior synonym *Pheidole teneriffana* Forel, 1893.

P. indica is an introduced species, reported from several areas across the world: Africa, Arabic Peninsula, Australia, California, Caribbean islands, China, India Bangladesh, Japan, Korea, Mediterranean region, Malagasy region, Pakistan, Peru, Sri Lanka, West Indian Ocean islands (Wetterer, 2011; Fisher and Fisher, 2013; Sarnat et al., 2015). Described from the Canary Islands and found widely distributed throughout the greater Mediterranean region, its native range (Wilson, 2003; Wetterer, 2011). Recently, Scupola (2021) recorded *P. indica* for the first time in the Middle East, in Jordan. Compared with other countries of the Maghreb (Oussalah et al., 2019), the first records of *P. indica* in the Maghreb were in Tunisia by Santschi (1908) and in Morocco by Delabie (2007). In the present study this exotic species is recorded for the first time in Algeria. These data show *P. indica* was present in the Maghreb the last century but observed in Algeria only recently, in 2019. Ants are often inconspicuous immigrants, and may remain unnoticed for many years after their arrival in a new area. In addition to Morocco and Tunisia, it also occurs in Iberia (Acosta and Martinez, 1983), Greece (Legakis, 2011) and Sicily (Schifani and Alicata, 2018), and smaller islands such as the Canary Islands (Forel, 1893), Pantelleria (Mei, 1995) and the Maltese Islands (Baroni Urbani, 1968).

P. indica has been found in sunny environments rather than from shady places, as was reported by Sarnat et al. (2015). They pointed out that *P. indica* usually nests in sunny and arid places, under stones or pavement tiles, and it is abundant in places rich in food remains and animal corpses. Very often, main nest chambers contain dead workers of the genera *Camponotus* and *Messor*. It is a species that is closely related with anthropogenic habitats. Colonies are facultatively polygynous (Sarnat et al., 2015).

The abundance of *P. indica* in association with various mealybugs in *M. alba* tree seems to be of interest with these Hemipterans. The diet and biology of the genus *Pheidole* could explain these associations. For example, a similar case was observed by Campbell (1994) on host plant Cocoa in Ghana in which *Pheidole megacephala* attended mealybugs, mainly *Planococcoides njalensis* (Laing), and *Planococcus citri* (Risso) (both Pseudococcidae). Concerning others ants, Powell and Silverman (2010) also noted in their study on host

Table 1. Tree hosts and the average of Hemipterans tended by *Pheidole indica* in Algiers from mid October to 1st November 2021.

Tabla 1. Árboles huésped y media de hemípteros relacionados con *Pheidole indica* en Argel desde mediados de octubre hasta el 1 de noviembre de 2021.

| Insect species/trees species | Mean±SD | | |
|---|----------------------|------------------------|----------------------------------|
| | <i>Morus alba</i> L. | <i>Ficus retusa</i> L. | <i>Cupressus sempervirens</i> L. |
| <i>Icerya purchasi</i> (Maskell)/per leaf | 5.8±1.682 | 0 | 0 |
| <i>Saissetia oleae</i> (Olivier)/per twig | 3.2±.305 | 0 | 0 |
| <i>Aspidiotus hederae</i> (Bouché)/per twig | 1.33±1.118 | 0 | 0 |
| <i>Pheidole indica</i> /per ten minutes | 94.67±5.158 | 25.25±3.646 | 4.17±3.186 |

plant cotton in North America that invasive ant species, such as the Argentine ant, *L. humile*, established mutualisms with the aphid species *Aphis gossypii* (Glover) and are generally regarded as more aggressive than native ants *Tapinoma sessile* (Say, 1836). Consequently, they may be more effective at protecting honeydew-producing hemipterans from natural enemy attack. Furthermore, both native and invasive ants are capable of form-

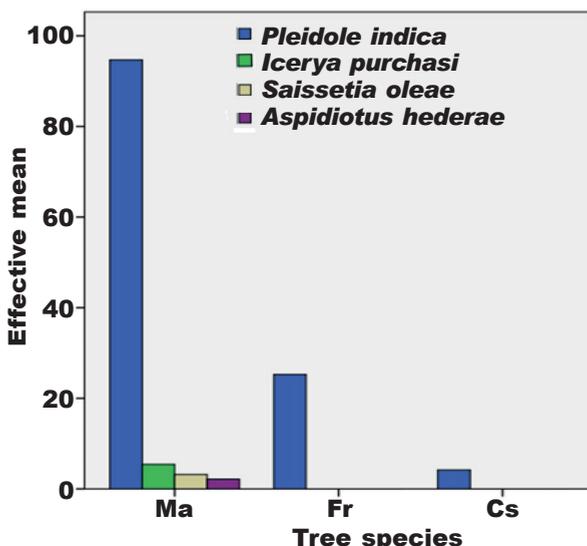


Fig. 3. Fluctuation of the population of Hemipterans species and the ant *P. indica* in three trees species (Ma, *Morus alba*; Fr, *Ficus retusa*; Cs, *Cupressus sempervirens*).

