

الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للعلوم الفلاحية

École Nationale Supérieure Agronomique – El Harrach



Thèse

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

Département de Zoologie Agricole et Forestière

Option : Santé Végétale en Milieu Agricole et Forestier

SUJET

**Ecologie du Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879)
(Homoptera : Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouïba.**

Présentée par : M^{me} BOUDJEMAA-GAMAZ Khadidja

Soutenue le :

Jury:

| | | |
|----------------------|--------------------------------|---|
| Président : | Mr. BENZEHRA A. | Professeur (E.N.S.A El-Harrach, Alger) |
| Directeur de thèse : | Mr. BICHE M. | Professeur (E.N.S.A El-Harrach, Alger) |
| Examinatrice : | M ^{me} MARNICHE F. | Professeure (E.N.S.V Oued Smar, Alger) |
| | M ^{me} BELGUENDOUZ R. | Maître de Conférences A (Univ. Saad Dahleb Blida) |

Année universitaire : 2020/2021

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma mère ; en signe de reconnaissance de l'immense bien qu'elle a fait pour moi concernant mon éducation qui aboutit aujourd'hui à la réalisation de cette modeste étude. Reçoit à travers ce travail, toute ma gratitude et mes profonds sentiments. Que Dieu le tout puissant te protège et t'accorde une longue vie.

A mon très cher époux, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon amour et mon respect pour toi, tu étais toujours à mes côtés, merci pour ton soutien et tes encouragements.

A Mon fils Wassim et à ma très chère sœur Yasmine, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A mon défunt beau-père, qui aurait été si fier de moi. Que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A toute ma famille, ma belle famille et mes amis.

Et A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

Remerciements

Il est essentiel de commencer la rédaction de cette thèse par une page de remerciements, car ce travail n'aurait pu aboutir sans la contribution de nombreuses personnes qui à chaque fois ont répondu à mes sollicitations avec disponibilité et encouragements, ce qui m'a permis d'arriver au terme de ce travail.

D'abord, je tiens à remercier vivement mon encadrant, M^r **BICHE Mohamed**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, pour avoir accepté de diriger ce modeste travail, ainsi que pour son aide, sa patience et ses précieux conseils tout au long de la réalisation de cette thèse. Malgré les difficultés qu'on a rencontrées, il n'a jamais cessé de croire en ma réussite. J'aimerais exprimer toute ma gratitude pour mon directeur de thèse, sans lui ce travail n'aurait pas vu le jour.

Mes remerciements vont aussi à M^r **BENZEHRA Abdelmadjid**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, pour avoir accepté de présider ce jury, mais aussi pour sa disponibilité et son écoute durant ma formation doctorale, sa gentillesse est inestimable.

Je remercie également M^{me} **BELGUENDOZ Rachida**, Maitre de Conférence A à l'Université de Saad Dahlab, Blida et M^{me} **MARNICHE Faiza**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure de Vétérinaire, Alger de m'avoir honoré et accepté d'examiner ce travail.

Mes vifs remerciements et mes respects vont à M^r **SELLAMI Mehdi**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, pour sa sagesse, son écoute, sa compréhension et surtout pour ses encouragements depuis mon premier jour à l'université jusqu'à aujourd'hui.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Mr **SELLAM Fouad**, Maitre-Assistant classe A à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach pour son aide et ses précieux conseils en statistiques.

Un grand merci au Professeur **KARACA Ismail**, Chef de Département d'Agriculture à l'Université d'Isparta Turquie, pour son accueil dans son laboratoire et ses précieux orientations et conseils.

Merci à ma sœur du cœur **CHERGUI Sabrina** d'être toujours présente pour moi, aucun mot ne suffit pour exprimer ma gratitude. Une personne d'exception que dieu la protège.

A la fin, je remercie toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail par une aide, un conseil ou simplement par un encouragement.

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

Table des matières

| | |
|----------------------------|---|
| Introduction générale..... | 1 |
|----------------------------|---|

1^{ère} Partie Synthèse bibliographique

Chapitre I : Présentation des agrumes

| | |
|---|----|
| 1 – Historique..... | 4 |
| 1.1 – Etymologie..... | 4 |
| 1.2 - Origine géographique et dispersion..... | 4 |
| 2 - Aire agrumicole..... | 5 |
| 3 - Importance et production des agrumes..... | 5 |
| 3.1 - Dans le monde..... | 5 |
| 3.2 – En Algérie..... | 6 |
| 4 - Composition variétale..... | 8 |
| 5 - Généralités sur les agrumes..... | 9 |
| 5.1 - Position Taxonomique..... | 9 |
| 5.2 - Caractéristiques botaniques..... | 9 |
| 5.3 - Présentation de quelques espèces et variétés d'agrumes..... | 10 |
| 6 - Phénologie des agrumes..... | 12 |
| 6.1 - Phase de dormance..... | 12 |
| 6.2 - Phase de la croissance végétative..... | 12 |
| 6.2.1 - Poussée de sève printanière..... | 13 |
| 6.2.2 - Poussée de sève estivale..... | 13 |
| 6.2.3 - Poussée de sève automnale..... | 13 |
| 6.3 - Phase reproducteur (fructification)..... | 13 |
| 6.3.1 - Formation des fleurs..... | 13 |
| 6.3.2 – Nouaison..... | 14 |
| 6.3.3 – Croissance et développement du fruit..... | 14 |
| 6.3.4 - Maturation du fruit..... | 14 |
| 7 - Calendrier cultural..... | 14 |
| 8 - Exigences des agrumes..... | 16 |
| 8.1-Exigences climatiques..... | 16 |
| 8.1.1 – La température..... | 16 |
| 8.1.2 – La pluviométrie..... | 16 |
| 8.1.3 – L'humidité..... | 17 |
| 8.1.4 - Les vents..... | 17 |
| 8.2- Exigences édaphiques..... | 17 |
| 9 - Problèmes phytosanitaires..... | 18 |
| 9.1 Les accidents physiologiques..... | 18 |
| 9.2 Les principales maladies des agrumes..... | 18 |
| 9.2.1 – Maladies virales..... | 18 |
| 9.2.2 – Maladies bactériennes..... | 20 |
| 9.2.3 - Maladies cryptogamiques..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 9.3 Les principaux ravageurs des agrumes..... | 22 |
| 9.3.1 – Les insectes..... | 22 |
| 9.3.2 - .Les nématodes..... | 26 |
| 9.3.3 – Les acariens..... | 27 |

Chapitre II : Le Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii*

| | |
|---|----|
| 1 – Généralités..... | 28 |
| 1.1 – Etymologie..... | 28 |
| 1.2 - Les cochenilles..... | 28 |
| 1.3 - Les diaspines..... | 29 |
| 2 - Présentation d' <i>A. aurantii</i> | 30 |
| 2.1 – Nomenclature..... | 30 |
| 2.2 –Classification..... | 30 |
| 2.3 - Origine et répartition..... | 31 |
| 2.4 - Plante hôte..... | 31 |
| 2.5 - Dégâts et importance économique..... | 32 |
| 3 - Biologie d' <i>A. aurantii</i> | 33 |
| 3.1 - Description morphologique..... | 33 |
| 3.1.1 – Critères de détermination des Diaspididae..... | 33 |
| 3.1.2 – Description des stades d' <i>A. aurantii</i> | 35 |
| 3.2 - Cycle de vie..... | 40 |
| 4 - Ecologie d' <i>A. aurantii</i> | 41 |
| 4.1 - Facteurs abiotiques..... | 41 |
| 4.1.1 – Facteurs climatiques..... | 41 |
| 4.1.2 – Facteurs édaphiques..... | 42 |
| 4.2 - Facteurs biotiques..... | 43 |
| 4.2.1 – La plante hôte..... | 43 |
| 4.2.2 – Les ennemis naturels..... | 44 |
| 4.2.2.1 – Les prédateurs..... | 44 |
| 4.2.2.2 – Les parasitoïdes..... | 47 |
| 4.2.3 – Les ennemis naturels des parasitoïdes d' <i>A. aurantii</i> | 52 |
| 5 – Moyens de lutte contre <i>A. aurantii</i> | 52 |
| 5.1 - Méthodes préventives culturales..... | 53 |
| 5.2 - Lutte chimique..... | 53 |
| 5.3 - Lutte biologique..... | 54 |
| 5.4 – Lutte intégrée..... | 54 |

Chapitre III : Les parasitoïdes *Comperiella bifasciata* et *Aphytis melinus*

| | |
|--|----|
| 1 - L'endoparasite <i>Comperiella bifasciata</i> | 56 |
| 1.1 – Généralités..... | 56 |
| 1.2 – Origine et distribution..... | 56 |
| 1.3 - Systématique..... | 57 |
| 1.4 - Caractères morphologiques..... | 57 |
| 1.5 - Biologie de <i>C. bifasciata</i> | 59 |
| 1.5.1 – Cycle biologique de <i>C. bifasciata</i> | 60 |
| 1.6 - Ecologie de <i>C. bifasciata</i> | 62 |
| 1.7 - Importance économique d'utilisation..... | 63 |
| 2 - L'ectoparasite <i>Aphytis melinus</i> | 64 |
| 2.1 –Origine et distribution..... | 64 |
| 2.2 – Systématique..... | 65 |
| 2.3 - Caractères morphologiques..... | 65 |
| 2.4 - Biologie d' <i>A. melinus</i> | 66 |
| 2.4.1 – Cycle biologique..... | 67 |

| | |
|--|----|
| 2.5 - Ecologie d' <i>A. melinus</i> | 69 |
| 2.5.1 – La sélection des hôtes..... | 69 |
| 2.5.2 – Les facteurs affectant l'abondance et l'efficacité d' <i>Aphytis</i> | 70 |
| 2.6 - Importance économique d'utilisation..... | 72 |

2^{ème} Partie
Expérimentations et Résultats

Chapitre IV : Région d'étude et matériel et méthodes

| | |
|--|----|
| 1 - Présentation de la région d'étude..... | 74 |
| 1.1 - Situation géographique de la région..... | 74 |
| 1.2 – Facteurs abiotiques..... | 75 |
| 1.2.1 - Facteurs édaphiques..... | 75 |
| 1.2.2 – Facteurs hydrographiques..... | 75 |
| 1.2.3 – Facteurs climatiques..... | 75 |
| 1.2.3.1 - Les températures..... | 76 |
| 1.2.3.2 – Pluviométrie..... | 77 |
| 1.2.3.3 - Humidité relative (HR%)..... | 77 |
| 1.2.3.4 – Vents..... | 78 |
| 1.3 - Synthèse climatique..... | 78 |
| 1.3.1 - Diagramme pluviothermique..... | 78 |
| 1.3.2 – Climagramme d'Emberger..... | 79 |
| 1.4– Facteurs biotiques..... | 81 |
| 1.4.1 – Données floristiques..... | 81 |
| 1.4.2 - Données faunistiques..... | 82 |
| 2 – Matériel et méthodes réalisés en Algérie..... | 82 |
| 2.1 – Description et choix du site d'étude..... | 82 |
| 2.2 – Dispositif expérimental..... | 84 |
| 2.2.1 - Sur le terrain..... | 84 |
| 2.2.2 - En laboratoire..... | 84 |
| 3 – Matériel et méthodes de travail réalisés en Turquie..... | 88 |
| 3.1 – Présentation des deux régions d'étude..... | 88 |
| 3.2 – Description des sites d'étude..... | 88 |
| 3.3– Méthodologie..... | 90 |
| 3.3.1 - Sur le terrain..... | 90 |
| 3.3.2 - En laboratoire..... | 90 |
| 3.3.3 – Analyse statistique..... | 91 |

Chapitre V :

**Bioécologie du Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* et de ses deux parasitoïdes
Comperiella bifasciata et *Aphytis melinus*.**

| | |
|---|----|
| 1 – Ecologie d' <i>Aonidiella aurantii</i> | 92 |
| 1.1 - Dynamique des populations..... | 92 |
| 1.1.1 – Fluctuation de la population globale..... | 92 |
| 1.1.2 - Fluctuation des larves du premier stade..... | 93 |
| 1.1.3 - Fluctuation des larves du deuxième stade..... | 94 |
| 1.1.4 - Fluctuation des stades nymphaux..... | 95 |
| 1.1.5 - Fluctuations des femelles..... | 96 |
| 1.1.6 - Fluctuation des mâles..... | 97 |
| 1.1.7 - Vol des mâles..... | 97 |
| 1.2 - Reproduction d' <i>A. aurantii</i> | 98 |

| | |
|---|-----|
| 1.3 - Détermination du nombre de génération par l'utilisation de la méthode des degrés jours..... | 99 |
| Discussion..... | 100 |
| Conclusion..... | 105 |
| 1.4 - Distribution selon le stade de développement..... | 105 |
| 1.5 - Distribution cardinale..... | 107 |
| 1.6 - Distribution saisonnière..... | 108 |
| 1.7 - Distribution spatiale..... | 109 |
| Discussion..... | 110 |
| Conclusion..... | 111 |
| 1.8 - Etude de la Mortalité..... | 112 |
| 1.8.1 - Mortalité globale..... | 112 |
| 1.8.2 - Mortalité des larves du premier stade..... | 113 |
| 1.8.3 - Mortalité des larves du deuxième stade..... | 114 |
| 1.8.4 - Mortalité des stades nymphaux..... | 114 |
| 1.8.5 - Mortalité des femelles..... | 115 |
| 1.8.6 - Mortalité des mâles..... | 116 |
| 1.8.7 - Mortalité selon les stades de développement..... | 116 |
| 1.8.8 - Mortalité cardinale..... | 117 |
| 1.8.9 - Mortalité saisonnière..... | 118 |
| 1.8.10 - Mortalité spatiale..... | 119 |
| Discussion..... | 120 |
| Conclusion..... | 122 |
| 1.9 - Influence des facteurs climatiques (températures et pluviométrie) sur la dynamique de populations d' <i>A. aurantii</i> | 122 |
| 1.9.1 - Effet des températures..... | 124 |
| 1.9.1.1 - Sur la population globale..... | 124 |
| 1.9.1.2 - Sur la population larvaire..... | 125 |
| 1.9.1.3 - Sur la population adulte..... | 126 |
| 1.9.1.4 - Sur les pupariums vides..... | 126 |
| 1.9.1.5 - Sur la mortalité globale..... | 127 |
| 1.9.2 - Effet de la variation de pluviométrie..... | 128 |
| 1.9.2.1 - Sur la population globale..... | 128 |
| 1.9.2.2 - Sur la population larvaire..... | 129 |
| 1.9.2.3 - Sur la population adulte..... | 129 |
| 1.9.2.4 - Sur les pupariums vides..... | 130 |
| 1.9.2.5 - Sur la mortalité globale..... | 131 |
| Discussion..... | 131 |
| Conclusion..... | 135 |
| 2 - Ecologie des parasitoïdes..... | 136 |
| 2.1 - Biologie de <i>C. bifasciata</i> | 137 |
| 2.1.1 - Evolution de la population globale..... | 137 |
| 2.1.2 - Evolution des stades larvaires..... | 138 |
| 2.1.3 - Evolution des nymphes..... | 139 |
| 2.1.4 - Evolution des adultes..... | 139 |
| 2.2 - Influence des facteurs climatiques (températures et pluviométrie) sur <i>C. bifasciata</i> | 140 |
| 2.2.1 - Effet des températures sur la population globale..... | 140 |
| 2.2.2 - Effet de la variation de pluviométrie sur la population globale..... | 141 |
| Discussion..... | 142 |
| Conclusion..... | 144 |
| 2.3 - Incidence parasitaire de <i>C. bifasciata</i> | 144 |
| 2.3.1 - Incidence parasitaire sur la population globale d' <i>A. aurantii</i> | 144 |
| 2.3.2 - Incidence parasitaire comparée sur les populations adultes d' <i>A.aurantii</i> | 145 |
| 2.3.3 - Incidence parasitaire chez les femelles d' <i>A. aurantii</i> | 146 |
| 2.3.4 - Incidence saisonnière..... | 146 |

| | |
|---|-----|
| 2.3.5 - Incidence selon l'organe végétal..... | 147 |
| 2.3.6 - Incidence selon l'orientation..... | 148 |
| Discussion..... | 149 |
| Conclusion..... | 152 |
| 2.4 – Biologie d' <i>A. melinus</i> | 153 |
| 2.4.1 - Evolution de la population globale..... | 153 |
| 2.4.2 - Evolution de la ponte..... | 154 |
| 2.4.3 - Evolution des stades larvaires..... | 155 |
| 2.4.4 - Evolution des nymphes..... | 155 |
| 2.4.5 - Evolution des adultes..... | 156 |
| 2.5 – Influence des facteurs climatiques (températures et pluviométrie) sur <i>A. melinus</i> | 157 |
| 2.5.1 - Effet des températures sur la population globale..... | 157 |
| 2.5.2 - Effet de la variation de la pluviométrie sur la population globale..... | 158 |
| Discussion..... | 158 |
| Conclusion..... | 161 |
| 2.6 - Incidence parasitaire d' <i>A. melinus</i> | 161 |
| 2.6.1 - Incidence parasitaire sur la population globale d' <i>A. aurantii</i> | 161 |
| 2.6.2 - Incidence parasitaire comparée sur les populations adultes d' <i>A. aurantii</i> | 162 |
| 2.6.3 - Incidence parasitaire chez les femelles d' <i>A. aurantii</i> | 163 |
| 2.6.4 - Incidence saisonnière..... | 163 |
| 2.6.5 - Incidence selon l'organe végétal..... | 164 |
| 2.6.6 - Incidence selon l'orientation..... | 165 |
| Discussion..... | 165 |
| Conclusion..... | 169 |
| 2.7 - Evolution comparative des deux parasitoïdes le <i>C. bifasciata</i> et l' <i>A. melinus</i> | 169 |
| 2.8 - Incidence parasitaire globale d' <i>A. melinus</i> et de <i>C. bifasciata</i> | 170 |
| 2.9 - Relation parasitisme - Mortalité naturelle du Pou de Californie..... | 171 |
| Discussion..... | 172 |
| Conclusion..... | 174 |

Chapitre VI :

Etude morphométrique d'*A. aurantii*

| | |
|---|-----|
| 1 – Etude de quelques facteurs affectant la taille du bouclier et du corps d' <i>A.aurantii</i> Turquie..... | 175 |
| 1.1 – Influence de l'organe végétal sur la taille de tous les stades d' <i>A. aurantii</i> | 175 |
| 1.2 –Influence de la plante hôte sur la taille des stades adultes d' <i>A. aurantii</i> | 176 |
| 1.3 – Influence de la position de l'organe sur la taille de la femelle adulte d' <i>A. aurantii</i> | 177 |
| Discussion..... | 179 |
| Conclusion..... | 181 |
| 2 - Comparaison morphométrique entre deux populations d' <i>A. aurantii</i> d'Algérie et de Turquie.. | 182 |
| 2.1 – Comparaison de la taille d' <i>A. aurantii</i> entre les deux localités..... | 182 |
| 2.2 - Comparaison de la taille entre le deux populations d' <i>A. aurantii</i> en fonction de l'organe Végétal..... | 184 |
| 2.3 –Relation entre la taille du bouclier des jeunes femelles d' <i>A. aurantii</i> et le parasitisme dans les deux populations..... | 185 |
| 2.4 - Relation entre la taille du corps et la taille du bouclier d' <i>A. aurantii</i> | 186 |
| Discussion..... | 190 |
| Conclusion..... | 192 |
| Conclusion générale..... | 193 |
| Références bibliographiques..... | 200 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Les principaux producteurs d'agrumes en millions de tonnes dans le monde et la place de l'Algérie en 2016 | 6 |
| Tableau 2 : Les principales variétés d'agrumes cultivées en Algérie | 8 |
| Tableau 3 : Températures minimales, maximales et moyennes (C°) de l'année 2015 et 2016 dans la région de Dar El-Beida..... | 76 |
| Tableau 4 : Données pluviométriques (mm) de la région de Dar El-Beida durant l'année 2015 et 2016..... | 77 |
| Tableau 5 : Humidité relative moyenne (%) de la région de Dar El-Beida durant l'année 2015 et 2016..... | 77 |
| Tableau 6 : Vitesse (km/h) moyenne mensuelle du vent dans la région de Dar El-Beida durant l'année 2015 et 2016 | 78 |
| Tableau 7 : Données climatiques de la décennie 2007-2016 de la région d'étude..... | 80 |
| Tableau 8 : Caractéristiques des vergers d'agrumes échantillonnés | 89 |
| Tableau 9 : Températures moyennes mensuelles (°C) dans la région de Rouïba et le nombre de degré jour effectif (DJE) d' <i>A. aurantii</i> durant l'année 2016..... | 101 |
| Tableau 10 : Incidence comparée de <i>C. bifasciata</i> sur les populations femelles et mâles d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba | 145 |
| Tableau 11 : Incidence comparée d' <i>A. melinus</i> sur les populations femelles et mâles d' <i>A.aurantii</i> sur citronnier à Rouïba | 162 |
| Tableau 12 : La taille moyenne (mm ²) du bouclier et du corps des différents stades de développement d' <i>A. aurantii</i> en fonction de l'organe végétal et de la plante hôte..... | 175 |
| Tableau 13 : La taille moyenne (mm ²) du bouclier et du corps des différents stades de développement d' <i>A. aurantii</i> en fonction de la localité..... | 182 |
| Tableau 14 : La taille moyenne (mm ²) du bouclier et du corps des stades âgés (nymphe, jeune femelle et femelle adulte) d' <i>A. aurantii</i> en fonction de l'organe végétal..... | 184 |
| Tableau 15 : L'équation de la ligne de régression et le coefficient de corrélation entre la taille du corps et la taille du bouclier de chaque stade des deux populations de la cochenille (algérienne et turque)..... | 188 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Origine géographique et diffusion des agrumes dans le monde | 5 |
| Figure 2 : Répartition par zone des vergers d'agrumes en Algérie | 7 |
| Figure 3 : La production d'agrumes en Algérie..... | 7 |
| Figure 4 : Photographie de l'orange Washington navel | 10 |
| Figure 5 : La variété Satsuma Wase | 11 |
| Figure 6 : Citron Eureka Frost..... | 12 |
| Figure 7 : Attaque tardive d' <i>A. aurantii</i> sur orange..... | 23 |
| Figure 8 : Adultes, œufs et dégâts d'aleurodes..... | 23 |
| Figure 9 : Adulte et galeries de <i>Phyllocnistis citrella</i> | 25 |
| Figure 10 : Adulte et dégâts de <i>Ceratitis capitata</i> | 25 |
| Figure 11 : Dégâts d' <i>Aceria sheldoni</i> sur citron..... | 27 |
| Figure 12 : Dégâts d' <i>Aonidiella aurantii</i> sur fruit et rameau de citronnier..... | 32 |
| Figure 13 : <i>Pygidium</i> d' <i>A. aurantii</i> | 34 |
| Figure 14 : Larve de 1 ^{er} stade mobile et larve de 1 ^{er} stade fixe | 36 |
| Figure 15 : Larves de deuxième stade mâle et femelle..... | 37 |
| Figure 16 : Prenymphe et nymphe du mâle d' <i>A. aurantii</i> | 37 |
| Figure 17 : Bouclier et corps d'une jeune femelle..... | 38 |
| Figure 18 : Femelle adulte face dorsale et ventrale | 39 |
| Figure 19 : Mâle adulte | 40 |
| Figure 20 : <i>Chilocorus bispustulatus</i> et <i>Rhizobius lophantae</i> | 45 |
| Figure 21 : <i>Lestodiplosis aonidiellae</i> | 46 |
| Figure 22 : Œuf de <i>Chrysoperla</i> spp et larve de <i>Chrysoperla carnea</i> | 46 |
| Figure 23 : <i>Hemisarcoptes</i> sp..... | 47 |
| Figure 24 : Adulte d' <i>A. chrysomphali</i> | 49 |
| Figure 25 : Adulte d' <i>Encarsia</i> sp..... | 52 |
| Figure 26 : Adulte de <i>C. bifasciata</i> | 58 |
| Figure 27 : Les ailes antérieures, les antennes, le tarse et mandibule du mâle et de la femelle de <i>C. bifasciata</i> | 58 |
| Figure 28 : <i>C. bifasciata</i> à l'intérieur de son hôte..... | 59 |
| Figure 29 : Appareil génital de <i>C. bifasciata</i> | 60 |
| Figure 30 : Stades larvaires de <i>C. bifasciata</i> | 61 |
| Figure 31 : Œuf d' <i>A. melinus</i> sur le corps d' <i>A. aurantii</i> | 67 |
| Figure 32 : Larve âgée d' <i>A. melinus</i> | 68 |
| Figure 33 : Nymphe et méconium d' <i>A. melinus</i> | 68 |
| Figure 34 : Adulte d' <i>A. melinus</i> | 69 |
| Figure 35 : Carte géographique de la Mitidja | 74 |
| Figure 36 : Diagramme pluviothermique de Dar El-Beida durant 10années | 79 |
| Figure 37 : Climagramme d'Emberger de Dar El-Beida durant 10 années | 80 |
| Figure 38 : Emplacement de l'exploitation agricole dans la région de Rouïba | 83 |
| Figure 39 : Le verger de citronnier..... | 83 |
| Figure 40 : Schéma de reconnaissance des différents stades d' <i>A. aurantii</i> | 85 |
| Figure 41 : Schéma de reconnaissance des différents stades de <i>C. bifasciata</i> | 86 |
| Figure 42 : Schéma de reconnaissance des différents stades d' <i>A. melinus</i> | 87 |
| Figure 43 : Carte indiquant l'emplacement des deux régions d'étude | 88 |

| | |
|--|-----|
| Figure 44 : Emplacement du verger de citronnier et de mandarinier unité Sérík Antalya..... | 89 |
| Figure 45 : Emplacement du verger d'oranger unité Aksu BATEM Antalya | 89 |
| Figure 46 : Dispositif de travail en laboratoire | 91 |
| Figure 47 : Exemple de mensurations de quelques individus d' <i>A. aurantii</i> à partir d'un stéréo microscope..... | 91 |
| Figure 48 : Fluctuation de la population globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 93 |
| Figure 49 : Fluctuation des larves de premier stade d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 94 |
| Figure 50 : Fluctuation des larves du deuxième stade d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 95 |
| Figure 51 : Fluctuation des stades nymphaux d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 96 |
| Figure 52 : Fluctuation des femelles d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 96 |
| Figure 53 : Fluctuation des mâles d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016 | 97 |
| Figure 54 : Fluctuation du vol des mâles d' <i>A. aurantii</i> sur le citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 98 |
| Figure 55 : Fluctuation des pupariums vides en rapport avec les femelles adultes d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 99 |
| Figure 56 : Distribution des différents stades de développement d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba pour l'année 2015..... | 106 |
| Figure 57 : Distribution des différents stades de développement d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba pour l'année 2016..... | 106 |
| Figure 58 : Distribution cardinale des populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba pour l'année 2015..... | 107 |
| Figure 59 : Distribution cardinale des populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba pour l'année 2016..... | 107 |
| Figure 60 : Distribution saisonnière des populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 109 |
| Figure 61 : Distribution spatiale des populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 109 |
| Figure 62 : Fluctuation de la mortalité globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 113 |
| Figure 63 : Fluctuation de la mortalité des larves du premier stade d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 113 |
| Figure 64 : Fluctuation de la mortalité des larves du deuxième stade d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 114 |
| Figure 65 : Fluctuations de la mortalité des stades prénympaux et nymphaux d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 115 |
| Figure 66 : Fluctuations de la mortalité des femelles d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 115 |
| Figure 67 : Fluctuations de la mortalité des mâles d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba..... | 116 |

| | |
|---|-----|
| Figure 68 : Mortalité selon les différents stades d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 117 |
| Figure 69 : Mortalité des individus d' <i>A. aurantii</i> selon les orientations sur citronnier dans la région de Rouïba pour l'année 2015..... | 118 |
| Figure 70 : Mortalité des individus d' <i>A. aurantii</i> selon les orientations sur citronnier dans la région de Rouïba pour l'année 2016..... | 118 |
| Figure 71 : Mortalité saisonnière des populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba | 119 |
| Figure 72 : Mortalité des individus d' <i>A. aurantii</i> selon les organes végétaux sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 120 |
| Figure 73 : Hauteurs des précipitations mensuelles (mm) et variation quotidienne des températures minimales, maximales et moyennes (°C) enregistrées à Rouïba durant 2015..... | 123 |
| Figure 74 : Hauteurs des précipitations mensuelles (mm) et variation quotidienne des températures minimales, maximales et moyennes (°C) enregistrées à Rouïba durant 2016..... | 124 |
| Figure 75 : Effet des températures moyennes sur l'évolution de la population globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 125 |
| Figure 76 : Effet des températures moyennes sur l'évolution de la population larvaire d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 125 |
| Figure 77 : Effet des températures moyennes sur l'évolution de la population adulte d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 126 |
| Figure 78 : Effet des températures moyennes sur les pupariums vides d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 127 |
| Figure 79 : Effet des températures moyennes sur la mortalité globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 127 |
| Figure 80 : Effet des pluviométries mensuelles sur l'évolution de la population globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 128 |
| Figure 81 : Effet des pluviométries mensuelles sur l'évolution de la population larvaire d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 129 |
| Figure 82 : Effet des pluviométries mensuelles sur l'évolution de la population adulte d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 130 |
| Figure 83 : Effet des pluviométries mensuelles sur les pupariums vides d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 130 |
| Figure 84 : Effet des pluviométries mensuelles sur la mortalité globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 131 |
| Figure 85 : Fluctuation de la population globale de <i>C. bifasciata</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 138 |
| Figure 86 : Fluctuation des larves de <i>C. bifasciata</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 138 |
| Figure 87 : Fluctuation des nymphes de <i>C. bifasciata</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 139 |
| Figure 88 : Fluctuation des adultes de <i>C. bifasciata</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 140 |
| Figure 89 : Effet des températures moyennes sur l'évolution des populations globales de <i>C. bifasciata</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 141 |
| Figure 90 : Effet des pluviométries mensuelles sur l'évolution des populations globales de <i>C. bifasciata</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba..... | 142 |

| | |
|--|-----|
| Figure 91 : Incidence parasitaire de <i>C. bifasciata</i> dans la population globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 145 |
| Figure 92 : Incidence parasitaire de <i>C. bifasciata</i> dans les populations femelles d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba durant la période 2015-2016..... | 146 |
| Figure 93 : Incidence saisonnière de <i>C. bifasciata</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 147 |
| Figure 94 : Taux de parasitisme de <i>C. bifasciata</i> en fonction de l'organe végétal dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 148 |
| Figure 95 : Taux de parasitisme de <i>C. bifasciata</i> en fonction des orientations cardinales dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 149 |
| Figure 96 : Fluctuation de la population globale d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 154 |
| Figure 97 : Fluctuation de la ponte d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 154 |
| Figure 98 : Fluctuation des stades larvaire d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 155 |
| Figure 99 : Fluctuation des nymphes d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 156 |
| Figure 100 : Fluctuation des adultes d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 156 |
| Figure 101 : Effet des températures moyennes sur l'évolution des populations globales d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 157 |
| Figure 102 : Effet des pluviométries mensuelles sur l'évolution des populations globales d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba durant la période 2015-2016..... | 158 |
| Figure 103 : Incidence parasitaire d' <i>A. melinus</i> dans la population globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba | 162 |
| Figure 104 : Incidence parasitaire d' <i>A. melinus</i> dans les populations femelles d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba..... | 163 |
| Figure 105 : Incidence saisonnière d' <i>A. melinus</i> dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba..... | 164 |
| Figure 106 : Taux de parasitisme d' <i>A. melinus</i> en fonction de l'organe végétal dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba..... | 164 |
| Figure 107 : Taux de parasitisme d' <i>A. melinus</i> en fonction des orientations cardinales dans les populations d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba..... | 165 |
| Figure 108 : Fluctuations des populations d' <i>A. melinus</i> et du <i>C. bifasciata</i> sur citronnier dans la région de Rouïba..... | 170 |
| Figure 109 : Incidence parasitaire globale d' <i>A. melinus</i> et de <i>C. bifasciata</i> sur la population globale d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier dans la région de Rouïba..... | 171 |
| Figure 110 : Fluctuation de la mortalité naturelle et la mortalité due au deux parasites le <i>C. bifasciata</i> et l' <i>A. melinus</i> dans la population d' <i>A. aurantii</i> sur citronnier à Rouïba..... | 171 |
| Figure 111 : Comparaison des tailles moyennes des stades âgés d' <i>A. aurantii</i> sur trois plantes hôtes de Turquie | 177 |
| Figure 112 : Taille moyenne du bouclier et du corps de la femelle adulte pour les trois plantes hôtes de Turquie, en fonction de la position des feuilles..... | 178 |
| Figure 115 : Comparaison entre la taille moyenne des boucliers parasités et non parasités selon l'organe végétal dans les deux populations..... | 185 |

| | |
|--|-----|
| Figure 116 : Taux de parasitisme selon l'organe végétal et l'origine géographique d' <i>A. aurantii</i> | 186 |
| Figure 117 : Relation entre la taille du corps et la taille du bouclier de la population algérienne..... | 187 |
| Figure 118 : Relation entre la taille du corps et la taille du bouclier de la population turque..... | 187 |
| Figure 119 : Lignes de régression entre la taille du corps et la taille du bouclier du stade jeune femelle et femelle adulte des deux populations d' <i>A. aurantii</i> et sur les deux organes végétaux..... | 189 |

Introduction générale

Introduction générale

Les agrumes possèdent de nombreuses vertus vu leur teneur élevée en vitamine, leur potentiel antioxydant pour les défenses immunitaires, le système veineux, la vision et la digestion. Les scientifiques pensent même que la consommation d'agrumes limiterait le développement de certains cancers. Leurs bienfaits sur la santé, ont été reconnus par de nombreuses études scientifiques (Virbel-Alonso, 2011). De plus, les agrumes sont économiquement importants en valeur monétaire, puisque cette filière a un amont agricole et un aval industriel, ainsi ils représentent le groupe de fruit le plus important du commerce international (Koutti et Bounaceur, 2013). En Algérie, la production agrumicole a dépassé les 13 millions de quintaux en 2016, toutefois elle occupe seulement la 16^{ème} place au niveau mondiale (F.A.O, 2017).

Cependant, cette production est confrontée à plusieurs contraintes, dont les plus importantes sont celles liées aux maladies et aux ravageurs qui causent des dégâts considérables et influent sur la rentabilité des vergers d'agrumes (Jacquemon *et al.*, 2013). Les insectes, en l'occurrence, les homoptères constituent une part importante dans la baisse de rendement. C'est l'un des groupes d'insectes qui présente les bioagresseurs les plus importants sur de nombreuses essences fruitières (Biche, 1987).

Parmi ces ravageurs, le Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879) est considéré comme l'une des espèces de cochenille les plus nuisibles et les plus redoutables, de part les pertes économiques qu'elle engendre, par ailleurs des difficultés de contrôle qu'elle génère aux différents moyens de lutte (Belguendouz *et al.*, 2014). En effet, cette cochenille s'attaque aux différents organes de l'arbre (fruits, feuilles et rameaux). Elle insère ses pièces buccales dans l'organe végétal et suce la sève en injectant sa salive. Cette sécrétion toxique provoque la destruction de la chlorophylle et par conséquent réduit la photosynthèse. En outre, elle cause l'altération de la physiologie et de la biochimie de la plante, ce qui la rendra vulnérable à d'autres insectes et maladies (Pekas *et al.*, 2010). Les fortes infestations par ce ravageur, peuvent entraîner le dessèchement complet des arbres contaminés

(Walker 1999). Néanmoins, le principal dommage causé par celui-ci est relatif à l'aspect visuel, puisque la présence des cochenilles sur les fruits frais réduit considérablement leurs valeurs marchandes (Bedford, 1998).

En Algérie, afin de lutter contre ce ravageur, on a opté pour l'utilisation des produits chimiques. Bien qu'elle soit une méthode efficace, leur utilisation nuit à l'équilibre écologique de l'écosystème (Biche, 2012) ainsi que sur la santé humaine (Bolognesi et Merlo, 2011). De plus, le développement d'une résistance de ce bioagresseur contre les pesticides n'est pas un problème à exclure, bien au contraire. Llwelllyn (2002) signale avoir constaté une résistance des cochenilles envers des produits phytosanitaires. Cette contrainte s'ajoute, à celle des coûts de ces produits qui présente une part non négligeable dans le budget d'investissement de l'agriculteur. C'est pourquoi, actuellement, les objectifs de développement de l'agrumiculture à travers le monde visent à rechercher des alternatives à l'utilisation des pesticides pour la lutte contre les bioagresseurs. Dans ce cas, la lutte biologique apparaît comme la piste de recherche à privilégier (Niu *et al.*, 2014). Cette méthode de lutte repose sur l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits afin de réduire à un seuil économiquement tolérable les dégâts engendrés par un ravageur (Riba et Sily, 1987). De son côté, Biche (2012) ajoute que les parasites et les prédateurs sont d'une inestimable importance dans le contrôle biologique des ravageurs.

De ce fait, ces dernières années, notre pays commence également à allouer un grand intérêt aux auxiliaires des insectes nuisibles tel que les prédateurs et les parasitoïdes afin de faire face aux contraintes qui peuvent limiter la production des agrumes et en vue de réduire l'utilisation des produits chimiques, en contrôlant biologiquement les populations des ravageurs (Kerboua, 2002).

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, qui a pour but d'enrichir nos connaissances concernant le déprédateur *A. aurantii* et ses parasitoïdes, pouvant contribuer éventuellement dans un programme de lutte biologique. Le travail que nous avons entrepris en verger de citronnier dans la région de Rouïba durant une période de 18 mois, porte sur la bioécologie de ce ravageur important, ainsi que la bioécologie d'un endoparasite récemment signalé en Algérie, il s'agit du *Comperiella bifasciata* (Howard, 1906). En outre, nous nous sommes intéressés aussi à l'étude de la bioécologie d'un autre parasite, c'est *Aphytis melinus*

(DeBach, 1959) qui est un ectoparasite considéré comme l'agent de lutte principal du Pou rouge de Californie dans plusieurs régions du monde.

La taille de l'hôte joue un rôle majeur dans l'efficacité et la survie d'*A. melinus* (Pékas *et al.*, 2010), car elle influence sur la condition physique de la majorité des hyménoptères parasites en affectant la longévité, la fécondité et la capacité de recherche (Godfray 1994). De plus, Hare and Morgan (2000), indiquent que la concentration du composé non volatil O-caféoyltyrosine, utilisé par *A. melinus* comme kairomone pour la reconnaissance de l'hôte, est qualitativement liée à la taille du corps de la cochenille. Donc, nous avons jugé nécessaire de faire un travail portant sur le côté morphométrique de la cochenille ainsi que sa relation avec le parasitisme. Celui-ci est effectué sur une période de trois mois en Turquie.

Le travail que nous avons entamé à cet effet a pour but avant tout, de répondre aux questions suivantes : Quelles sont les périodes de fortes activités de la cochenille ? Quels sont les facteurs influents sur l'abondance de celle-ci ? Lequel des deux parasitoïdes a un meilleur niveau de parasitisme ; le *C. bifasciata* ou l'*A. melinus* ? Est-ce que la combinaison de ces deux ennemis naturels obtient de meilleurs résultats ? Comment la taille de la cochenille hôte agit sur le taux de parasitisme d'*A. melinus* ?

Pour répondre à ces questions, d'abord nous avons suivi l'évolution de la cochenille dans les conditions naturelles de Rouïba. Ensuite, nous avons étudié les deux parasites et comparé leurs incidences sur les populations de cochenille. Enfin, nous avons réalisé un travail sur la morphométrie d'*A. aurantii*. La présente étude rédigée s'articule autour de six chapitres. Le premier chapitre rassemble des données bibliographiques sur la plante hôte, le deuxième chapitre est consacré à la bibliographie de la cochenille alors que le troisième chapitre à celle de ses deux parasites. La partie intitulée matériel et méthodes correspond au quatrième chapitre. Elle regroupe le choix des stations, les manipulations exercées sur terrain et au laboratoire ainsi que les techniques retenues pour le traitement des résultats. Les résultats et les discussions concernant l'écologie de la cochenille étudiée et l'incidence de ses deux parasitoïdes sur sa dynamique sont présentés dans le cinquième chapitre. Dans le sixième chapitre, on a traité principalement l'aspect morphométrique de la cochenille et sa relation avec le parasitisme.