Fig. 3. Fluctuación de la población de especies de hemípteros y de la hormiga *P. indica* en tres especies de árboles (Ma, *Morus alba*; Fr, *Ficus retusa*; Cs, *Cupressus sempervirens*).

ing mutualisms with hemipteran insects. The ecological dominance of invasive ants is often facilitated by hemipteran insects. This association requires invasive ant control strategies to expand beyond ants to consider mutualists (Wang et al., 2021).

Here, we showed that *P. indica*, in much lower number, were foraging on *F. retusa* and *C. sempervirens*. Other plants were present in the street though at the precise date of this survey, they were not recorded as visited by the ants: *Schefflera arboricola* (Hayata) Merr., *Yucca elephantipes* Baker in Regel, *Populus nigra* L. and *Phoenix canariensis* Hort. Ex Chabaud. Since many aphids and scales have been mentioned on all of them (Blackman and Eastop, 1994, 2006; Howard et al., 2001), it remains to be explored whether other plant species from the streets may be visited by *P. indica* in spring or summer. The presence of the species *P. indica* seems to be limited to urban habitats throughout the region, but it does not currently appear to be of concern. Nevertheless, the impact of exotic ants may only be observable after a certain period of time. It is important to emphasise that the ecology and the impacts of this species are poorly studied and require further research.

Acknowledgements

The authors thank Drs. Julien Lalanne and Wouter Dekonink (RBINS) for their support with imaging processing. We also gratefully acknowledge the help of Dr. Badiia S. in identifying botanical species involved. We thank three referees for their careful revision, suggestions, and comments of a previous version.

References

- Abdelguerfi, A. M., Chehat, F., Ferrah, A., Yahiaoui, S., 2009. *Quatrième rapport national sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité au niveau national*. Matet–Fem–Pnud, Algeria.
- Acosta, F. J., Martínez, M. D., 1983. *Pheidole teneriffana* Forel, 1893 (Hym. Formicidae), nueva cita para la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación Española Entomología*, 7: 320.
- André, E., 1883. *Species des Hyménoptères d'Europe et d'Algérie*, tome deuxième. Edmond André, Beaune, France. Accessible online at: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/41011#page/9/mode/1up> [Accessed on January 2021].
- Antmaps, 2021. Available online at: <https://antmaps.org/> [Accessed on January 2021].
- Barech, G., Khaldi, M., Doumandji, S., Espadaler, X., 2011. One more country in the worldwide spread of the woolly ant: *Tetramorium lanuginosum* in Algeria (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*, 14: 97–98.
- Barech, G., Khaldi, M., Espadaler, X., Cagniant, H., 2017. Le genre *Monomorium* (Hymenoptera, Formicidae) au Maghreb (Afrique du Nord): Clé d'identification avec la re description de la fourmi *Monomorium* major Bernard, 1953 nouvelles citations pour l'Algérie. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 61: 151–157.
- Barech, G., Rebbas K., Khaldi, M., Doumandji, S., Espadaler, X., 2015. Redécouverte de la fourmi d'Argentine *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae) en Algérie: un fléau qui peut menacer la biodiversité. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 56: 269–272.
- Baroni Urbani, C., 1968. Studi sulla mirmecofauna d'Italia. IV. La fauna mirmecologica delle isole Maltesi ed il suo significato iogeogrà. *Annali del Museo civico di storia naturale Giacomo Doria*, 77: 408–559.
- Benassy, C., 1961. Les secrétions tegumentaires chez les Coccidés. *Annales de Biologie*, 37(9/12): 165–171.
- Bernard, F., 1960. Notes écologiques sur diverses fourmis Sahariennes. *Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes*, 19: 51–63.