Chapitre I : Présentation des agrumes

1 - Historique

1.1 - Etymologie

Le mot Agrume provient de l'Italien Agrume qui lui-même dérive du latin acrumen désignant dans l'antiquité des arbres à fruits acides (Benediste et Baches, 2002). En effet les agrumes ont pour la plus part une pulpe acidulé ou même franchement acide.

1.2 - Origine géographique et dispersion

On a longtemps pensé que les agrumes avaient leurs origine des régions comprises entre l'Inde et les régions avoisinantes de la Chine et de Birmanie, voire plus au sud en Malaisie et dans l'Asie du Sud-est. D'après Praloran (1971), le problème posé par la détermination exacte du centre d'origine géographique des agrumes se complique à cause de l'existence de certaines variétés issues d'une hybridation naturelle interspécifique dans ce groupe de plante. Cependant les analyses moléculaires récentes de Bayer *et al.* (2009) suggèrent que l'évolution de Citrus s'est faite en Australasie.

Selon Praloran (1971), les auteurs s'accordent pour admettre que la culture des agrumes a pris naissance pendant le premier millénaire avant J-C. Ce même auteur signale que la zone méditerranéenne n'a connu cette culture qu'au 7^{ème} siècle et que assez curieusement, l'oranger devenu à notre époque le plus important des agrumes, fut remarqué beaucoup plus tardivement que les autres espèces (limes, cédrats, etc.).

Du bassin méditerranéen, les agrumes se sont répandus dans le monde par trois voies essentielles. En effet, Praloran (1971) explique ces voies et indique que les arabes ont assuré leur diffusion sur le coté Est d'Afrique jusqu'au Mozambique, Christophe Colomb les a importés à Haïti en 1493 et les anglo-hollandais les ont introduits au Cap en 1654 (Fig.1)

La culture des agrumes s'est intensifiée à l'échelon mondial au cours du 19^{ème} et 20^{ème} siècle, et couvre aujourd'hui plusieurs millions d'hectares dans tous les continents entre les 40^{ème} parallèles nord et sud (Jacquemond *et al.*, 2013).



Figure 1. Origine géographique et diffusion des agrumes dans le monde (Jacquemond *et al.*, 2013).

2 - Aire agrumicole

Ce sont les facteurs climatiques qui conditionnent l'emplacement de la culture des agrumes qui s'étend des zones tempérées chaudes aux zones tropicales.

Les agrumes sont aujourd'hui distribués dans toutes les parties du monde comprises entre l'équateur et des latitudes légèrement supérieures à 40° (Fabrice *et al.*, 2007 et Camille *et al.*, 2009). De leur côté, Jacquemond *et al.* (2013) confirment que la culture des agrumes s'étend du Cap de Bonne Esperance au bassin méditerranéen, de l'Argentine à la Californie et de l'Australie au Japon.

3 - Importance et production des agrumes

3.1 - Dans le monde

La production et la consommation mondiale des agrumes s'est développée rapidement depuis le milieu des années 80 (Thomas, 2010). Ils sont commercialisés comme fruits et comme divers dérivés tel que les jus, confitures, ce qui confère un revenu appréciable aux pays producteurs d'où leur importance économique (Biche *et al.*, 2011).

En 2016, FAO a enregistré une production mondiale d'agrume estimée à 124 246 mille tonnes, 97 848.9 milliers de tonne assurés par l'hémisphère nord et 2800.7 mille de tonne cultivés en hémisphère sud.

Tableau 1. Les principaux producteurs d'agrume en millions de tonnes dans le monde et la place de l'Algérie en 2016 (F.A.O, 2016).

| | Pays | Production Milliers de tonnes | % |
|--------------|---|----------------------------------|------------|
| 1 | Chine | 32 705,9 | 29,03 |
| 2 | Brésil | 16 555,1 | 14,70 |
| 3 | Inde | 9 755,8 | 8,66 |
| 4 | USA | 7 829,0 | 6,95 |
| 5 | Espagne | 6 882,0 | 6,11 |
| 6 | Mexique | 6 634,0 | 5,89 |
| 7 | Egypte | 4 930,4 | 4,38 |
| 8 | Iran | 4 067,6 | 3,61 |
| 9 | Turquie | 3 652,1 | 3,24 |
| 10 | Italie | 3 150,2 | 2,80 |
| 11 | Argentine | 2 800,7 | 2,49 |
| 12 | Afrique du sud | 2 409,2 | 2,14 |
| 13 | Maroc | 2 018,9 | 1,79 |
| 14 | Pakistan | 1 907,4 | 1,69 |
| 15 | Indonésie | 1 574,8 | 1,40 |
| 16 | Algérie | 1 372,4 | 1,22 |
| 17 | Japon | 1 143,0 | 1,01 |
| 18 | Pérou | 1 112,1 | 0,99 |
| 19 | Thaïlande | 1 102,1 | 0,98 |
| 20 | Grèce | 1 041,5 | 0,92 |
| Total | Les vingt premiers pays producteurs d'agrume | 112 644,2 | 100 |

3.2 - En Algérie

La culture des agrumes revêt une importance stratégique pour l'Algérie comme source d'approvisionnement en fruits et des débouchés sur le marché international des produits agrumicoles (I.T.A.F, 2002). Elle occupe une surface de 66 017 ha, soit 12.8 % de la superficie arboricole nationale (M.A.D.R, 2014). La figure 2 montre que les superficies agrumicoles algériennes sont réparties d'une manière inégale sur quatre zones du pays avec une accentuation au centre et à l'ouest, couvrant ainsi quinze wilayas. La wilaya de Blida a toujours été la plus importante avec 16 583 ha, plus de 5000 ha pour les wilayates de Chlef et d'Alger, plus de 4 000 ha pour les wilayates de Relizane, Mostaganem et Mascara dépassant les 3 000 ha pour la wilaya de Tipaza. Les sept wilayates qui disposent d'un verger de plus de 2000 hectares sont : Bejaia, Tlemcen, Skikda, Boumerdes, Taraf et Ain-Defla. Les autres wilayas disposent d'un verger de 500 à 1 500 hectares (Belabbas, 2012).

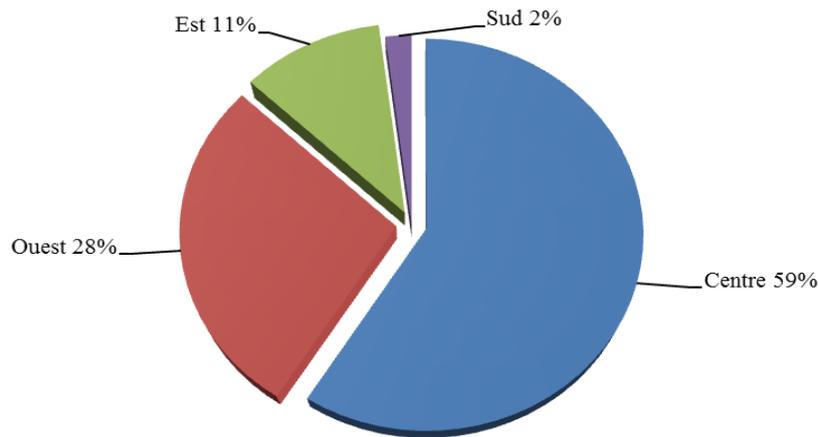


Figure 2 : Répartition par zone des vergers d'agrumes en Algérie (PAC, 2006).

La figure n°3 montre l'évolution de la production des agrumes en Algérie de 1961 à 2013 et indique que depuis les années 80, la superficie agrumicole en Algérie n'a cessé de diminuer jusqu'en 1996, où la production agrumicole a commencé à augmenter progressivement. Mais à partir de 2010, on assiste à une augmentation marquée des rendements où ils atteignent un peu plus que 1.200.000 qx en 2013.

Cette évolution jugée significative est due particulièrement à trois principaux facteurs : l'entretien des vergers plus ou moins approprié, l'entrée en production des jeunes vergers réalisés dans le cadre du **Fonds National de Régulation et de Développement Agricole (FNRDA)** au cours des années 2000 à 2002 et la mise en place du **Programme National de Développement Agricole (PNDA)** entre la période 2000 et 2005.

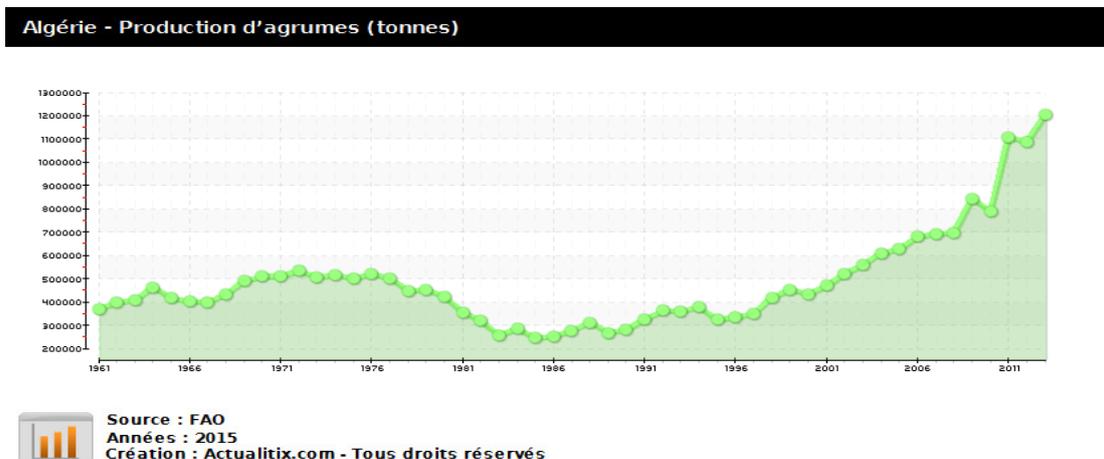


Figure 3. La production d'agrumes en Algérie
(Source : <http://fr.actualitix.com/pays/wld/production-d-agrumes.php>).

Malgré l'évolution positive qu'ont connu les rendements de l'agrumiculture algérienne, est en grande partie du aux attentions du Ministère de l'Agriculture pour la rénovation du verger agrumicole. Cependant, ils restent toujours loin de la norme moyenne mondiale des productions d'agrumes. Biche *et al.* (2011) affirment que l'Algérie peut à juste titre, prétendre occuper sur les places mondiales, une position de choix dans la production des agrumes. Selon les données statistiques faites par la FAO en 2016, l'Algérie est classée 16^{ème} dans la production d'agrumes.

4 - Composition variétale

D'après Virbel-Alonso (2011), les variétés d'agrumes sont très nombreuses. Elles sont même en augmentation car de nouveaux hybrides apparaissent régulièrement sur les marchés de l'agrumiculture dans les pays du bassin méditerranéen. Cette diversité variétale reflète d'une certaine manière, la richesse et la variabilité de ses arbres, un choix variétal performant permet d'assurer une production importante du point de vue quantitatif comme qualitatif (Jacquemond *et al.*, 2009).

Le tableau n°2, montre que le verger agrumicole algérien est constitué principalement d'une gamme de variétés orientées vers les orangers.

Tableau 2 : Les principales variétés d'agrumes cultivées en Algérie (Hadj Sahraoui, 2007)

| Agrumes | Superficie (ha) | % | Structure variétale | | |
|---------------|-----------------|------------|-------------------------|---------------|------------|
| | | | Variétés | Superficie | % |
| Oranges | 42 603 | 71,76 | Groupe de Navel | 20 876 | 35,16 |
| | | | Double fine et sanguine | 4 686 | 7,89 |
| | | | Autres oranges | 17 041 | 28,70 |
| Petits fruits | 12 547 | 21,13 | Mandarine | 2 190 | 3,69 |
| | | | Clémentine | 10 357 | 17,45 |
| Autres | 4 218 | 7,10 | Citron Pomélo | 4 218 | 7,10 |
| Total | 59 368 | 100 | | 59 368 | 100 |

5 - Généralités sur les agrumes

5.1 - Position taxonomique

Les travaux récents sur la diversité génétique et la structure des populations des agrumes, penchent plutôt en faveur de l'existence de 3 espèces « ancestrales » d'agrumes ; il s'agit du bigaradier (*C. medica*), du pamplemoussier (*C. maxima*) et du mandarinier (*C. reticulata*). Ces espèces seraient à l'origine de nombreuses espèces répertoriées de nos jours, qui en réalité sont des hybrides issus de croisement entre les premières espèces (Barkley *et al.*, 2006). Toujours selon ce dernier auteur la classification des agrumes se présente comme suit :

Règne : Plantae
 Embranchement : Angiosperms
 Classe : Eudicots
 Ordre : Geniales
 Famille : Rutaceae
 Sous famille : Aurantoideae
 Tribu : Citreae
 Sous tribu : Citrineae
 Genre : Citrus

5.2 - Caractéristiques botaniques

D'après Florence (2011), Les agrumes sont de petits arbres à feuillage dense et souvent épineux qui sont caractérisés par la présence de poches sécrétrices d'huile essentielle, on les retrouve à la fois dans les feuilles et l'écorce du fruit.

Selon Jacquemont *et al.* (2009) beaucoup de travaux ont été réalisés au cours du XX^{ème} siècle afin de classer les différentes variétés et espèces. Il est admis que les agrumes se répartissent en trois genre botaniques, compatible entre eux : *Poncirus*, *Fortunella* et *Citrus*. Ces trois genres appartiennent à la tribu des *Citreae*. Les *Poncirus* ne produisent pas de fruits consommables, mais sont utilisés comme porte-greffe car ils confèrent certaines résistances intéressantes. Les *Fortunella* produisent des petits fruits qui se dégustent avec la peau. Enfin le genre *Citrus* qui regroupe la plupart des espèces d'agrumes cultivés et renferme suivant les taxonomistes entre 16 (Swingle et Reece, 1967) et 156 espèces (Tanaka, 1961).

5.3 - Présentation de quelques espèces et variétés d'agrumes

L'orange (*Citrus sinensis*) : Selon BIHA (2009) l'oranger est une variété traditionnelle très appréciée par le consommateur pour ses qualités gustatives et produisant chaque année des rendements très élevés. Plusieurs variétés existent sur le marché.

L'orange **Washington navel** (Synonyme Bahia) : Selon Brebion *et al.* (1999) elle se caractérise par une excroissance plus ou moins prononcée, appelée ombilic (navel = ombilic en anglais) et par une quasi absence de pépins. Sa chair est peu croquante, juteuse et parfumée. Le fruit est plutôt gros (100 à plus de 200 gr.) qui se pèle facilement. Probablement originaire d'une mutation naturelle sélectionnée à Bahia au Brésil à la fin du XVIII^{ème} siècle. Elle est introduite aux Etats-Unis par les services de l'agriculture de la ville de Washington, dont elle prendra le nom (Jacquemond *et al.*, 2009).

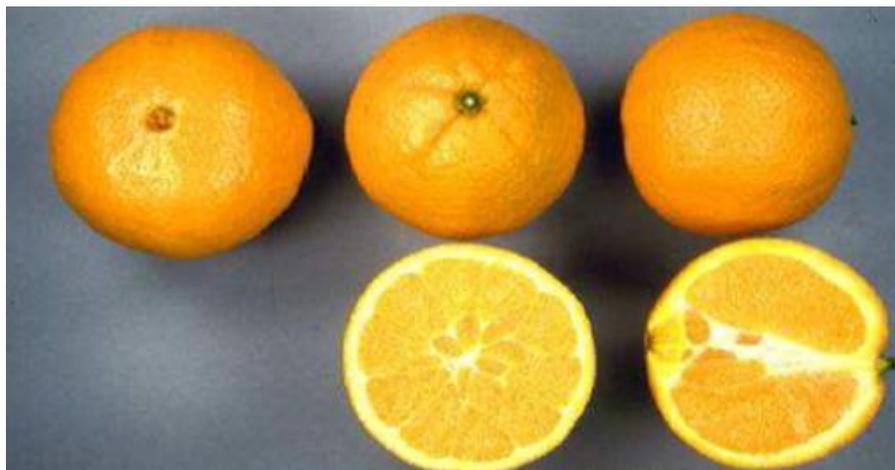


Figure 4. Photographie de l'orange Washington navel (Jacquemond *et al.*, 2009)

La Mandarine (*Citrus reticulata*) : Selon Brebion *et al.* (1999), la Mandarine, a été cultivée en Chine pendant plusieurs siècles avant d'être introduite en Occident. Les premiers mandariniers arrivèrent en 1805 et s'implantèrent en Provence. La culture démarra en Algérie en 1850.

Satsuma Miho et Satsuma Wase : Jacquemond *et al.* (2009) montrent que les Satsuma sont des mandarines japonaises en générale précoces et sans pépin. Elle est récoltée dès Septembre-Octobre dans l'hémisphère nord, très résistante au froid et considérée comme une variété très productive.

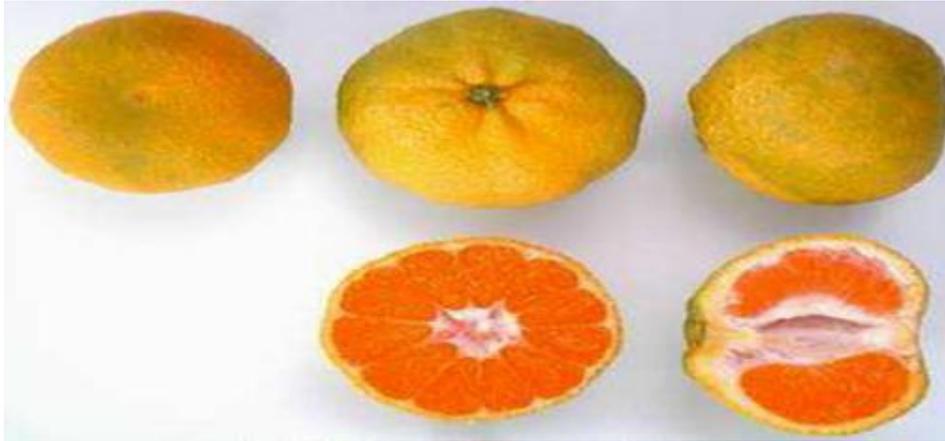


Figure 5. Satsuma Wase (Jacquemond *et al.*, 2009).

Le citron (*Citrus limon*) : Le citronnier est un arbre vigoureux qui atteint une grande taille quand il est cultivé sous les conditions des milieux qui lui sont favorables. Les fleurs teintées de pourpre groupées en bouquets, sont remontantes et de grande taille. Selon Rebour (1966) le Citronnier renferme quelques variétés comme Eureka, Lisbon, Lunari, Villafranca, Meyer et Vernia ou Berna pomelo qui sont les plus cultivées.

Eureka : Selon Jacquemond *et al.* (2009) cette variété est une sélection issue de semis des graines de citrons importés d'Italie et introduits en Californie depuis 1858. Il s'agit de la variété la plus cultivée dans le monde. Caractérisée par une floraison remontante, un fruit ovale de taille moyenne rassemblé en bouquet à l'extérieur des rameaux. La couleur de l'épiderme du fruit est jaune, avec un zeste très parfumé, la pulpe très acide. Eureka est souvent appelé '**Citronnier 4 saisons**', possédant des fruits et des fleurs 8 mois sur 12. Cependant Cirad (2013) indique que la production est beaucoup plus importante en fin d'hiver et au début du printemps.

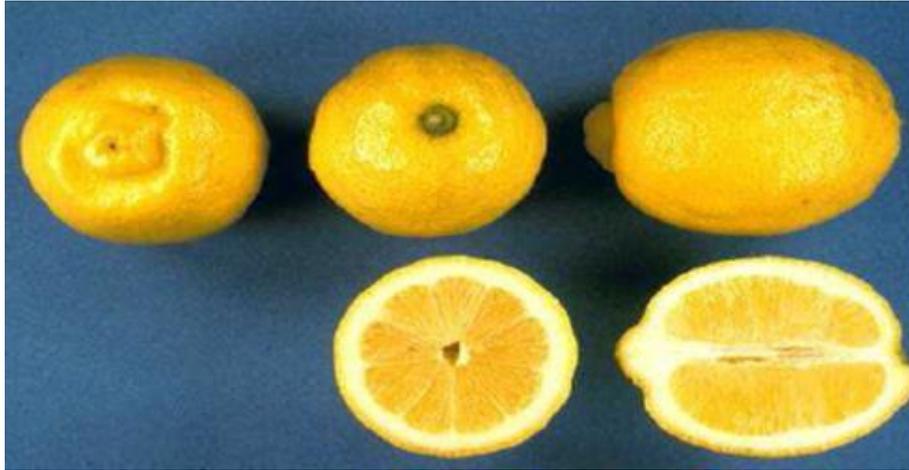


Figure 6. Citron Eureka Frost (Jacquemonde *et al.*, 2009).

6 – Phénologie des agrumes

Les *Citrus*, semblablement pour toutes les espèces fruitières à feuilles caduques, manifestent un cycle annuel dont on peut différencier les étapes suivantes :

6.1 - Phase de dormance

Les arbres d'agrumes ne subissent pas le phénomène de dormance mais seulement un ralentissement de l'activité végétative en hiver (Loussert, 1989). C'est une période de semi-repos durant laquelle plus des deux tiers des précipitations annuelles tombent, (Loussert, 1987).

6.2 - Phase de la croissance végétative

Selon Loussert (1989), l'activité végétative des agrumes débute quand la température atteint 12°C et se poursuit jusqu'à 35 à 36°C, elle se manifeste sur les jeunes ramifications (rameaux) dite poussée de sève au cours de trois périodes distinctes durant l'année. Ces poussées sont le résultat de trois flux de sève qui se traduisent par une intense activité d'absorption au niveau du système racinaire et une intense activité des synthèses chlorophylliennes au niveau de la frondaison.

6.2.1 - Pousse de sève printanière

La première pousse de printemps (**PS₁**), débute de la fin du mois de février jusqu'au début du mois de mai. Elle se manifeste par l'allongement des ramifications s'allongent et le développement de nouvelles jeunes feuilles de coloration vert clair distinctes des autres feuilles plus âgées colorées en vert sombre suivies de pousses fructifères (boutons floraux, puis fleurs) qui apparaissent en avril-mai sur ces nouvelles ramifications.

6.2.2 - Pousse de sève estivale

Du mois de juillet au mois d'août se développe la pousse d'été (**PS₂**). Celle-ci est plus ou moins vigoureuse suivant les températures, les irrigations et la vigueur des arbres et, est en général moins importante que les autres pousses de l'année.

6.2.3- pousses de sève automnale

D'octobre à novembre apparaît la troisième pousse, dite d'automne (**PS₃**), elle assure en partie le renouvellement du feuillage.

Contrairement à d'autres agrumes, le citronnier présente une quatrième pousse de sève (**PS₄**) en hiver, durant cette saison il ne passe que par une courte période de repos végétatif (Kheder Boulahia *et al.*, 2002).

6.3 - Phase reproducteur (fructification)

La fructification est caractérisée par quatre (4) phases distinctes :

6.3.1 - Formation des fleurs

D'après Jacquemond *et al.* (2009) la floraison commence par le processus d'induction florale, en passant d'un état végétatif à un état reproducteur qui dure un mois et demi. A deux mois plus tard, se produit la différenciation florale, qui consiste en la formation des ébauches florales à l'intérieur du bourgeon. Les principales étapes du développement floral sont comme pour l'ensemble des autres espèces fruitières : la floraison, la pollinisation et la fécondation.

6.3.2 - Nouaison

C'est la première étape du développement du fruit qui suit la fécondation si elle a eu lieu, ou le développement parthénocarpique en l'absence de fécondation complète. On peut distinguer sur l'arbre deux types de fruits, les uns colorés en vert brillant à croissance rapide ; ils sont prometteurs d'une bonne récolte, les autres colorés en vert jaunâtre plus petits qui chuteront prématurément.

6.3.3 - Croissance et développement du fruit

Après la nouaison, le grossissement (croissance et développement) du fruit est rapide (mai-juin). Parmi les principaux facteurs qui jouent sur ce grossissement on trouve : l'âge, la vigueur de l'arbre ainsi que les conditions climatiques.

6.3.4 - Maturation du fruit

La maturation du fruit se manifeste par le changement de coloration de son épiderme et par la qualité de la teneur en jus de sa pulpe (Loussert.1989).

7 – Calendrier cultural

Le calendrier cultural renferme un ensemble de travaux et d'opérations culturales qui ont pour objet, un bon développement des agrumes et un meilleur rendement. D'après Benedicte et Baches (2002), les différentes opérations à effectuer dans un verger agrumicole sont les suivantes :

- **Le semis :** Les semis donnent généralement des plantes très vigoureuses mais qui fructifieront tardivement (de 3 à 10 ans). Ils sont effectués au printemps à partir du mois de Mars.
- **L'arrosage :** Les agrumes de pleine terre disposent potentiellement de plus de volumes, et donc de plus de réserves d'eau. En période végétative, il faut arroser beaucoup jusqu'à 300 litres par semaine, pour une plante de 7 à 8 ans (parcelle jeune). En hiver, l'arrosage aura pour but de maintenir le sol frais, si la pluviométrie n'est pas suffisante, et ça

dépend de la variété comme les *Poncirus* à feuilles caduques demanderont moins d'eau. -En sol léger, le même volume sera diminué dans chaque apport.

Un agrume planté à l'abri d'une haie de cyprès demandera beaucoup plus d'eau qu'un agrume isolé. Les agrumes ne peuvent pas se passer d'eau, la terre doit toujours être fraîche, voir humide, été comme hiver.

Il n'existe pas de programme d'arrosage type, la décision d'arroser doit se faire en tenant compte de l'humidité du sol et des conditions climatiques.

➤ **La fertilisation :** C'est l'opération la plus délicate et la plus importante après l'arrosage, l'hyperactivité des agrumes tout au long de l'année nécessite un soin particulier en fertilisation et fumure.

En période de végétation de mars-avril jusqu'à septembre-octobre selon les régions, les agrumes ont un besoin particulièrement important en azote (**N**), Acide phosphorique (**P**), potassium (**K**) et oligo-éléments (Fer, Magnésium, Calcium, etc...). Un jeune agrume de 7ans a besoin chaque année d'environ 400g. (N), et de 4 apports de 650 gr d'engrais composé 15 /15 /15 (dosant donc 15% de N, 15% de P et 15% de K). Un agrume âgé a besoin chaque année environ 800 gr d'Azote pur (N), 200 gr d'acide phosphorique (P), et de 400 gr de potasse (K). Ces besoins pourront être couverts par des apports d'engrais dit « complet » (NPK+ oligo-éléments).

➤ **La taille :** Les agrumes n'ont pas besoin d'être taillés pour fructifier, mais nécessite une taille de formation tous les ans de mars à octobre. Cette taille est indispensable pour former et structurer la charpente de l'arbre.

La taille d'entretien se fera quand l'arbre atteint la hauteur et le volume souhaité. Il suffit d'une taille par an à la sortie de l'hiver (Février, Mars ou Avril, selon le climat) pour maintenir une augmentation limitée de sa masse. La taille de fructification est effectuée à la fin d'hiver lorsque les gelées ne sont pas à craindre. Elle consiste à supprimer les bois morts, éliminer les gourmands mal placés a fin de maintenir l'éclairage à l'intérieur de l'arbre.

➤ Le désherbage

Il faut biner régulièrement pour aérer la terre et enlever les mauvaises herbes et aussi pailler ou éventuellement utiliser des désherbants chimiques.

8 – Exigences des agrumes

8.1 - Exigences climatiques

Grace à leur grande capacité d'adaptation, aujourd'hui les agrumes sont cultivés dans des zones climatiques très diverses et souvent différentes de celles de leurs aires d'origine (Fabrice *et al.*, 1999 ; Fabrice *et al.*, 2007). Toutefois, on dit que les meilleurs fruits d'agrumes sont ceux des climats subtropicaux humides ou ceux des régions plus arides (c'est-à-dire le climat méditerranéens) (Rieger, 2002).

8.1.1 - La température

La température est un facteur qui influence, d'une manière directe, sur les diverses fonctions de la plante. Elle agit sur le processus de la photosynthèse, sur les réactions métaboliques, sur l'alimentation en eau et en minéraux, sur la transpiration mais aussi sur la circulation de la sève.

Les agrumes se mettent au repos végétatif si la température est inférieure à 12°C ou dépasse les 35°C. En effet, ces arbustes sont si sensibles aux basses températures mais apprécient un froid relatif pour produire les meilleurs fruits (Courboulex, 2010).

8.1.2 - La pluviométrie

Les agrumes sont exigeants en eau et surtout à leur régularité des apports. Ces besoins sont d'environ 1500 mm d'eau par an (Fabrice *et al.*, 1999). Selon Pirot (1998), les perturbations au niveau de la pluviométrie nécessitent une irrigation d'appoint afin que les arbres aient un bon développement et par conséquent une production meilleure.

8.1.3 - L'humidité

Une atmosphère humide régularise la température. Ainsi elle exerce une action bénéfique, mais une très grande humidité favorise la pullulation des cochenilles, et donc le développement de la fumagine et des moisissures (Rebour, 1950). Dans le cas contraire, une humidité basse (ou insuffisante) provoque une intense respiration du végétal et ainsi les besoins en eau augmentent (Loussert, 1989).

8.1.4 - Les vents

Les vents forts sont le facteur le plus défavorisant dans une culture d'agrumes. il cause des dégâts inestimables sur les jeunes plantations, peut induire des lésions par frottements sur les fruits ou encore la chute de feuilles, fleurs et branches entraînant ainsi une perte économique. Tandis que des vents faibles, sont bénéfiques car ils tempèrent chaleur et froidure (Kasraoui , 2006).

Cependant, afin d'éviter les dégâts causées par le vent, des brise-vents sont nécessaires à mettre en place (Jacquemond *et al.*, 2013).

8.2- Exigences édaphiques

Les sols doivent assurer aux arbres un milieu favorable aux fonctions de nutrition (hydrique et minérale) durant toute la période d'exploitation des agrumes (Loussert, 1987), pour cette raison, les sols doivent être :

- Sol léger et filtrant, en évitant les zones mal drainées et les sols lourds à tendance argileuse.
- Moyennement perméable (0,10 à 0,20 m³ d'eau infiltrée/h).
- pH compris de préférence entre 6 et 7,5.
- Exposition chaude présentant un bon ensoleillement sans zone basse mal ventilée où l'air froid pourrait s'accumuler.
- Une teneur adéquate en matière organique, calcaire actif, P₂O₅ et K₂O assimilables ainsi qu'en chlorures définit la bonne qualité d'un sol agrumicole.

9 - Problèmes phytosanitaires

Le secteur agrumicole en générale souffre d'une multitude de problèmes phytosanitaires comprenant les accidents physiologiques ainsi que des ravageurs et maladies affectant considérablement les rendements des vergers, dans cette partie nous allons évoquer les principaux de ces problèmes rencontrés.

9.1 - Les accidents physiologiques

Parmi les accidents physiologiques rencontrés nous avons :

- **Les troubles génétiques** tels que : la Panachure sur feuilles et fruits, les fentes des fruits et de l'ombilic et la fasciation des rameaux et des fruits, cependant aucun traitement curatif ne peut être conseillé, il faut juste éviter de prélever des greffons sur arbres présentant de ces troubles.

- **Les troubles physiologiques** comme : les brûlures suite à l'insolation ou un traitement, le gaufrage, l'altération du col, l'altération de l'écorce, la nécrose de la partie stylaire, l'éclatement de fruits ou carrément la chute de ce dernier.

- **Les effets des carences** (carence en azote, en phosphore, en potassium, en fer ou autre), une carence en un ou plusieurs éléments va entraîner une perturbation au niveau physiologique de la plante. En outre, un excès des éléments minéraux peut provoquer des maladies d'intoxication suite à un excès de sel de calcium, de cuivre ou de bore dans le sol) (Baily *et al.*, 1980).

9.2 - Les principales maladies des agrumes

Les maladies constituent un très gros problème pour la culture des agrumes.

9.2.1 - Maladies virales

Les maladies à virus sont considérées comme les plus graves, car les molécules pathogènes sont multipliées par les cellules végétales contaminées en provoquant

généralement des perturbations métaboliques ou même la destruction de la cellule qui peut provoquer le dépérissement complet des arbres (Benhassna, 2009), cependant plus de 60 viroses sont déjà connues (Van EE, 1998). Les principales maladies à virus chez les agrumes sont :

Tristeza : Cette maladie virale est l'une des maladies les plus dangereuses. La transmission de ce virus se fait essentiellement par des pucerons vecteurs de virus tels que *Citrivir viatoris* et *Toxoptera citricidus*, mais aussi par greffage ou via les outils de travail (Loussert, 1989).

Les premiers symptômes de la maladie apparaissent quelques années après l'installation du virus, y'aura alors un jaunissement des feuilles, un flétrissement suivis d'un dépérissement de l'arbre (Polese, 2008).

Cette affection virale est qualifiée de maladie d'association car ne dépérissent que certaines variétés (de type mandarine, orange ou pomelo par exemple) quand elles sont greffées sur bigaradier (Moreno *et al.*, 2008). Toutefois, à la lutte préventive doit d'abord viser à empêcher l'introduction dans une région encore indemne d'insecte vecteurs, mais notamment de tout matériel végétal en provenance des pays déjà atteints (Baillay, 1980).

Psorose : La Psorose est causées par un virus désigné sous le nom de *Cilrivir psorosis*. Elle est considérée comme l'une des maladies les plus répandues dans le monde. Il en existe deux formes (Jacquemond., 2013):

- La psorose A : Fawcett en 1933, a décrit des éclaircissements en tirets affectant que les jeunes feuilles.
- La psorose B : c'est la forme la plus sévère, chez laquelle l'écorce se détache en gros lambeaux verticaux.

Cette maladie est répandue dans tous les pays du bassin méditerranéen et se diffuse par greffage ; la méthode de lutte préconisée est l'utilisation de matériel végétal Sain, ainsi que l'arrachage de l'arbre infecté en cas de contamination afin d'éviter la propagation du virus.

Xyloporose : ou Cachexia (*Citrus cachexia* Viroid), est une maladie à viroïde très répandue dans les vergers agrumicoles du monde. Le viroïde de la cachexie induit des réactions de gommose sur les variétés et les porte-greffes de mandarinier et hybrides de mandarinier au champ. Les symptômes sont encore plus intenses sur les tangelos et les tangors. En outre, le *Citrus macrophylla*, les limes acides, les limes doux et l'espèce *Fortunella* sont également infectées. La majorité des espèces commerciales sont asymptomatiques tels que l'oranger, le pomelo, le citronnier, le pamplemoussier, le bigaradier, l'oranger trifolié et les hybrides trifoliés (Roistacher 1991). La transmission du viroïde est assurée par l'emploi des greffons infectés et mécaniquement par l'utilisation des outils de taille contaminés (Brlansky et Timmer, 2012).

Exocortis : C'est une maladie causée par des virus nommés *Citrus exocortis* [CEVd] provoquant des écailllements de l'écorce des porte-greffes, une mauvaise circulation de la sève entraînant des baisses considérables de rendement. Cette virose est transmise par greffage et par outils de taille (Jacquemond *et al.*, 2013).

9.2.2 - Maladies bactériennes

De nombreuses maladies bactériennes présentant des aspects très divers peuvent se développer sur agrumes, parmi lesquelles, nous citons :

Bactériose ou flétrissement : La bactériose des agrumes est provoquée par la bactérie *Pseudomonas syringae* Vanhall. Cette maladie se caractérise par l'apparition de taches de couleur noirâtre (Chapot et Delucchi, 1964). Elle se manifeste surtout sur les feuilles et les rameaux. Les attaques sur fruits sont aussi observées principalement sur citronnier. (Loussert, 1989).

Chancre : il est causé par *Xanthomonas campestris* pv. *Citri*. Les symptômes de cette maladie se présentent sous forme de taches marron pâle qui apparaissent avec des bores huileuses qui deviendront des cratères traversés par des fissures (Fig. 6). Le Chancre peut se développer sur feuilles, rameaux, et fruits (Snowden, 2008).

Greening : Le dragon jaune est le nom original de cette maladie (Imbert, 2008). C'est une des maladies infectieuses les plus destructives des agrumes, 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 erythrae* et *Diaphorina citri* (Bové, 2006).

9.2.3 - Maladies cryptogamiques

D'après Bailly *et al.* (1980), ces maladies s'attaquent aux différents organes végétatifs des agrumes (racines, troncs, feuilles, fleurs, fruits,...) et sont économiquement très importants.

La Gommose : C'est l'une des maladies fongiques les plus répandues dans le monde, les espèces causant cette maladie 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).

Pourridié : L'agent causal est *Armillaria mella* et *rosellinia* sp., cette maladie est appelée également « pourriture des racines », le mycélium de différents champignons peut envahir les racines, provoquant l'arrêt de la circulation de la sève et par suite le mort de l'arbre. Les premiers symptômes se manifestent sur le feuillage ou les feuilles jaunissent et tombent, l'intérieur de l'arbre se dégarnit progressivement et les rameaux se dessèchent (Chapot et Delucchi, 1964).

Fumagine : De nombreux ravageurs tels que des pucerons, les cochenilles ou encore les aleurodes secrètent du miellat sur lequel la fumagine *Capnodium citri* se développe. Elle se manifeste par des taches superficielles, veloutées et noirâtres Jacquemond *et al.* (2013).

Pourriture verte à *Penicillium digitatum* : Selon Vanderweyen *et al.* (1965), La Pourriture verte des agrumes causée par le champignon *Penicillium digitatum* Sacc , provoque chaque année des dégâts énormes atteignant parfois 40 % de perte parmi les fruits en cours de conditionnement et de transport. L'épiderme du fruit atteint par ce champignon s'éclaircit et devient mou.

9.3 - Les principaux ravageurs des agrumes

Une panoplie de ravageurs, dont des insectes, nématodes et acariens s'attaquent aux agrumes, dans certains cas pour se nourrir, dans d'autres cas pour accomplir une partie de leur cycle biologique. Ces attaques provoquent des dégâts directement par la destruction de différentes parties de l'arbre ou indirectement par la transmission de certaines maladies (Ouedraogo, 2002).

9.3.1 – Les insectes

Les insectes constituent un large groupe de ravageurs d'agrumes, renfermant des espèces appartenant à différents ordres, dont on peut citer :

- **Les homoptères**

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

Les cochenilles : elles sont considérées comme l'ennemi le plus redoutable des agrumes surtout par leur présence permanente au cours de l'année (Medjdoub, 2014). Ces ravageurs se nourrissent de la sève de la plante, et secrète par la suite sur les fruits, les feuillages et les rameaux le miellat qui provoque une apparition massive de fumagine aggravant encore les dommages. Leur développement est favorisé par les températures clémentes et l'humidité du printemps et de l'automne (Polèse, 2008). D'après Biche (2012) la cochenille diaspine *Aonidiella aurantii* 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 (Fig.7). Le bouclier de la femelle est caractérisé par une couleur rouge-orangé, de forme circulaire à subcirculaire, de 1,5 à 2 mm de long. Selon les conditions climatiques le cycle biologique de *A. aurantii* compte 3 à 4 générations par an.

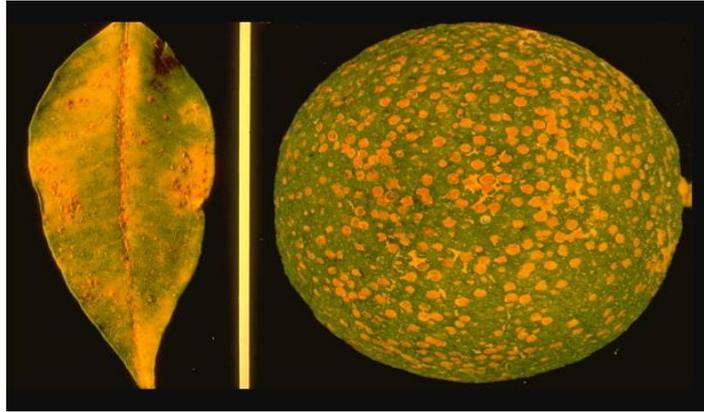


Figure 7. Attaque tardive d'*A. aurantii* sur orange (www.agraria.org).