- 1968. Faune de l'Europe et du Bassin Méditerranéen. *Les Fourmis (Hymenoptera: Formicidae) d'Europe occidentale et septentrionale*. Masson, Paris, France.
- Bertelsmeier, C., Ollier S., Liebhold, A. M., Brockerhoff, E. G., Ward, D., Keller, L., 2018. Recurrent bridgehead effects accelerate global alien ant spread. *Proceedings of the National Academy of Sciences, PNAS*, 115: 5486–5491, Doi: [10.1073/pnas.1801990115](https://doi.org/10.1073/pnas.1801990115)
- Blackbourne, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton J. T., Duncan, R. P., 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 26: 333–339, Doi: [10.1016/j.tree.2011.03.023](https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023)
- Blackman, R. L., Eastop, V. F., 1994. *Aphids on the World's trees. An Identification and Information Guide*. CABI Publishing, London, UK.
- 2006. *Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs, vol. 1: Host Lists and Keys. Vol. 2: The Aphids*. John Wiley & Sons Ltd., London, UK.
- Bolton, B., 2012. *AntCat: An online catalog of ants of the world*. <http://antcat.org> [version 1 January 2012].
- Cagniant, H., 1966. Clé dichotomique des fourmis de l'Atlas blidéen. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord*, 56: 26–40.
- 1970. Deuxième liste de fourmis d'Algérie, récoltées principalement en forêt (Deuxième partie). *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 106: 28–40.
- 1973. Note sur les peuplements de fourmis en forêt d'Algérie. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, 108: 386–390.
- 2006. Liste actualisée des fourmis du Maroc. *Myrmecologische Nachrichten*, 8: 193–200.
- Campbell, C. A. M., 1994. Homoptera associated with the ants *Crematogaster clariventris*, *Pheidole megacephala* and *Tetramorium aculeatum* (Hymenoptera: Formicidae) on cocoa in Ghana. *Bulletin of Entomological Research*, 84: 313–318.
- Chemala, A., Benhamacha, M., Ould El Hadj, D. M., Marniche, F., Daoudi, S., 2017. A preliminary list of the ant fauna in northeastern Sahara of Algeria (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 64(2): 146–154, Doi: [10.13102/sociobiology.v64i2.1386](https://doi.org/10.13102/sociobiology.v64i2.1386)
- Chopard, L., 1919. Diagnoses d'espèces nouvelles d'orthoptères. *Bulletin de la société entomologique de France*, 24: 153–156.
- Collingwood, C. A., 1985. Formicidae (Insecta: Hymenoptera). *Fauna of Saudi Arabia*, 7: 230–302.
- Collingwood, C. A., Tigar, B. J., Agosti, D., 1997. Introduced ants in the United Arab Emirates. *Journal of Arid Environments*, 37: 505–512.
- Davis, M. A., Grime, J. P., Thompson, K., 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology*, 88: 528–534.
- Delabie, J. H. C., 2007. Présence de *Pheidole teneriffana* Forel 1893, au Maroc (Hym., Formicidae). *Bulletin de la Société entomologique de France*, 112: 288.
- Fisher, G., Fisher, B. L., 2013. A revision of *Pheidole* Westwood (Hymenoptera, Formicidae) in the islands of the Southwest Indian Ocean and designation of a neotype for the invasive *Pheidole megacephala*. *Zootaxa*, 3683: 301–356.
- Forcella, F., Wood, J. T., Dillon S. P., 1986. Characteristics distinguishing invasive weeds within *Echium*. *Weed Research*, 26, 351–364.
- Forel, A., 1893. Nouvelles fourmis d'Australie et des Canaries. *Annales de la Société entomologique de Belgique*, 37: 454–466.
- Fournier, A., Penone, C., Pennino, M. G., Courchamp, F., 2019. Predicting future invaders and future invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences, PNAS*, 116: 7905–7910, Doi: [10.1073/pnas.1803456116](https://doi.org/10.1073/pnas.1803456116)
- Fowler, H. G., 1994. Relative representation of *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae) in local ground ant assemblages of the Americas. *Anales de Biología*, 19: 29–37.
- Frisque, K., 1935. La Fourmi d'Argentine *Iridomyrmex humilis* Mayr dans les serres en Belgique. *Annales de la Société Entomologique de Belgique*, 75: 148–153.
- Gómez, K., Espadaler, X., 2006. Exotic ants (Hymenoptera: Formicidae) in the Balearic Islands. *Myrmecologische Nachrichten*, 8: 225–233.

- Haskins, C. P., Haskins, E. F., 1965. *Pheidole megacephala* and *Iridomyrmex humilis* in Bermuda, equilibrium or slow replacement. *Ecology*, 46: 736–740.
- Holway, D., Lach, L., Suarez, A. V., Tsutsui N. D., Case T. J., 2002. The causes and consequences of ant invasions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33: 181–233.
- Howard, F. W., Moore, D., Giblin-Davis, R. M., Abad, R. G., 2001. *Insects on palms*. (Ecological studies 142). CABI publishing, Oxon, New York, USA.
- Lach, L. A., 2003. Invasive ants: unwanted partners in ant–plant interactions. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 90: 91–108.
- 2007. Mutualism with a native membracid facilitates pollinator displacement by Argentine ants. *Ecology*, 88: 1994–2004.
- Lach, L., Hooper Bui, L. M., 2010. Consequences of ant invasions. In: *Ant Ecology*: 261–286 (L. Lach, C. L. Parr, K. L. Abbott, Eds.). Oxford University Press, Oxford, UK.
- Lach, L., Parr, C. L., Abbott, K. L., 2010. *Ant Ecology*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Legakis, A., 2011. Annotated list of the ants (Hymenoptera, Formicidae) of Greece. *Hellenic Zoological Archives*, 7: 1–55.
- Lieberburg, I., Kranz, P. M., Seip, A., 1975. Bermudian ants revisited: the status and interaction of *Pheidole megacephala* and *Iridomyrmex humilis*. *Ecology*, 56: 473–478.
- Longino, J. T., 2009. Additions to the taxonomy of New World *Pheidole* (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 2181: 1–90.
- Mack, R. N., 1996. Predicting the identity and fate of plant invaders: emergent and emerging approaches. *Biological Conservation*, 78: 107–121.
- Mei, M., 1995. Hymenoptera Formicidae (con diagnosi di due nuove specie). *Naturalista Siciliano*, 19: 753–772.
- Miravete, V., Roura–Pascual, N., Dunn, R. R., Gómez, C., 2013. How many and which ant species are being accidentally moved around the world. *Biology Letters*, 10: 20140518, Doi: [10.1098/rsbl.2014.0518](https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0518)
- Moreira, D. D. O., Morais, V. de, Vieirai–Da–Motta, O., Campos–Farinha, A. E. D., Tonhasca, A., 2005. Ants as carriers of antibiotic-resistant bacteria in hospitals. *Neotropical Entomology*, 34: 999–1006.
- Nygaard, J. P., Sanders, N., Edward, F., 2008. The effects of the invasive Argentine ant (*Linepithema humile*) and the native ant *Prenolepis imparis* on the structure of insect herbivore communities on willow trees (*Salix lasiolepis*). *Ecological Entomology*, 33(6): 789–795.
- Oussalah, N., Marniche, F., Espadaler, X., Biche, M., 2019. Exotic ants from the Maghreb (Hymenoptera: Formicidae) with first report of the Hairy Alien Ant *Nylanderia jaegerskioeldi* (Mayr) in Algeria. *Arxius de Miscel·lània Zoològica*, 17: 45–58, Doi: [10.32800/amz.2019.17.0045](https://doi.org/10.32800/amz.2019.17.0045)
- Paternelle, M. C., Cluzeau, C., Maurin, G., 2000. *Guide pratique de defense de cultures*. Acta de Paris, Paris, France.
- Pimentel, D., Zuniga, R., Morrison D., 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52: 273–288.
- Powell, B. E., Silverman, J., 2010. Impact of *Linepithema humile* and *Tapinoma sessile* (Hymenoptera: Formicidae) on three natural enemies of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae). *Biological control*, 54: 285–291, Doi: [10.1016/j.biocontrol.2010.05.013](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.05.013)
- Pyšek, P., Hulme P. E., Simberloff, D., Bacher S., Blackburn T. M., Carlton J.T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M., Mandrak, N. E., Meyerson, L. A., Pauchard, A., Pergl J., Roy, H. E., Seebens, H., Kleunen, M., Vilà, M., Wingfield, M. J., Richardson, D. M., 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95: 1511–1534.
- Reichard, S. H., Hamilton, C. W., 1997. Predicting invasions of woody plants introduced into North America. *Conservation Biology*, 11: 193–203.