Les aleurodes : les larves des aleurodes sont d'une taille minuscule de l'ordre de 0.8 à 1 mm de diamètre (Piguet, 1960). Elles représentent des attaques caractérisées par l'excrétion d'un abondant miellat sur la face inférieure des feuilles (Fig.8). Puis, elles forment une couche blanche visqueuse pouvant dépasser 1 mm d'épaisseur, ce miellat se recouvre rapidement d'un développement très important de fumagine (Loussert, 1989). L'adulte ressemble à un petit papillon de 1,4 mm, de couleur jaune clair, et recouvert d'une cire blanche. L'œuf est pédonculé et ovale, mesurant de 0,2 à 0,3 mm de haut, jaunâtre. La larve de couleur vert-jaunâtre est plate ; au 4ème stade, elle atteint 1,5 mm de long. *Aleurothrixus floccosus* et *Dialeurodes citri* sont des déprédateurs importants des agrumes (Biche, 2012). Les aleurodes se développent sur la face inférieure des feuilles. Leur développement est rapide (trois générations annuelles pour *D. citri* et quatre à cinq pour *A. floccosus*) (Jacquemon, 2013).



Figure 8. Adultes, œufs et dégâts d'aleurodes (Biche, 2012).

Les pucerons : Les pucerons sont de petits insectes globuleux ou aplatis. Ovale ou sphériques dont la taille est comprise entre 1,5 et 8 mm et le plus souvent entre 2 et 4mm (Leur corps est de couleur variable. Parfois couvert d'une sécrétion cireuse (Bonnemaison,

1962) Les pucerons ou aphides sont groupés le plus souvent sur le végétal hôte à l'endroit des jeunes pousses ou des jeunes feuilles (Hule *et al.*, 1989) Sous leurs invasions, les jeunes pousses s'enroulent, puis la partie la plus tendre des feuilles prend une forme incurvée. On observe également une sécrétion d'exsudat ou miellat sur lequel se développe la fumagine (Courboulex, 2010). Parmi les pucerons ravageurs d'agrumes on trouve : le Puceron vert du citronnier *Aphytis gossypii* Puceron noir des agrumes *Toxoptera aurantii*.

- **Les lépidoptères**

Cet ordre est représenté essentiellement par deux ravageurs.

La mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* est considérée comme l'une des principales contraintes de la production des agrumes (Fig. 9). 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.

La Teigne des agrumes *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).



Figure 9. Adulte et galeries de *Phyllocnistis citrella* (www.CABI.com).

- **Diptère**

Cet ordre se limite à une seule espèce nommée la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Fig 10). Elle représente l'un des principaux obstacles à la production de fruits sains et à leur exportation (Oukil *et al.*, 2002). Les dommages provoqués par les piqûres des femelles sur les fruits, donnent un mauvais aspect et sont automatiquement rejetés aux postes de contrôles. de plus, cela provoque la chute et la pourriture des fruits par des champignons (Cayol *et al.*, 1994). L'imago est une mouche de 4,5 à 6mm de long. Il est caractérisé par un mésonotum noir luisant, avec quatre bandes grises, l'abdomen est brun jaunâtre avec des bandes transversales grises. Les ailes sont larges et présentent trois bandes orangées (White et Elson- Harris, 1992). Selon les conditions climatiques elle peut réaliser 5 à 7 générations par an (Loussert, 1989).



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

- **Orthoptère**

Le Criquet puant *Zonocerus variegatus* appartient à l'ordre des Orthoptères. Les dégâts de ce ravageur se manifestent par la réduction de la surface de la plante à cause des prélèvements alimentaires, des blessures entraînant des perturbations pour la circulation de la sève et des possibilités d'infections secondaires (FAO, 1999). Selon Autrique *et al.* (1989), l'adulte de *Zonocerus variegatus* est de couleur jaune verdâtre et noire mesure environ 4 cm de long. Il vit durant 3 à 4 mois. La femelle dépose dans le sol ses oothèques renfermant un grand nombre d'œufs. Ils éclosent après 6 à 8 mois. Les larves et les adultes de ce criquet vivent souvent en bandes importantes qui peuvent causer des dégâts notables à différentes cultures notamment aux agrumes, vigne et bananier.

- **Coléoptère**

Le capricorne asiatique *Anoplophora chinensis* est une espèce très polyphage avec une très large gamme d'hôtes. Cependant ce coléoptère s'attaque de manière préférentielle aux agrumes (orangers, citronniers). L'adulte de cette espèce est noir brillant avec 2 à 3,5 cm de long et de 0,7 à 1,2 cm de large. Sur chaque élytre, on peut observer une vingtaine de taches blanches. L'insecte passe l'hiver sous forme larvaire ou sous forme de nymphe. Les nymphes sont blanchâtres et font de 3 à 3,5 cm de long et 1 cm de large. Le cycle biologique dure 1 à 2 ans selon les facteurs climatiques et la qualité de la nourriture (www.fredon-corse.com).

9.3.2 – Les nématodes

Un complexe de 189 espèces de nématodes est associé à la culture des agrumes (Praloran, 1971). *Tylenchus semipenetrans* est l'espèce la plus dommageable et la plus étudiée, Elle est responsable du dépérissement des *Citrus*, connu sous le nom de « Slow decline ». 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).

9.3.3 – Les acariens

Les acariens sont des minuscules ravageurs, mesurant de 0.1mm à 0.5mm de long, ils vivent et se développent sur les organes végétaux, les dommages se manifestent sous diverses formes : nécroses, décoloration, déformation (Fig. 11), chute des feuilles, des bourgeons, des fruits, parmi les espèces qui sont à l'origine de ces dommages nous citons :

-*Aceria sheldoni* appelé communément acarien des bourgeons.

-*Tetranychus cinnabarinus* appelé communément acarien tisserand.

-*Hemitarsonemus latus* connu sous le nom d'acarien ravisseur (Van EE, 1998).



Figure 11. Dégâts d'*Aceria sheldoni* sur citron (Biche, 2012).

Chapitre II :
Le Pou rouge de Californie *Aonidiella*
aurantii

1– Généralités

1.1 - Etymologie

Le mot cochenille provient du grec kokkos qui signifie petite baie, il a été attribué, pour la première fois, à la cochenille *Dactylopius coccus* à partir de laquelle on fabriquait le rouge carmin au Mexique. Les italiens et les espagnols ont adopté la même racine, respectivement « cocciniglie » et « cochenilla ». De ces derniers a dérivé le mot français cochenille. Certains linguistes affirment même que le mot cochon viendrait de cochenille car c'est avec celle-ci que l'on teintait la charcuterie obtenue à partir du porc (Kreiter *et al.*, 1998).

1.2 - Les cochenilles

Les cochenilles forment une vaste superfamille, celle des Coccidoidea, comprenant environ 8000 espèces (Scalenet, 2013) réparties de façon inégale à travers le monde. D'après Balachowsky et Mesnil (1953), les cochenilles se différencient entre elles par les caractères ornementaux du pydgium qui est distingué de différentes appendices (peignes, palettes, glandes circumgénitales, cirière dorsales) variant d'une espèce à l'autre.

Les Coccoidea ressemblent peu, à première vue, aux autres insectes. Les femelles sont aptères et immobiles, couvertes d'un revêtement assez dur (cochenilles à carapace ou à bouclier) ou alors de cire ou de coton (cochenilles à corps mou). Ces sécrétions leur permettent un mode de vie protégé en assurant ainsi leurs défenses contre les ennemis naturels et les insecticides. Ces espèces ne sont pas toutes des ravageurs de cultures, en effet certaines sont utiles pour l'homme et ont même été la source d'un commerce florissant dans divers pays (Kreiter *et al.*, 1998).

Toutefois, trois familles provoquent d'importants dégâts économiques. Il s'agit des Lécánines, des Pseudococcidae ou cochenilles farineuses et des Diaspididae ou cochenilles à bouclier. La famille des Margarodidae fait également partie de la superfamille des Coccidoidea mais elle est moins considérée comme famille de bioagresseurs car un seul de ces représentants (*Icerya purchasi*) occasionne des dommages aux végétaux.

1.3 - Les diaspines

Les diaspines appelées aussi cochenilles à bouclier appartiennent à la famille des Diaspididae. Selon Belguendouz (2006), elles représentent la famille la plus évoluée, renfermant des insectes qui ont suivi une évolution régressive (atrophie et disparition des pattes et des antennes) et une exacerbation de la fonction nutritive, elles se distinguent notamment par un dimorphisme sexuel très prononcé, si on n'a pas suivi quotidiennement leur évolution, il nous est impossible d'associer le mâle d'une espèce à sa femelle tellement les individus sont différents.

Cette grande famille comprend environ 2400 espèces appartenant à 380 genres (Bayindir et Karaka, 2015), constituent les ravages les plus importants sur de nombreuses espèces fruitières, ornementales ainsi que forestières (Cahuzac, 1986). Elles sont souvent polyphages, très nuisibles et causent des dégâts considérables sur de nombreuses cultures (Adda, 2006) où plusieurs espèces figurent sur des listes de quarantaine (*Aonidiella*, *Chrysomphalus*, *Unaspis*, *Parlatoria*...etc.).

Ces cochenilles sont le plus souvent opophage (Biche, 2012) et contrairement aux autres cochenilles, les diaspines, ne produisent pas de miellat. Elles se nourrissent en prélevant le contenu des cellules épidermiques, dans lesquelles elles injectent des substances toxiques qui provoquent l'apparition de taches jaunes, rouges ou marron sur les feuilles et les fruits (Lacordaire *et al.*, 2006).

Elles sont généralement minuscules et mesurent entre 0,5 et 20 mm, se distinguant des autres sternorrhyncha par les tarsi uniarticulés qui se terminent par un angle unique (Thi Hang, 2012). Ce même auteur, souligne que les diaspines se caractérisent par leur vie fixe, mais les larves sont mobiles à l'éclosion ainsi que les mâles adultes lors de leur apparition, la reproduction se fait soit par parthénogenèse soit par voie bisexuée, en outre leur faible capacité à se disperser crée parfois une infestation locale importante, alors que les végétaux voisins sont épargnés.

2 - Présentation d'*Aonidiella aurantii*

2.1 - Nomenclature

Le nom d'*A. aurantii* (Maskell) a connu plusieurs modifications et selon le Catalogue of Life (<http://www.catalogueoflife.org>), la cochenille possède plusieurs synonymes qui sont :

Aonidia aonidum TargioniTozzetti, 1884
Aonidiella aurantii Berlese, 1895
Aonidia gennadii TargioniTozzetti, 1881
Aonidiella gennadi McKenzie, 1939
Aonidiella coccineus McKenzie, 1939
Chrysomphalu scoccineus Lindinger, 1949
Chrysomphalus citri Lindinger, 1935
Chrysomphalus aurantii Cockerell, 1899
Aspidiotus coccineus Gennadius, 1881
Aspidiotus citri Comstock, 1881
Aspidiotus aurantii Maskell, 1879
Aspidiotus aurantii Kuwana, 1902
Aspidiotus aurantii Cockerell, 1897

La nomenclature d'*A. aurantii* a été citée par Berlese en 1895 mais le nom de l'auteur le plus utilisé est Maskell (1879).

2.2 – Classification

Selon Ben-Dov (1990), La classification d'*A. aurantii* est la suivante :

| | |
|-----------------|--|
| Règne : | Animalia |
| Embranchement : | Arthropoda |
| Classe : | Insecta |
| Ordre : | Hémiptera |
| Sous Ordre : | Homoptera |
| Super-famille : | Coccoidea |
| Famille : | Diaspidida |
| Tribu : | Aspidiotini |
| Genre : | <i>Aonidiella</i> |
| Espèce : | <i>Aonidiella aurantii</i> (Maskell, 1879) |

2.3 - Origine et répartition

Le Pou rouge de Californie est originaire d'Asie du Sud-Est (Bedford *et al.*, 1998). Il est largement distribuée dans tous les pays tropicaux et subtropicaux du monde comme un ravageur majeur d'agrumes, il se rencontre principalement dans les zones subtropicales comprises entre 25° et 40° de latitude Nord et Sud (Rosen et DeBach, 1978). Cette large distribution revient au fait que cette espèce peut résister aux différentes conditions climatiques (Flanders, 1944). Au cours de la première partie du 20^{ème} siècle, il a été décrit comme le principal ravageur des agrumes en Australie, en Californie, en Afrique du Sud et au Mexique par Quayle (1941).

Bodenheimer (1951) a élargi la liste des pays où le Pou rouge de Californie était un problème grave ravageur au Kenya, à Madagascar, à Zanzibar, à Maurice en Afrique, en Argentine, au Chili, au Paraguay, en Uruguay au Brésil et en Amérique du Sud, en Inde, Siam, Philippines, Formose en Orient et en Grèce, en Turquie, en Syrie, à Chypre, en Égypte et en Italie en Méditerranée. Cependant, à cette époque, cette cochenille n'était toujours pas présente ou extrêmement rare en Espagne, en France, Lybie, Tunisie, Maroc et Algérie. De nos jours *A. aurantii* est largement distribuée dans le monde entier, dans toutes les régions où le genre citrus est cultivé.

2.4 -Plante hôte

A. aurantii est une espèce nuisible polyphage qui s'attaque à une grande variété de plantes appartenant à au moins 77 familles de plantes (Borchsenius, 1966). Il a été observé sur des pommiers (*Malus domestica* Borkh), des poiriers (*Pyrus communis* L.), des oliviers (*Olea europaea* L.), des grenadiers (*Punica granatum* L.), des caroubiers (*Ceratonia siliqua* L.), des noyers (*Juglans regia* L.), des mûriers (*Morus alba* L.), des cognassiers (*Cydonia oblonga* L.), des lauriers (*Laurus nobilis* L.), palmiers, plantes ornementales comme la majorité des espèces appartenant à la famille des rosacées, divers Espèces de *Solanum*, etc. (Ebeling, 1959; Crouzel *et al.*, 1973; Beardsley et González, 1975; Miller et Davidson, 1990).

Néanmoins, *A. aurantii* attaque préférentiellement les agrumes et, selon Talhouk (1975), il s'agit du principal ravageur des agrumes dans le monde. Toutes les variétés d'agrumes sont

attaquées par cette diaspine, mais il existe différents niveaux de susceptibilité. Les citronniers (*Citrus limon* (L.)), les pamplemousses (*C. paradisi* Macf.), les orangers (*C. sinensis* (L.)) et les mandariniers (*C. reticulata*) sont classés par ordre de sensibilité décroissante (Cameron *et al.*, 1975; Habib *et al.*, 1972; Bedford, 1998). Néanmoins, chez les jeunes arbres, cette cochenille peut causer de graves dommages à toutes les variétés (Bodenheimer, 1951). Selon Habib *et al.* (1972), la sensibilité est liée au nombre de glandes sébacées présentes dans les feuilles et les fruits de différentes variétés où un nombre plus élevé de glandes sébacées entraînant une résistance accrue à l'organisme nuisible.

2.5 - Dégâts et importance économique

Le Pou rouge de Californie est une espèce cosmopolite et polyphage (Miller et Davidson, 1990). Elle attaque toutes les parties aériennes de l'arbre, ainsi que les fruits, les feuilles et les rameaux (Beardsley et González, 1975). Les dégâts causés par *A. aurantii* peuvent être directs, conséquence de l'activité alimentaire de l'organisme nuisible. De fortes infestations peuvent causer la chute des feuilles, le dépérissement des rameaux, la perte et la diminution des rendements et même la mort des jeunes arbres. Sans aucun doute, les dommages les plus importants causés par *A. aurantii* sont indirectement associés à la présence de cochenilles sur les fruits frais (Bedford, 1998). En conséquence, *A. aurantii* dévalue les fruits commercialement, ce qui entraîne des pertes économiques importantes pour les producteurs. Des coûts économiques supplémentaires sont générés en raison du contrôle difficile de l'organisme nuisible associé à sa morphologie complexe. Les stades sensibles alternent avec les stades vulnérables aux traitements chimiques, car ils sont protégés par le bouclier (<http://www.agricultura.gva.es/rvfc/index.html>).



Figure 12. Dégâts d'*A. aurantii* sur fruit et rameau de citronnier.

3 - Biologie d'*A. aurantii*

3.1 - Description morphologique

3.1.1 - Critères de détermination des Diaspididae

Le Pou rouge de Californie *A. aurantii* est un homoptère appartenant à la famille des Diaspididae. Cependant, d'après Balachowsky (1950) et INRA (1978), les principaux critères d'identifications de cette famille sont basés sur les femelles adultes vivantes et sont d'ordre macroscopique et microscopique alors que les mâles adultes complètement différents des femelles et ne peuvent être observés avec autant de facilité.

- **Critères macroscopiques**

Ils renferment la forme générale, la taille du corps, la coloration et le revêtement cuticulaire dorsal des individus ; constituant ainsi les caractères importants dans la reconnaissance des espèces.

Morphologiquement, les diaspines sont minuscules et mesurent entre 0,5 et 20 mm de long. La femelle est toujours aptère, généralement de forme globuleuse arrondie, ovale, circulaire ou encore en forme de virgule et, à tête et thorax fusionnés, avec un corps aplati. Le mâle est pourvu de deux paires d'ailes dont l'une est sous forme de crochets. Elles se caractérisent par leur vie fixée mais les larves sont mobiles à l'éclosion ainsi que les mâles adultes lors de leur apparition.

Elles se distinguent par un dimorphisme sexuel très prononcé ainsi par la présence du pygidium grâce auquel l'insecte produit et façonne un revêtement protecteur caractéristique, il s'agit du bouclier. La forme du bouclier se détermine conformément au corps de la cochenille notamment par ses mouvements et sa croissance. L'observation périodique du bouclier permet de suivre l'évolution de la cochenille d'une part et d'autre, il permet de distinguer à la fois les stades et les sexes (INRA, 1978).

- **Critères microscopiques**

La forme générale du corps, la présence ou l'absence des stigmates abdominaux, l'aspect des derniers segments abdominaux (pygidium) (Fig. 13) et leur aspect ultrastructural, ces derniers représentent les critères primordiaux dans la reconnaissance des espèces. L'ornementation cubiculaire concerne la structure des pores glandulaires dorsaux et ventraux et leur distribution, le type de pilosité (forme de soie et des épines et leur distribution).

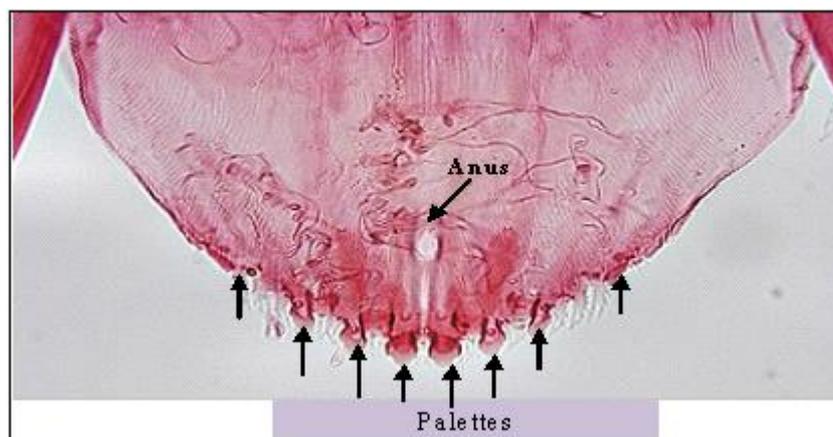


Figure 13. Pygidium d'*A. aurantii*.

(<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5466516>)

- **Formation du bouclier**

D'après Thi Hang (2012), dès que la cochenille se fixe, et insère son stylet dans la plante hôte pour s'alimenter, débute la synthèse de son revêtement protecteur appelé bouclier, produit est issu de deux sécrétions complémentaires ; l'une abondante, formée d'un complexe ciroïde-protéide, elle est émise par les glandes tégumentaires, sous forme de longs filament blancs. Les fils s'entremêlent au-dessus de la larve et créent une espèce de feutrage. 30 à 40 minutes après le début des sécrétions, l'insecte se met à pivoter autour du stylet, en parcourant des allers-retours de 270° à 315°. C'est ce mouvement oscillatoire, accompagné par la production de sécrétions, qui donne une forme circulaire au bouclier.

En 6 à 10 heures, un bouclier blanc, en forme de disque, est formé au-dessus de la cochenille l'autre de nature microprotéique, d'origine malpighienne, est émise à partir de substance anale agglomérant entre eux les filaments. Elle continue de croître et de produire

des filaments qui étendent le disque, la larve passe au second stade en muant. La cuticule se fonde le long du corps et la partie dorsale est poussée contre la partie centrale inférieure du bouclier. Après la mue, la cochenille est complètement dépourvue de pattes. Les mouvements subséquents sont alors effectués par des contractions du corps. Les microstructures du pygidium (palettes, peignes et soies) jouent le rôle de truelles en étalant les sécrétions. L'insecte continue de croître, de produire des filaments en périphérie du bouclier et de les cimenter. Le bouclier s'élargit et s'aplatit. La femelle devient adulte au troisième stade en muant de nouveau. L'exuvie est plaquée sur la surface interne centrale du bouclier. Des filaments sont présents entre les deux exuvies. La femelle continue de croître en se dépliant et continue d'édifier son bouclier en sécrétant des filaments en bordure du bouclier, pour l'agrandir. 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.

Une étude de la composition chimique du bouclier d'*A. aurantii* a démontré qu'il était composé de 45% de cire, 47% de substances protéiniques et de 8% d'exuvies.

3.1.2 - Description des stades d'*A. aurantii*

A. aurantii, comme le reste des cochenilles diaspines, se caractérise par la présence dorsale d'un revêtement qui protège le corps de l'insecte contre les agressions physiques et les conditions climatiques défavorables. Ce bouclier est un produit de l'insecte et non une partie de celui-ci. Par conséquent, il peut être enlevé sans endommager l'insecte. Cependant, sans ce dernier, l'insecte mourra de dessiccation. Le bouclier est de couleur orange rougeâtre similaire chez les deux sexes. Bien qu'il soit plutôt mince et semi-transparent chez le Pou rouge de Californie, ses propriétés physiques, à savoir sa dureté et son imperméabilité, constituent une barrière efficace contre les insecticides chimiques les empêchant d'atteindre le corps situé en dessous (Foldi, 1990).

• Les œufs

Il est très difficile d'observer les œufs d'*A. aurantii* car cette cochenille est ovovivipare c'est-à-dire que les œufs se développent et éclosent à l'intérieur du corps de la femelle juste avant la ponte (Pekas, 2010).

• Premier stade

La femelle donne naissance à de jeunes larves mobiles très actives. Ces larves sont jaunes, elles ont un corps d'insecte (tête, thorax, abdomen), elles possèdent des yeux, des antennes et 3 paires de pattes, elles mesurent environ 0,15 mm de largeur et 0,24 mm de longueur. Elles sortent du bouclier de la femelle et cherchent un endroit approprié pour s'installer définitivement. Ebeling (1959) déclare que la majorité s'installe en 6 heures. Les larves mobiles se fixent sur les rameaux et les feuilles les plus anciennes, mais ils sont fortement phototactiques et ont tendance à se déplacer vers l'extérieur sur la nouvelle végétation et les fruits verts.



Figure 14. Larve de 1^{er} stade mobile sous le bouclier de la femelle (a) et larve de 1^{er} stade fixe (b).

• Deuxième stade

Ce stade est encore trop petit, les sexes peuvent cependant être distingués à partir de l'aspect du bouclier de l'insecte (Bedford et Cilliers, 1994). La larve du deuxième stade mâle est de couleur jaune-orange, elle mesure environ 0,7 mm de longueur et 0,4 mm de largeur, elle possède deux paires d'yeux remarquables (ventralement et dorsalement). De plus, le bouclier de la larve du deuxième stade mâle est de forme allongé, ce qui l'a différencie alors facilement à la larve de la femelle car la larve de deuxième stade femelle ressemble à la larve fixée du premier stade cependant le corps est plus grand et le bouclier est plus large (Thi Hang, 2012).



Figure 15. Larves de deuxième stade mâle (a) et femelle (b).

- **Prénympe et nymphe**

Le corps des prénymphe et des nymphes n'est pas attaché à leur bouclier. Les prénymphe sont de couleur jaune-orange avec des yeux rouge foncé ou marron, ils mesurent environ 0,7mm de longueur et 0,35 de largeur (Thi Hang, 2012). Selon Pekas (2010), ils sont caractérisés par une légère pointe à l'extrémité distale qui indique le développement des organes génitaux.



Figure 16. Prenympe (a) et nymphe (b) du mâle d'*A. aurantii*.

• Jeune femelle

La jeune femelle et son revêtement cireux s'élargissent considérablement au cours de ce stade. Le corps et le bouclier de la jeune femelle ne sont pas attachés, et une nouvelle couche de cire apparaît comme un anneau gris autour des couches de cire produites dans les stades précédents. Le bord de la cire est très mince et doux.

La tête et le thorax sont fusionnés, la segmentation du corps est obscure et les segments deux à huit sont fusionnés pour former le pygidium. Ce dernier est rond, l'anus se situe sur le côté dorsal et l'orifice génital se situe sur le côté ventral (Thi Hang, 2012).



Figure 17. Bouclier et corps d'une jeune femelle.

• Femelle adulte

Le bouclier de la femelle adulte est circulaire, aplati, de couleur rougeâtre et d'environ 1,5 - 2 mm de diamètre, cependant sa taille moyenne varie selon la plante hôte et la partie de la plante attaquée (Ebeling, 1959). La segmentation du corps de la femelle adulte est obscure, Il se compose de 11 segments. La tête peut se distinguer de l'abdomen. Le thorax est généralement très développé et se compose de trois segments plus ou moins combinés entre eux. L'abdomen constitue la 3^{ème} partie du corps. Il est moins développé que le céphalothorax (tête + thorax). Les 3 ou 4 derniers segments fusionnent et forme une large pièce terminale appelée pygidium. ceux-ci possèdent une ornementation très particulière qui est utilisée dans la taxonomie. Le pygidium porte l'anus dorsalement et le vagin ventralement, il est pourvu de

3 paires de palettes, il contient également des pores et des tubes de cire qui mènent aux glandes de cire (Takagi, 1990). Il se rétracte vers l'intérieur dans une position entre les lobes thoraciques latéraux (Thi Hang, 2012). Le corps de la femelle adulte prend alors une forme de fer à cheval et devient distendu, durci et complètement scellé au revêtement cireux.



Figure 18. Femelle adulte face dorsale (a) et ventrale (b).

• Le mâle adulte

Les mâles adultes ont un corps d'insecte (tête, thorax, abdomen) de couleur jaune orange il mesure environ 0.6 à 0.8 mm de longueur, ils ont une paire d'ailes, deux paires des yeux et trois paires des pattes (Pekas, 2010). Selon Thi Hang (2012), La tête est plus ou moins triangulaire. Les antennes sont longs, elles possèdent 10 segments, Le thorax est court et épais, La bande thoracique occupe plus de la moitié de la largeur. L'abdomen est de petite taille, Les ailes sont ovales ont presque la même longueur du corps, les pattes sont poilues, le fémur est épais, le tibia est long et épais et le tarse est larges en haut, diminuant graduellement vers le bas à une griffe simple.

Ils volent mal, manquent de pièces buccales fonctionnelles et vivent généralement entre un à trois jours (Beardsley et González, 1975).



Figure 19. Mâle adulte.

3.2 - Cycle de vie

Bodenheimer (1951) donne une description détaillée de la biologie du Pou rouge de Californie. Comme la majorité des cochenilles diaspines *A aurantii* se reproduit sexuellement, les femelles fécondes libèrent des larves mobiles qui se dispersent sur la plante hôte. Après une courte période (généralement moins de 24 h), les larves s'installent sur un fruit, une feuille ou une branche. Une fois installée, la femelle restera immobile pour le reste de sa vie.

Après la fixation, les larves insèrent leurs stylets dans les tissus de la plante, commencent à s'alimenter et sécrètent un revêtement cireux sur le corps, il s'agit du premier stade fixe. Ces cochenilles continuent à se développer pendant plusieurs jours jusqu'à ce qu'elles coupent le tube d'alimentation et fixent leur corps au bouclier, c'est la première mue. Après environ quatre jours, les cochenilles insèrent un nouveau tube d'alimentation dans le substrat de la plante et se transforment en deuxièmes stades. Au deuxième stade, le corps de la diaspine se sépare de la couverture et commence à se développer. C'est à ce stade qu'on arrive à différencier les deux sexes. Les mâles deviennent allongés, développent des yeux et environ cinq jours plus tard, ils se transforment en prepupe. Après un jour et demi, les prépuces se transforment en pupes qui enfin, environ trois jours plus tard, se transformera en mâles ailés.

Pendant ce temps, les femelles du deuxième stade se transforment à nouveau en deuxième mue. Après environ six jours de seconde mue, les cochenilles femelles réinsèrent leurs stylets dans le substrat de la plante et se transforment en jeunes femelles. Pendant cette phase, les cochenilles continuent de croître et se transforment en femelles matures (adultes) lorsqu'elles sont fécondées. Après la fécondation, les femelles adultes cessent de se nourrir et

leur corps redevient adhérent au bouclier et commencent à produire des larves au bout de 12 jours environ. Les femelles adultes d'*A. aurantii* sont ovovivipares c'est-à-dire que les œufs se développent à l'intérieur de leur corps, une femelle peut donner entre 60 et 150 larve selon les conditions climatiques.

4 - Ecologie d'*A. aurantii*

Le Pou rouge de Californie est une espèce multivoltine (Luck, 1995). Le nombre de générations que développe cette cochenille, la durée de chaque génération, la densité et l'impact de ses populations sur les plantes hôtes, sont influencés par de nombreux facteurs entre autres ; la concentration en azote des tissus foliaire, le type du substrat sur lequel elle se développe et l'action combinée des conditions climatiques, notamment la température, les précipitations et l'humidité.

4.1 - Les facteurs abiotiques

4.1.1 - Facteurs climatiques

Le climat (particulièrement la température et l'humidité) est le facteur abiotique principal qui affecte l'écologie d'*A. aurantii* dès la fixation des larves mobiles jusqu'à la reproduction et la mort des adultes (Pekas, 2010). En effet, d'après Benassy, (1975), l'influence climatique se traduit par un décalage de la date d'apparition des diverses générations dans le temps et par un échelonnement plus grand des périodes d'éclosions.

Yu et Luck (1988) ont examiné le seuil de développement d'*A. aurantii* sur les fruits de citronnier et ont noté un seuil de (11,6 ° C) pour les femelles et de (12,6 ° C) pour les mâles, les mêmes auteurs ont signalé que la constante thermique pour le développement d'une génération était de 639,8 et 331 degrés-jours effectif (DJE) respectivement chez les femelles et les mâles. Cependant, ils ont mentionné que le temps de développement de la cochenille était identique sous des températures constantes et fluctuantes sur le terrain.

Les premier, deuxième et troisième stades sont les plus résistants aux basses températures tandis que les femelles adultes avec des larves ont une résistance intermédiaire. Par contre, les mues, les pupes et les mâles sont très sensibles aux basses températures (Abdelrahman, 1974). Selon le même auteur, les basses températures sont le facteur le plus

déterminant pour l'abondance et la distribution de la diaspine. La durée du cycle de vie d'*A. aurantii* augmente sous l'influence des basses températures.

Willard (1972) a constaté que les femelles et les mâles achevaient leur développement en 44,3 en 25,2 jours à 29 ° C; alors qu'il faut 209 jours pour les femelles et 149 pour les mâles à 15 ° C. De plus, les températures estivales élevées entraînent une diminution significative de la taille corporelle d'*A. aurantii*, ce qui a de graves conséquences pour la lutte biologique (Yu, 1986; Yu et Luck, 1988; Hare *et al.*, 1990).

Selon Bodenheimer (1951), les conditions optimales pour le développement d'*A. aurantii* sont des températures comprises entre 23 et 27,5 ° C et 70 à 80% de HR. Néanmoins, Belguendouz *et al.* (2013) ont signalé que dans le centre nord de l'Algérie, le maximum de l'abondance d'*A. aurantii* est obtenue à une température comprise entre 20,49°C et 32,8°C sur le citronnier et entre 8,2°C et 16,04°C sur l'oranger. Cela veut dire que *A. aurantii* semble développer une grande adaptation aux conditions climatiques, surtout si les des plantes hôtes sont âgées et exposées au soleil.

4.1.2 - Facteurs édaphiques

En plus des facteurs climatiques qui ont un sérieux impact sur le développement des cochenilles ; les facteurs culturaux tels que la nature chimique du sol, la fertilisation ainsi que les traitements pesticides sont également considérés comme des facteurs affectant considérablement la pullulation des ravageurs. En effet, McClure (1980) a déclaré que les réactions physiologiques d'une hôte à des conditions édaphiques changeantes ou à l'application d'engrais modifient souvent sa sensibilité aux attaques des diaspines. Gautier (1987) signale que l'excès d'Azote, par temps couvert et froid, entraîne l'accumulation des nitrates dans la plante. De plus, Coutanceau (1962), note que l'excès d'azote se traduit en général par une végétation active, une floraison faible, production de fruits de mauvaise conservation et enfin une sensibilité exagérée aux parasites.

D'autre part, Salama *et al.* (1972) ont conclu dans leurs études, que la fertilisation des semis avec des quantités excessives d'azote, de potassium et de phosphore ont augmenté la résistance du Pou rouge de Californie vis-à-vis des pesticides. Malgré que l'azote est considéré comme le principal facteur des hauts rendements et demeure le pilier de la fumure

des agrumes toutefois plusieurs auteurs déclarent avoir trouvé une corrélation positive entre le taux d'azote et la vitesse de développement des diaspines.

4.2 - Les facteurs biotiques

4.2.1 - La plante hôte

A. aurantii attaque toutes les parties aériennes des agrumes, les rameaux, les feuilles et les fruits. Néanmoins, la survie, la fécondité et la taille finale de la diaspine dépendent du substrat sur lequel elle croît.

Carroll et Luck (1984) ont signalé que les fruits constituaient le meilleur substrat pour le développement de la diaspine, suivis des feuilles, tandis que les rameaux étaient le substrat le moins favorable. Biche *et al.* (2012) explique que cette diaspine préfère se localiser et se développer sur le fruit car ce dernier lui assure une bonne richesse en éléments nutritifs. En effet, les cochenilles fixées sur les fruits présentaient une survie et une fécondité supérieures à celles fixées sur des feuilles ou des rameaux (Hare et Luck, 1991).

La localisation des cochenilles sur le végétal semble obéir à un phénomène chimique. Selon la composition physico-chimique de la plante, il peut se créer soit une répulsion, soit une attraction qui explique la spécificité, le polyphagisme ou l'immunité. Néanmoins, entre la plante hôte et l'insecte, les apports de nature nutritionnelle sont fondamentaux (Chaboussou, 1975).

Grout *et al.* (1989) ont signalé que le développement d'*A. aurantii* est plus rapide sur les citronniers que sur les orangers et les pamplemoussiers. D'autre part, Perez (1972) a conclu que le développement était plus rapide sur pamplemoussier que sur les orangers.

La taille finale (bouclier et corps) de la cochenille varie considérablement selon les variétés d'agrumes et selon les substrats végétaux au sein de la même variété (Hare et Luck, 1991). Cette variabilité de la taille a des conséquences importantes sur le contrôle biologique de la cochenille.

4.2.1 - Les ennemis naturels

Les cochenilles, en général, causent d'importants dégâts sur les cultures en dépit de nombreux ennemis naturels qui sont susceptibles de limiter leur pullulation (Biche, 2012). Le pou rouge de Californie a de nombreux prédateurs et parasitoïdes, dont l'efficacité et le nombre varient selon le lieu, par rapport aux conditions climatiques et aux exigences du stade hôte (Forster *et al.*, 1995). Toutefois, les parasitoïdes sont considérés comme plus efficaces que les prédateurs (Sorribas & Garcia-Marí 2010).

4.2.2.1 - Les prédateurs

Le bouclier d'*A. aurantii* présente une véritable défense physique telle qu'une barrière protectrice contre les ennemis. Pourtant, les prédateurs peuvent jouer un rôle important dans la limitation des populations d'*A. aurantii* (Rosen et DeBach, 1978). De nombreuses espèces d'arthropodes, qu'elles soient occasionnelles ou fréquentes, ont été décrits comme des prédateurs du pou rouge de Californie. La plupart d'entre eux sont polyphages et peuvent se nourrir de plusieurs proies, généralement d'autres diaspines (Drea et Gordon, 1990).

Les principaux prédateurs d'*A. aurantii* sont :

• Les coléoptères

D'après Thi Hang (2012), il existe une très grande liste de Coccinellidae citées dans des travaux précédents comme prédateurs d'*A. aurantii* ; Les plus importants sont:

Rhizobius lophanthae
Chilocorus bipustulatus
Chilocorus cacti
Chilocorus circumdatus
Chilocorus distigma
Chilocorus nigrinus
Chilocorus orbis
Coccidophilus citricola
Halmus chalybeus

R. lophanthae est considéré parmi les prédateurs le plus importants du pou rouge de Californie dans les régions agrumicoles (Sorribas, 2011). C'est un prédateur exotique qui se développe essentiellement aux dépens de la super famille des Coccoidea et plus particulièrement sur les diaspines. Sa classification basée sur l'efficacité des coccinelles prédatrices, *R. lophanthae* est classée dans le groupe des coccinelles ayant un contrôle économique satisfaisant (Biche, 2012). Samways (1985) a rapporté que *R. lophanthae* se nourrissait des différents stades de développement, à l'exception des femelles adultes. L'auteur a constaté également que *R. lophanthae* et *A. aurantii* étaient dépendants de la densité et a enregistré jusqu'à 88% de diaspine consommé par *R. lophanthae* dans un verger en Afrique du Sud.

Plusieurs espèces du genre *Chilocorus* ont été décrites comme prédatrices du Pou rouge de Californie et beaucoup d'autres diaspines. *C. bipustulatus* est probablement le plus étendu sur plusieurs régions du monde (Sorribas, 2011), d'ailleurs Saharaoui (1998) a recensé cette coccinelle à travers son inventaire en Algérie.

C. bipustulatus est le prédateur le plus fréquemment utilisé en lutte biologique contre les diaspines, il peut produire plus de 600 œufs par femelle au cours de sa vie (Samways, 1985). De plus, tous les adultes et les larves de *Chilocorus spp.* Possèdent des mandibules fortes qui leur permettent de se nourrir de tous les stades d'*A. aurantii*, y compris les femelles matures (Forster et Luck, 1996).



Figure 20. *Chilocorus bipustulatus* (a) et *Rhizobius lophanthae* (b) (Sorribas, 2011).

• Les diptères

Les seules espèces de diptères connues comme prédatrices d'*A. aurantii* appartiennent à la famille des Cécidomyidés (Pekas, 2010). Les Cecidomyiidae dévorent les œufs puis la femelle elle-même (Ouzzani, 1984). Parmi ces diptères *Lestodiplosis aonidillae*, est considéré comme l'un des principaux prédateurs du Pou rouge de Californie (Sorribas, 2011).

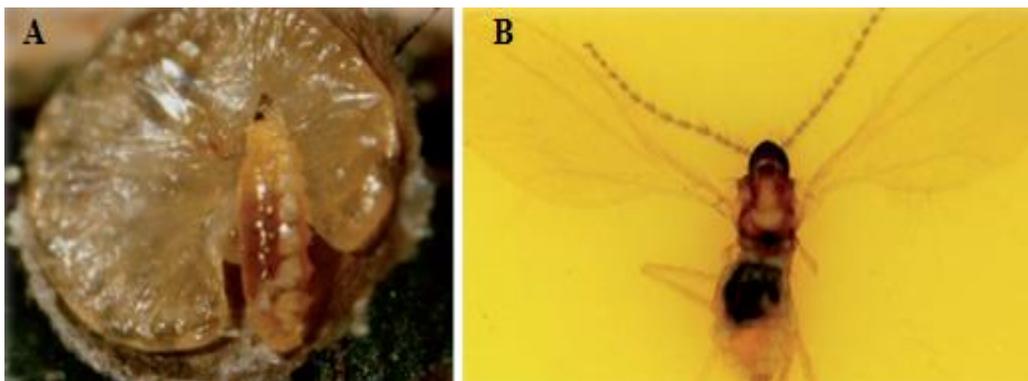


Figure 21. *Lestodiplosis aonidillae* : larve (A) adulte (B) (Sorribas, 2011).

• Les névroptères

Plusieurs études ont noté que les larves de *Chrysoperla* spp, se nourrissaient de jeunes stades de cochenille au Swaziland, en Californie et en Australie (Catling, 1971; Furness *et al.*, 1983; Forster et Luck, 1996). Notamment l'espèce *Chrysoperla carnea*, qui a été décrit comme un important prédateur d'*A. aurantii* dans les régions agrumicoles d'Egypte et de Turquie (Abd-Rabou et El Naggar, 2004; Yarpuzlu *et al.*, 2008).