- Sakai, A. K., Allendorf, F. W., Holt, J. S., Lodge, D. M., Molofsky, J. K., With, K. A., Baughman, S., Cabin, R. J., Cohen, J. E., Ellstrand, N. C., McCauley, D. E., O'Neil, P., Parker, I. M., Thompson, J. N., Weller, S. G., 2001. The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32: 305–332, Doi: [10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114037](https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114037)
- Salata, S., Karaman, C., Kiran, K., Borowiec, L., 2021. Review of the *Aphaenogaster splendida* species-group (Hymenoptera: Formicidae). *Annales Zoologici*, 71: 297–343, Doi: [10.3161/00034541ANZ2021.71.2.008](https://doi.org/10.3161/00034541ANZ2021.71.2.008)
- Santschi, F., 1908. Nouvelles fourmis d'Afrique du Nord (Egypte, Canaries, Tunisie). *Annales de la Société entomologique de France*, 77: 517–534.
- Samat, E. M., Fischer, G., Guénard, B., Economo, E. P., 2015. Introduced *Pheidole* of the world: taxonomy, biology and distribution. *Zookeys*, 543: 1–109, Doi: [10.3897/zookeys.543.6050](https://doi.org/10.3897/zookeys.543.6050)
- Schifani, E., Alicata, A., 2018. Exploring the myrmecofauna of Sicily: thirty-two new ant species recorded, including six new to Italy and many new aliens (Hymenoptera, Formicidae). *Polish Journal of Entomology*, 87(4): 323–348, Doi: [10.2478/pien-2018-0023](https://doi.org/10.2478/pien-2018-0023)
- Scupola, A., 2021. First record of *Pheidole indica* Mayr, 1879 (Hymenoptera: Formicidae) from Jordan. *Biodiversity Journal*, 12(2): 513–516, Doi: [10.31396/Biodiv.Jour.2021.12.2.513.516](https://doi.org/10.31396/Biodiv.Jour.2021.12.2.513.516)
- Slimani, S., Berrai, H., Meridji R., Taheri, A., Dahmani, L., Chebli, A., Biche, M., 2020. New reports of the Argentine ant *Linepithema humile* (Mayr, 1868) (Hymenoptera: Formicidae) in Algeria. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10: 248–252, Doi: [10.15421/2020-239](https://doi.org/10.15421/2020-239)
- Stanley, M. C., Ward, D. F., 2012. Impacts of Argentine ants on invertebrate communities with below-ground consequences. *Biodiversity and Conservation*, 21: 2653–2669, Doi: [10.1007/s10531-012-0324-0](https://doi.org/10.1007/s10531-012-0324-0)
- Suarez, A. V., Holway, D. A., Ward, P. S., 2005. Role of opportunity in the unintentional introduction of non-native ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 102: 17032–17035, Doi: [10.1073/pnas.0506119102](https://doi.org/10.1073/pnas.0506119102)
- Thompson, K., Hodgson, J. G., Rich, T. C. G., 1995. Native and alien invasive plants: more of the same. *Ecography*, 18: 390–402.
- Wang, B., Lu, M., Peng, Y., Segar, S. T., 2021. Direct and indirect effects of invasive vs. native ant-hemipteran mutualism: a meta-analysis that supports the mutualism intensity hypothesis. *Agronomy*, 11(11): 2323, Doi: [10.3390/agronomy11112323](https://doi.org/10.3390/agronomy11112323)
- Wetterer, J. K., 2011. Worldwide spread of *Pheidole teneriffana* (Hymenoptera, Formicidae). *Florida Entomologist*, 94(4): 843–847, Doi: [10.1653/024.094.0417](https://doi.org/10.1653/024.094.0417)
- Wielgoss, A., Tscharrntke, T., Rumedé, A., Fiali, B., Seidel, H., Shahabuddin, S., Clough, Y., 2014. Interaction complexity matters: disentangling services and disservices of ant communities driving yield in tropical agroecosystems. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*, 281(17750): 20132144, Doi: [10.1098/rspb.2013.2144](https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2144)
- Williamson, M., Fitter, A., 1996. The varying success of invaders. *Ecology*, 77(6): 1661–1666.
- Wilson, E. O., 2003a. The encyclopedia of Life. *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 77–80, Doi: [10.1016/S0169-5347\(02\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)00040-X)
- 2003b. *Pheidole in the New World: A dominant, hyperdiverse ant genus*. Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), USA.
- Wilson, E. O., Taylor, R. W., 1967. An estimate of the potential evolutionary increase in species density in the Polynesian ant fauna. *Evolution*, 21: 1–10.

Publication 3



Publication 3 - Présentation des contributions des travaux doctoraux lors du Forum méditerranéen : Perspectives de recherche comportementales et morphologiques de la cochenille virgule approfondies



Certificate of Attendance and Presentation

This is to certify that

Yasmina AGAGNA

has attended the **4th Mediterranean Forum** for PhD students and young researchers *“Mediterranean Agriculture and Food Systems in a Time of Climate Change and Agrofood Crisis”*, held in Chania, Crete, Greece from 4th to 7th of December 2022

AND

has presented the oral presentation titled *“Impact of climate change on behavioural of purple scale *Lepidosaphes beckii* and its parasitoid of genus *Aphytis*.”* whose authors are Yasmina AGAGNA, Ibtissem BELOUED, Mohamed BICHE.

Chania, 9 December, 2022

For the Organizing Committee

Dr. Panagiotis Kalaitzis

Publication 4



Publication 4 - Présentation des contributions des travaux doctoraux lors du Forum méditerranéen : Perspectives de recherche comportementales et morphologiques de la cochenille virgule approfondies



Certificate of Attendance and Presentation

This is to certify that

Ibtissem BELOUED

has attended the 4th **Mediterranean Forum** for PhD students and young researchers *“Mediterranean Agriculture and Food Systems in a Time of Climate Change and Agrofood Crisis”*, held in Chania, Crete, Greece from 4th to 7th of December 2022

AND

has presented the oral presentation titled *“Morphological adaptation strategies of the purple scale *L.beckii* in Algeria.”* whose authors are Ibtissem BELOUED, Yasmina AGAGNA, Mohamed BICHE.

Chania, 9 December, 2022

For the Organizing Committee

Dr. Panagiotis Kalaitzis

العنوان: إيكولوجيا *Lepidosaphes beckii* Newman (Homoptera: Diaspididae) 1869 وعلاقتها بالطفيليين جنس *Aphytis* في بساتين الحمضيات للمنطقة الشرقية من الجزائر العاصمة.

ملخص

يهتم هذا العمل بدراسة إيكولوجيا *Lepidosaphes beckii* ، وهي آفة رئيسية على محاصيل الحمضيات التي تمت مواجهتها على أشجار الليمون في كلا المنطقتين: الروبية و هراوة خلال فترة الدراسة: 2018/2016 ، بالنظر الى الانتشار الكبير والأهمية الاقتصادية للقرمزية *L. beckii* ، قادنا ذلك إلى تفصيل دراستها من خلال تحليل دراسة البيئة التطورية للقرمزية الأرجوانية التي ترتبط بالظروف البيئية لكلا المنطقتين. حيث بينت ديناميكية سكان هذه الآفة ، ثلاث أجيال بمنطقة الروبية و أربعة بمنطقة هراوة. من خلال منهجية *dégré-jour*، تمكنا من تحديد العلاقة بين كل من معدل درجة حرارة وتطور هذه القرمزية *L. beckii* والمشار إليها في الجزء السابق و يعتمد هذا التوزيع على التأثير المتزامن للتفاعل بين الظروف المناخية الكبرى والصغرى، فينولوجيا النبات المضيف والظروف البيئية لمنطقتي الدراسة. فيما يتعلق بالتوزيع المكاني في منطقة هراوة، فإن السطح السفلي للورقة هو مأوى مثالي للقرمزية الأرجوانية بينما تتواجد هذه القرمزية بشكل أكبر على مستوى الفروع في الروبية. حيث يفترض أن هذا التوزيع مرتبط بالظروف المناخية و الحالة الفيزيولوجية للنبات . تظل الأوراق هي الجزء الأكثر تعرضا للمخاطر المناخية والأكثر ضررا لتطور القرمزيات حيث يبقى معدل النفوق بها جد مرتفع مقارب الى 50,38%، ويبدو أيضا أن سمك وخشونة لحاء الأغصان لا تسمح بالتطور الجيد لهذه القرمزيات حيث قاربت نسبة النفوق بهذا الجزء نسبة 46,60% . يوضح تحليل تطور مجموعات الطفيليات من جنس *Aphytis* بالتزامن المثالي مع تطور القرمزية المضيضة *L. beckii* . ويظهر الطفيلي *A. lepidosaphes* تطور أفضل خلال فترات درجات الحرارة المنخفضة. من ناحية أخرى، فتطور الطفيلي *A. melinus* يصل إلى الحد الأقصى خلال فترة الصيف (من جوان إلى أوت) وهذا خلال عامين من الدراسة. الجزء الثاني يتعامل مع البيئة الوظيفية وبذلك، فإن العلاقات البيئية بين: *L. beckii* واثنين من الطفيليات، تجعل من الممكن فهم آلية توزيع هذين الطفيليين، تشير أساسا إلى أن نسبة تطفل *A. melinus* على *L. beckii* قدرت بمعدل 27.12 %، في حين أن الطفيلي الأصلي للقرمزية الأرجوانية *A. lepidosaphes* أظهر تأثير طفيلي منخفض نسبيا 1.55 % . وتبين المقارنة بين سطح دروع الإناث المتطفلة بين المنطقتين أن تلك التي لوحظت في هراوة أكبر من تلك الموجودة في منطقة الروبية. في الواقع، يكشف التحليل الإحصائي أنه بالنسبة للإناث الفتيات ($F = 30.48$ ؛ $df = 99$ ؛ $p < 0.0001$) وكذلك للإناث البالغات ($F = 63.92$ ؛ $df = 99$ ؛ $p < 0.0001$) ، فإن دروع الإناث المتطفلة لمنطقة هراوة أكبر من تلك الموجودة في منطقة روية ، مما يؤدي إلى نشاط غير عادي لـ: *A. melinus* طفيلي جديد على هذه القرمزية القشرية في هراوة. تركيبة التربة ونوعية المغذيات لها تأثير كبير على المظهر المورفولوجي للإناث وكذلك على وفرة القرمزية *L. beckii* . من الواضح أن دراسة البيئة الغذائية للقرمزيات على شجرة الليمون في المنطقتين لها أهمية كبيرة لأنها تطلعننا عن العلاقة بين الأداء البيولوجي لهذه الآفة والجودة الغذائية للنبات المضيف.