Figure 22. Œuf de *Chrysoperla* spp (A) et larve de *Chrysoperla carnea* (B) (Sorribas, 2011).

• Les acariens

Un grand nombre d'espèces d'acariens appartenant à différents genres ont été prédateurs occasionnels du pou rouge de Californie, principalement des larves (Juan-Blasco *et al.*, 2008). D'après Smirnoff (1950), l'action des acariens, diminue brutalement les effectifs de la cochenille. Le plus communément cités, appartiennent au genre *Hemisarcoptes*, prédateurs obligatoire de cochenilles diaspines (Biche, 1987 ; Gerson *et al.*, 1990).

Hemisarcoptes malus et *Hemisarcoptes cooremani* sont les espèces les plus importantes sur *A. aurantii* (Uygun, 2003).

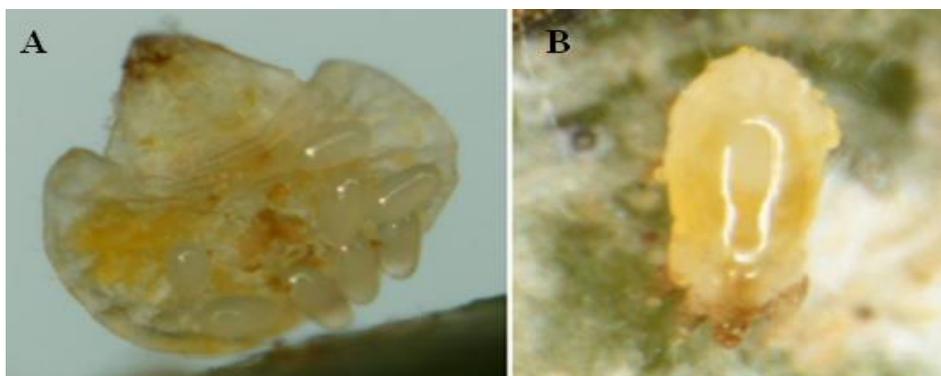


Figure 23. *Hemisarcoptes* sp. Œufs (A) et adulte (B) (Sorribas, 2011).

4.2.2.2 - Les parasitoïdes

Les parasitoïdes sont des insectes dont les femelles pondent dans ou sur d'autres invertébrés et dont les larves se nourrissent et finissent par le tuer (Jervis *et al.*, 2001). A partir de cette définition, on distingue deux types de parasitisme :

Ectoparasitisme : c'est-à-dire que l'œuf du parasitoïde est déposé sur le corps de l'hôte et que la larve reste vivante sous le bouclier et elle suce les fluides du corps de son hôte et elle le tue par la suite .

Endoparasitisme: c'est-à-dire que l'œuf du parasitoïde est déposé à l'intérieur du corps et que la larve se nourrit de l'hémolymphe avant de détruire les organes et de chrysalidiser dans le corps de l'hôte.

Les ectoparasitoïdes et les endoparasitoïdes peuvent être soit solitaires (quand seulement une larve se développe par hôte) ou grégaire (quand plus d'une larve se développe sur une seule hôte). Les ectoparasitoïdes sont de loin les plus importants ennemis naturels des cochenilles diaspines.

Ce n'est pas très rare pour un parasitoïde lui-même de servir comme hôte à la progéniture d'un autre parasitoïde. Ce dernier est appelé parasitoïde secondaire ou hyperparasitoïde; la plupart de ces espèces connues, sont dans l'ordre des insectes Hyménoptères (Godfray, 1994; Thompson, 1999).

• Les ectoparasites

Tous les ectoparasitoïdes connus d'*A. aurantii* appartiennent au grand genre *Aphytis* (Rosen et DeBach, 1990). Les principaux ectoparasites de cette diaspine sont : *Aphytis melinus*, *Aphytis chrysomophali*, *Aphytis lingnanensis*.

Aphytis melinus

A. melinus a été décrit pour la première fois en 1959 par Paul DeBach sur *A. aurantii* en Inde (DeBach, 1959). il a été introduit en Californie pour atteindre le sud-africain en 1962 (Benassy, 1986). La nymphe possède des yeux verts et une pigmentation foncée sur le sternum mi-thoraciques. L'abdomen est de couleur jaunâtre clair ventralement, la tête, les ailes et les appendices sont généralement jaunes, ainsi que la surface dorsale. Ce sont les caractéristiques morphologiques distinctes qui permettent de les distinguer des nymphes des autres espèces connues. C'est une espèce grégaire, biparentale, arrhénotoque (où l'on trouve couramment des mâles) (Rosen et DeBach, 1979). Le degré de grégarité dépend de la taille et de la qualité de l'hôte, Plus l'hôte est grand, plus la probabilité que plusieurs œufs soient déposés (Luck *et al.*, 1982).

Selon El Kaoutari *et al.* (2004), *A. melinus* constitue l'agent de lutte biologique le plus efficace contre les populations d'*A. aurantii*.

Aphytis chrysomphali

A. chrysomphali est une espèce cosmopolite, polyphage, répandue en région méditerranéenne ou elle a été observée sur *Chrysomphalus dictyospermi*. Il a été introduit en Afrique orientale avec l'avènement des agrumes, en Californie et au Maroc comme parasite d'*A. aurantii* (Panis, 1977). *A. chrysomphali* est à la fois solitaire (Rosen & DeBach 1978) et grégaire (Luck *et al.*, 1982), c'est une espèce thelytoque (uniparentales); le mâle est totalement absent ou extrêmement rare (Rosen et DeBach 1978).

L'adulte est de couleur jaune citron le sternum thoracique est sombre, les mandibules inférieure sont brunes, les antennes sont minces et élancés. La nymphe est de couleur entièrement jaune avec une ligne distinctive, longitudinale, noire sur le mésosternum. (Rosen et DeBach, 1979). Il est sensible à la chaleur extrême (tous les œufs meurent à 32° C), mais moins sensible aux froids extrêmes (Abdelrahman 1974).

Selon Balachowsky (1927), cet ectoparasite a un rôle bienfaisant dans la limitation des populations du pou rouge en Algérie dans divers orangeries de la Mitidja.



Figure 24. Adulte d'*A. chrysomphali* (Sorribas, 2011).

Aphytis lingnanensis

A. lingnanensis s'attaque à plusieurs hôtes, dont on peut citer *Lepidosaphes beckii*, *Chrysomphalus aonidum*, *Chrysomphalus dictyospermi*, *Aonidia lauri*, *Lepidosaphes gloverii*, *Unaspis citri*, etc (Malipatil *et al.*, 2000). C'est une espèce orientale grégaire et biparentale (Luck *et al.*, 1982).

L'adulte est jaune, avec des ailes hyalines et un long pronotum. La tête, et les appendices sont jaunes à jaune-brun, et la surface dorsale est jaune (Rosen et DeBach 1978). La pigmentation caractéristique de la nymphe, est sombre et bien définie sur le sternum mi-thoracique et sur les mi-plats abdominaux ventraux et permet de le distinguer des autres espèces de *Aphytis* sur la même hôte (Rosen et DeBach 1978). Les femelles commencent à produire des œufs dans les 2 à 6,5 h après l'émergence ainsi la ponte peut se faire quotidiennement jusqu'à la mort (Fernando et Walter 1999).

• Les endoparasites

Les principaux endoparasites d'*A. aurantii* sont : *Comperiella bifasciata* , *Encarcia perniciosi* et *Encarsia citrina*

Comperiella bifasciata

C.bifasciata est un endoparasitoïde solitaire des cochenilles diaspines. Il a été décrit par Howard (1906) à partir d'un élevage du pou rouge. Chaque femelle pond environ 50 œufs et vit pendant trois à quatre semaines selon la disponibilité de la nourriture (Smith *et al.*, 1997). Mais bien qu'elle ponde en grappes, une seule progéniture émerge par hôte (Ode et Rosenheim 1998).

Les adultes mesurent environ 1,5 mm de long, sont de couleur noir brillants avec des reflets verdâtres sur le mésothorax et bleuâtre métallique sur le scutellum. Les deux sexes ont deux bandes foncées caractéristiques sur les ailes antérieures. La tête a une bande occipitale longitudinale centrale qui s'étend jusqu'au pronotum, avec une bande longitudinale jaunâtre de chaque côté. Les antennes sont uniformément marron foncé, presque noir, un peu plus clair à l'extrémité du club (Howard 1906, Compere 1926). Les stades hôtes les plus préférés sont jeune femelle, suivis de femelle adulte, les stades les moins préférés sont les mâles (Forster *et al.*, 1995).

Pekas (2010) indique que *Comperiella bifasciata* est répandue dans plusieurs régions agrumicoles mais il est considéré comme un agent de contrôle biologique d'*A. aurantii* moins efficaces par rapport à *Aphytis*.

Encarsia perniciosi

Le rôle des endoparasitoïdes peut être considéré comme complémentaire de *Aphytis* car ils peuvent attaquer d'autres stades de cochenilles que les ectoparasitoïdes ne sont pas en mesure de parasiter (Rosen, 1994).

Comme tous les Aphelinidés, c'est une micro hyménoptère, décrit pour la première fois comme *Prospaltella perniciosi* par Tower en 1913 où il a été observé sur *A. aurantii*, *Lepidosaphes pallidula*, *Diaspidiotus periciosus*...etc.

La femelle adulte est de couleur jaune et marron (Yu *et al.*, 1990). Elle mesure environ 0,61 mm de long et le male 0,56 mm (Tower, 1913), leur œufs sont ovales et mesurent 0,04 mm de large et 0,085 mm de long (Tower, 1914). Chaque femelle peut pondre 120 à 130 œufs (Rosen et DeBach, 1978).

Flanders (1953) a observé que le cycle de vie de *E. perniciosi* prend 18 à 21 jours à 27°C quand leur œufs sont pondus dans les premiers stades de l'hôte et 26 à 28 jours quand leur œufs sont pondus dans les derniers stades de l'hôte. Si plusieurs œufs sont déposés sur une seule diaspine, un seul parasitoïde émerge (Rosen et DeBach 1978). Cet endoparasitoïde est toujours dépassé par *Aphytis* lorsque les deux espèces parasitent le même hôte cependant il préfère les cochenilles fixées sur rameaux (Yu *et al.*, 1990; Borer *et al.*, 2004).

Encarsia citrina

C'est un endoparasite cosmopolite, décrit par Craw en 1891 comme *Coccophagus citrinus* (Craw, 1891) Il est uniparental où les mâles restent sont inconnus (Schmidt et Polaszek 2007).

En Algérie, Balachowsky (1928) note, que cet Aphélinide est un parasite d'*Octaspidiotus nerii* . Cependant Ferrière (1965) signale que cet hyménoptère possède plusieurs hôtes notamment les genres : *Diaspidiotus*, *Chrysomphalus*, *Lepidosaphes*, *Parlaoria*, etc... .

Cet endoparasite est capable de développer trois générations au cours d'une seule génération de l'hôte (Lasnami, 1992). Selon Kihel 1992, *E. citrina* détruit parfois la population du pou noir de l'oranger et sur *A. aurantii* parfois plus de 35 %.

Soares *et al.* (1997) ont conclu, sur la base d'une étude étalée sur deux ans dans deux vergers d'agrumes au Portugal, que *E. citrina* a considérablement contribué à la lutte biologique contre *Unaspis citri* et *Lepidosaphes beckii*, abaissant la proportion de larves et de mâles dans les populations de les deux espèces. Le parasitisme et l'abondance d'*E. citrina* dépendaient de la présence de stades sensibles au parasitisme et aux conditions abiotiques (principalement la température).



Figure 25. Adulte d'*Encarsia* sp.

4.2.2- Les ennemis naturels des parasitoïdes d'*A. aurantii*.

Plusieurs espèces sur les fourmis ont montré que ces organismes sont susceptibles de perturber ou de provoquer la mort des parasitoïdes du Pou rouge de Californie quand ils patrouillent les arbres des agrumes. L'effet des fourmis, principalement les Fourmis argentines (*Linepithema humile*), peut être si décisif que dans les zones d'agrumes comme le sud de la Californie, où la lutte biologique est excellente, *A. aurantii* devient un nuisible lorsque les fourmis perturbent le contrôle biologique des parasitoïdes (DeBach et Rosen, 1991).

Les araignées des familles Salticidae et Thomisidae capturaient même des *Aphytis* adulte (Heimpel *et al.*, 1997). De même, plusieurs espèces d'acariens, comme *Pyemotes herfsi* se nourrissaient de différentes espèces d'*Aphytis* (Traboulsi, 1968).

5 - Moyens de lutte contre *A. aurantii*

Les infestations importantes du Pou rouge de Californie sont très toxiques pour les feuilles, les rameaux, les branches et les fruits des agrumes (Bedford, 1998). Cependant, à cause de leur protection par un bouclier cireux, les cochenilles diaspines en général, sont difficiles à contrôler et leur maîtrise se fait par une combinaison de plusieurs techniques. Néanmoins, les applications des différentes méthodes de lutte doivent se baser sur un ensemble de connaissances bioécologiques du ravageur contre lequel elles sont dirigées (Delucchi, 1965).

5.1 - Méthodes préventives et culturales

Des inspections directes peuvent être effectuées sur les feuilles, les branches et les fruits des arbres en recherchant des cochenilles rougeâtres de forme circulaires, aplaties et d'environ 1,5 à 2 mm de diamètre (les femelles adultes). On peut utiliser des phéromones sexuelles synthétiques disponibles qui attirent les mâles vers des pièges spécifiques. La présence du Pou rouge de Californie dans un verger peut être déterminée en suspendant des pièges à phéromones dans le verger. Néanmoins, les phéromones sexuelles de cette cochenille peuvent agir comme des kairomones en attirant des parasites et cet effet doit être pris en compte (Gieselmann et Rice, 1990).

De plus, ces méthodes culturales adaptées peuvent réduire et empêcher la prolifération des espèces nuisibles sur les cultures (Dajoz, 2010). Benziane *et al.* (2003) soulignent que les principaux techniques utilisés sont une fertilisation équilibrée et une taille éclaircissante régulière pour un bon ensoleillement et une meilleure aération permet d'éviter l'excès d'humidité qui favorise la pullulation massive des cochenilles. En outre, il est conseillé au moment de la cueillette de ne laisser subsister sur les arbres aucun fruit contaminé, leur persistance constituant toujours la source la plus sûre de ré-infestation.

5.2 - Lutte chimique

Le contrôle chimique du Pou rouge de Californie se basait essentiellement sur les insecticides organophosphorés dans plusieurs régions agrumicoles du monde (Martínez *et al.*, 2005). Parmi eux, le Chlorpyrifos qui est largement utilisé en raison de sa grande

efficacité (Bailey et Morse, 1991). Néanmoins, des répercussions préjudiciables sur l'environnement sont observées suite à leur application.

Aujourd'hui, la lutte contre *A. aurantii* dans le bassin méditerranéen s'effectue à l'aide de deux molécules. La première homologuée en agriculture biologique est une huile minérale (le Chlorpyrifos) et la deuxième est une molécule de synthèse autorisée en agriculture biologique qui est le Spirotétramate (Dubreuil et Leboulanger, 2015). En Algérie, l'application du Spirotetramate aux doses préconisées sur les populations de la cochenille a provoqué une diminution considérable des individus vivants après seulement de dix jours de son application (Biche *et al.*, 2011).

5.3 - Lutte biologique

Le contrôle biologique des ravageurs par l'introduction de parasitoïdes a été pratiqué pendant de nombreuses années dans plusieurs cultures. Le contrôle biologique était conçu et développés par des entomologistes contre les insectes nuisibles. Tout organisme qui se nourrit d'un autre organisme est, par définition, un ennemi naturel. Cette notion comprend les parasitoïdes, les prédateurs et les agents pathogènes (DeBach et Rosen, 1991). D'après les travaux et les études réalisés, les chercheurs semblent préférer les parasitoïdes aux prédateurs, car ils sont plus spécifiques à l'hôte, plus étroitement adaptés et synchronisés entre eux, leurs besoins alimentaires moindres leur permettent de maintenir un équilibre avec leur hôte (Doutt et DeBach, 1964).

Kennett *et al.* (1999) déclarent que la lutte biologique contre *A. aurantii* était possible dans certaines circonstances par combinaison de différents parasitoïdes. Les parasitoïdes primaires les plus importants du Pou rouge de Californie sont *A. chrysomphali*, *A. lingnanensis*, *A. melinus*, *E. citrina*, *E. perniciosi* et *C. bifasciata* (Smith *et al.*, 1997).

5.4 – Lutte intégrée

Une nouvelle approche alternative à la lutte chimique s'appuie sur une stratégie de gestion intégrée des ravageurs. Cette stratégie tente de minimiser l'utilisation des pesticides et se concentrer sur la préservation et l'utilisation des produits naturels existants, tels que les insectes et les acariens qui permettront de contrôler biologiquement les ravageurs des

agrumes. En raison de la sensibilité relativement élevée des diaspines à ses ennemis naturels, elles peuvent être efficacement contrôlées avec un programme de lutte intégrée (Flint, 1991).

Cette stratégie de lutte peut inclure la combinaison entre parasitoïdes élevés en insectarium et en cas d'une efficacité réduite des ennemis naturels, des pulvérisations d'huile de pétrole à gamme étroite efficaces et sélectives sont recommandées pour réduire les populations de cochenille préférentiellement pendant l'été. Les lâchés de parasitoïdes devraient être concentrés principalement au printemps et début de l'été pour augmenter le faible nombre d'ennemis naturels qui attaquent les populations d'*A. aurantii* en cette période (Sorribas *et al.*, 2008).

Des pièges à phéromone sont indispensables pour surveiller les populations de la cochenille. Ces pièges peuvent donner une idée du moment où les rejets de parasitoïdes ou les traitements sélectifs à l'huile peuvent être plus efficaces. Sinon, ils peuvent donner une idée de la commodité ou non des traitements, car suggéré par Hernández *et al.* (2002) les vergers dans lesquels des captures quotidiennes sur des pièges collants sont inférieurs à 10 mâles d'*A. aurantii* ne nécessitent pas de traitement car le seuil de tolérance économique n'est pas dépassé.

Chapitre III :
Les parasitoïdes *Comperiella bifasciata* et
Aphytis melinus

1- L'endoparasite *Comperiella bifasciata*

1.1 - Généralités

Les Encyrtidae appartenant à la superfamille des Chalcidoidea, constituent un important groupe de parasites hyménoptères dans le contrôle des populations de ravageurs. Ils sont largement utilisés dans les programmes de lutte biologique (Anis, 2011). La famille des Encyrtidae se subdivise en deux sous familles : la sous-famille des Tetracnemyinae comprenant 100 genres et 800 espèces et la sous famille des Encyrtinae comprenant 350 genres et 2800 espèces, dont appartient *C. bifasciata*. Actuellement, 10 espèces sont décrites dans ce genre (Barion *et al.*, 2016), et sont considérées comme des parasitoïdes économiquement importants contre les cochenilles diaspines (Prinsloo, 1996). Parmi ces espèces, *C. bifasciata*, est un endoparasite capable d'exercer une action importante sur les populations d'*A. aurantii* selon les références d'autres zones d'agrumes où il a été acclimaté.

C. bifasciata a été retrouvé sur six espèces d'*Aonidiella*, sur cinq espèces d'*Aspidiotus* et sur quatre espèces de *Chrysomphalus* (Thi Hang, 2012). Toutefois, deux souches ou bien biotypes de *C. bifasciata* sont connues, la souche d'*A. aurantii* et la souche de *A. citrina*. La souche d'*A. aurantii* peut parasiter jusqu'à 80% des femelles adultes avec succès et sans encapsulation significative (Smith *et al.*, 1997). En revanche, si le *C. bifasciata* de la souche *A. citrina* pond dans *A. aurantii* de nombreux œufs deviennent encapsulés et les parasitoïdes ne se développent pas (Blumberg, 1997).

1.2 - Origine et distribution

C. bifasciata est un hyménoptère indigène dans le bassin méditerranéen. Il a été décrit pour la première fois par Howard en 1906 après avoir été collecté par George Compere en Chine. *C. bifasciata* possède une large distribution depuis l'extrême Orient jusqu'en Espagne où il est signalé par Mercet en 1926 (Almarinez *et al.*, 2014). Depuis, il est retrouvé en Algérie (Laporte, 1949), de même dans plusieurs régions agrumicoles du monde où ce parasitoïde a révélé des résultats satisfaisantes en lutte biologique contre *A. aurantii* par exemple : en Californie, en France, en Italie, en Turquie, en Afrique du Sud, au Maroc et en Syrie (DeBach, 1948; Benassy et Bianchi, 1974; Bedford et Grobler, 1981; Viggiani, 1988; Sengonca *et al.*, 1998; Guirrou *et al.*, 2003; Siscaro *et al.*, 2008).

1.3 - Systématique

Selon Noyes et Hayet (1984), la classification systématique de *C. bifasciata* est la suivante :

| | |
|-----------------|--|
| Règne : | Animalia |
| Embranchement : | Arthropoda |
| Classe : | Insecta |
| Ordre : | Hymenoptera |
| Sous ordre : | Apocrita |
| Super famille : | Chalcidoïdea |
| Famille : | Encyrtidae |
| Sous famille : | Encyrtinae |
| Tribu : | Habrolepidini |
| Sous tribu : | Coperiellina |
| Le Genre : | <i>Comperiella</i> |
| Espèce : | <i>Comperiella bifasciata</i> (Howard, 1906) |

1.4 - Caractères morphologiques

C. bifasciata est un micro hyménoptère mesurant environ 1,5 mm, de couleur noire brillante avec des reflets verdâtres (Forster *et al.*, 1995). Les deux sexes ont deux bandes foncées caractéristiques sur ailes antérieures. La tête a une bande occipitale longitudinale centrale qui s'étend jusqu'au pronotum, avec une bande longitudinale jaunâtre de chaque côté. (Howard 1906, Compere 1926). Le dimorphisme sexuel est nettement visible au sein des populations de *C. bifasciata* (Fig. 26) avec une taille majoritairement supérieure pour les femelles par rapport aux mâles (Quilici *et al.*, 2003).

La femelle : elle possède une tête triangulaire latéralement avec deux bandes blanches avec le front aplati horizontalement. Les yeux sont larges et proéminents, les mandibules caractérisées par deux denticules, les palpes maxillaires comportent trois segments et les antennes sont plutôt courts et larges avec un scape bien développé à sa partie distale, insérées près de la bouche. De plus, les ailes antérieures de la femelle sont caractérisés par une bande terminale bien prononcée ; la marginale est courte et rigide, la radiale est plus longue que la marginale et tarière légèrement saillante (Abbassi, 1973).

Le mâle : il possède des antennes avec cinq segments ; le troisième et le cinquième sont plus long que le deuxième segment. Ce dernier est massue ovale, pointu à sa partie terminale, plus court que les deux derniers segments du funicule. Tous les segments portent des soies longues et souples. Les ailes sont hyalines (Abbassi, 1973).

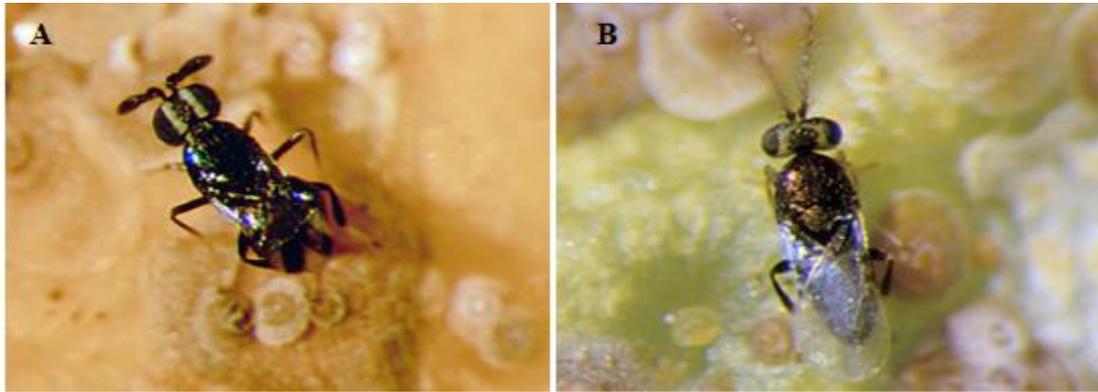


Figure 26. Adulte de *C. bifasciata* A (femelle) B (mâle) (Pina, 2007).

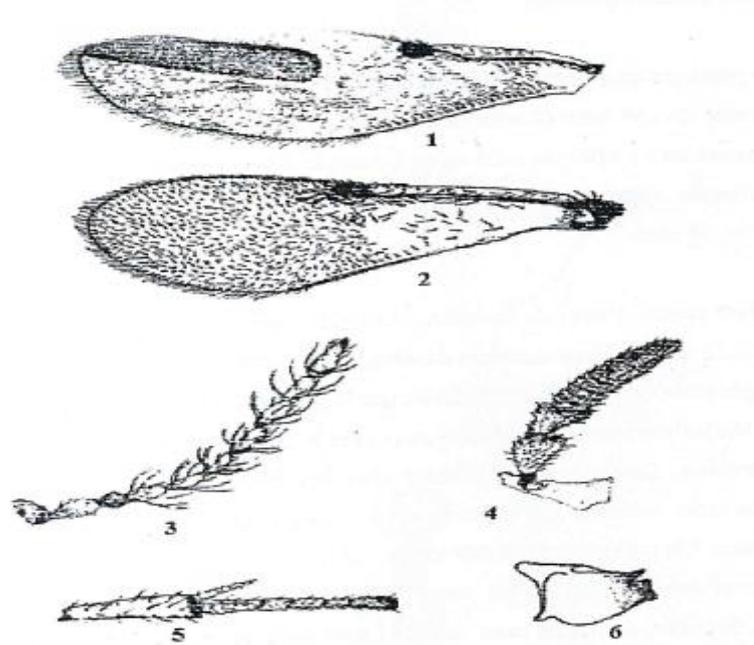


Figure 27. Les ailes antérieures, les antennes, le tarse et mandibule du mâle et de la femelle de *C. bifasciata* (Abassi, 1973).

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 : aile antérieure de la femelle | 4 : antenne de la femelle |
| 2 : aile antérieure du mâle | 5 : tarse de la patte médiane |
| 3 : antenne du male | 6 : mandibule |

1.5 - Biologie de *C. bifasciata*

C. bifasciata est une espèce arrhénotoque (se reproduit sexuellement : les œufs non fécondés se développent en mâles et les œufs fécondés en femelles). Contrairement aux *Aphytis*, l'adulte de *Comperiella* ne se nourrit pas de son hôte pour son ovogenèse ni pour la ponte des œufs. C'est possible parce qu'au cours de leurs stades larvaires, les endoparasites stockent dans leur corps une quantité suffisante de protéines (Flanders, 1971). De plus, les espèces du genre *Comperiella* sont des koinobiontes, c'est-à-dire qu'elles ne paralysent pas leurs hôtes lors de la ponte et que ces dernières continuent à se développer (Forster *et al.*, 1995). La femelle adulte a une fécondité moyenne de 30 œufs, dans une durée moyenne de 3 semaines à 25-26°C et 70-77 % d'humidité relative (Abbassi, 1973). Bien que ce parasitoïde soit solitaire, les femelles pondent souvent plus d'un œuf par hôte (Rosenheim et Hongkham 1996, mais seulement une larve survivra et se développera, les autres vont mourir et vont être dévorées par cette dernière (Abbassi, 1973).

Cet hyménoptère peut parasiter presque tous les stades d'*A. aurantii*. Mais toutefois, les stades hôtes les plus préférés sont les jeunes femelles, suivis des femelles adultes alors que les mâles sont moins préférés (Forster *et al.*, 1995). *Comperiella* pond ses œufs dans le corps d'*A. aurantii* en synchronisation avec le développement de son hôte peu importe le stade hôte parasité. Les larves commencent leur développement lorsque l'hôte atteint le stade jeune femelle. Par conséquent, le temps de développement de l'œuf à l'adulte varie en fonction du stade de développement de l'hôte; il dure de trois à six semaines à 26°C (Smith *et al.*, 1997).

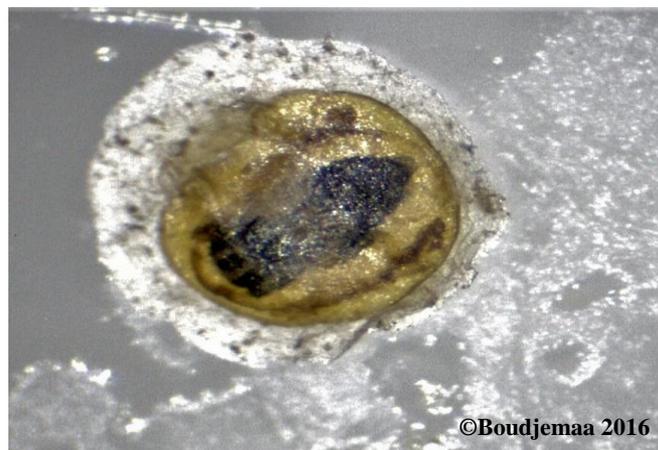


Figure 28. *C. bifasciata* à l'intérieur de son hôte.

1.5.1 - Cycle biologique de *C. bifasciata*

L'accouplement a lieu juste après l'émergence des adultes et peut se répéter plusieurs fois durant la vie de l'insecte (Abbassi, 1973). Deux à trois jours après sa fécondation, la femelle commence à chercher un hôte pour y déposer ses œufs (Flanders, 1944). La ponte de ce parasitoïde est semblable à celle de la majorité des hyménoptères et se déroule en trois étapes caractéristiques : recherche, découverte de l'hôte et dépôt de l'œuf (Smith *et al.*, 1997).

Après la découverte de l'hôte, la femelle de *C. bifasciata* examine soigneusement la partie centrale du bouclier et la bordure de celui-ci en explorant par des vibrations d'antennes. Puis, se mettant en position horizontale au-dessus de l'hôte, elle en explore deux bordures extrêmes en faisant des rotations de 180° sur elle-même. Ensuite, tournant le dos au bouclier et les pattes postérieures prenant appui sur celui-ci, enfin, elle introduit son ovipositeur et pond à l'une ou l'autre extrémité visitée en dernier lieu (Abbassi, 1973).

Après le dépôt des œufs, la femelle palpe l'hôte avec ses antennes avant de le quitter pour en chercher un autre ; il arrive cependant que le parasite abandonne son hôte après la phase d'exploration. La phase de prospection avec les antennes dure en moyenne 15 secondes, la phase de prospection avec la tarière 25 secondes, l'introduction de l'ovipositeur et le dépôt de l'œuf peuvent aller jusqu'à 50 secondes (Smith *et al.*, 1997).

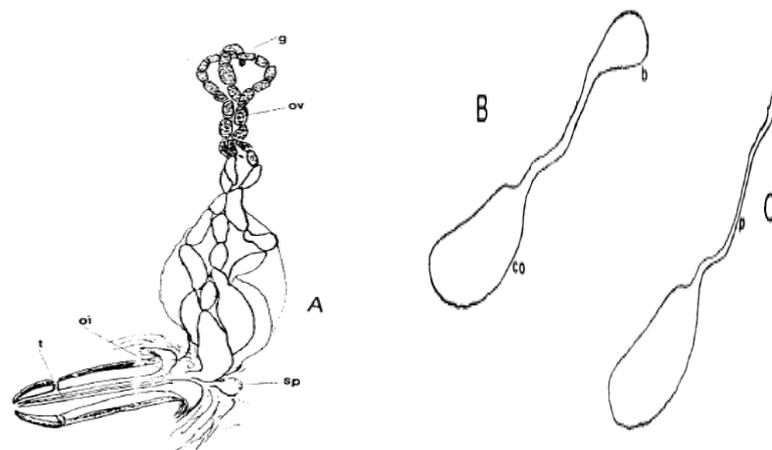


Figure 29. Appareil génital de *C. bifasciata* (Abassi, 1973).

A. ovaire droit et oviscapte ; **oi** : oviducte impair; **sp** : spermathèque ; **ov** : ovocyte; **g** : germarium; **t** : tarière.
B. œuf ovarien; **b** : bulbe ; **co** : corps de l'œuf.
C. œuf pondu; **p** : pédoncule.

L'œuf : l'œuf de *C. bifasciata* est de couleur blanche, de type hyménoptérimorfe, d'environ 0,24 mm de longueur et 0,12 mm de largeur. L'œuf ovarien comporte deux corps reliés par un pédoncule (Fig.29) ; au moment de la ponte, le contenu du "bulbe "se verse dans l'œuf proprement dit (Clausen, 1962) ; ce dernier reste rattaché par sa partie distale au tégument de son hôte ou flotte libre dans la cavité générale de celui-ci. Le pédoncule de l'œuf n'aurait pas de fonction respiratoire à l'inverse de ce qui est admis pour bon nombre d'Encyrtidés où il sert de tube respiratoire (Cilliers, 1971).

La larve : Elle se développe dans le corps de l'hôte est de type hyménoptérimorfe (par opposition au type encyrtiforme). Elle se caractérise par la présence de 12 segments, et par la succession de 5 stades d'évolution qui ne diffèrent pas vraiment entre eux dans les caractères morphologiques. Les stigmates absents chez les 2 premiers stades larvaires apparaissent dans les 3 suivants qui présentent un élargissement du corps au niveau de la partie antérieure de l'abdomen. Le 5^{ème} stade larvaire évolue en une forme intermédiaire entre la larve et la nymphe; il s'agit de la pronymphe. Celle-ci est hyaline avec des yeux rouges.

La nymphe : Peu de jours après la formation de la pronymphe (généralement 3 jours) cette dernière commence à se pigmenter débutant par les mandibules et le thorax, ensuite les antennes et les appendices et enfin le reste du corps.

L'adulte : il émerge en ménageant un trou de sortie circulaire dans le tégument de l'hôte. Les deux sexes n'émergent pas au même temps, celle des mâles se déroule 12 à 24 heures avant celle des femelles. Après son émergence l'adulte du parasite s'alimente à partir du liquide du corps de cochenilles (Flanders, 1944). Toutefois, les adultes peuvent vivre seulement 3 à 4 jours sans se nourrir.

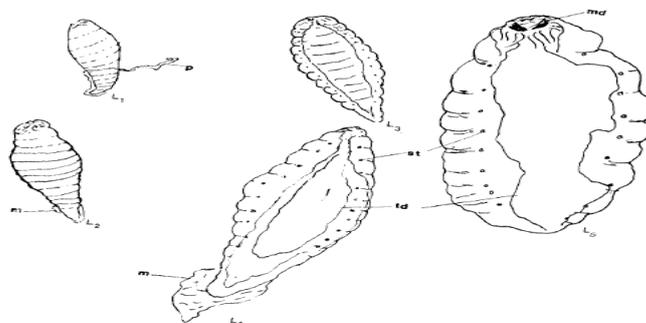


Figure 30. Stades larvaires de *C. bifasciata* (Abassi, 1973).

st : stigmates ; md : mandibule ; td : tube digestif ; p : pédoncule de l'œuf ; m : restes de la mue précédente.

1.6 - Ecologie de *C. bifasciata*

La biologie, l'activité et la distribution des parasitoïdes sont influencées par divers facteurs ; principalement : la température, l'humidité et l'insecte hôte (Peacock *et al.*, 2006).

D'après Flanders (1944), la durée du cycle de vie du *C. bifasciata* dépend du stade de la cochenille hôte ainsi que des conditions climatiques. Flanders (1971) note que le développement de *C. bifasciata* est possible sur tous les stades du Pou rouge de Californie sauf pour les premiers stades, les pronymphes et les nymphes mâles. Abbassi (1973) ajoute que l'âge de l'hôte affecte le développement du parasite et que ce dernier est plus rapide lorsque l'hôte est au début du troisième stade et plus lent lorsque l'hôte est au début du premier stade. Flanders (1944) et Abbassi (1973) signalent que le développement dure au minimum 3 semaines quand la température est aux environs de 25°C et à une humidité variant entre 70 à 77% mais ça pourrait aller jusqu'à 40 jours.

D'autre part, *C. bifasciata* est plus résistant aux températures extrêmes que les espèces du genre *Aphytis*. En Californie, il coexiste avec *A. melinus* dans toute la zone de production d'agrumes (Forster *et al.*, 1995). Néanmoins, des températures très élevées peuvent réduire la survie, ralentir le développement et peuvent même supprimer la reproduction des parasitoïdes (Hance *et al.*, 2007).

Les hôtes avec des larves bien développées de *C. bifasciata* sont inacceptables pour les *Aphytis* alors que les œufs et les premiers stades immatures sont détruits de suite par ce dernier (Richardson, 1978). En outre, les œufs et les larves de *C. bifasciata* peuvent être encapsulés par *A. aurantii* (Blumberg et Luck, 1990). De même, la plante hôte sur laquelle se trouve la cochenille, peut influencer sur la longévité du *C. bifasciata*, sa taille, son sexe ratio ainsi que sur sa mortalité (Smith, 1957).

Enfin, une perturbation de l'activité de ponte par les fourmis a été constaté pour *C. bifasciata* mais s'est avérée plus préjudiciable pour *A. melinus* (Martinez-Ferrer *et al.*, 2003).

1.7 - Importance économique

Dans une étude sur la situation sanitaire des agrumes dans le bassin méditerranéen, *A. aurantii* a été cité comme le ravageur le plus redoutable dans la majorité des pays (Tena et Garcia-Marí, 2010). Causant des dégâts considérables, qui peuvent aller de la présence de cochenilles sur les fruits au dépérissement complet des arbres contaminés. En Algérie où le nombre de générations annuelles peut atteindre 3 ou même 4 parfois, le Pou rouge de Californie constitue le problème économique de toutes les plantations (Biche, 2012).

Le contrôle chimique de ce ravageur est difficile et, est fréquemment suivi par des infestations récurrentes et des pertes économiques importantes. La raison a été liée à l'apparition de résistance à plusieurs produits utilisés et les frais des produits phytosanitaires employés, alors que la lutte biologique par le biais d'ennemis naturels, s'avère une excellente alternative pour lutter contre cet homoptère.

C. bifasciata est le plus important endoparasitoïde et le plus efficace contre *A. aurantii* dans diverses régions du monde, notamment en Californie (Forster *et al.*, 1995), en Australie (Smith *et al.*, 1997), en Afrique du Sud (Bedford, 1998) Italie (Sicile). (Siscaro *et al.*, 1999) et en Turquie (Segonca *et al.*, 1998). En Australie, Smith *et al.* (1997) ont rapporté que *C. bifasciata* parasite jusqu'à 80% des femelles adultes d'*A. Aurantii*. Pour cela, il a été introduit dans plusieurs pays afin de compléter le contrôle biologique d'*A. aurantii*. (Pekas, 2010). En effet, le parasitisme de *C. bifasciata* réduit les populations d'*A. aurantii* en hiver et au milieu de l'été, période au cours de laquelle *Aphytis* est moins efficace (Forster *et al.*, 1995). De plus, *C. bifasciata* s'attaque à tous les stades d'*A. aurantii* contrairement à *Aphytis* qui n'attaque qu'un stade cible, les jeunes et les femelle adultes. Luck *et al.* (1992) signalent qu'en Californie *C. bifasciata* a pu réduire plus du tiers de la densité des cochenilles que *Aphytis* a raté.

Aujourd'hui *C. bifasciata* est bien connu comme un important ennemi naturel du Pou rouge de Californie dans le monde entier, et des nombreuses tentatives d'utilisation de cette espèce dans le contrôle biologique d'*A. aurantii* et autres diaspididés ont été réalisées.

2 - L'ectoparasite *Aphytis melinus*

La famille des Aphelinidae renferme 32 genres (Rehmat, 2011) où tous les ectoparasites connus d'*A. aurantii* appartiennent au genre *Aphytis* Howard (Hymenoptera: Aphelinidae) (Rosen et DeBach, 1979). Ces derniers sont connus pour leur efficacité dans le biocontrol des cochenilles diaspines en général et d'*A. aurantii* en particulier (Llwellyn, 2002). En effet, DeBach (1962) est allé jusqu'à affirmer que dans toutes les régions qu'il avait visitées, il n'avait jamais retrouvé le Pou rouge de Californie indemne d'attaque d'*Aphytis* sp.

Les *Aphytis* sont de très petits insectes jaunes ou grisâtres (habituellement d'une longueur inférieure à 1 mm) qui se développent exclusivement en tant qu'ectoparasites des cochenilles diaspines. Cependant, l'identification et la séparation des espèces d'*Aphytis* sont extrêmement difficiles. Cela est dû certainement à leur taille réduite, à l'absence de caractères taxonomiques fiables et à la présence fréquente d'espèces apparentées (Rosen et DeBach, 1979).

2.1 – Origine et distribution

La première description d'une espèce *Aphytis* remonte à 1870 avec *A. mytilaspidis*, parasite de *Lepidosaphes ulmi*. Le genre *Aphytis* fut créé par Howard (1900), mais il resta longtemps confondu avec le genre *Aphelinus*. C'est Compère (1955) qui opéra la distinction entre les deux genres. Le même auteur entreprit l'inventaire des espèces d'*Aphytis* existant dans le monde et en dénombra vingt-six. En 1979, Rosen et DeBach notent l'existence de 90 espèces dans le monde. Actuellement, il existe 136 espèces du genre *Aphytis* connues, la majorité sont des parasitoïdes des cochenilles diaspine (Noyes, 2013). En Algérie, Belguendouz *et al.* (2017) ont recensé l'existence de 15 différentes espèces d'*Aphytis*.

A. melinus est une espèce polyphage, originaire de l'Asie. Elle est répandue dans tout le bassin méditerranéen et a été décrite la première fois en 1959 par DeBach à New Delhi (Benassy, 1986). Cet hyménoptère est considéré comme le principal parasitoïde dans la lutte biologique contre *A. aurantii* dans le monde, car il a été introduit presque dans toutes les régions d'agrumes où cette cochenille est présente (Sorribas, 2011). Biche (2012) notent qu'en Algérie, *A. melinus* représente un agent de contrôle biologique très efficace contre les populations de *A. aurantii*.

2.2 – Systématique

Selon Rosen et DeBach (1979), la classification systématique d'*A. melinus* est la suivante :

| | |
|-----------------|--|
| Règne : | Animalia |
| Embranchement : | Arthropoda |
| Classe : | Insecta |
| Ordre : | Hymenoptera |
| Sous ordre : | Apocrita |
| Super famille : | Chalcidoïdea |
| Famille : | Aphelinidae |
| Sous famille : | Aphelininae |
| Le Genre : | <i>Aphytis</i> |
| Espèce : | <i>Aphytis melinus</i> (DeBach, 1959). |

2.3 – Caractères morphologiques

Les espèces du genre *Aphytis* se caractérisent par un corps d'environ un millimètre de longueur de couleur jaunâtre. En vue dorsale, la tête est aussi large que le thorax, les ocelles disposés en triangle équilatéral. Les parties buccales sont bien développées, elles se composent habituellement d'une paire de mandibules et d'un complexe labio-maxillaire, les antennes ont généralement six segments.

Chez la plupart des espèces d'*Aphytis*, le thorax est plus long que large, le pronotum est composé de deux plaques triangulaires qui sont étroitement reliées au milieu. L'abdomen est plus long que le thorax, il présente une bande sombre et il porte à son extrémité des cerques avec trois soies. Les ailes antérieures d'*Aphytis* sont bien développées, arrondies en apex, alors que les ailes postérieures sont plus courtes et plus étroites que les ailes antérieures et sont pointées au sommet (Rosen et DeBach, 1979).

Le dimorphisme sexuel est faiblement exprimé chez les *Aphytis*. Il existe une grande similitude entre les individus mâles et femelles en aspect générale. Toutefois, les différences sexuelles se trouvent au niveau des organes génitaux et des sternites abdominaux, tout comme ils peuvent s'exprimer dans les caractères des antennes et la forme des ailes. Les mâles sont généralement plus petits que leurs femelles, et ils ont moins de soies sur le mésoscutum et sur le long de la nervure marginale. Les mâles présentent aussi un nombre réduit de segments funiculaires dans les antennes (Rosen, 1994). Tandis que Zivko, (1972) note que la distinction du sexe chez *A. melinus* se fait exclusivement au niveau de la nymphe aux yeux verts ; à ce

stade, l'oviscapte de la femelle peut s'observer facilement à travers les téguments nymphaux, donc la présence ou l'absence de l'oviscapte est le seul caractère retenu pour la distinction des sexes.

Les caractéristiques qui permettent de différencier ce genre des autres genres d'Aphelinidae (susceptibles d'être confondus avec *Aphytis*) sont : la nervation des ailes antérieures considérablement plus longue que la moitié de la longueur de l'aile, caractérisée par une nervure légèrement plus longue que la nervure sous-marginale; ainsi que les ailes antérieures avec une zone de delta portant plusieurs rangées de soies délimité à sa base par le spéculum (Pina, 2007).

2.4 – Biologie d'*A. melinus*

La majorité des espèces du genre *Aphytis* ainsi que *A. melinus* sont bisexuées (biparentales). La parthénogénèse est un mode de reproduction possible mais peu fréquent (Rosen et DeBach, 1979). Ce sont des espèces grégaires, plusieurs individus peuvent parasiter une seule cochenille (Zivko, 1972). Cependant, le degré de grégarité de ces micro hyménoptères dépend de la taille de l'hôte (plus l'hôte est grande, plus la probabilité que plusieurs œufs soient déposés est grande) (Abdelrahman, 1974).

Les femelles d'*Aphytis* ne pondent que chez les hôtes dont le corps n'est pas adhérent au bouclier. Les stades en période de mue ne sont pas acceptés en tant qu'hôtes parce que leur corps s'attache à la couverture cireuse et aussi parce que leur tégument devient fortement sclérotisé et est très difficile à percer par l'ovipositeur. De même, les femelles adultes d'*A. aurantii* ne sont pas acceptées comme hôte par *Aphytis* (Forster *et al.*, 1995). La femelle *Aphytis* peut pondre jusqu'à 100 œufs (Llwellyn, 2002).

Concernant les femelles d'*A. melinus*, elles ne parasitent jamais le Pou rouge de Californie du premier stade et rarement déposent des œufs sur des cochenilles de taille inférieures à 0,15 mm², elles préfèrent pondre sur le stade jeune femelle, surtout du fait que les hôtes à ce stade ont une plus grande source de nourriture (Forster *et al.*, 1995).

Ce sont des espèces idiobiontes, avant la ponte, la femelle paralyse l'hôte en insérant du venin dans son ovipositeur et ainsi provoque l'arrêt de son développement (Van Lenteren, 1994). Les larves d'*Aphytis* se nourrissent en aspirant les fluides corporels de la cochenille (Rosen et DeBach, 1979) alors que les adultes *Aphytis* tirent leur nutrition glucidique de la nature principalement à partir de nectar et de miellat. Toutefois, les femelles adultes *Aphytis* peuvent s'alimenter, en prélevant du liquide à partir des orifices effectués dans le corps de l'hôte à l'aide de leur oviscapte (Heimpel *et al.*, 1997). Leur développement dépend des conditions climatiques, principalement de la température et de l'humidité (Yu et Luck, 1988).

2.4.1 – Cycle biologique

Les œufs : la femelle adulte insère son ovipositeur à travers le bouclier de la diaspine et dépose un ou plusieurs œufs sur le corps de l'insecte (Fig. 31). Les œufs sont en forme de larme translucide, blanchâtre, pétiolée et adhérent au corps de la cochenille (Forster *et al.*, 1995). Le temps nécessaire à l'éclosion des œufs d'*Aphytis* dépend de la température. Par exemple à 20° C, il faut presque cinq jours alors qu'à 26,7 ° C, les œufs éclosent en deux jours. Environ 18% du temps de développement total d'*A. melinus* est représenté sous forme d'œuf (Yu et Luck, 1988).



Figure 31. Œuf d'*A. melinus* sur le corps d'*A. aurantii*.

Les larves : comme chez tous les Aphelinidae, les larves d'*Aphytis* passent par trois stades. À mesure que les larves commencent à se nourrir, leur taille augmente et l'hôte, dépourvu de liquides organiques, se contracte progressivement. Les stades larvaires peuvent être différenciés par leur taille et leur forme. Le premier stade a une forme ovoïde, tandis que les deuxième et troisième stades ont une taille considérablement plus grande (Fig. 32). Les *Aphytis* passent environ 36% de leur temps de développement en tant que larve, c'est-à-dire près de 11 jours à 17° C et quatre jours à 26° C ou 30° C (Yu et Luck, 1988).



Figure 32. Larve âgée d'*A. melinus*.

Les prénymphe et nymphes : selon Rosen et DeBach (1979), le stade prénymphe ne peut pas être considéré comme un stade distinct. La prénymphe est blanche, avec son point caudal distinctement pointu et plus allongé par rapport aux stades larvaires. À ce moment, l'alimentation cesse complètement et l'intestin postérieur est lié à l'intestin moyen. La larve fait demi-tour avec la partie ventrale faisant face au bouclier de la cochenille et excrète les matières fécales de l'intestin sous forme de méconium brun ou noir (Fig. 33). Ensuite, elle entre dans une période de repos où elle se transforme rapidement en nymphe.

Aphytis passe environ 8% de son temps de développement total sous forme de prénymphe. Au début de la phase nymphale, *Aphytis* a les yeux incolores, mais au bout de quatre ou cinq jours (à 26,7° C et 60% de l'humidité relative), ils développent une pigmentation oculaire qui se modifie à mesure que la pupa croît. Ainsi, la couleur des yeux passe du rose au rouge, puis se transforme en brun-rouge et devient finalement vert. *Aphytis* passe près de 38% de son temps de développement sur ses pupes (Yu et Luck, 1988).



Figure 33. Nympe et méconium d'*A. melinus*.

Les adultes : ils émergent un jour après les nymphes aux yeux verts, en poussant le bouclier de la cochenille ou en le mâchant pour aménager un trou de sortie. Les mâles et les femelles sont minuscules, jaunâtres et difficiles à distinguer (Fig. 34). Après avoir quitté l'hôte, *Aphytis* adulte se repose pendant un moment, puis se déplace principalement par ses pattes. Alors que la dispersion sur de longues distances est supposée se faire en vol et est probablement assistée par un faible mouvement de l'air (Rosen et DeBach, 1979).



Figure 34. Adulte d'*A. melinus* (Pekas,2010).

2.5 - Ecologie d'*A. melinus*

2.5.1 - La sélection des hôtes

Le processus de sélection d'hôtes est réalisé en quatre étapes (Rosen et DeBach, 1979):

Premièrement **la sélection de l'habitat** : Cette étape n'est généralement pas un problème car la plupart des *Aphytis* émergent au même endroit où se trouve l'hôte (Rosen et DeBach, 1979). Malgré cela, Morgan et Hare (1998) ont démontré que les femelles d'*A. melinus* semblaient utiliser des traces volatiles pour se diriger vers une plante infestée de cochenilles.

Deuxièmement **la recherche d'hôte** : l'adulte recherche la cochenille au hasard par petits trajets et vols courts (DeBach et Sundby, 1963). D'ailleurs, l'efficacité des ennemis naturels dans la lutte contre les ravageurs dans les conditions de terrain est largement corrélée à leur capacité de propagation dans les cultures infestées (Zappala *et al.*, 2012). Néanmoins, dans un environnement sans hôtes, *A. melinus* avait une plus grande capacité de dispersion et

une vitesse de déplacement plus rapide que *A. chrysomphali* ou encore *A. lingnanensis* (Rosen et DeBach, 1979).

Troisièmement **l'acceptation de l'hôte** : c'est l'étape la plus importante, les exigences pour attaquer l'hôte peuvent être l'odeur de la cochenille, l'emplacement, la taille et la forme (Baker, 1976). Luck et Uygun (1986) ont détecté que les kairomones émis par le bouclier semblaient jouer un rôle très important dans la reconnaissance et l'acceptation de l'hôte.

En fin **l'aptitude de l'hôte** : À ce stade, le parasitoïde évalue si l'hôte est déjà parasité pour l'éviter. Cette différenciation se fait grâce à "l'odeur" laissée par le premier parasitoïde (Van Lenteren et DeBach, 1981).

2.5.2 – Les facteurs affectant l'abondance et l'efficacité d'*Aphytis*

L'efficacité des *Aphytis* en tant qu'agents de lutte biologique est étroitement liée à des facteurs abiotiques et biotiques susceptibles de limiter la distribution et d'affecter l'abondance des parasitoïdes. Les facteurs abiotiques comprennent la température, l'humidité, la lumière et l'impact négatif des pesticides. Les facteurs biotiques qui affectent l'efficacité de *Aphytis* sont l'insecte hôte, la plante hôte, les ennemis naturels et le phénomène de concurrence (Rosen et DeBach, 1979).

• Les facteurs abiotiques

La température : d'après (Yu et Luck, 1988), la période de développement de *Aphytis* est généralement courte et dépend des conditions climatiques, principalement de la température. Par exemple, à 26,7°C, *A. melinus* achève tout son développement en près de deux semaines, alors qu'il faut un mois pour parvenir à un développement complet à 17°C. En outre, les températures extrêmes sont considérées comme le principal facteur de mortalité pour *Aphytis* en plein champs (Sorribas *et al.*, 2012).

L'humidité et la lumière : sont considérées comme moins importantes que la température. Cependant, les températures élevées, associées à une faible humidité, ont une incidence négative sur la survie des *Aphytis*. Quant à la lumière, elle semble avoir un rôle important dans le début du vol et dans la recherche d'hôtes (Rosen, 1979 et DeBach).

Les pesticides : Les pesticides à large spectre utilisés pour lutter contre les cochenilles diaspines et d'autres ravageurs sont considérés comme le facteur abiotique qui affecte le plus négativement les ennemis naturels, et spécialement les espèces du genre *Aphytis*. Le Malathion, un organophosphoré utilisé pour le contrôle d'*A. aurantii*, a été observé qu'il affecte les ennemis naturels du Pou rouge de Californie, en plus d'autres faunes auxiliaires présentes dans les verger d'agrumes (Urbaneja *et al.*, 2004).

De même, le Chlorpyrifos, un pesticide couramment utilisé pour lutter contre le Pou rouge, il a été constaté qu'il peut modifier le sexe des hyménoptères parasitoïdes, et parmi eux celui d'*A. melinus*, diminuant le nombre de femelles de la progéniture (Desneaux *et al.*, 2007).

• Les facteurs biotiques

L'insecte hôte : il peut affecter l'abondance et l'efficacité de *Aphytis* de différentes manières. Comme déjà mentionné, tous les stades de développement de cochenilles ne conviennent pas à *Aphytis*, comme les mues et les femelles adultes. En outre, les stades de développement pouvant potentiellement servir d'hôtes ne sont pas de la même qualité. La taille de l'hôte varie considérablement en fonction du stade de développement (Hare *et al.*, 1990).

La plante hôte : elle peut influencer indirectement sur l'efficacité d'*Aphytis* en tant qu'agent de lutte biologique en agissant sur la taille de cochenille car cette dernière est intimement liée au type du tissu végétal sur lequel la cochenille se développe et à la variété de plante qu'elle attaque. En effet, Boyero *et al.* (2014) enregistrent un taux de parasitisme d'*A. melinus* plus élevé sur les fruits que sur les rameaux. De plus Hare and Luck (1991) déclarent que ce même parasite élevé sur des feuilles de citronnier a produit près de deux fois la descendance femelle par rapport à d'autres individus élevés sur des feuilles de pamplemousse, d'oranger et de mandarinier.

De plus, la nourriture fournie par les plantes peut avoir un impact décisif sur les traits de vie des ennemis naturels. Il a été démontré qu'en absence d'une source adéquate de nourriture par les plantes comme le nectar floral et le pollen, la reproduction d'ennemis naturels est sérieusement compromise (Winkler *et al.*, 2006).

Les ennemis naturels : Traboulsi (1968) a répertorié une série d'ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes), qui pourraient affecter les populations d'*Aphytis*. Comme exemple, l'auteur signale que les mêmes coccinelles prédatrices utilisées dans le contrôle des diaspines, peuvent attaquer les cochenilles parasitées par les *Aphytis* en cas d'absence d'hôtes.

En outre, Rosen et DeBach (1979) classent l'activité des fourmis au troisième rang des facteurs les plus nuisibles à l'efficacité des *Aphytis*, après les températures extrêmes et les pesticides. DeBach (1951) a utilisé les fourmis comme "méthode de contrôle biologique" pour évaluer l'efficacité d'*Aphytis* dans la lutte biologique. En comparant les densités de ravageurs chez les arbres exempts de fourmis (parasitoïdes "non perturbés") et infestés de fourmis (parasitoïdes "perturbés"), il a évalué le degré de lutte biologique atteint.

La concurrence : Les parasitoïdes peuvent être capables de coexister sur la même espèce hôte s'ils partagent les ressources de l'hôte selon la taille, l'âge ou le stade, ou si leur dynamique varie aux échelles spatiales et temporelles (Pekas, 2016). Malgré que la plupart des espèces d'*Aphytis* sont capable de différencier un hôte parasité d'un hôte sain et éviter les situations de superparasitisme, la compétition entre les espèces existe, et peut être inter ou intraspécifique. (Van Lenteren et DeBach, 1981). Cependant, il est courant de trouver plus d'un œuf du même genre (espèce grégaire) et même de genres différents (parasitisme multiple).

2.6 – Importance économique d'utilisation

En tant qu'ennemis naturels, les espèces *Aphytis* sont généralement supérieures en efficacité par rapport aux parasitoïdes et prédateurs de cochenilles diaspines et pour cette raison, plusieurs espèces ont été utilisées avec succès dans la lutte biologique projets (Rosen, 1994). En effet, de nombreuses espèces du genre *Aphytis* ont été introduites dans le cadre de programmes classiques de lutte biologique contre *A. aurantii* dans de nombreuses régions du monde, notamment : en Californie (Rosen et De Bach, 1979), Argentine (De Santis et Crouzel, 1994), Australie (Smith *et al.*, 1997), Afrique du Sud (Bedford, 1998), Grèce (DeBach et Argyriou, 1967) , Chypre (Orphanides, 1984), la Sicile (Tumminelli *et al.*, 1996), le Maroc (Bénassy et Euverte, 1967) et la Turquie (Oztemiz *et al.*, 2008).

En Algérie, plus précisément à Rouïba, Agagna (2016) note que l'action d'*A. melinus* a pu maintenir son hôte à un niveau non préjudiciable et que *A. melinus* constitue l'agent de lutte biologique le plus efficace contre les pullulations d'*A. aurantii*. Dans la même région, Biche (2012) signale que faire des lâchers d'*A. melinus* effectués en automne, en hiver et au printemps pourraient être efficaces.

Chapitre IV : Région d'étude et matériel et méthodes

1- Présentation de la région d'étude

Selon Dajoz (1985) l'étude du milieu avec tous ses paramètres est indispensable afin de mieux comprendre la répartition des êtres vivants dans leur biotope.

1.1 - Situation géographique

Avec une superficie de 1400 km², la Mitidja compte parmi les plus grandes plaines sublittorales algériennes. Elle s'étend sur une longueur de 100 km et une largeur variant entre 10 et 18 km. Le présent travail a été mené à l'est de la plaine de Mitidja plus précisément dans une exploitation privée dans la commune de Rouïba, à environ 25 km de la capitale et à 7 km de la mer méditerranée. Elle est limitée au nord par la commune d'Ain Taya, au sud par la commune de Khemis- El- Khechna, à l'Est par la commune de Réghaïa et à l'Ouest par la commune de Dar El-Beida. La région d'étude se situe entre 3°07 et 3°27 de longitude et entre 36°43 et 36°49 de l'attitude nord et s'élève à 25 m par rapport au niveau de la mer (Mutin, 1977).

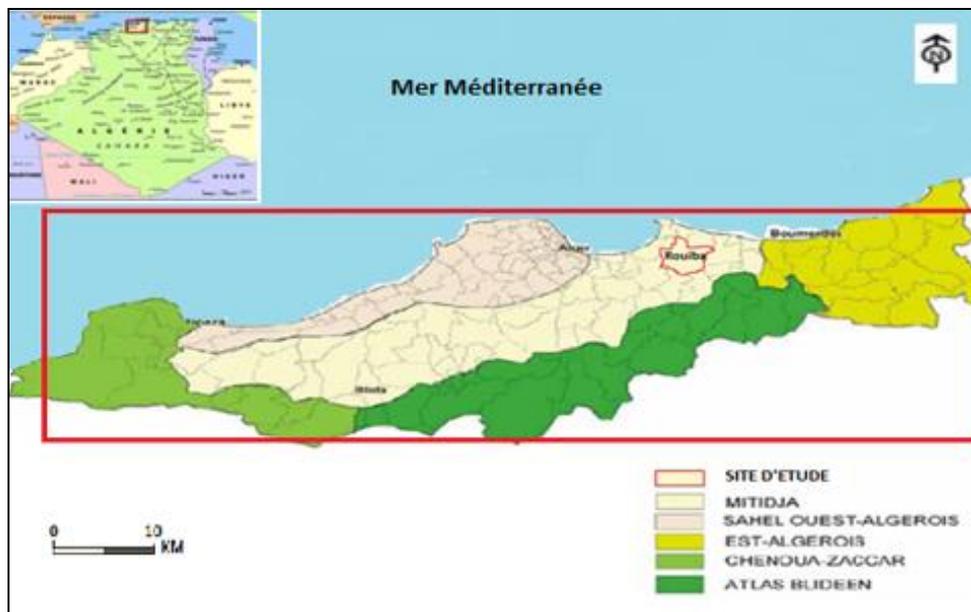


Figure 35. Carte géographique de la Mitidja (MATET, 2014).

1.2 - Facteurs abiotique

1.2.1 - Facteurs édaphiques

Selon Dreux (1980), les facteurs édaphiques renferment toutes les propriétés physiques et chimiques du sol qui ont une action écologique sur les êtres vivants. Le sol est non seulement un support pour la plante mais également un milieu nutritif (Faurie *et al.*, 1980). Cependant, le sol de la Mitidja est caractérisé par des sols riches avec une bonne aptitude à l'irrigation. Leur classification a été faite par Aubert et Duchaefourin (Mutin, 1977), elle est à la fois descriptive et génétique, c'est ainsi qu'on distingue 5 classes de sols :

- Les sols peu évolués riches en limons et sable.
- Les sols hydromorphes ont une texture argilo-limoneuse.
- Les sols à sesquioxydes de fer sont des terres rouges limono-argileuses.
- Les vertisols sont riches en argile et en limon fin.
- Les sols carbonatés (calcimagnétiques) se composent d'alluvions limono-argileuses à forte teneur en calcaire.

1.2.2 - Facteurs Hydrographiques

Sur toute sa superficie, la Mitidja est traversée par différents oueds s'écoulant généralement du sud vers le nord, prenant leur source dans le massif de Blida. D'Est en Ouest, ces oueds sont Oued de Réghaïa, Oued Hamiz, Oued Djemaa, Oued El Harrach, Oued Chiffa, Oued Bouroumi, Oued Djer et oued Mazafran (Mutin, 1977). Deux aquifères principaux se trouvent sur la grande partie de la plaine de la Mitidja, l'un quaternaire des alluvions grossières et l'autre astien gréseux ou gréso-calcaire. Ces deux derniers sont séparés par un complexe argilo-marneux, d'épaisseur très variable selon les endroits (Benziada, 2003).

1.2.3 - Facteurs climatiques

Le climat joue un rôle important dans la vie et la répartition des êtres vivants (Faurie, 2011), son étude est basée sur des observations météorologiques archivées, cette évaluation de l'atmosphère en un endroit donné peut être décrite avec de nombreux paramètres, tels que la température, les précipitations et l'humidité (Ozouf et Pinchemel, 1961).

1.2.3.1 - Les températures

La température dépend de plusieurs paramètres tel que la nébulosité, la latitude la présence et l'exposition à une grande masse d'eau comme les mers et lacs (Faurie *et al.*, 2012) ainsi le cas de notre site d'étude, Mutin (1997) confirme que les températures enregistrées dans la région de la Mitidja sont beaucoup influencées par la mer méditerranéenne.

Les variations de températures ont un impact considérable sur la vie de tous les organismes (Sherwood *et al.*, 2016), car les espèces ne peuvent vivre que dans des intervalles thermiques distincts (Dreux, 1980). Ce même auteur notamment Dajoz (2006), affirment que ce paramètre influe sur la vitesse de développement, le nombre de générations autant que sur la fécondité.

Tableau 3. Températures minimales, maximales et moyennes (C°) de l'année 2015 et 2016 dans la région de Dar El-Beida (TUTITEMPO, 2017).

| Paramètres | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moy. annuelle | Année |
|------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| M°C | 16.9 | 15.4 | 19.9 | 23.5 | 27.1 | 29.7 | 34.7 | 33.4 | 29.8 | 26.6 | 21.9 | 20.6 | 25 | 2015 |
| m°C | 5.1 | 6 | 6.4 | 9.8 | 12.2 | 16.2 | 20.1 | 22.1 | 18.3 | 14.9 | 8.8 | 4.6 | 12.1 | |
| (M+m)/2 | 10.4 | 10.5 | 13.1 | 16.6 | 19.7 | 23.1 | 27.5 | 27.5 | 24 | 20.3 | 14.7 | 11.3 | 18.3 | |
| M°C | 19.4 | 19.2 | 19.3 | 21.7 | 24.8 | 29.5 | 32 | 31.5 | 30.4 | 29.1 | 22 | 18.6 | 24.79 | 2016 |
| m°C | 6.8 | 7.4 | 6.4 | 9.7 | 11.5 | 15.3 | 19.2 | 19.2 | 17.3 | 15.6 | 10.2 | 8.3 | 12.24 | |
| (M+m)/2 | 13.10 | 13.3 | 12.85 | 15.70 | 18.15 | 22.40 | 25.6 | 25.35 | 23.85 | 22.35 | 16.10 | 13.45 | 18.52 | |

M : Moyenne mensuelle des températures maximales.

m : Moyenne mensuelle des températures minimales.

(M + m) / 2 : Moyenne mensuelle des températures.

D'après le tableau n°3, la température moyenne annuelle de l'année 2015 est de l'ordre de 18,3°C. Elle a légèrement augmenté à 18,52°C en 2016 .La température maximale enregistrée pour l'année 2015 et 2016 est respectivement 34,7°C et 32°C les deux valeurs sont signalées durant le mois de juillet, par contre la température la plus basse (minimale) a été enregistrée au mois de Décembre pour l'année 2015 avec une valeur de 4,6°C alors que pour l'année 2016 c'était en mois de Mars avec une valeur de 6,4°C.

1.2.3.2 - Pluviométrie

La pluviométrie constitue un facteur d'importance fondamentale (Ramade, 1984) et demeure décisive pour la faune du sol. autant son insuffisance que son excès peuvent être néfaste aux animaux (Faurie *et al.*, 1984).

Le rythme pluviométrique au niveau de Dar El Beida est de type méditerranéen, caractérisé par une double irrégularité annuelle et interannuelles (Mutin, 1977).

Tableau 4. Données pluviométriques (mm) de la région de Dar El-Beida durant l'année 2015 et 2016 (TUTTIEMPO, 2017) :

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Total | Année |
|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|------|------|---|------|--------|--------|--------|--------|-------|
| P(mm) | 72.14 | 90.93 | 49.02 | 0 | 10.15 | 12.7 | 0 | 0 | 9.14 | 109.73 | 84.82 | 0 | 438.63 | 2015 |
| P(mm) | 72.39 | 80.52 | 124.97 | 35.06 | 37.84 | 2.54 | 0.76 | 0 | 5.34 | 8.89 | 101.35 | 190.49 | 660.15 | 2016 |

P(mm) : Précipitations et / ou la fonte des neiges total (mm)

On constate que la pluviométrie s'étale sur toute l'année 2016 mais un peu moins sur l'année 2015 avec une absence considérable de quatre mois avril juillet août et décembre. Durant l'année 2015, la plus grande quantité de précipitation a été enregistrée pendant le mois d'octobre avec une valeur de 109,73 mm alors que pour l'année suivante c'était en décembre avec une quantité beaucoup plus élevée, estimée à 190,49 mm.

1.2.3.3 - L'humidité relative (HR%)

Selon Dajoz (1985), l'humidité relative agit sur la densité des populations en provoquant une diminution du nombre d'individus en conditions hygrométriques défavorables. Faurie *et al.* (2012) Soulignent que l'humidité est liée à plusieurs facteurs: de la température, la quantité d'eau tombée, du nombre de jour de pluie, de la forme de ces précipitations, et du vent.

Tableau 5. Humidité relative moyenne (%) de Dar El-Beida durant l'année 2015 et 2016 (TUTTIEMPO, 2017).

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moy. annuelle | Année |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|-------|
| H.R. Moy.(%) | 78.4 | 77.6 | 74.5 | 72.3 | 67 | 65 | 62.8 | 66.4 | 65.6 | 72.9 | 80.2 | 79.4 | 71.8 | 2015 |
| H.R. Moy.(%) | 78 | 72.3 | 74.5 | 75.8 | 70.4 | 65.1 | 66.8 | 64.5 | 63.7 | 67.5 | 69.8 | 83.7 | 78 | 2016 |

H.R. Moy.(%) : Humidité relative moyenne (%)

D'après les résultats reportés dans le tableau ci-dessus on remarque que l'humidité relative est élevée pendant toute l'année 2015 et 2016 avec une moyenne annuelle plus grande pour l'année 2016 comparé avec l'année 2015 qui est estimée à 78%.

1.2.3.4 – Vent

D'après Dajoz (1985) le vent agit sur le degré de la température et sur la vitesse d'évaporation ce qui explique son pouvoir desséchant mais aussi il est considéré comme un agent d'éparpillement des animaux et des végétaux (Dajoz, 2006). Le vent constitue peut être un facteur limitant dans certains biotopes. L'exposition de la végétation à des vents violents peut limiter son développement (Ramade, 2003).

Tableau 6. Vitesse (km/h) moyenne mensuelle du vent dans la région de Dar El-Beida durant l'année 2015 et 2016 (TUTTIEMPO, 2017).

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moy. annuelle | Année |
|---------------|-----|------|------|----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|---------------|-------|
| V. Moy (km/h) | 9.3 | 11.9 | 7.8 | 10 | 11.6 | 11.7 | 10.4 | 10.9 | 11.2 | 7.4 | 7.4 | 4.6 | 9.5 | 2015 |
| V. Moy (km/h) | 9.1 | 13.6 | 11.1 | 10 | 11.3 | 11.4 | 13.7 | 13.4 | 9.6 | 8.2 | 9.2 | 6.9 | 10 | 2016 |

A partir du tableau n°6, on remarque que la vitesse moyenne annuelle du vent durant l'année 2015 est de 9.5 km/h cette dernière a légèrement augmentée à 10 km/h en 2016. Durant notre première année d'étude, c'est en mois de février que la vitesse la plus élevée est enregistrée avec 11,9 km/h alors que l'année suivante c'est au mois de juillet avec une vitesse de 13,7 km/h.

1.3 - Synthèse climatique

1.3.1 – Diagramme pluviométrique

Le climat d'une région donnée peut être représenté par la réalisation d'une synthèse à partir des principaux facteurs climatiques qui sont les températures T (°C) et les précipitations P (mm), c'est dernières nous permettent de distinguer les périodes sèches et les périodes humides.

Selon Dajoz (1985), on parle de période de sécheresse quand le total des précipitations P(mm) est égale ou inférieur au double des températures T (°C). Alors que Dreux (1980) détermine la période sèche lorsque la courbe des températures est au-dessus de celle des précipitations et elle est dite humide dans le cas contraire. Le diagramme pluviothermique est réalisé d'après les données climatiques enregistrées en (2017) pour la commune de Dar El-Beida durant les 10 dernières années de 2007 à 2016.

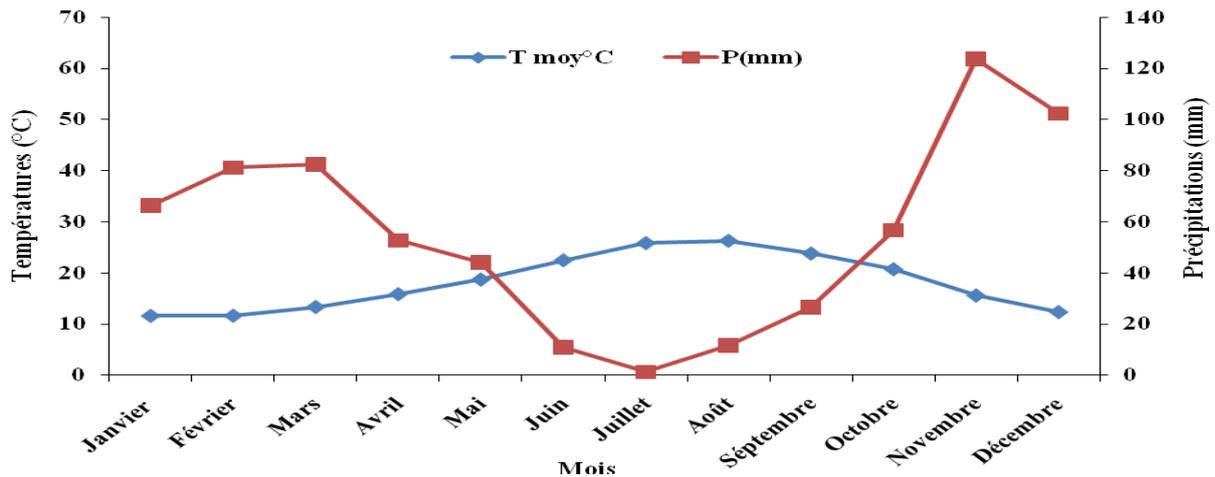


Figure 36. Diagramme pluviothermique de Dar El-Beida durant 10 années (2007/2016).

La région d'étude est composée de deux périodes, une période sèche qui s'étale sur 5 mois, de mi-mai jusqu'au début du mois d'octobre avec une pluviosité presque nulle en juin, juillet et août. La deuxième période humide et froide qui apparaît dès le début d'octobre jusqu'à la mi-mai.

1.3.2 - Climagramme d'Emberger

L'utilisation du climagramme d'Emberger permet de distinguer l'étage bioclimatique auquel appartient la région d'étude. Il est obtenu par le calcul du quotient pluviométrique Q_2 . Grâce à l'équation simplifiée de Stewart (1969).

$$Q_2 = 3,43 * P / (M-m)$$

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P : Précipitations annuelles exprimées en mm.

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, en °C.

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid, en °C.

Tableau 7. Données climatiques de la décennie 2007-2016 de la région d'étude.

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| M°C | 17.43 | 17.42 | 19.43 | 22.06 | 25.24 | 29.06 | 32.29 | 32.72 | 29.65 | 26.98 | 21.16 | 18.18 |
| m°C | 5.73 | 5.81 | 7.21 | 9.65 | 12.21 | 15.93 | 19.46 | 19.93 | 18 | 14.48 | 9.99 | 6.49 |
| P(mm) | 66.26 | 81.15 | 82.42 | 52.7 | 43.99 | 10.87 | 1.25 | 11.64 | 26.6 | 56.65 | 123.65 | 102.36 |

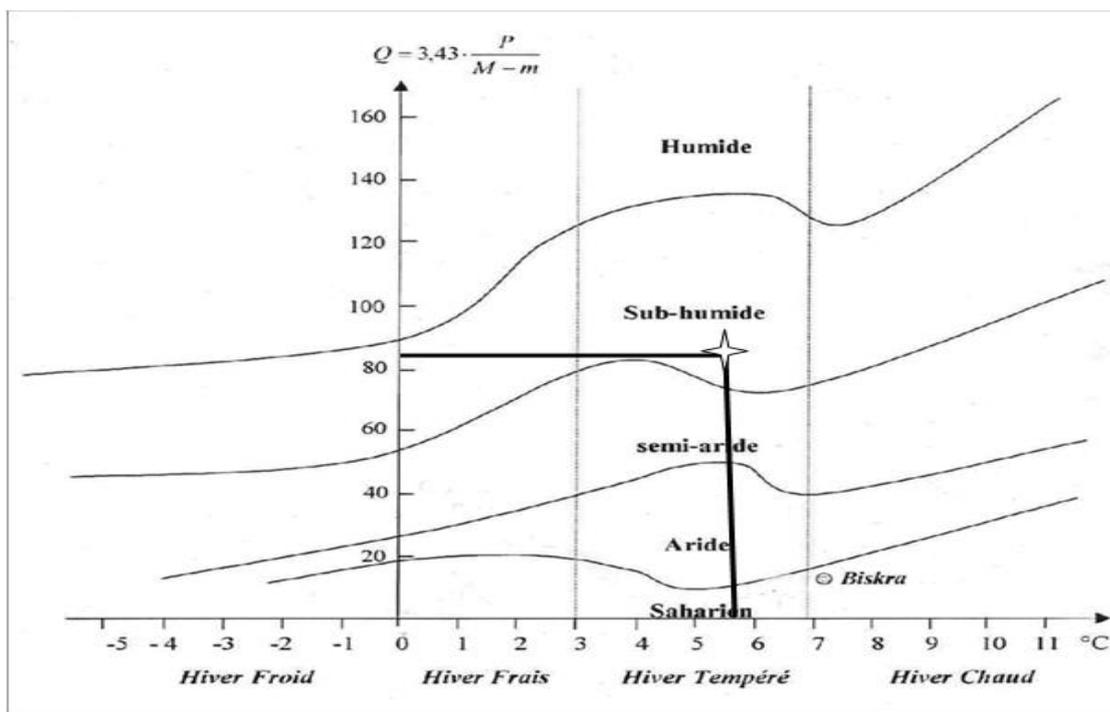
(Tutiempo, 2017)

Selon les données climatiques des années 2007 à 2016 ci-dessus :

$$P = 659.54, M = 32.72 \text{ et } m = 5.73$$

$$Q_2 = 3,43 * 659,54 / (32,72 - 5,73) = 83,81$$

Le quotient pluviométrique Q_2 de la région d'étude calculé sur une période de dix ans entre 2007 et 2016 est égal à 83,81. La projection de cette valeur sur le climagramme d'Emberger indique que la région de Dar El- Beida est située dans l'étage climatique sub-humide caractérisé par un hiver tempéré (Fig. 37).

**Figure 37.** Climagramme d'Emberger de Dar El-Beida durant 10 années (2007/2016).

1.4 - Facteurs biotiques

1.4.1 - Données floristiques

Selon Wojterski (1988), la partie orientale de la Mitidja est l'une des plaines les plus fertiles en Algérie. D'après Mutin (1977) elle dispose d'un couvert végétal très riche, renfermant une grande diversité on peut trouver:

- ◆ Les brises vents telles que :

- Le cyprès commun (*Cupressus sempervirens*).

- Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le pin parasol (*P. pinea*).

- Le filao (*Casuarina torulosa*).

- L'eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis*).

- Le peuplier blanc (*Populus alba*) et le peuplier noir (*P. nigra*).

- Le chêne vert (*Quercus ilex*).

- Le faux poivrier (*Schinus molle*).

- ◆ Les arbres fruitiers telles que :

- L'oranger (*Citrus sinensis*).

- Le citronnier (*Citrus limon*).

- L'olivier sauvage (*Olea europea sativa*).

- Le figuier (*Ficus carica*).

- Le néflier du Japon (*Eriobotria japonica*).

- Le poirier (*Pyrus communis*).

- L'abricotier (*Prunus armeniaca*).

- ◆ Les plantes arbustives telles que :

- Le chêne kermès (*Quercus coccifera*)

- Le buisson ardent (*Crataegus pyracantha*).

- Le rosier de chine (*Hibiscus rosasinensis*).

- Le lierre (*Hedera helix*).

- Le pittospore du Japon (*Pittosporum tobira*).

- ◆ Les graminées et les adventices telles que :
 - L'avoine sauvage (*Avena sterilis*).
 - L'orge des rats (*Hordeum murium*).
 - Le brome (*Bromus catharticus* ; *B. tectorum* et *B. sterilis*).
 - Le chardon (*Galactites tomentosa*).
 - Le coquelicot (*Papaver rhoeas*).
 - Le muguet de pampus (*Salpichroa organofolia*).

1.4.2 - Données faunistiques

La partie orientale de la Mitidja est caractérisée par une faune très diversifiée (Mohammedi-Boubekka, 2007), et cela a permis la réalisation de plusieurs travaux dans cette région dont on peut citer : Guessoum (1981) sur les acariens, Molinari (1989) sur les Myriapodes et les Crustacées Biche (2012) et Argane (2001) sur les insectes, Benzara (1982) sur les Gastéropodes mais également d'autres travaux réalisés sur les mammifères et les oiseaux Baziz *et al.* (2005) Milla *et al.* (2012), Manaa *et al.* (2013).