الكلمات المفتاحية: الإيكولوجيا، *L. beckii*؛ الطفيليات ؛ *Aphytis lepidosaphes* ؛ *Aphytis melinus* ؛ درجة اليوم الفعالة؛ الوفيات الطبيعية؛ سطح الدروع؛ العناصر الغذائية؛ التربة؛ النبات المضيف؛ روية؛ هراوة.

Titre : Ecologie de *Lepidosaphes beckii* Newman, 1869 (Homoptera: Diaspididae) et sa relation avec ses parasitoïdes de genre *Aphytis* dans deux vergers citricoles de la zone orientale d'Alger.

Résumé : Le présent travail s'intéresse à l'étude de l'écologie de *Lepidosaphes beckii* Newman, ravageur important des agrumes de la zone orientale d'Alger : Rouïba et Heuraoua au cours de la période 2016/2018. Etant donné que la cochenille reste l'espèce la plus abondante et économiquement très importante, nous a conduit à approfondir nos connaissances sur l'écologie évolutive de cette espèce et sa relation avec les conditions environnementales des deux régions d'étude. Les résultats montrent que *L. beckii* développe 3 générations à Rouïba et 4 générations à Heuraoua par an. Par la méthode degré-jour, on a pu mettre en évidence la présence le même nombre de génération indiqué dans la deuxième partie de nos résultats. Ceci en relation directe de l'effet simultané de l'interaction entre les conditions climatiques et microclimatiques, la phénologie de la plante hôte et les conditions environnementales des deux régions d'études. En ce qui concerne la distribution spatiale, la cochenille s'installe beaucoup plus sur la face inférieure des feuilles dans la localité de Heuraoua et sur les rameaux à Rouïba. Cette différence est probablement liée aux conditions microclimatiques et l'état physiologique de l'organe végétal. Les feuilles restent la partie la plus exposées à ces aléas climatiques d'où la mortalité naturelle atteint 50,38%, et il semblerait également que l'épaisseur de l'écorce des rameaux et la rugosité des épidermes restent des endroits défavorables induisant un taux de mortalité naturelle de 46,60% sur cet organe. L'analyse de l'évolution des populations des parasitoïdes du genre *Aphytis* démontre une synchronisation parfaite avec leur hôte *L. beckii*. Il semblerait qu'*A. lepidosaphes* est mieux adapté aux basses températures. D'un autre côté, les populations d'*A. melinus* atteignent leur maximum pendant la période estivale (de juin à août) et ce durant les deux années d'étude. La deuxième partie traite l'écologie fonctionnelle. Toutefois, les relations écologiques entre *L. beckii* et de ses deux parasitoïdes permet de comprendre le mécanisme de distribution de deux parasitoïdes signalent essentiellement que *A. melinus* parasite *L. beckii* avec un taux de 27,12 %, alors que son parasitoïde indigène *A. lepidosaphes* a montré un impact parasitaire relativement faible de l'ordre de 1,55%. La comparaison de la surface des boucliers des femelles parasitées entre les deux localités, montre que ceux notés à Heuraoua sont plus grands que ceux de la région de Rouïba. En effet, l'analyse statistique révèle que pour les jeunes femelles ($F = 30,48$; $df. = 99$; $p < 0,0001$) ainsi que pour les femelles adultes ($F=63,92$; $df.=99$; $p < 0,0001$), les boucliers des femelles parasitées provenant de Heuraoua sont plus grands que ceux de la localité de Rouïba ceci incite à une activité inhabituelle d'*A. melinus* nouveau parasitoïde sur cette diaspine à Heuraoua. La constitution du sol et la qualité des éléments nutritifs ont un effet majeur sur l'aspect morphologique des femelles ainsi que sur l'abondance de *L. beckii*. Il ressort bien que l'étude de l'écologie nutritionnelle de la cochenille virgule sur le Citronnier dans les deux localités à une importance majeure puisqu'elle nous informe sur la relation entre la performance biologique de ce ravageur et la qualité nutritive de sa plante hôte. De plus, ces résultats peuvent être considérés comme un des indicateurs importants de la dynamique des populations de la chaîne trophique cochenille-parasitoïdes.