2 - Matériel et méthodes réalisés en Algérie

2.1 - Description et choix du site d'étude

L'étude a été effectuée dans une exploitation privée située au nord-est de la commune de Rouïba [36°44'43.34"N ; 3°17'39.77"E] (Fig. 38). Cette exploitation présente une diversification végétale : un verger de citronnier (*Citrus limon*), un verger d'oranger (*Citrus sinensis*), quelques pieds de mandarinier (*Citrus deliciosa*) de l'olivier (*Olea europea sativa*), des brises vent de filao (*Casuarina torulosa*) et une parcelle de pomme de terre (*Solanum tuberosum*). L'expérimentation a été menée dans le verger de citronnier (Fig. 39), il s'agit d'un jeune verger de la variété "Euréka" planté en 2003 et répartis régulièrement sur une parcelle de 2 hectares.



Figure 38. Emplacement de l'exploitation agricole dans la région de Rouiba (Google Earth, 2019).

Le choix du lieu d'étude est basé essentiellement sur l'abondance du ravageur *Aonidiella aurantii* et de ses parasitoïdes le *Comperiella bifasciata* et *Aphytis melinus* mais également sur la faible utilisation des insecticides dans ce verger par rapport à d'autres.



Figure 39. Le verger de citronnier.

2.2 - Dispositif expérimental

2.2.1 - Sur le terrain

Nous avons entamé l'expérimentation au début du mois de juillet 2015 pour l'achever vers la fin du mois de décembre 2016, soit 18 mois de terrain à raison de 3 sorties par mois (soit un total de 54 sorties). La méthode utilisée est celle qui a été mis au point par Vasseur et Schvester en (1957) reprise également par (Bennassy, 1961) et (Fabre, 1979) qui consiste à dénombrer les populations de façon périodique.

Pour cela, nous avons divisé le verger en 9 unités parcellaires de 30 arbres chacune où les prélèvements sont effectués chaque dix jour. A chaque sortie, nous prenons un arbre au hasard dans chaque parcelle, sur lequel on prélève pour chaque direction cardinale, ainsi qu'au centre : 1 rameau de 10 à 20 cm de long, 2 feuilles et 1 fruit.

L'échantillonnage s'effectue à hauteur d'homme et les échantillons prélevés sont placés immédiatement dans des sachets en papier sur lesquels on mentionne toutes les informations du prélèvement (date, organe, direction).

2.2.2 - En laboratoire :

Le jour succédant la sortie sur terrain, débute l'examen minutieux des échantillons sous la loupe binoculaire. Le dénombrement des populations de la cochenille *A. aurantii* se fait selon les stades de développement (Fig. 40) et selon l'état de l'insecte (vivants, morts ou parasité). Lors du comptage des cochenilles on a procédé aussi au dénombrement des parasitoïdes *C. bifasciata* et *Aphytis melinus* selon les principaux stades de développement qui sont larve nymphe et adulte. Au total, l'examen a porté sur 4860 feuilles, 2430 fruits et 2430 rameaux.

Toutes les données sont reportées sur des fiches de prélèvement (Annexes n°1, 2 et 3) mentionnant la date de l'échantillonnage, la direction et l'organe correspondant. L'exploitation des résultats est réalisée par le logiciel Excel 2007. Les analyses statistiques sont effectuées par le logiciel Excel Stat 2014.

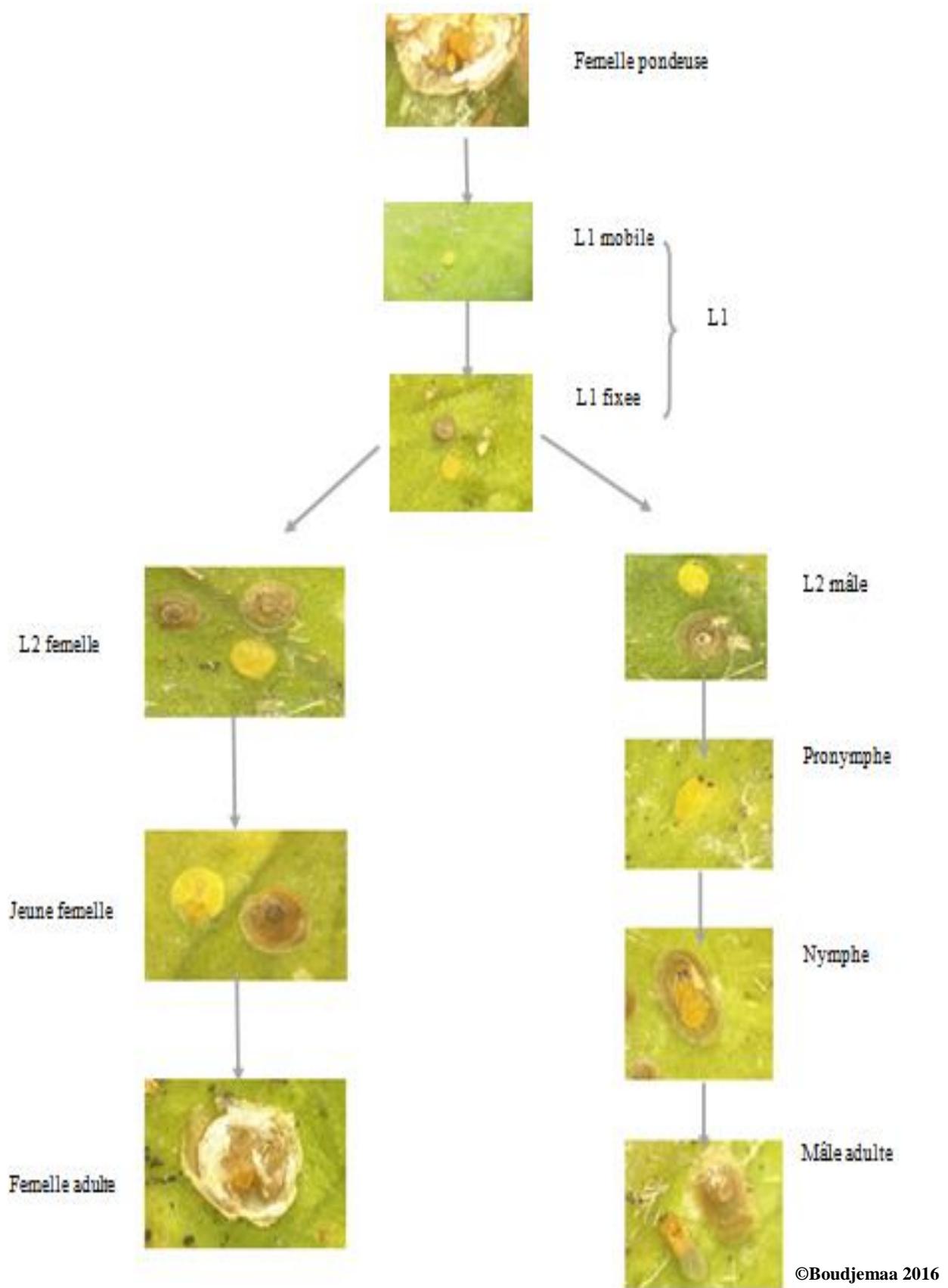


Figure 40. Schéma de reconnaissance des différents stades d'*A. aurantii*.

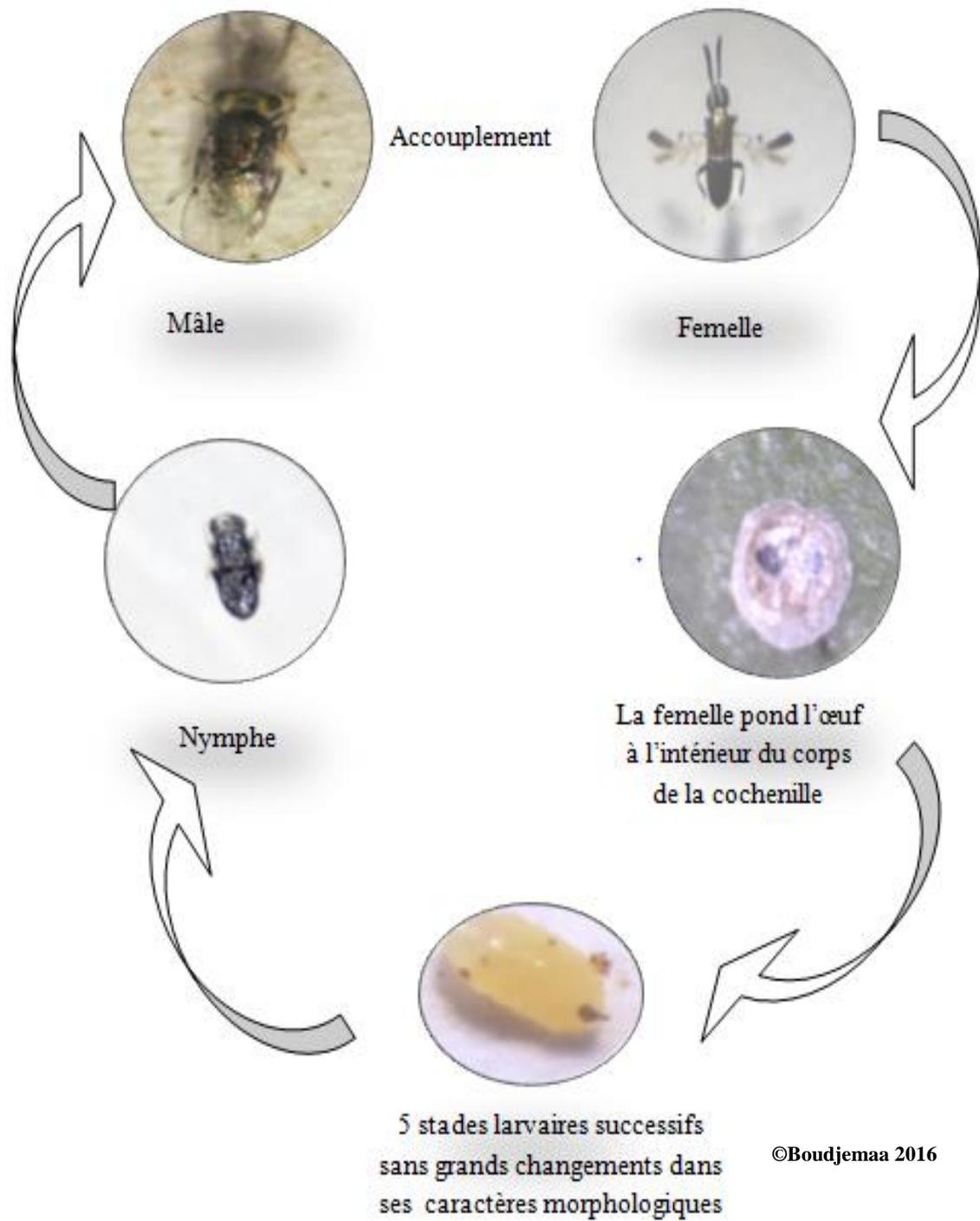


Figure 41. Schéma de reconnaissance des différents stades de *C. bifasciata*.

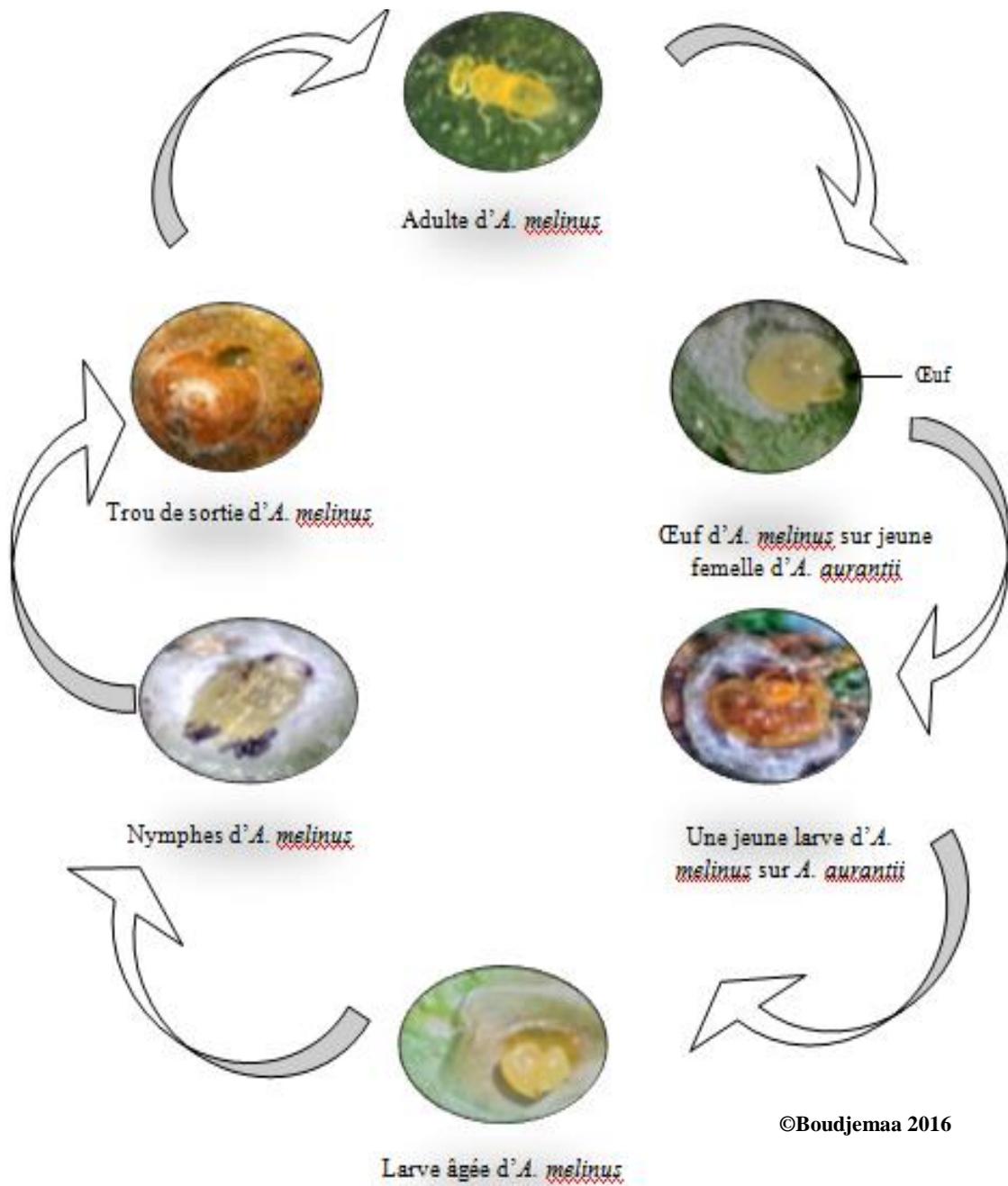


Figure 42. Schéma de reconnaissance des différents stades d'*A. melinus*.

3- Matériel et méthodes de travail réalisés en Turquie

3.1 – Présentation des deux régions d'étude

Cette étude s'est déroulée entre deux localités, la première région est celle que nous avons évoquée et détaillée en début de ce chapitre (Région de Rouïba, Algérie), la seconde est région de travail, la ville d'Antalya, située au sud de la Turquie (Lieu du stage). À part le tourisme et le commerce, Antalya développe à grande échelle la culture des légumes et des fruits, principalement sous serres. Selon (Turkstat, 2012). La province de cette ville est également connue par un potentiel élevé en production agrumicole son rendement représente le 1/7 de la production totale des agrumes de la Turquie et est estimé à 579 652 tonnes en 2011. En termes de rentabilité ce lieu occupe une place importante grâce aux conditions écologiques qui le caractérisent).



• : Régions d'étude

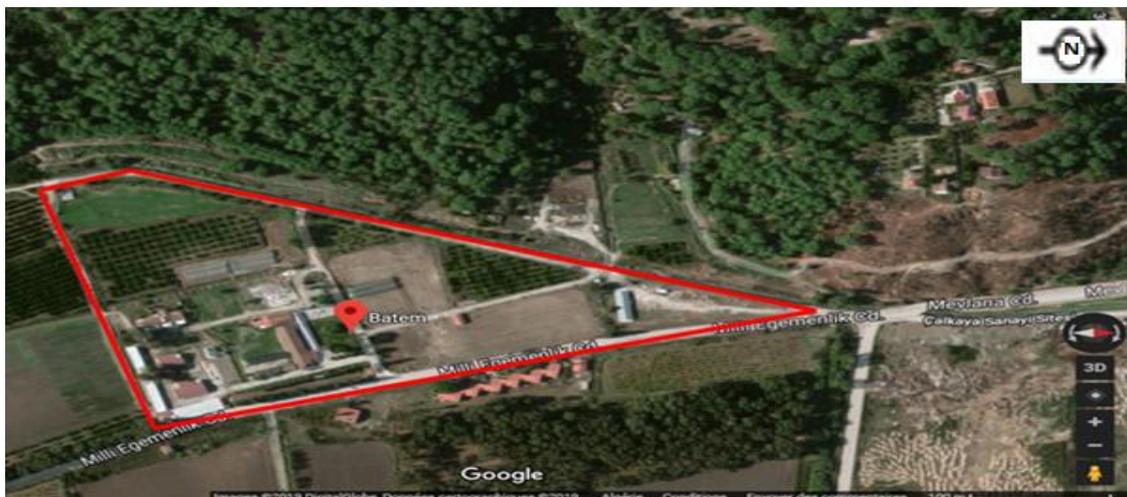
Figure 43. Carte indiquant l'emplacement des deux régions d'étude (Google Maps, 2019).

3.2 – Description des sites d'étude

Quatre vergers d'agrumes ont été échantillonnés périodiquement pendant 3 mois (septembre, octobre et novembre) en 2018. Trois des vergers d'expérimentation (citronnier, mandarinier et oranger) se situent entre deux unités de l'Institut de Recherche Agricole de la Méditerranée Occidentale (BATEM) Antalya, Turquie (Fig. 44) et (Fig. 45). Le 4^{ème} verger (citronnier) est une exploitation privée localisée dans la région de Rouïba (Fig. 38) à l'est de la plaine de Mitidja d'Algérie (Tab. 8). Le choix de ces vergers s'est fait principalement par l'abondance d'*A. aurantii* et la faible utilisation des pesticides.

Tableau 8. Caractéristiques des vergers d'agrumes échantillonnés.

| Verger | Site | Coordonnée géographique | Variété | Méthode de lutte |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|
| Citronnier (<i>Citrus limon</i>) | Sérik (BATEM) Antalya, Turquie | N:36° 55'28.22" E: 30° 00'23.21" | Euréka | Gestion intégrée |
| Mandarinier (<i>Citrus reticulata</i>) | Sérik (BATEM) Antalya, Turquie | N:36° 55'28.22" E: 30° 00'23.21" | Satsuma | Gestion intégrée |
| Oranger (<i>Citrus sinensis</i>) | Aksu (BATEM) Antalya, Turquie | N:36° 55' 11.65" E: 30° 51' 29.22" | Washington Navel | Gestion intégrée |
| Citronnier (<i>Citrus limon</i>) | Rouïba, dans la Mitidja d'Algérie | N:36°43 '36°49" E: 3°07' 3°27 " | Euréka | Lutte chimique |

**Figure 44.** Emplacement du verger de citronnier et de mandarinier unité Sérik Antalya (Google Maps, 2019).**Figure 45.** Emplacement du verger d'oranger unité Aksu BATEM Antalya (Google Maps, 2019).

3.3– Méthodologie

3.3.1 - Sur le terrain

Les échantillonnages sur le terrain ont été effectués deux fois par mois pendant trois mois (septembre, octobre et novembre 2018). Pour chaque verger, nous choisissons 6 arbres les plus infestés. Sur chaque arbre, nous prélevons 5 feuilles et 2 fruits de chaque direction cardinale (est, ouest, sud, nord) plus le centre, soit un total de 150 feuilles et 60 fruits par verger.

Les échantillons prélevés sont placés dans des sacs sur lesquels sont mentionnées toutes les coordonnées de l'échantillon: date, organe végétal, orientation cardinale, plante hôte et emplacement du verger.

3.3.2 - En laboratoire

En laboratoire, les échantillons sont d'abord examinés minutieusement sous la loupe binoculaire afin de déterminer le stade de développement et l'état de l'individu (vivant, mort, parasité et non parasité). Par la suite, le bouclier est séparé du corps de la cochenille pour effectuer les mensurations. Par contre, chez le stade femelle adulte où le bouclier et le corps restent adhérents, les mesures se font sans séparation. De plus, sur les femelles parasitées par *A. melinus*, uniquement la taille du bouclier est prise en considération car le corps est partiellement ou entièrement consommé par le parasitoïde. Les mensurations se font par le biais d'un stéréo microscope avec un micromètre oculaire (Fig. 46). Le calcul de la surface (en mm²) se fait en utilisant la plus grande longueur et la plus grande largeur que ce soit pour le bouclier ou pour le corps de tous les individus de la cochenille à 0,01 mm près (Fig. 47).



Figure 46. Dispositif de travail en laboratoire.

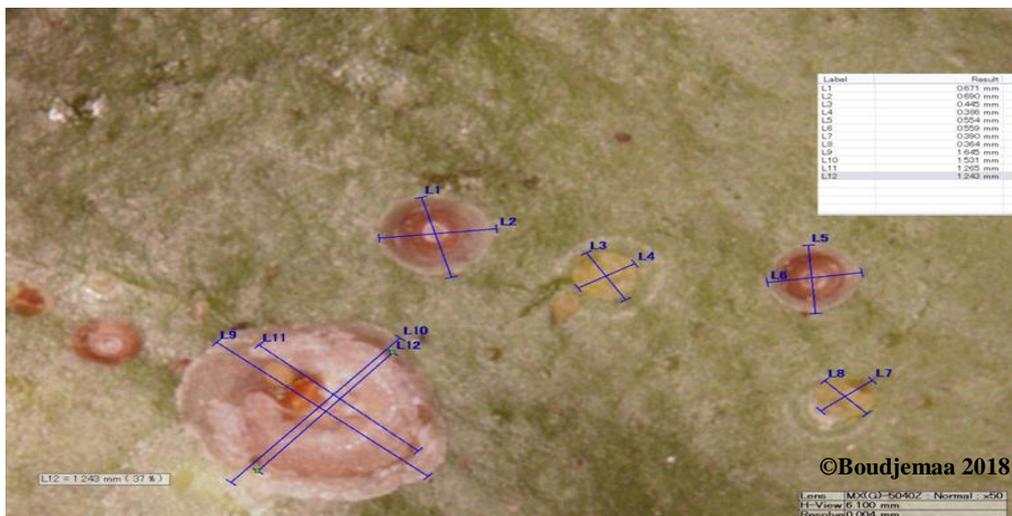


Figure 47. Exemple de mensurations de quelques individus d'*A. aurantii* à partir d'un stéréo microscope.

3.3.3 – 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%. Nous avons utilisé également une analyse de régression pour déterminer la relation entre la taille du corps et celle du bouclier de tous les stades de développement de la cochenille des deux populations (d'Algérie et de Turquie). Les corrélations ont été estimées avec le coefficient de corrélation de Pearson. Toutes les analyses ont été effectuées à l'aide de l'Excel Stat 2014.

Chapitre VI : **Etude morphométrique d'*A. aurantii***

Dans ce dernier chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus lors d'un stage effectué en Turquie sur une période de 3 mois. Cette étude renferme deux parties. La première consiste à étudier l'influence de quelques facteurs sur la taille d'*A. aurantii* en Turquie, ensuite la deuxième partie a pour objet de comparer la taille de la cochenille entre deux localités à savoir : l'Algérie et la Turquie.

L'objectif de cette présente étude est de comprendre la relation entre la taille d'*A. aurantii* avec son environnement et de connaître l'intérêt de la taille de la cochenille avec les parasitoïdes.

1 - Etude de quelques facteurs affectant la taille du bouclier et du corps d'*A. aurantii* en Turquie

1.1 – Influence de l'organe végétal sur la taille de tous les stades d'*A. aurantii*

Nous avons estimé les mensurations des boucliers et des corps de tous les stades de développement de l'insecte fixés sur les feuilles et sur les fruits de trois plantes hôtes à savoir : le citronnier, le mandarinier et l'oranger.

Le tableau 12 indique les mensurations moyennes des boucliers et des corps de tous les stades de développement de l'insecte fixés sur les feuilles ainsi que sur les fruits des trois plantes hôtes.

Tableau 12. La taille moyenne (mm²) du bouclier et du corps des différents stades de développement d'*A. aurantii* en fonction de l'organe végétal et de la plante hôte.

| Stade de développement | Citronnier | | | | Mandarinier | | | | Oranger | | | |
|--------------------------------|------------|--------|--------|--------|-------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | TBF | TBFR | TCF | TCFR | TBF | TBFR | TCF | TCFR | TBF | TBFR | TCF | TCFR |
| 1 ^{er} stade | 0,15 a | 0,16 a | 0,11 a | 0,11 a | 0,15 a | 0,16 a | 0,11 a | 0,10 a | 0,16 a | 0,17 a | 0,12 a | 0,13 a |
| 2 ^{ème} stade mâle | 0,37 a | 0,38 a | 0,18 a | 0,19 a | 0,37 a | 0,38 a | 0,18 a | 0,18 a | 0,38 a | 0,39 a | 0,19 a | 0,20 a |
| 2 ^{ème} stade femelle | 0,36 a | 0,39 a | 0,27 a | 0,28 a | 0,38 a | 0,40 a | 0,28 a | 0,29 a | 0,41 a | 0,42 a | 0,30 a | 0,32 a |
| Pre-nymphe | 0,44 a | 0,47 a | 0,18 a | 0,20 a | 0,45 a | 0,46 a | 0,20 a | 0,22 a | 0,47 a | 0,49 a | 0,23 a | 0,24 a |
| nymphe | 0,57 a | 0,58 a | 0,21 a | 0,24 a | 0,58 a | 0,59 a | 0,24 a | 0,24 a | 0,61 a | 0,63 a | 0,27 a | 0,28 a |
| Jeune femelle | 0,67 a | 0,75 b | 0,44 a | 0,56 b | 0,72 a | 0,77 b | 0,47 a | 0,56 b | 0,80 a | 0,86 b | 0,56 a | 0,67 b |
| Femelle adulte | 1,78 a | 1,87 b | 1,37 a | 1,49 b | 1,80 a | 1,90 b | 1,40 a | 1,52 b | 1,87 a | 1,96 b | 1,49 a | 1,61 b |

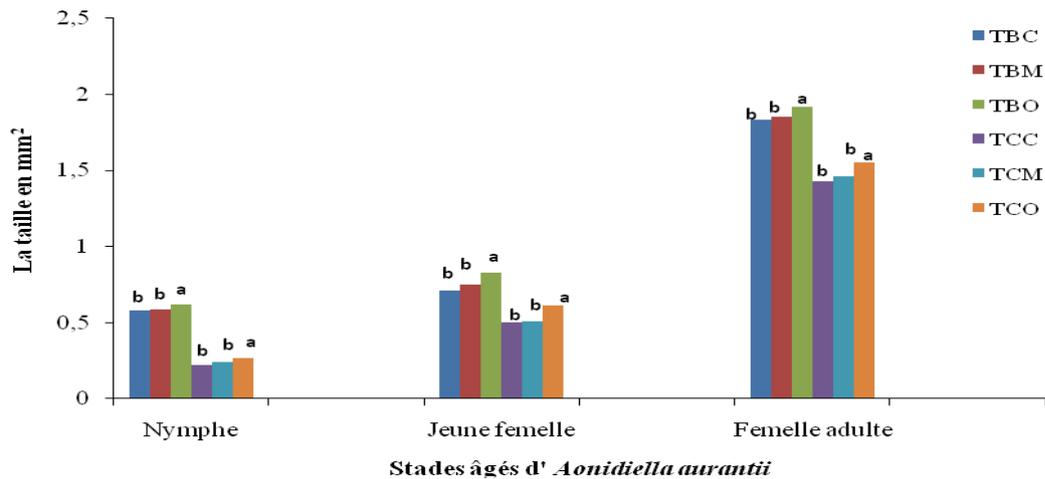
La comparaison de la taille de chaque stade de développement entre les deux organes végétaux (feuille et fruit) montre que, pour les deux paramètres (TB et TC), majoritairement les individus fixés sur les fruits sont plus grands que ceux fixés sur les feuilles pour les trois plantes hôtes (citronnier, mandarinier et oranger).

Toutefois, l'analyse statistique révèle que, uniquement les individus femelle âgée sont plus grands significativement sur les fruits que ceux fixés sur les feuilles pour le citronnier (Jeune femelle (Bouclier: $F = 10,21$; $DF = 55$; $p = 0,002$. Corps: $F = 22,27$; $DF = 55$; $p < 0,0001$) et Femelle adulte (Bouclier: $F = 15,10$; $DF = 63$; $p = 0,0002$. Corps: $F = 7,28$; $DF = 63$; $p = 0,008$), le mandarinier (Jeune femelle (Bouclier: $F = 4,42$; $DF = 55$; $p = 0,04$. Corps: $F = 10,64$; $DF = 55$; $p = 0,001$) et Femelle adulte (Bouclier: $F = 12,05$; $DF = 63$; $p = 0,0009$. Corps: $F = 7,66$; $DF = 63$; $p = 0,007$)) ainsi que pour l'oranger. (Jeune femelle (Bouclier: $F = 4,22$; $DF = 55$; $p = 0,04$. Corps: $F = 12,62$; $DF = 55$; $p = 0,0008$) et Femelle adulte (Bouclier: $F = 5,97$; $DF = 63$; $p = 0,001$. Corps: $F = 5,31$; $DF = 63$; $p = 0,02$)) et le test de Tukey a montré l'existence de deux groupes (a et b) pour l'analyse entre les deux organes végétaux de chaque paramètre et chaque femelle âgé fixée sur les différentes plantes hôtes. Il faut noter aussi que, pour les plus jeunes stades (1^{ème} stade fixe, 2^{ème} stade femelle, 2^{ème} mâle) ainsi que les stades nymphales (prenymphe et nymphe), la différence entre les substrats n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$).

1.2 - Influence de la plante hôte sur la taille des stades adultes d'*A. aurantii*

Dans cette partie nous avons procédé à une comparaison des mensurations d'*A. aurantii* fixés sur différentes plantes hôtes en Turquie.

La figure 111 représente la taille moyenne du bouclier et du corps des stades physiologiquement âgés (nymphe, jeune femelle et femelle adulte) provenant de trois plantes hôtes à savoir : le citronnier, le mandarinier et l'oranger.



TBC : taille du bouclier sur citronnier
TBM : taille du bouclier sur mandarinier
TBO : taille du bouclier sur oranger

TCC : taille du corps sur citronnier
TCM : taille du corps sur mandarinier
TCO : taille du corps sur oranger

Figure 111. Comparaison des tailles moyennes des stades âgés d'*A. aurantii* sur trois plantes hôtes de Turquie.

Les résultats montrent que la taille de la cochenille sur le citronnier et sur le mandarinier sont très rapprochées alors que sur l'oranger, la taille est visiblement plus grande. En effet l'analyse statistique dévoile que, la taille d'*A. aurantii* est plus grande de manière hautement significative sur l'oranger que sur le mandarinier et sur le citronnier (Nympe (Bouclier: $F = 11,44$; $DF = 119$; $p < 0,0001$. Corps: $F = 10,64$; $DF = 119$; $p < 0,0001$), Jeune femelle (Bouclier: $F = 18,49$; $DF = 167$; $p < 0,0001$. Corps: $F = 14,19$; $DF = 167$; $p < 0,0001$) et Femelle adulte (Bouclier: $F = 8,76$; $DF = 191$; $p = 0,0002$. Corps: $F = 6,34$; $DF = 191$; $p = 0,0002$)) et le test de Tukey indique la présence de deux groupe (a et b) pour chaque stade et paramètre comparés entre les différentes plantes hôtes.

1.3 - Influence de la position de l'organe sur la taille de la femelle adulte d'*A. aurantii*

La figure 112 et 113 représente la taille moyenne du bouclier et du corps des femelles adultes fixées sur feuilles et fruits, provenant de trois plantes hôtes différentes à savoir : le citronnier, le mandarinier et l'oranger.

Les résultats de la figure 112 montrent que sur les feuilles, la taille d'*A. aurantii* est significativement plus grande à l'orientation Centre et l'Ouest sur le citronnier (Bouclier: $F = 6,54$; $DF = 34$; $p = 0,0006$. Corps: $F = 8,95$; $DF = 34$; $p < 0,0001$), au Nord sur le mandarinier (Bouclier: $F = 2,77$; $DF = 34$; $p = 0,04$. Corps: $F = 3,75$; $DF = 34$; $p = 0,01$), et au Centre pour

l'oranger (Bouclier: $F = 2,77$; $DF = 34$; $p = 0,04$. Corps: $F = 2,87$; $DF = 34$; $p = 0,03$). Les orientations non citées pour chaque plante hôte, ont indiquées des tailles intermédiaires (ni grandes ni petites) ou alors des tailles petites de la cochenille. Le test de Tukey distingue au maximum 3 groupes différents pour chaque plante hôte. Le groupe (a) renfermant les grandes mensurations, le groupe (b) les petites et le groupe (ab) les tailles intermédiaires.

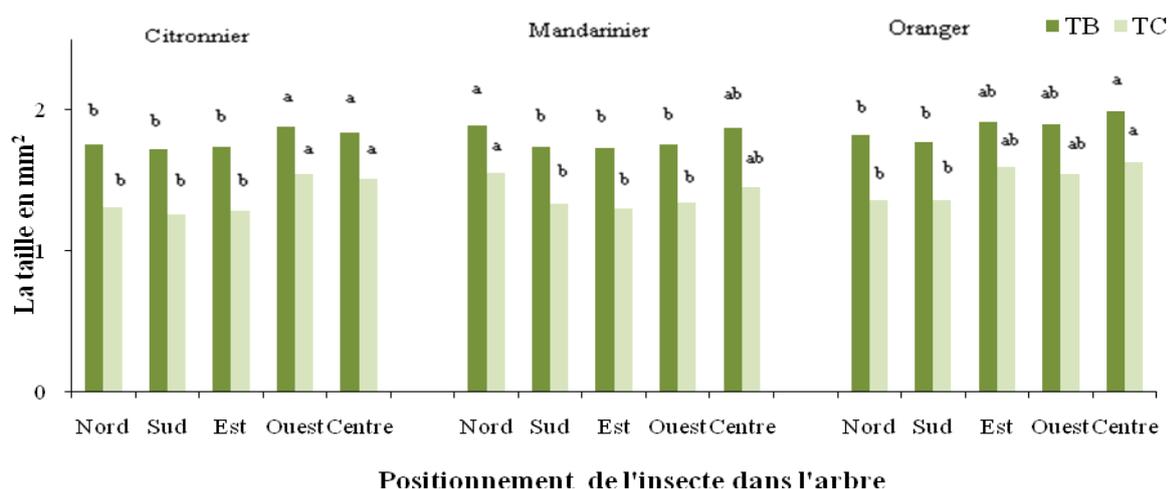


Figure 112. Taille moyenne du bouclier et du corps de la femelle adulte pour les trois plantes hôtes de Turquie, en fonction de la position des feuilles.

La figure 113 montre que les mensurations de la cochenille sur les fruits sont presque similaires sur le citronnier, très rapprochées sur le mandarinier à part pour l'orientation Sud où on note une taille moyenne petite par rapport aux autres orientations et enfin des tailles plus grandes à l'Ouest et au Centre pour l'oranger. L'analyse statistique confirme bien ces observations, aucune différence significative de la taille de la cochenille n'est révélée entre les orientations cardinales et le Centre du citronnier (Bouclier: $F = 0,92$; $DF = 34$; $p = 0,46$. Corps: $F = 0,51$; $DF = 34$; $p = 0,72$), alors que la différence de la taille d'*A. aurantii* est significativement différente entre les orientations sur mandarinier (Bouclier: $F = 4,60$; $DF = 34$; $p = 0,005$. Corps: $F = 2,82$; $DF = 34$; $p = 0,04$) et sur oranger (Bouclier: $F = 5,51$; $DF = 34$; $p = 0,001$. Corps: $F = 3,98$; $DF = 34$; $p = 0,01$). Le test de Tukey distingue au maximum 3 groupes différents pour chaque plante hôte. Le groupe (a) renfermant les grandes mensurations, le groupe (b) les petites et le groupe (ab) les tailles intermédiaires.

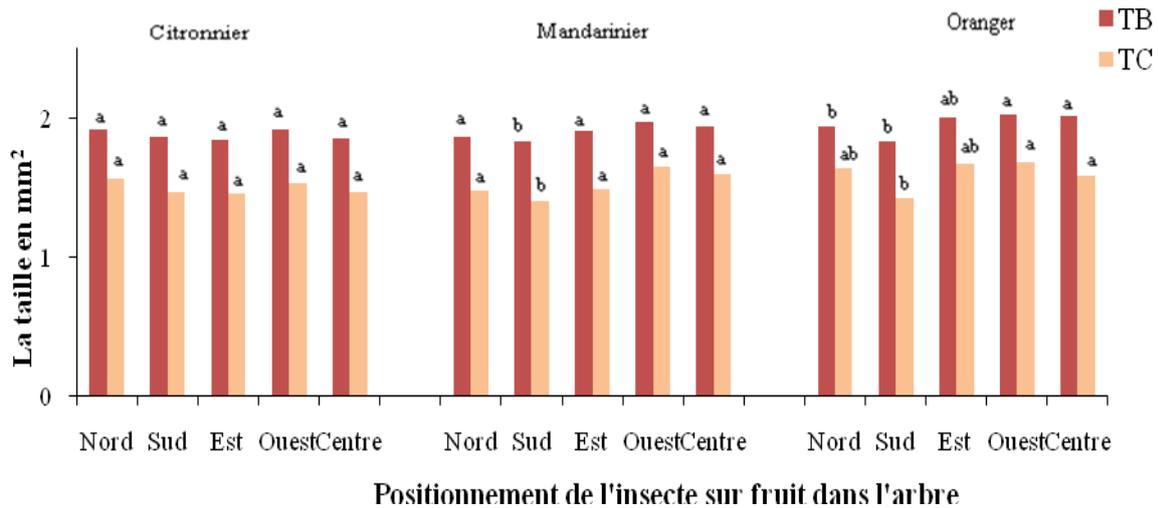


Figure 113. Taille moyenne du bouclier et du corps de la femelle adulte sur les trois plantes hôtes de Turquie, en fonction de la position des fruits sur l'arbre.

Discussion

Au sujet de l'influence de l'organe végétal sur la taille de la cochenille, nos résultats démontrent que, sur les trois plantes hôtes (citronnier, mandarinier et oranger), le substrat agit considérablement sur la taille d'*A. aurantii* et que les plus grandes tailles de la cochenille sont enregistrées sur les fruits. Des résultats similaires sont reportés par Luck et Podoler (1985) ; Karaca (1998) et Pekas *et al.* (2010). La composition nutritive et les vertus qui caractérisent le fruit pourraient bien expliquer l'augmentation de la taille de la cochenille. Gherbi (2010) déclare qu'en Algérie, *A. aurantii* préfère se localiser sur les fruits comparativement aux autres parties de l'arbre. L'auteur explique cette affinité marquée de la part de la cochenille pour l'organe fruit par l'abondance des éléments nutritifs qu'il confère.

La variation de la taille des cochenilles entre les deux organes végétaux (feuille et fruit) concerne uniquement les femelles âgées (jeune femelle et femelle adulte) alors que pour les autres stades aucune augmentation significative n'est notée, cela peut être expliqué par le fait que ces stades se préparent à une éventuelle reproduction ce qui impliquerait une nutrition plus accentuée et par conséquent une taille plus grande. Pekas *et al.* (2010) supposent que ces stades sont plus exigeants en termes de qualité nutritionnelle. Ces auteurs ont même enregistré des différences significatives de la taille de la cochenille entre les organes végétaux pour les individus du deuxième stade femelle, toutefois, ils ont signalés que la différence restait relativement faible par rapport à celle observée pour les stades femelles plus âgées.

L'influence de la plante hôte sur les populations de cochenille se manifeste avant tout à l'échelle variétale (Abbassi 1980), alors il se peut qu'*A. aurantii* se nourrit et se développe mieux sur l'oranger comparativement au citronnier et au mandarinier, ce qui favorise l'augmentation de la taille.

Toutefois, nos résultats sont en contradiction avec ceux de Hare *et al.* (1990) et Hare et Luck (1991, 1994) qui signalent que le Pou rouge de Californie est plus grand lorsqu'il se développe sur le citronnier et le pamplemoussier que sur l'oranger ou le mandarinier. Dans ce cas, notre explication s'oriente vers deux autres suggestions possibles : La première est que la variation de la taille sur l'oranger pourrait être liée à la variation géographique du verger : le verger d'oranger se situe dans la localité Aksu (Antalya) contrairement au citronnier et au mandarinier qui se trouvent dans la même parcelle dans la région de Sérık (Antalya). En effet, Luck et Podler (1985) ; Pekas *et al.* (2010) ont déclaré avoir trouvé des différences significatives de la taille d'*A. aurantii* entre différentes localités de vergers d'agrumes et les ont expliquées par l'effet du climat. D'une autre part, cette augmentation de taille sur l'oranger résulte probablement par la présence de l'azote et/ou du potassium dans les substrats des arbres de l'oranger. En effet, McClure (1980) a constaté que la densité, la fécondité et la survie nymphale de *Fiorinia externa* (Homoptera : Diaspididae), étaient positivement liées avec la variation de la teneur en azote total du feuillage. Pekas *et al.* (2010) ont noté une corrélation positive (statistiquement significative) pour les femelles du deuxième et troisième stade entre la taille d'*A. aurantii* et le contenu de feuilles en potassium.

Concernant les mensurations de la femelle adulte sur les trois plantes hôtes en fonction des orientations cardinales, on remarque que la position des feuilles au Centre, à l'Ouest et au Nord de l'arbre sont les endroits les plus influents sur la taille de l'insecte. En effet, sur les trois plantes hôtes, les plus grandes tailles ont été notées dans au moins un endroit de ces niveaux là. Concernant l'organe fruit, l'orientation Ouest et Centres sont également citées comme étant des positions représentant de grandes mensurations de cochenilles sur l'oranger. Par ailleurs, que ça soit sur feuille ou sur fruit, l'orientation Sud n'a jamais fait partie des positions représentant de grandes mensurations alors que l'emplacement Centre de l'arbre est le plus cité comme endroit manifestant de grandes tailles de cochenille.

Cette variation de la taille de l'insecte relative au positionnement de l'organe végétal dans l'arbre peut être expliquée par le fait que certaines positions se caractérisent par des conditions écologiques plus avantageuses que d'autres permettant le bon développement de la cochenille d'où l'augmentation de taille. Sur citronnier à Rouïba, Biche *et al.* (2012) et Belguendouz (2014) rapportent qu'en terme d'abondance, les cochenilles envahissent plus l'exposition Centre et Nord de l'arbre et moins les orientations ensoleillées qui sont défavorables à leur développement. De plus Smirnoff (1950) explique que l'ombre crée des conditions microclimatiques favorables avec une évaporation très faible et une humidité plus intense influençant la population des cochenilles. Donc l'augmentation de taille d'*A. aurantii* au Centre de l'arbre peut être expliquée par l'influence du microclimat au sein de l'arbre, particulièrement, par la présence de l'ombre.

Conclusion

La taille de l'hôte joue un rôle majeur dans l'efficacité et la survie de l'*A. melinus*. De ce fait, la taille de l'hôte est particulièrement essentielle dans le contrôle biologique des populations d'*A. aurantii*. D'un autre côté, la morphométrie du Pou rouge de Californie peut être influencée par divers facteurs. Il est jugé donc nécessaire d'étudier et de comprendre les facteurs affectant les mensurations de la cochenille.

A partir de nos résultats, on constate que le fruit agit sur la taille de la cochenille, car les grandes mensurations d'*A. aurantii* enregistrées, sont celles qui étaient fixées sur les fruits dans la population de la cochenille turque. En effet, cet organe constitue un substrat végétal favorisant l'agrandissement de la taille de la cochenille par rapport aux feuilles. Cela est expliqué principalement, par la richesse nutritionnelle qui le caractérise.

Le type de plante-hôte attaqué a révélé également une variation de la taille de la cochenille. En effet, nous avons enregistré des mensurations d'*A. aurantii* plus grandes sur l'oranger que sur le citronnier et le mandarinier en Turquie. En outre, la position de l'organe végétal (feuille et fruit) sur lequel est fixé l'insecte sur l'arbre, a montré également des différences significatives de la taille de la cochenille. Effectivement, certains emplacements sur l'arbre, tels que le Centre, le Nord et l'Ouest, présentent de grandes mensurations de la cochenille. Cela est lié principalement au microclimat installé au sein de l'arbre.

2 - Comparaison morphométrique entre deux populations d'*A. aurantii* d'Algérie et de Turquie

2.1 - Comparaison de la taille d'*A. aurantii* entre les deux localités

Nous avons comparé la taille moyenne du bouclier (TB) et du corps (TC) de tous les stades de développement d'*A. aurantii* d'Algérie (ALG) avec celle de Turquie (TRQ). Nous avons également comparé les données climatiques (Températures) entre les deux localités (Alger et Antalya) durant l'année d'étude (<http://www.Tutiempo.com>).

Les résultats reportés dans le tableau 13, montrent que les cochenilles de plus grande taille sont celles d'Algérie par rapport à celles de la Turquie.

Tableau 13. La taille moyenne (mm²) du bouclier et du corps des différents stades de développement d'*A. aurantii* en fonction de la localité.

| Stades de développement | TB (ALG) | TB (TRQ) | TC (ALG) | TC (TRQ) |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 ^{er} stade fixe | 0,17±0,001 a | 0,16±0,001 a | 0,12±0,001 a | 0,11±0,001 a |
| 2 ^{ème} stade mâle | 0,40±0,002 a | 0,38±0,002 b | 0,21±0,003 a | 0,18±0,002 b |
| 2 ^{ème} stade femelle | 0,47±0,006 a | 0,37±0,006 b | 0,32±0,003 a | 0,28±0,004 b |
| Prénympe | 0,51±0,006 a | 0,46±0,004 b | 0,23±0,003 a | 0,19±0,005 b |
| Nympe | 0,71±0,001 a | 0,58±0,002 b | 0,28±0,001 a | 0,22±0,002 b |
| Jeune femelle | 0,95±0,002 a | 0,71±0,002 b | 0,69±0,002 a | 0,50±0,002 b |
| Femelle adulte | 2,03±0,004 a | 1,83±0,002 b | 1,63±0,004 a | 1,43±0,003 b |

L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative pour la taille chez le premier stade entre les deux populations de cochenille d'Algérie et de Turquie (Bouclier: F = 3,60; DF = 44; p = 0,064. Corps: F=2,90; DF.=44; p = 0,096). Par contre, nous notons une différence significative entre les deux populations d'Algérie et de Turquie pour les larves du 2^{ème} stade femelle (Bouclier: F = 18,15; DF = 12; p = 0,002. Corps: F= 13,41 ; DF.= 12; p = 0,004), le 2^{ème} stade mâle (Bouclier: F = 9,61 ; DF. = 12 ; p = 0,011 Corps: F= 6,20 ; DF= 12; p = 0,031) et les prénymphe (Bouclier: F = 7,77 ; DF. = 12; p = 0,019 Corps: F=8; DF.= 12; p =0,017). De même que pour les plus âgés, l'analyse de variance montre une différence hautement significative entre les deux populations de cochenille, algérienne et turque : (Nympe (Bouclier: F = 200,90; DF = 80; p <0,0001. Corps: F= 28,25; DF.= 80; p <0,0001), Jeune femelle (Bouclier: F = 107,57; DF.= 112; p <0,0001 ; Corps: F= 65,79; DF.= 112; p <0,0001), Femelle adulte (Bouclier: F = 35,23 ; DF. = 128; p <0,0001 Corps: F= 28,31; DF.= 128; p <0,0001)) et le test de Tukey indique la présence de deux groupe (a et b) pour la

comparaison de chaque stade et de chaque paramètre entre les deux localités. En effet, les individus de la population algérienne sont de taille plus grande que ceux de Turquie, confirmé à travers les deux paramètres taille du bouclier ainsi que celle du corps de la cochenille.

La figure 114 représente les températures minimales, maximales et moyennes en °C à Alger et Antalya durant l'année 2018, montrant clairement que la ville d'Antalya connaît des températures plus élevées qu'Alger.

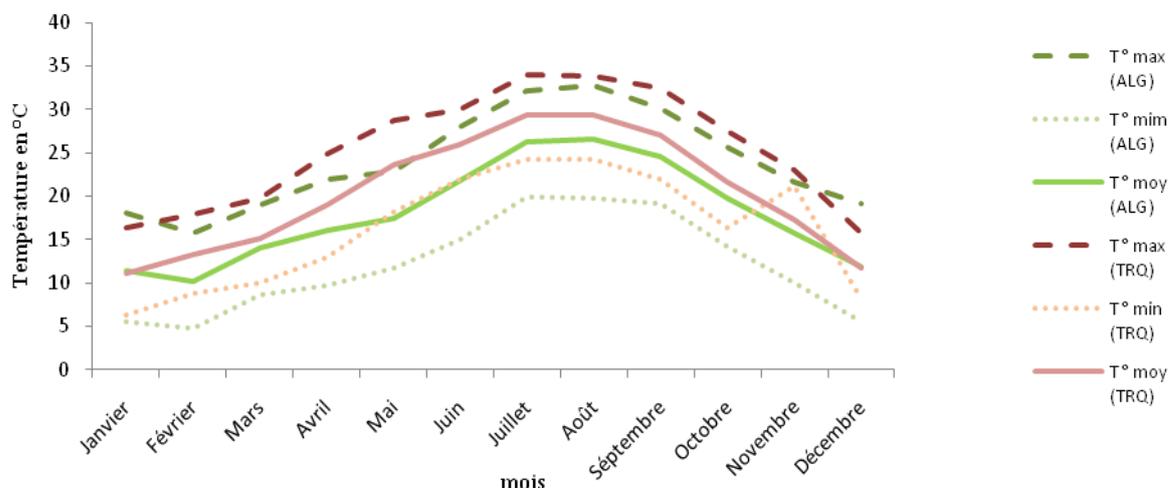


Figure 114. Fluctuation des températures de la ville d'Alger et d'Antalya durant l'année 2018.

D'autre part, Les agrumes prospèrent bien là où les conditions climatiques sont favorables. D'après Loussert (1985), un optimum de végétation oscillant entre 22°C et 26°C alors qu'au delà de 30°C, on constate un arrêt de végétation des arbres.

En l'occurrence, des températures maximales supérieure à 32°C, sont enregistrés au mois de juillet, août et septembre à Antalya coïncidant avec la pousse d'été (deuxième poussée de sève) ce qui provoque certainement un ralentissement ou un arrêt du flux de sève, censé apporté les éléments indispensables au développement du citronnier et indirectement celui de la cochenille entre autres le potassium. Ce dernier affecte les métabolites primaires dans les tissus végétaux et joue des rôles importants dans la vie des cellules animales.

2.2 - Comparaison de la taille entre les deux populations d'*A. aurantii* en fonction de l'organe végétal

Nous avons comparé les mensurations moyennes des boucliers et du corps des stades âgés (nymphes, jeune femelle, femelle adulte) de l'insecte entre les deux pays (Algérie et Turquie) en tenant compte de l'organe végétal (feuille et fruit) sur lequel se fixe la cochenille.

La comparaison de la taille de chaque stade âgé d'*A. aurantii* entre les deux populations fixées sur le même organe végétal (Tab. 14) indique que, pour les deux paramètres (**TB** et **TC**), les individus de la population algérienne restent toujours plus grands que ceux de la population turque.

Tableau 14. La taille moyenne (mm²) du bouclier et du corps des stades âgés (nymphes, jeune femelle et femelle adulte) d'*A. aurantii* en fonction de l'organe végétal.

| Stade de développement | Comparaison de la taille sur feuille | | | | Comparaison de la taille sur fruit | | | |
|------------------------|--------------------------------------|--------------|-------------|--------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| | TB (ALG) | TB (TRQ) | TC (ALG) | TC (TRQ) | TB (ALG) | TB (TRQ) | TC (ALG) | TC (TRQ) |
| Nymphes | 0,69±0,003a | 0,57±0,001 b | 0,25±0,002a | 0,21±0,001 b | 0,73±0,002 a | 0,58±0,002b | 0,30±0,002a | 0,24±0,002 b |
| Jeune femelle | 0,89±0,005a | 0,67±0,004 b | 0,62±0,004a | 0,44±0,004 b | 1,01±0,003 a | 0,75±0,003 b | 0,76±0,004 a | 0,56±0,003b |
| Femelle adulte | 1,96±0,007a | 1,78±0,003 b | 1,57±0,006a | 1,37±0,005 b | 2,10±0,008 a | 1,87±0,003 b | 1,70±0,008 a | 1,49±0,006b |

L'analyse statistique révèle que les individus de la population algérienne demeurent plus grands que ceux de la population turque de manière hautement significative, quel que soit l'organe végétal sur lequel sont fixés (Feuille: Nymphes (Bouclier: $F = 26,15$; $DF = 40$; $p < 0,0001$. Corps: $F = 14,07$; $DF = 40$; $p = 0,0005$), Jeune femelle (Bouclier: $F = 41,99$; $DF = 56$; $p < 0,0001$. Corps: $F = 37,85$; $DF = 56$; $p < 0,0001$) et Femelle adulte (Bouclier: $F = 15,09$; $DF = 64$; $p = 0,0002$. Corps: $F = 16,78$; $DF = 64$; $p = 0,0001$). Fruit: Nymphes (Bouclier: $F = 127,44$; $DF = 40$; $p < 0,0001$. Corps: $F = 23,22$; $DF = 40$; $p < 0,0001$), Jeune Femelle (Bouclier: $F = 112,94$; $DF = 56$; $p < 0,0001$. Corps: $F = 53,63$; $DF = 56$; $p < 0,0001$) et Femelle adulte (Bouclier: $F = 23,93$; $DF = 64$; $p < 0,0001$. Corps: $F = 14,41$; $DF = 64$; $p = 0,0003$)) et le test de Tukey indique la présence de deux groupes (a et b) pour l'analyse de chaque stade et chaque paramètre entre les deux localités selon l'organe végétal.

2.3 - Relation entre la taille des jeunes femelles d'*A. aurantii* et le parasitisme dans les deux populations

Nous avons comparé la taille moyenne des boucliers des jeunes femelles parasitées (**TBP**) par *A. melinus*, avec celle des boucliers des jeunes femelles non parasitées (**TBN**) et en évaluant le taux de parasitisme sur les deux organes végétaux (feuilles et fruits) dans les deux populations de cochenille (algérienne et turque).

La figure 115, montre que la taille moyenne des boucliers parasités (**TBP**) est plus grande que la taille moyenne des boucliers non parasités (**TBN**) sur les deux substrats et dans les deux populations de l'insecte. Les résultats statistiques révèlent qu'*A. melinus* parasite de façon hautement significative les boucliers ayant les plus grandes tailles présents sur fruits pour la population d'Algérie ($F = 8,65$; $DF. = 44$; $p = 0,0005$) et de manière significative les boucliers de grandes tailles trouvés sur feuilles en Algérie ($F = 4,76$; $DF. = 39$; $p = 0,03$) et sur fruits en Turquie ($F = 5.18$; $DF. = 36$; $p = 0,029$). Tandis que les cochenilles fixées sur les feuilles en Turquie, les grandes tailles ne sont pas parasitées significativement ($F = 0,06$; $DF. = 40$; $p = 0,793$). Le test de Tukey indique la présence de deux groupes (a et b).

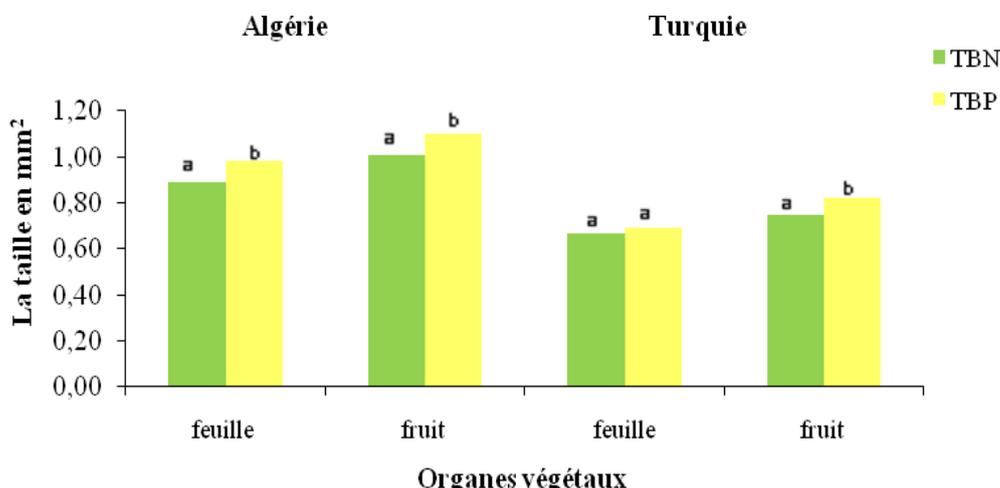


Figure 115. Comparaison entre la taille moyenne des boucliers parasités et non parasités selon l'organe végétal dans les deux populations.

A partir de la figure 116, il ressort que le parasitisme est plus important dans la population d'Algérie par rapport à celle de Turquie. Mais au sein d'une même population (algérienne ou turque), le taux de parasitisme est plus élevé sur les femelles fixées sur les fruits que sur les feuilles. Tous les taux de parasitisme estimés, sont statistiquement différents ($F = 10,91$; $DF. = 39$; $p < 0,0001$). Le test de Tukey indique la présence de deux groupes (a et b) et deux groupes intermédiaires (ab et bc).

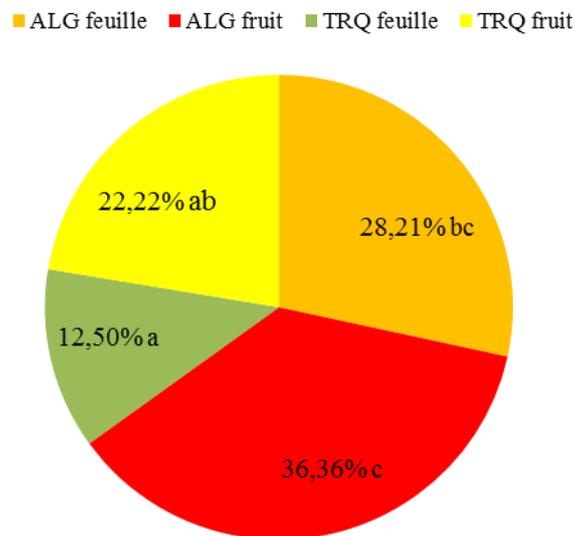


Figure 116. Taux de parasitisme selon l'organe végétal et l'origine géographique d'*A. aurantii*.

2.4 - Relation entre la taille du corps et la taille du bouclier d'*A. aurantii*

Pour les deux populations de cochenille (d'Algérie et de Turquie), nous avons tracé les courbes qui correspondent chacune à un paramètre (taille du bouclier et taille du corps). Nous avons également utilisé une régression pour évaluer la corrélation entre les deux paramètres pour tous les stades de développement de la cochenille. En outre, Nous avons comparé les pentes des lignes de régression entre les organes végétaux (feuille et fruits) pour le stade jeune femelle et femelle adulte.

Les résultats reportés dans les figures 117 et 118 représentent la taille du bouclier et la taille du corps de tous les individus d'*A. aurantii* de la population algérienne et turque respectivement.

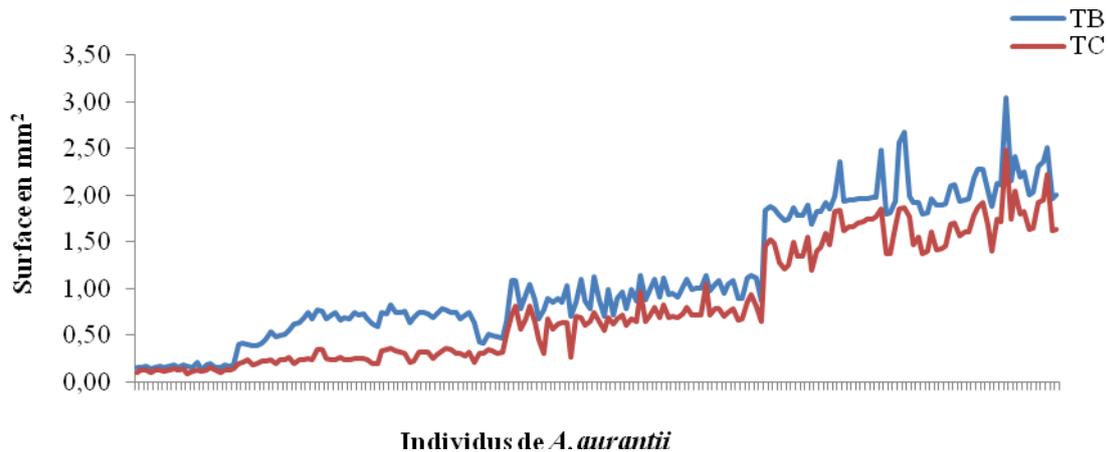


Figure 117. Relation entre la taille du corps et la taille du bouclier de la population algérienne.

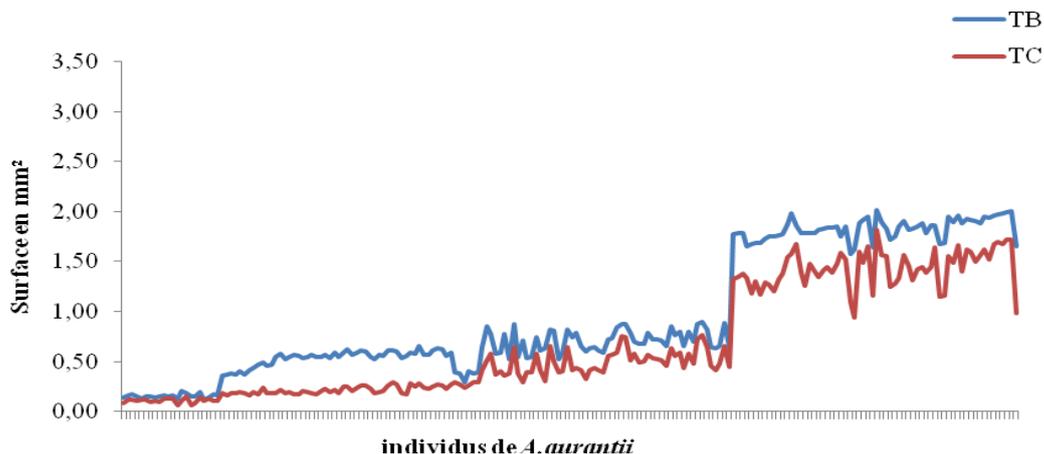


Figure 118. Relation entre la taille du corps et la taille du bouclier de la population turque.

Les figures au-dessus, montrent que l'augmentation de la taille du bouclier (TB) est proportionnelle à celle du corps (TC). Ceci laisse apparaître une synchronisation marquée entre les deux paramètres (taille du bouclier et taille du corps). Cette corrélation est visible chez tous les stades de développement de la cochenille dans les deux populations. Toutes les cochenilles de chacune des deux populations (ALG et TRQ) ont montré que la taille du corps d'*A. aurantii* était corrélée à la taille de son bouclier.

Tableau 15. L'équation de la ligne de régression et le coefficient de corrélation entre la taille du corps et la taille du bouclier de chaque stade des deux populations de la cochenille (algérienne et turque).

| Les stades de développements | Population de cochenille d'Algérie | | Population de cochenille de Turquie | |
|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | L'équation de la ligne de régression | Coefficient de corrélation | L'équation de la ligne de régression | Coefficient de corrélation |
| 1 ^{er} stade fixe | $y = 0,579x + 0,097$ | $R^2 = 0,24$ | $y = 0,429x + 0,108$ | $R^2 = 0,19$ |
| 2 ^{ème} stade male | $y = 0,514x + 0,295$ | $R^2 = 0,46$ | $y = 0,509x + 0,282$ | $R^2 = 0,24$ |
| 2 ^{ème} stade femelle | $y = 1,725x - 0,0812$ | $R^2 = 0,56$ | $y = 1,137x + 0,061$ | $R^2 = 0,49$ |
| Prénympe | $y = 1,3x + 0,208$ | $R^2 = 0,57$ | $y = 0,575x + 0,349$ | $R^2 = 0,43$ |
| Nympe | $y = 0,831x + 0,480$ | $R^2 = 0,67$ | $y = 0,69x + 0,421$ | $R^2 = 0,66$ |
| Jeune femelle | $y = 0,853x + 0,359$ | $R^2 = 0,70$ | $y = 0,756x + 0,334$ | $R^2 = 0,69$ |
| Femelle adulte | $y = 0,963x + 0,456$ | $R^2 = 0,81$ | $y = 0,499x + 1,113$ | $R^2 = 0,80$ |

A partir du tableau 15, on remarque que le coefficient de corrélation R^2 varie entre 0,19 et 0,57 pour les jeunes stades et entre 0,66 et 0,81 pour les stades âgés. On constate que dans les deux populations de cochenille (d'Algérie et de Turquie) le corps d'*A. aurantii* est fortement corrélé à son bouclier chez les stades plus âgés (nympe, jeune femelle, femelle Adulte) où le coefficient de corrélation peut atteindre $R^2 = 0,81$ alors qu'aux jeunes stades (1^{er} stade fixe, 2^{ème} stade mâle et femelle et prénympe) le coefficient de corrélation atteint un maximum de $R^2 = 0,57$. De ce fait, on conclut que plus l'insecte évolue et plus le coefficient de corrélation entre la taille du bouclier et la taille du corps augmente.

La figure 119 représente la comparaison des lignes de régression (entre la taille du corps et la taille du bouclier) du stade jeune femelle et femelle adulte des deux populations d'*A. aurantii* entre les deux organes végétaux (feuille et fruit).

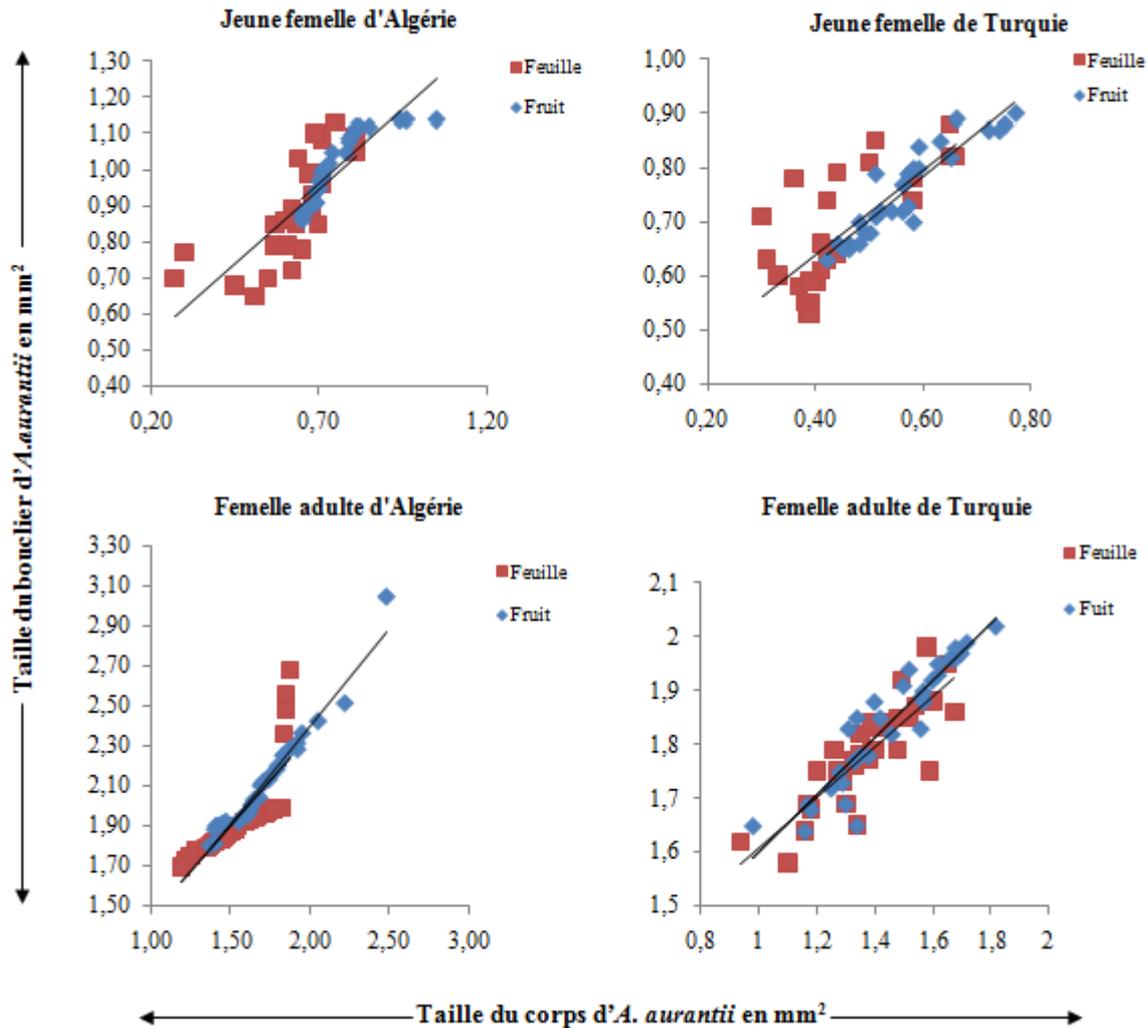


Figure 119. Lignes de régression entre la taille du corps et la taille du bouclier du stade jeune femelle et femelle adulte des deux populations d'*A. aurantii* et sur les deux organes végétaux.

A partir de la figure 119, on remarque que pour une même taille du corps la cochenille peut avoir deux tailles de boucliers différentes, en fonction de l'organe végétal sur lequel elle se trouve. Toutefois, on constate que la corrélation entre la taille du corps et la taille du bouclier est plus importante sur les fruits que sur les feuilles. Effectivement, l'analyse statistique révèle que les lignes de régression étaient significativement différentes ($p < 0,0001$) entre les deux organes végétaux (feuilles et fruits) pour le stade jeune femelle et femelle adulte.

Discussion

Il semblerait que la variation géographique à une influence certaine sur la taille de la cochenille. Cette variation géographique est considérée comme un agent important influençant sur la taille de la cochenille. En effet, Luck et Podoler (1985) ont noté des différences significatives entre des localités de vergers d'agrumes en Californie. Ils notent que les boucliers étaient plus petits allant de la côte vers l'intérieur, avec une tendance liée au climat dans la variation de la taille de cet insecte.

Nous pensons alors que la variation de la taille de la diaspine entre les deux pays (**ALG** et **TRQ**) serait donc liée non seulement aux conditions climatiques mais aussi aux constituants chimiques et biochimiques du citronnier issus de la qualité et la quantité de poussée de sève. Effectivement, dans une étude sur *Parlatoria oleae*, Biche et Sellami (1999) affirment que la plante hôte intervient comme un véritable facteur écologique dont l'action se superpose à celles des autres facteurs. En outre, Pekas (2010) signale avoir observé sous l'influence de la saison une réduction d'environ 50% de la taille du corps des femelles adultes. D'autres travaux ont montré qu'une variation saisonnière notable de la taille de la cochenille, expliquée par l'effet de la température (Yu et Luck, 1988 ; Hare *et al.*, 1990; Hare et Luck, 1994 ; Hare et Morgan, 2000).

Nos résultats relatifs à la comparaison de la taille entre les deux populations d'*A. aurantii* en fonction de l'organe végétal, démontrent que pour les deux paramètres (TB et TC), le substrat n'agit pas sur la variation de la taille d'*A. aurantii* en fonction de la localité et que les plus grandes tailles de la cochenille sont enregistrées sur les feuilles et fruits d'Algérie.

Biche *et al.* (2012) signalent qu'en Algérie *A. aurantii* manifeste une préférence marquée pour les fruits comparativement aux autres parties de l'arbre. En Turquie, Karaca (1998) déclare de son côté que la cochenille était plus abondante sur fruits que sur rameaux et feuilles de manière hautement significatives. Cependant, malgré la qualité et la richesse des éléments nutritifs qui caractérisent le fruit, quelque soit la région, a priori l'influence de la variation géographique sur la taille est beaucoup plus intense que le facteur organe végétal semble insignifiant.

A partir des résultats concernant la relation entre la taille d'*A. aurantii* et le parasitisme, on déduit qu'il y a une relation positive entre la taille de l'hôte et *A. melinus* car le parasite s'attribue significativement les plus grandes hôtes. En effet, les études de Opp et Luck (1986) montrent que les plus forts taux de parasitisme (*A. melinus* et *A. lignanensis*) sont notés sur les hôtes ayant les plus grandes tailles du bouclier.

Dans une étude menée en Turquie sur citronnier, Yarpuzlu *et al.* (2008) déclarent qu'*A. melinus* recherche principalement les individus fixés sur les fruits. Ces résultats sont en accord avec les nôtres, où nous avons trouvé que le taux de parasitisme est plus élevé sur les fruits dans chacune des deux populations de cochenille (algérienne et turque) et confirment bien la présence d'un lien étroit entre l'organe végétal, la taille de l'hôte et le parasitisme.

Luck et Podoler (1985), Yu (1986) et Pekas *et al.* (2010) ont constaté que, la femelle d'*A. melinus* avait la capacité de décider le sexe de sa progéniture en attribuant des œufs mâles principalement à des hôtes de petites tailles inférieures à 0,39 mm² et des œufs femelles à des hôtes de grandes taille supérieure à 0,39 mm². De ce fait, il est possible que la rareté des hôtes appropriés pour la production de femelles par *A. melinus* dans la population de Turquie comparée à celle de l'Algérie, entraîne une évolution vers des sex-ratios favorisant les mâles et par conséquent un taux de parasitisme plus faible. En effet, Pina (2007) a déclaré que les adultes de *A. chrysomphali* issus d'hôtes de grandes tailles étaient significativement plus grands et vivaient presque deux fois plus longtemps que les parasitoïdes issus d'hôtes plus petits. D'autre part, la coexistence avec d'autres prédateurs ou d'autres parasites dans le verger peuvent rentrer probablement en concurrence avec *A. melinus* entraînant la diminution de son efficacité.

Au sujet de la relation entre la taille du corps et la taille du bouclier d'*A. aurantii*, on remarque une parfaite synchronisation entre les deux paramètres (taille du bouclier et taille du corps). Cette corrélation est visible chez tous les stades de développement de la cochenille dans les deux populations. En outre, on constate que dans les deux populations de cochenille (d'Algérie et de Turquie), la corrélation entre la taille du corps et la taille du bouclier est toujours plus grande sur l'organe végétal fruit que sur feuille. Des résultats de corrélations entre le corps et le bouclier de la cochenille ont pareillement été constatés dans l'étude de (Pekas, 2010).

Conclusion

La taille de l'hôte est considérée comme un élément-clé dans la réussite du contrôle biologique d'*A. aurantii* car elle agit fortement sur l'efficacité du parasitoïde. C'est dans ce contexte qu'on a entrepris cette étude, qui vise principalement à comprendre la relation entre la taille de l'insecte et le parasitisme.

Lors de cette étude, nous avons noté une variation de la taille d'*A. aurantii* relative à sa localité. En effet, les cochenilles de provenance d'Algérie sont plus grandes que celles de Turquie. De plus, nous avons constaté que quel que soit l'organe végétal sur lequel se développe la diaspine (feuille ou fruit), la cochenille en provenance d'Algérie reste toujours plus grande que la cochenille issue de Turquie.

Cette étude a mis en évidence une relation positive entre la taille de l'hôte parasité et le taux de parasitisme. Effectivement, nous avons constaté qu'*A. melinus* s'attribue significativement les plus grandes hôtes, ce qui explique le taux de parasitisme élevé noté dans la population algérienne.

D'autre part une corrélation est indiquée entre la taille du corps et la taille du bouclier de tous les individus examinés d'*A. aurantii* des deux populations (algérienne et turque). Le coefficient de corrélations était plus élevé pour les individus âgés (nymphe, jeune femelle, femelle adulte) $r^2 = 0,81$ alors que pour les jeunes stades de cochenille (1^{er} stade fixe, 2^{ème} stade mâle et femelle et prénymphe) r^2 atteint au maximum 0,57 dans les deux populations de cochenille.

Lors de cette étude nous avons constaté aussi que l'influence de ces facteurs dépend intimement du stade de développement de la cochenille. Les stades plus âgés sont plus sensibles par rapport aux jeunes stades qui sont majoritairement indifférents aux facteurs évoqués au-dessus. En outre, nos résultats ont révélé que de grandes mensurations de la cochenille impliquent certainement une efficacité du parasite *A. melinus* et par conséquent un programme de lutte biologique prometteur.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les fortes infestations du Pou rouge de Californie *A. aurantii* dans un verger de citronnier situé à Rouïba, nous ont permis de réaliser un travail de recherche sur ce ravageur, en suivant sa dynamique des populations et en évaluant l'impact de ses deux ennemis naturels à savoir *C. bifascata* et *A. melinus* et cela sur une période de 18 mois.

Au terme de notre étude, nous notons qu'*A. aurantii* manifeste quatre périodes d'activité intense par an. Celles-ci sont représentées par quatre générations annuelles : une génération hivernale, une génération printanière, une génération estivale et une dernière automnale. Ces générations coïncident parfaitement avec la phénologie de la plante hôte ; c'est-à-dire elles concordent avec les quatre poussées de sèves du citronnier. Delà, on conclue que la plante hôte est un facteur déterminant dans le développement de ce bioagresseur. En outre, on constate que la période printanière est la plus propice à la pullulation de la cochenille, nous expliquons cela par le fait que cette saison est caractérisée par des conditions climatiques et nutritionnelles favorables à son évolution.

La répartition spatiale de cette espèce sur l'arbre est étroitement liée au microclimat créé au sein de l'arbre. En effet, la cochenille a une préférence marquée pour l'emplacement Centre de l'arbre. Cet endroit semble lui conférer les conditions d'humidité et de température optimales à son développement. Donc dans le cas, d'un traitement contre ce ravageur, il est nécessaire de l'appliquer minutieusement en atteignant le Centre de l'arbre car c'est à ce niveau là que se trouve la densité la plus élevée du bioagresseur.

Les conditions climatiques saisonnières constituent également un facteur régulateur de l'évolution de la diaspine. Effectivement, l'abondance d'*A. aurantii* diffère significativement selon les saisons. Le printemps et l'été de l'année 2016 sont les périodes les plus favorables au développement de la cochenille. Cela revient certainement aux conditions climatiques spécifiques à chaque saison combinées à la nature et à la qualité de chacune des quatre poussées de sève du citronnier. Cependant, les moyens de lutte doivent être plus rigoureux pendant les périodes favorables aux infestations élevées avec l'entreprise de mesures plus strictes contre ce déprédateur. En outre, une étude du sol est nécessaire, pour connaître la concentration en minéraux (NPK) et éviter éventuellement un apport supplémentaire d'un

quelconque élément se trouvant en excès, car celui-ci pourrait être véhiculé par la sève et favoriserait la pullulation de cette cochenille. Au sujet de la répartition selon l'organe végétal, il apparaît que cette cochenille est beaucoup plus active sur les fruits et les rameaux que sur les feuilles. De la sorte, on conçoit qu'*A. aurantii* se fixe principalement sur les organes qui lui assure une bonne nutrition.

La mortalité atteint tous les stades de développement du Pou rouge de Californie sans exception. Les causes de mortalité sont d'ordre climatiques (climat défavorable), chimiques (les traitements par des pesticides) et physiologiques (Les femelles qui se dessèchent et meurent après la libération des larves).

Par ailleurs, la cochenille préfère les endroits les plus protégés et les moins exposés au soleil ou encore aux aléas climatiques. En l'occurrence, toutes les orientations cardinales semblent être défavorables à son développement et enregistrent des taux de mortalité significativement élevés comparé au Centre de l'arbre qui présente le plus faible taux. Les feuilles suivies des fruits ensuite des rameaux : est un classement par ordre croissant en terme de sensibilité de la cochenille à la mortalité en fonction de l'organe végétal constaté durant notre étude. On déduit que le rameau est l'organe le moins touché par la mortalité, de la sorte, il important d'appliqué soigneusement tout traitement contre ce ravageur afin de parvenir à toucher chaque endroit infesté.