Mots clés : Ecologie, *L. beckii* ; parasitoïdes ; *Aphytis lepidosaphes* ; *Aphytis melinus* ; degré-jour effectif; Mortalité naturelle ; Surface boucliers ; éléments nutritifs ; sol ; plante hôte; Rouïba ; Heuraoua.

Title: Ecology of *Lepidosaphes beckii* Newman, 1869 (Homoptera: Diaspididae) and relationship with its parasitoids of the genus *Aphytis* in two Citrus crops in the eastern area of Algiers.

Summary: The present work focused on the ecology study of *Lepidosaphes beckii* Newman, an essential citrus pest in the eastern part of Algiers, Rouïba and Heuraoua, during the period of 2016/2018. Given that the scale insect remains the most abundant and economically important species, it led us to deepen our knowledge of the evolutionary ecology of this species and its relationship with the environmental conditions of the two study regions. The results show that *L. beckii* developed 3 generations in Rouiba and 4 generations in Heuraoua per year. Thereby, using the degree-day method, we could highlight the same number of generations as indicated in the second part of our results. This is in direct relation to the simultaneous effect of the interaction between climatic and microclimatic conditions, the phenology of the host plant, and the environmental conditions of the two study regions. With regard to spatial distribution, the scale insect settles much more on the underside of leaves in the locality of Heuraoua and on stems in Rouiba. This difference is probably related to microclimatic conditions and the physiological state of the plant organ. Leaves are the most exposed part to these climatic vagaries, hence natural mortality reached 50.38%. Moreover, appeared that the thickness of the branches bark and the roughness of the epidermis were unfavorable factors that resulted in a natural mortality rate of 46.60% in this organ. The analysis of the *Aphytis* populations evolution demonstrated a perfect synchronization with their host *L. beckii*. It appeared that *A. lepidosaphes* well adapted to low temperatures. On the other hand, populations of *A. melinus* reached their maximum during the summer period (from June to August) through the two-year study period. The second part concerned functional ecology. However, the ecological relationships between *L. beckii* and its two parasitoids allow us to understand the distribution mechanism of the two parasitoids, which essentially indicated that *A. melinus* parasitized *L. beckii* with a rate of 27.12%, whereas its native parasitoid *A. lepidosaphes* showed a relatively low parasitic impact of 1.55%. The comparison of the cover surface of parasitized females between the two localities showed that those noted in Heuraoua are larger than those in the Rouïba locality. Indeed, the statistical analysis revealed that for young females ($F = 30.48$; $df. = 99$; $p < 0.0001$) as well as for adult females ($F=63.92$; $df.=99$; $p < 0.0001$), the parasitized females covers from Heuraoua are larger than those from Rouiba locality, which promoted the unusual activity of *A. melinus*, a new parasitoid on this scale insect in Heuraoua. Soil composition and nutrient quality have a major effect on the morphological females appearance, as well as on the *L. beckii* abundance. Obvious that the study of the nutritional ecology of the purple scale on the Lemon tree in both localities is of major importance as it informs us about the relationship between the pest biological performance and the host plant nutritional quality. Furthermore, these results can be considered as one of the important indicators of the dynamics of the scale insect-parasitoid trophic chain.

Keywords: Ecology, *L. beckii*; Parasitoids; *Aphytis lepidosaphes*; *Aphytis melinus*; Effective degree-day; Natural mortality; Cover surface; Nutrients; Soil; Host plant; Rouïba; Heuraoua.