Dans notre site d'étude, le Pou rouge de Californie *A. aurantii* est contrôlé dans la nature par un complexe parasitaire composé de *C. bifasciata* et d'*A. melinus* qui ont fait l'objet de notre étude.

L'étude de la dynamique des populations du *C. bifasciata* durant l'année 2016, révèle l'existence de trois générations en synchronisation avec l'apparition des générations de la cochenille hôte sur citronnier à Rouïba. Cet endoparasite a développé, une génération printanière, une génération estivale et une génération automnale. En outre, semblablement à son hôte, la période printanière paraît comme la plus favorable au développement du parasitoïdes. De ce fait, on remarque que ce parasite suit la même allure que son hôte. On déduit donc que la disponibilité de l'hôte joue un rôle primordial dans la densité des populations du parasite. L'hivernation du *C. bifasciata* s'effectue au stade adulte. D'autre part, on remarque que les températures extrêmes (très élevées ou très basses) agissent

négalement sur le développement du parasitoïde. De même, pour la combinaison du froid et des précipitations, qui affectent l'accroissement des populations de *C. bifasciata*.

L'incidence parasitaire globale de *C. bifasciata* sur la population globale d'*A. aurantii* est évaluée à 3,31% durant toute la période d'étude. Cela reste extrêmement faible mais non négligeable. Toutefois, il faudrait chercher à identifier les causes de cette infime incidence à fin de pouvoir éventuellement y remédier. D'abord, nous pensons que l'utilisation abusive des pesticides contre de nombreux bioagresseurs dans le verger a un impact très préjudiciable sur cet ennemi naturel. De plus, le problème d'encapsulation des œufs du parasitoïde par la cochenille hôte et par conséquent la limitation de la population de *C. bifasciata* n'est pas une contrainte à exclure.

Les stades réceptifs d'*A. aurantii* sont uniquement les femelles (Jeune femelle et femelle adulte), celles-ci offrent au parasite les conditions nutritionnelles nécessaire à son développement. L'incidence parasitaire globale dans les populations femelles est estimée à 9,03%. De plus, la distribution spatiale de ce parasitoïde a montré que celui-ci a une affinité marquée pour le rameau suivi du fruit alors que les feuilles sont moins recherchées. On constate que le comportement de *C. bifasciata* vis-à-vis d'*A. aurantii* reste en fonction de la densité de la cochenille. Effectivement, l'hôte est beaucoup plus présent sur les fruits et les rameaux que sur les feuilles. Durant l'année 2016, c'est la période printanière et automnale qui ont montré des taux de parasitisme importants, de la sorte on constate que le climat saisonnier agit sur l'évolution du parasite. D'ailleurs, *C. bifasciata* a montré une préférence pour l'orientation Sud durant la première année d'étude, alors que l'année suivante, c'est l'orientation Est qui est favorisée par le parasitoïde. Le microclimat créé au niveau de chaque orientations cardinale peut affecter positivement ou négativement le comportement du parasite.

A travers les résultats obtenus sur la dynamique des populations d'*A. melinus* sur citronnier dans la région de Rouïba, nous avons remarqué la présence de trois générations annuelles en 2016, qui concordent avec les périodes de forte abondance d'*A. aurantii*. Cet aspect biologique met en évidence le rôle important que joue l'hôte sur la densité des populations du parasite. De plus, le stade larvaire est considéré comme le stade hivernant du parasitoïde, du fait que c'est le seul stade observable tout en long de la saison hivernale.

Nous avons constaté également la présence deux jusqu'à trois individus du parasite dans le même hôte, cela indique que cet ectoparasite est facultativement grégaire. Nous pensons que ce phénomène est lié principalement à la taille de l'hôte.

Les variations des températures et des précipitations n'influent pas vraiment sur les populations d'*A. melinus*. Néanmoins, la période froide de l'hiver a révélé une certaine sensibilité du parasite aux basses températures où nous avons observé une stabilité dans le développement du parasite à un faible niveau.

L'étude de l'incidence parasitaire d'*A. melinus* dans les populations du Pou rouge de Californie a révélé un taux de 4,27%, en revanche le taux parasitisme dans les populations femelles de la cochenille (le seul stade cible) est relativement élevé et atteint les 11,44%. Cette incidence demeure insuffisante pour contrôler les pullulations d'*A. aurantii* mais entreprendre une initiative dans le but d'améliorer cet impact parasitaire est nécessaire.

On remarque que l'incidence saisonnière du parasite dans la population globale de cochenille est meilleure pendant l'été de l'année 2015 et durant l'automne de l'année 2016. Ce changement à travers les saisons et les années est lié principalement aux conditions climatiques mais aussi à l'utilisation incontrôlée des pesticides.

La répartition spatiale de cet ectoparasite, nous dévoile que celui-ci préfère beaucoup plus les hôtes fixés sur les fruits et les feuilles que sur les rameaux. Nous pensons que cela est en étroite relation avec la qualité nutritionnelle et morphométrique de l'hôte recherché par *A. melinus*. En outre, le Centre de l'arbre présente une incidence parasitaire importante comparé aux autres orientations cardinales, et cela en raison de la disponibilité importante de l'hôte dans cet emplacement ainsi qu'au microclimat favorable qui le caractérise et par conséquent des hôtes de meilleures qualités pour le parasite.

Les deux espèces de parasitoïde coexistent ensemble et se partagent le parasitisme d'un même hôte. En effet, l'évolution comparative du *C. bifasciata* et d'*A. melinus*, montre la présence d'un décalage dans les fluctuations des deux parasitoïdes, ceci indique une forme de coexistence adoptée par les deux parasitoïdes afin de s'entendre dans le partage de l'hôte surtout du fait qu'ils s'intéressent au même stade cible. D'ailleurs, toujours dans la notion de partage d'hôte, nous pensons que cela est lié également à la distribution spatiale du parasite

remarquée lors de cette étude, où nous avons signalé que *C. bifasciata* préfère les cochenilles fixées sur les rameaux et se trouvant sur les différentes orientations cardinales alors que *A. melinus* va plutôt vers les hôtes fixés sur les fruits au centre de l'arbre.

Le parasitisme causé par *C. bifasciata* et *A. melinus* reste très faible dans la région de Rouïba. Toutefois celui-ci n'est pas pour autant dérisoire, au contraire des études plus approfondies doivent être entrepris pour comprendre les causes de ces taux de parasitisme insuffisants et aboutir éventuellement à des solutions visant à maîtriser les pullulations d'*A. aurantii*. Des lâchers devraient être réalisés afin de maximiser l'impact parasitaire, ainsi que l'adoption d'une méthode de lutte intégrée est indispensable. Nous avons noté aussi que l'action d'*A. melinus* est supérieure à celle de *C. bifasciata*, mais l'important reste que c'est deux parasitoïdes ont la capacité de contribuer dans un programme de lutte biologique sans problème de compétitions apparent malgré qu'ils partagent la même niche écologique.

Il est intéressant aussi de prendre en considération le niveau de mortalité naturel de la cochenille, car celui-ci combiné à l'effet des parasites donne des taux de mortalité très intéressants dépassant parfois les 50% de la population globale. Cela peut contribuer considérablement dans un contrôle biologique d'*A. aurantii*.

La taille de l'hôte est considérée comme un élément-clé dans la réussite du contrôle biologique d'*A. aurantii* car elle agit fortement sur l'efficacité du parasitoïde. D'un autre côté, la taille du Pou rouge de Californie peut être influencée par divers facteurs. Il est jugé nécessaire d'étudier et de comprendre les facteurs affectant les mensurations de la cochenille ainsi que la relation entre la taille de l'insecte et le parasitisme.

L'organe végétal sur lequel se développe la cochenille affecte considérablement sa taille, en l'occurrence, nos résultats montrent que le fruit constitue un substrat végétal favorisant l'agrandissement de la taille de la cochenille par rapport aux feuilles et que les grandes mensurations de la cochenille enregistrées sont celles qui étaient fixées sur les fruits dans la population de la cochenille turque. La composition nutritive qui caractérise le fruit agit certainement sur la taille de cochenille.

Le type de plante-hôte attaqué a aussi montré une variation de la taille de la cochenille. En effet, nous avons enregistré des mensurations d'*A. aurantii* plus grandes sur l'oranger que sur le citronnier et le mandarinier en Turquie. Nous avons liée cela aux climats qui pourrait être différent d'une région à une autre (vu que les vergers ne se trouvent pas tous dans le même endroit) et par conséquent agirait sur la taille de la cochenille. Comme ça peut être dû à la présence de l'Azote dans le substrat végétale des orangers, et que ce dernier favoriserait l'agrandissement de la taille de la cochenille.

Nous avons également trouvé des différences significatives de la taille des cochenilles turques relatives à la position des feuilles et des fruits sur lesquels est fixé l'insecte sur l'arbre. L'emplacement Centre sur l'arbre, représente l'endroit manifestant le plus, de grandes mensurations. Alors que le Sud représente l'orientation dans laquelle on trouve le moins, de grandes tailles. De la sorte, on conclue que le microclimat au sein de l'arbre affecte la taille du Pou rouge de Californie.

Une variation de la taille d'*A. aurantii* relative à sa localité est constatée dans ce travail, où on note que les cochenilles de provenance d'Algérie sont plus grandes que celles de Turquie. En outre, quel que soit l'organe végétal sur lequel se développe la diaspine (feuille ou fruit), on a trouvé que la cochenille issue d'Algérie reste toujours plus grande que la cochenille issue de Turquie. On constate que, la variation géographique à une influence certaine sur la taille de la cochenille. Cette variation géographique est liée principalement à la variation du climat.

Cette étude a mis en évidence une relation positive entre la taille de l'hôte parasité et le taux de parasitisme. Effectivement, les plus grandes tailles d'hôtes parasitées ainsi que le taux le plus élevé de parasitisme sont notés dans la population algérienne. En effet, un taux de parasitisme allant jusqu'à 36,36% est enregistré dans la population de cochenille d'Algérie sur les fruits alors que celle de Turquie, le maximum est de l'ordre de 22,22%. Par ailleurs, sur les feuilles, des taux de 28,21% et 12,5% sont enregistrés dans la population algérienne et Turquie respectivement. D'ailleurs, à partir de ces résultats, on peut préconiser d'utiliser des cochenilles hôtes fixées sur fruits dans un éventuel élevage d'*A. melinus*, car celles-ci, offrent aux parasites des hôtes de meilleur qualité nutritive et morphométrique.

D'autre part une corrélation est indiquée entre la taille du corps et la taille du bouclier de tous les individus d'*A. aurantii* des deux populations (algérienne et turque). Le coefficient de corrélations est plus élevé pour les individus âgés (nymphe, jeune femelle, femelle adulte) $r^2 = 0,81$ que pour les jeunes stades de cochenille (1^{er} stade fixe, 2^{ème} stade mâle et femelle et prénymphe) où le r^2 a atteint au maximum 0,57.

Lors de cette étude nous avons constaté que, l'influence de différents facteurs à savoir : l'organe végétal, la plante hôte ainsi que le positionnement de l'organe végétal sur l'arbre dépend intimement du stade de développement de la cochenille. Les stades plus âgés s'avèrent plus sensibles par rapport aux jeunes stades qui sont majoritairement indifférents aux facteurs évoqués au-dessus. De plus nos résultats ont montré que de grandes mensurations de la cochenille impliquent certainement une efficacité du parasite *A. melinus* et par conséquent un programme de lutte biologique prometteur.

On conclue, qu'en Algérie, le problème du faible parasitisme d'*A. melinus* n'est visiblement pas liée à la taille de la cochenille, puisque nos résultats montrent que les plus grandes mensurations ainsi que l'incidence parasitaire la plus importantes sont notées en Algérie. Cependant, il faudrait étudier d'autres facteurs qui pourraient limiter l'activité de ce parasitoïdes, sans pour autant négliger l'aspect morphométrique de l'hôte dans une quelconque initiative de recherche.

Perspective

Cette présente étude concernant la bioécologie d'*A. aurantii* et ses deux principaux parasitoïdes renferme une synthèse d'information précieuse, qui peut être exploitée pour un éventuel programme de lutte biologique contre cette cochenille.

Des études plus approfondies sont envisagées dans un futur proche afin d'apporter d'avantage de connaissance visant à contrôler biologiquement ce déprédateur :

- Essai d'un champignon entomopathogène contre le Pou rouge de Californie.

- Utilisation d'extrait de plante contre ce ravageur dans le but de réduire l'utilisation des pesticides.

Références bibliographiques

- 1 - **Abbasi M., 1973** - *Comperiella bifasciata* How. preliminary study (Hymenoptera, Encyrtidae) endophage Parasite of Californien scale (*Aonidiella aurantii* Mask.). Al Awamia, Rev., Marocaine agronomic research. 46. Royaume of Morocco, 32 p.
- 2 - **Abbasi M., 1980** - Recherche sur deux homoptères fixes des *Citrus*, *Aonidiella aurantii* Mask. (Homoptera : Diaspididae) et *Aleurothrixus floccosus* Mask. (Homoptera : Aleyrodidae). These Doctorat en sciences naturelles / aix-marseille-1(France), 168 p
- 3 - **Abdelrahman I., 1974** - The effect of extreme temperatures on California red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.) (Hemiptera: Diaspididae), and its natural enemies. Australia Journal of Zoology, 22 : 203-212.
- 4 - **Abd-Rabou S. and El Naggar M., 2004** - Predators of armored scale insects in Egypt. *Proceedings of the X International Symposium on Scale Insect Studies*, 1: 267 p
- 5 - **Adda R., 2006**-Rôle d'*Aphytis Lepidosaphes* (Hymenoptera – Aphelinidae) dans population de cochenilles diaspines (Homoptera : Diaspididae) dans un verger de citronnier à Rouïba. Mém. Ing., Inst. Nat. Agron., El – Harrach, 125 p.
- 6 - **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. Agron., El - Harrach, 91p.
- 7 - **Almarinez B.J.M., Amalin D.M., Carandang J.S.R., Navasero M.V. and Navasero M.M., 2014** - First Philippine record of the parasitoid, *Comperiella* sp.(Hymenoptera: Encyrtidae): a potential biocontrol agent against *Aspidiotus rigidus* (Hemiptera: Diaspididae). *Journal of Applied Entomology*, 139(3) : 1-4.
- 8 - **Anis S. B., 2011** - The taxonomic study of Encyrtid parasitoids (Hymenoptera : Chalcidoidea) of Diaspidids from India. *Biology and Medicine*, 3 (2): 342-358.
- 9 - **Agrane S., 2001**- Insectivorie du hérisson d'Algérie *Atelerix algerus* (Léreboullet, 1842 (Mammalia, Insectivora) en Mitidja orientale (Alger) et près du lac Ichkeul (Tunisie). Thèse. Magist , Eco,Nat,Sup,Agr, El-Harrach , 200 p.
- 10 - **Autrique A., Perreaux D., et Goethals M. 1989** - maladies et ravageurs des cultures de la région des grands lacs d'Afrique Centrale (No. 24). (AGCD-Coopération Belge, 232 p
- 11 - **B.I.H.A., 2009** - Fiche variétale d'agrumes. Maroc, n° 14377, 25 p
- 12 - **Bailey J.B. et Morse J.G., 1991** - Citrus Treatment Guide. Cooperative Extension Div.Agric. Nat. Res. Publ. 2903. University of California, Oakland, CA,: 234-245.
- 13 - **Bailly R., Aguitar ., Faiure-Amiot A., Mimaudj. et Patriek G., 1980** -Guide pratique de défense des cultures. 1ere édition Carrousel et ACTA, Paris, 557 p.
- 14 - **Baker J. L., 1976** - Determinants of host selection for species of *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae), parasites of diaspine scales. *Hilgardia*, 44(1) : 1-25.
- 15 - **Balachowsky A.S., 1927** - Etude sur les cochenilles nuisibles du Jardin d'essai du Hamma et sur les traitements susceptibles d'être appliqués en vue de leur destruction. Travaux de l'insectarium du Jardin d'Essai, Alger, 19 p.
- 16 - **Balachowsky A.S., 1928** – Contribution à l'étude des coccidés à l'Afrique mineure : Observations biologiques sur les parasites des coccidés du nord-africain. Bull. Soc. Ent. FR., 280-312.
- 17 - **Balachowsky A.S., 1933** - Contribution to the study of scale insects of North African [12me note]. Diaspines harvested in the region of Tamanrasset (Hoggar Massif) par j.Lauriol. Bull Soc Hist Nat Afr Nord; 24, pp 253-254.
- 18 - **Balachowsky A.S., 1950** - Les cochenilles de France, d'Europe, du Nord de l'Afrique et du Bassin Méditerranéen. V- monographie des Coccoidea; Diaspidinae (deuxième partie) Aspidiotini. Entomologique Applicata Actualités Sciences et Industrielles 1087 : 397-557.

- 19 - **Balachowsky A.S. et Mesnil L., 1935** – Les insectes nuisibles aux plantes cultivées leurs mœurs, leur destruction. Ed. Buisson et Cie, Paris, T. 1, 627 p.
- 20 - **Balboul A. and Helmy M. Y., 2019** - Ecological studies of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Hemiptera : Diaspididae) infested *Citrus sinensis* in Giza Governorate. 8 p.
- 21 - **Barkley N.A., M.L. Roose., R.R. Krueger. and Federici C.T., 2006** - Assessing genetic diversity and population structure in a *Citrus* germplasm collection utilizing simple sequencerepeat markers (SSRs). *Theoretical Applied Genetics* 112: 1519–31.
- 22 - **Barrion A., Almarinez B.J., Amalin D. and Carandang J.S., 2016** – *Comperiella calauanica* sp. n. (Hymenoptera: Encyrtidae), an endoparasitoid of the invasive coconut scale, *Aspidiotus rigidus* Reyne (Hemiptera:Diaspididae) on Luzon Island, Philippines. *Asia life Sciences*, Vol. 25(1) :1-15.
- 23 - **Bayer E.M., Smith R.S., Mandel T., Nakayama N., Sauer M., Prusinkiewicz P. and Kuhlemeier C., 2009** - Integration of transport-based models for phyllotaxis and midvein formation. *Genes Dev.* 23: 373–384.
- 24 - **Bayındır A. et Karaca İ., 2015** - Survey on Natural Enemies of Diaspididae (Hemiptera: Coccoidea) Species in Citrus Orchards in Antalya, Turkey and Record of A New Species for Turkey. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences.*3 (5) : 555-559.
- 25 - **Baziz B., Sekour M., Doumandji S., Denys C., Metref S., Bendjaballah S. et Nadji F.Z., 2005** - Données sur le régime alimentaire de la Chouette chevêche (*Athene noctua*) en Algérie. *Aves*, 42 (1-2) : 149-157.
- 26 - **Beardsley J.W. and González R.H., 1975** - The biology and ecology of armored scales. *Annual Review of Entomology*, 20 : 49-73.
- 27 - **Bedford E.C.G., 1998** - Red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell), In: Citrus pest in the Republic of South Africa. Bedford, E.C.G., M.A., Van den Berg, and E.A. De Villiers (Eds.), Institute for Tropical and Subtropical Crops, South Africa. 132-144.
- 28 - **Bedford C.J. et Cilliers., 1994** - Le rôle d'*Aphytis* dans le contrôle biologique des cochenilles blindées sur les agrumes en Afrique du Sud. Progrès dans l'étude d'*Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae) [édité par Rosen, D.] Andover, UK; Intercept Limited : 143-179
- 29 - **Bedford E.C.G. and Grobler J.H., 1981** - The current status of the biological control of red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.), on citrus in South Africa. Proceedings of the International Citrus Congress. International Society of Citriculture, Tokyo, Japan.
- 30 - **Belabbas A., 2012** - Rapport de mission. Etude de base sur les Agrumes en Algérie. www.ipm-neareast.com. Projet TFS/REM/070/ITA- « Programme régional de gestion intégrée des Ravageurs pour le Proche-Orient».
- 31 - **Belguendouz R., 2005** – Biosystématique des cochenilles diaspines (Diaspididae) d'Algérie. Mem. Magist., Inst. Nat. Agron, El Harrech, Alger, 86 p.
- 32 - **Belguendouz R., 2014** - Relations plantes hôtes cochenilles diaspines sur les agrumes (*Citrus* ssp) en Algérie : cas de *Parlatoria ziziphi* (Lucas, 1853) (Homoptera : Diaspididae). These. Doc., Ecol. Nat. Sup. Agron, 276 p.
- 33 - **Belguendouz R., Biche M. et Bendifallah L., 2017** - Study of trophic relationships between diaspididae family species-host plants-predators and parasitoids in Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1), : 119-15.
- 34 - **Belguendouz R., Biche M., Adda R. et Benfekih A.L., 2013**- Bio-ecology of a *Citrus* pest (*Aonidiella aurantii* Maskell) (Hemiptera, Diaspididae). *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture.*Algerie. 7(1) : 14-20.
- 35 - **Ben Hassena A., 2009** - Induction de réaction de défense chez les plantes pour lutter contre les maladies. Mém. Ing. Inst. Nat. Agron., Tunisie, 107 p.
- 36 - **Benassy C., 1961** - Les sécrétions tégumentaires chez les coccidés. *Ann. Biol.*, n°37 : 165-171
- 37 - **Benassy C., 1975** – Les cochenilles des agrumes dans le bassin méditerranéen. *Ann. Inst. Nat. Agro.* Vol. V, n°6, El-Harrach, Alger: 118-142.

- 38 - Benassy C., 1986- Les cochenilles diaspines chez les citrus. Fruits n°41 : 545-549.
- 39 - Benassy C. et Bianchi H., 1974 - Observation sur *Aonidiella aurantii* Mask. et son parasite indigène *Comperiella bifasciata* How. Bull.SROP, 3. : 39-50
- 40 - Benassy C. et Euverte Y.G., 1967 - Perspectives nouvelles dans la lutte contre *Aonidiella aurantii* au Maroc (Hom., Diaspididae). *Entomophaga*, 12(5) : 449-459.
- 41 - Benediste A. et Baches M., 2002 – Agrumes. Ed. Ugen Ulmer, PARIS, n° 132, 96 p.
- 42 - Benzehra A., 1982 – Importance économique et dégâts de *Milax nigricans* (Gastéropodes Pulmonés) terrestres. Bull. Zool. Agron., Inst., Nat., Agron., El Harrach, (5) : 33-36.
- 43 - Benziada M., 2003 - Hydrogéologie de la plaine de la Mitidja orientale (Algérie). *Bull. Sci. Géog.*, (11) :43-52.
- 44 - Benziane T., Abbassi M. et Jahaz A., 2003 - Comparaison de deux méthodes de lutte intégrée contre les principaux ravageurs associés aux agrumes dans la région du Gharb, Proc. Symp. Prot. Intég. Cult. rég. Méditerr, Rabat. Maroc, : 257–269
- 45 - Bertin Y et Flhor C., 2002 - Note technique sur la culture des agrumes. Projet d'appui aux producteurs de fruits des marquises, 17 p.
- 46 - Biche M., 1987 - Etude biologique d'*Aphytis maculicornis* M. (Hym. Aphelinidae) parasite externe de *Parlatoria oleae* C. (Hom. Diaspididae) ravageur de l'olivier dans la région du Cap Djinet pour une éventuelle lutte biologique, pp.119-145.
- 47 - Biche M., 2012 - Les Principaux Insectes Ravageurs des Agrumes en Algérie et leurs Ennemis Naturels“, F.A.O., Regional Integrated Pest Management Programme in the Near East, Proche Orient, 36 p.
- 48 - Biche M. et Sellami M., 1999-Etude de quelques variations biologiques possibles chez *Parlatoria olea* (Colvée) (Homoptera : Diaspididae). Bull. Soc. Ent. France, 104(3) : 287-292.
- 49 - Biche M., Siafa A., Adda R. et Gherbi R., 2012 - Biologie d'*Aonidiella aurantii* (Homoptera, Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouiba. Lebanese Science journal, Special issue : 59-64.
- 50 - Biche M., Siafa A., Adda R., Agagna Y. et Sellami M., 2011 – Evaluation du Spirotetramate sur les populations de *Lepidosaphesbeckii* sur des agrumes en Algérie. Bull. OILB IOBC/wprs, Integrated Control in Citrus Fruit Crops, 62 : 123-131.
- 51 - Blumberg D., 1997. Parasitoid encapsulation as a defense mechanism in the Coccoidea (Homoptera) and its importance in biological control. *Biological control*, 8 : 225-236.
- 52 - Blumberg D. and R.F. Luck., 1990. Differences in the rates of superparasitism between two strains of *Comperiella bifasciata* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae) parasitizing California red scale (Homoptera: Diaspididae): An adaptation to circumvent encapsulation? *Annals of the Entomological Society of America*, 83: 591-597.
- 53 - Bodenheimer F.S., 1951 - Citrus Entomology in the Middle East with special References to Egypt, Iran, Palestine, Syria, Turkey. Ed The Hague W. Junk, Netherlands, 663 p.
- 54 - Boivin G., Hance T. et Brodeur J., 2012 - Les pucerons parasitoïdes en lutte biologique. *Revue canadienne des sciences végétales*, 92(1) : 1-12.
- 55 - Bolognesi C. et Merlo F.D., 2011 – Pesticides: Human Health Effects. In: Encyclopedia of Environmental Health. Elsevier, Burlington : 438-453.
- 56 - L., 1962 - Les ennemis animaux des plantes cultivées. Ed. S.E.P., Paris, 605 p.
- 57 - Borchsenius N.S., 1966 - A catalogue of the armoured scale insects (Diaspidoidea) of the world. Nauka, Moscow, Leningrad, Russia, 449 p.
- 58 - Borer E T., Murdoch W.W. and Swarbrick S.L., 2004- Parasitoid coexistence: linking spatial field patterns with mechanism. *Ecology*, 85 : 667-678.
- 59 - Boutaleb J. et El Hardouni A.I., 2011 - Monitoring of the California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell), the tetranychid mites and their natural enemies on citrus fruits in the Gharb area (Morocco) Integrated Control in *Citrus* Fruit Crops IOBC/wprs Bulletin Vol. 62, 105 p

- 60 - Bové J.M., 2006 - Huanglongbing. A destructive, Newly emerging, century old diseases of citrus. *J. of plant pathol.*, 88 :7-37.
- 61 - Boyero JR., Vela JM., Wong E., Garcia-Ripoll C. and Verdu MJ et al. 2014 - Displacement of *Aphytis chrysomphali* by *Aphytis melinus*, parasitoids of the California red scale, in the Iberian Peninsula. *Spanish Journal of Agricultural Research* 12 : 244– 251.
- 62 – Brebion G., Carcoue T. et Marc Rauphie J. C., 1999 – L’histoire des agrumes. Ed. S.E.V.E, Service des Espaces Verts et de l’Environnement.
- 63 - Brlansky R.H. et Timmer L.W., 2012 - Florida Citrus Pest Management Guide : Exocortis, Cachexia, and Other Viroids. Florida Citrus Pest Management Guide. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 179 p.
- 64 - Cahuzac Y., 1986- Les cochenilles des ligneux d'ornement. *Phytoma* (No. 383) : 37-38.
- 65 - Cameron J.W., G.E. Carman, R.K. Soost. and J L. Pappas., 1975 - Continued differential resistance among Citrus genotypes to California red scale. *HortScience*, 10 : 515.
- 66 – Jacquemond C., Agostini D. et Curk F., 2009 - Des agrumes pour CEVITAL (Algérie), Biha, 101 p.
- 67 - Carroll D.P. et Luck R.F., 1984 - Bionomics of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera: Diaspididae), on orange fruits, leaves, and wood in California San Joaquin Valley. *Environmental Entomology*, 13 : 847- 853.
- 68 - Catling H. D., 1971. Studies on the citrus red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.), and its biological control in Swaziland. *Journal of the Entomological Society of South Africa*, 34 : 393-411
- 69 - Cayol J.P., Causse R., Louis C. et Barthes J., 1994 - Medfly *Ceratitidis capitata* as a rot vector in laboratory conditions. *Journal of Applied Entomology*, 117 : 338-343.
- 70 - Cebolla R., Bru P., Urbaneja A. et Tena A., 2017 - Does host quality dictate the outcome of interference competition between sympatric parasitoids ?Effects on their coexistence. *Animal Behaviour*, 127, pp 75-81.
- 71 - Chaboussou F., 1975 - “Les facteurs cultureux dans la résistance des agrumes, vis-à-vis de leurs ravageurs“, Séminaire sur : Les insectes et acariens des agrumes (24-28 mars) 1975. *Stat. Zool. Agric. France, (mars1975)*, 37 p.
- 72 - Chafaa S., Biche M., Chenchouni H., Sellami M. et Si Bachir A ., 2013- Effet du climat et de l’exposition sur la dynamique des populations de la cochenille violette, *Parlatoria oleae* Colvée (Hemiptera : Diaspididae), en conditions arides. *Annl. Soc. Entomol. Fr, (N.S.)*, 3 : 291–297.
- 73 - Chance B., Dait MT., Zhang C., Hamaoka T. et Hagerman F., 1992 - Récupération de la désaturation induite par l'exercice dans les muscles quadriceps des rameurs de compétition d'élite. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 262(3) : 766-775.
- 74 - Chapot H. et Delucchi V.L., 1964 - Maladies, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc“, Ed. I.N.R.A. Rabat, 339 p.
- 75 - Chorfa S., 1993 - Recherche sur un nouveau ravageur du clémentinier *Aonidiella aurantii* (Hom : Diaspididae) à Boufarik. *Mém. Ing. Agron. Inst. Nat. Enseig. Sup., Univ. Blida*, 83 p.
- 76 - Cilliers C.J., 1971 - Observations on circular purple scale *Chrysomphalus aonidium* L. and two introduced parasites in Western Transvaal Citrus orchards. *Entomophaga*. 16(3) : 269-284.
- 77 - Cirad., 2013 - Fruitrop : focus Citron. Ed. Cirad, Montpellier, France, 24 p
- 78 - Clausen C.P., 1962 - Entomophagous insects. - Haffner Pub. Comp. N.Y. : 169-188.
- 79 - Compere H., 1926 - New coccid-inhabiting parasites (Encyrtidae, Hymenoptera) from Japan and California. *University of California Publications in Entomology* 4 : 33–50.
- 80 - Compere H., 1955 - A systematic study of the genus *Aphytis* Howard (Hymenoptera, Aphelinidae) with descriptions of new species. *University of California Publications in Entomology*, 10 : 271-320.
- 81 - Courboulex M., 2010 - Les agrumes. Ed. Rustica (France), 120 p
- 82 - Coutanceau M., 1962 - Arboriculture fruitière, technique et économie des cultures de rosacées fruitières ligneuses. 2^{ème} Edition, J.B Baillière et Fils, Paris, 575 p.

- 83 - **Craw A., 1891** – Internal parasites discovered in the San Gabriel Valley, recommendations and notes. Bulletin of the California State Board of Horticulture.
- 84 - **Crouzel I.S., H.G Bimbonim., M. Zanelli. and E.N. Botto., 1973** - Lucha biológica contra la cochinilla roja australiana *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hom. Diaspididae) en cítricos. Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA, Buenos Aires, República Argentina Serie 5, Patología Vegetal, 10: 251-318.
- 85 - **Dajoz R., 1985** – Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris, 505 p.
- 86 - **Dajoz R., 2006** – Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris 551 p.
- 87 - **Dajoz R., 2010** - Dictionnaire entomologique : Anatomie, systématique, biologie. Ed.Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 96 p
- 88 - **De Santis L. and Crouzel I.S., 1994** - Species of *Aphytis* occurring in the Neotropical region and their role in biological control. In: Advances in the Study of *Aphytis*. Rosen, D., (Ed.), Intercept Ltd, Andover, : 257-277.
- 89 - **DeBach P., 1948** - The establishment of the Chinese race of *Comperiella bifasciata* on *Aonidiella aurantii* in southern California. *Journal of Economic Entomology*, **41**: 985 p
- 90 - **DeBach P., 1951** - A biological check method for evaluating the effectiveness of entomophagous insects. *Journal of Economic Entomology*, 44 : 763-766.
- 91 - **DeBach P., 1959**-New species and strains of *Aphytis* (Hymenoptera, Eulophidae) parasitic on the California red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.), in the Orient. *Ann. Entomol. Soc.Amer*, 52, : 354-362.
- 92 - **DeBach P., 1962**. Biological control of the California red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.), on citrus around the world. *XI. Internationaler kongress für entomologie wien 1960*, pp. 749-753.
- 93 - **DeBach P., and Argyriou L.C. 1967** - The colonization and success in Greece of some imported *Aphytis* spp. (Hym. Aphelinidae) parasitic on citrus scale insects (Hom. Diaspididae). *Entomophaga*, 12 : 325-342.
- 94 - **DeBach P. et Rosen D., 1991** - Biological control by natural enemies. Cambridge University Press. New York, USA.n°3 : 435-462.
- 95 - **DeBach P. et Sundby Y.R.A., 1963** - Competitive displacement between ecological homologues. *Hilgardia*, 34(5): 105-166.
- 96 - **Dedryver C. A., Le Ralec A. and Fabre F., 2010** - The conflicting relationships between aphids and men: a review of aphid damage and control strategies. *Comptes rendus biologies*, 333 (6-7): 539-553.
- 97 - **Delucchi V. et Traboulsi R., 1965** – *Habrolepis fanari* n. sp.(Chalc., Encyrtidae), parasite de *Chrysomphalus ficus* Ashmead en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. *Annals Soc. Entomol. Fr. (NS)*, 1 : 495-500.
- 98 - **Dent D., 1991** - Insect Pest Management. C.A.B. International.
- 99 - **Desneaux N.; Decourtye y A.J. et Delpuech M., 2007** - The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81-106.
- 100 - **Djeddaï R., 2017** - Ecologie de *Comperiella bifasciata* (Hym :Encyrtidae) et *Aphytis melinus* (Hym :Aphelinidae) dans les populations du Pou de Californie *Aonidiella aurantii* (Hom : Diaspididae) dans un verger de citronnier à Rouiba.. *Mem.Ing.. Ecol, Nat. Sup. Agron., El-Harrach* 101 p.
- 101 - **Doutt R. L. and DeBach P., 1964** - Some biological control concepts and questions. In: DeBach, P. (ed) *Biological control of insect pests and weeds*. Reinhold Publishing Corporation, New York.
- 102 - **Drea J. J. and Gordon R. D., 1990** - Coccinelidae. In: Rosen, D. (ed) *Armored scale insects: Their biology natural enemies and control* Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, 4 : 19-40.
- 103 - **Dreux P., 1980** - Précis d'écologie. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231p.
- 104 - **Dubreuil N. et A. Leboulanger A., 2015** - Comparaison de quatre itinéraires techniques en agriculture biologique contre le Pou Rouge de Californie. *Compte rendu d'essai. Areflec. France*, 5 p.
- 105 - **Ebeling W., 1959** - Subtropical fruit pests. University of California, Division of Agricultural Sciences, Berkeley, California, 436 pp.

- 106 - El Kaoutaria I., Guirrou Z., Chemseddine M. et Boumezzough A., 2004** - Rôle d'*A. phytis melinus* (Debach) dans le contrôle naturel d'*Aonidiella aurantii* (Maeskell) en verger d'agrumes au Maroc. *Fruit*, 59 (3), 169-179.
- 107 - F.A.O., 1999** - Cahier de production et protection intégrées appliqué à la culture du manguier en Afrique soudano-sahélienne. Projet GCP/RAF, 70 p.
- 108 - F.A.O., 2016** - Citrus fruit fresh and processed—Statistical Bulletin, 77 p.
- 109 - Fabres G., 1979** – Analyse structurelle et fonctionnelle les coccides. *Annales de biologie*, 37 : 321-341.
- 110 - Fabrice L. et Vacerrie R., 1999** –Le grand livre des fruits tropicaux. Édit Orphie CEE., Paris, 189 p.
- 111 - Fabrice L. et Valérie Le Bellec., 2007**-Le verger tropical. Culture des arbres fruitiers. Ed Orphie, 263 p
- 112 - Farghaly D. S., El-Sharkawy A. Z., Abas A. A. and Morsi G. A., 2016** - The Seasonal Population Dynamics of the California Red Scale Insect, *Aonidiella Aurantii* (Maskell) (Homoptera : Diaspididae) and its Parasitoids in Middle Egypt. 8 p
- 113 - Faurie C., 2011**-Ecologie : approche scientifique et pratique. Ed. Tec & Doc. Paris, 168 p.
- 114 - Faurie C., Ferrà C. et Medori P., 1980** – Ecologie Ed. Baillière, Paris : 168.
- 115 - Faurie C., Ferrà C. et Medori P., 1984** – Écologie. Ed. Baillière, Paris : 147 p.
- 116 - Faurie C., Ferrà C., Medori P., Devaux J. et Hemptinne J.L., 2012** –Ecologie, approche scientifique et pratique. Ed. Lavoisier, Paris, 488 p.
- 117 - Fernando LCP., Walter GH., 1999** - Activity patterns and oviposition rates of *Aphytis lingnanensis* females, a parasitoid of California red scale *Aonidiella aurantii*: implication for successful biological control. *Ecological Entomology*, 24 : 416–425.
- 118 - Ferrière C., 1965** - Hymenoptera, Aphelinidae d'Europe et du bassin méditerranéen. *Cent. Nat. Rech. Sci.* Ed. Masson et Cie, Paris, France, 209 p.
- 119 - Flanders S.E., 1944** -Observations on *Comperiella bifasciata*, an endoparasite of diaspine coccids. *Annals Entomological Society of America*, 37, 365–371.
- 120 - Flanders S.E., 1953** - Hymenopterous parasites of three species of oriental scale insects. *Bollettino del Laboratorio di Zoologia Generale e Agraria della Facoltà Agraria in Portici* 33: 14–15.
- 121 - Flanders S.E., 1971** - Multiple parasitism of armored coccids (Homoptera) by hostregulative aphelinids (Hymenoptera), ectoparasites versus endoparasites. *Ed Canadian Entomologist*, 103 (6), pp 857-87.
- 122 - Flint M. L., 1991** - Integrated pest management for citrus, 2nd edition. Publication 3303. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. 14 (2), 111-118.
- 123 - Florence G., 2011** - Guide des agrumes. Ed Institut Klorane, France, 19 p.
- 124 - Foldi I., 1990** - The scale cover. In: *Armored Scale Insects: Their biology, natural enemies and control*, Vol. 4A. Rosen, D., (Ed.), Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, : 43-54.
- 125 - Forster L.D. et Luck R.F., 1996** - The role of natural enemies of California red scale in a IPM program in California *Citrus*, *Proceedings of the International Society of Citriculture*,1: 505-507.
- 126 - Forster L., Luck R. and Grafton-Cardwell E., 1995** - Life stages of California red scale and its parasitoids. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 21529, Oakland, California, USA, 12 p.
- 127 - Furness G O., Buchanan G. A., George R. S. and Richardson N. L., 1983** - A history of the biological and integrated control of red scale, *Aonidiella aurantii* on citrus in the Lower Murray Valley of Australia. *Entomophaga*, 28: 199–212.
- 128 - Garnier M., Latrille J. et Bové J.M., 1976** - Spiroplasma citriand the organism associated with likubin : comparaison of their envelope systems. *Proc 7th Conf. Int. Org.of citrus virologists IOCV*. Riveride :13-17.
- 129 - Gautier M., 1987**.-La culture fruitière, V 1, L'arbre fruitier, Technique et Documentation Ed. Lavoisier, Paris., 492 p.

- 130 - **Gerson U., O'Connor B. M. and Houck A., 1990** - Acari. In: Rosen, D. (ed) *Armored scale insects. Their biology, natural enemies and control..* Elsevier, Oxford, New York, Tokyo, 4: 77-79
- 131 - **Gherbi R., 2010** - Impact du complexe coccinelles-coccidiphages - parasites hyménoptères dans des peuplements de cochenilles diaspines (Homoptera ; Diaspididae) sur agrumes Rouiba. *Mém. Mag. Ecol. Nat. Sup. Agron., El Harrach*, 88 p.
- 132 - **GIEC., 2007** - Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, GIEC. Genève. Suisse, 103 p.
- 133 - **Gieselmann MJ. et Rice RE., 1990** - Utilisation de pièges à phéromones. Écailles blindées, leur biologie, leurs ennemis naturels et leur contrôle. Vol. Amsterdam, Pays-Bas. Ed. Elsevier, 349-352.
- 134 - **Godfray H.C.J., 1994** – Parasitoids : Behavioral and evolutionary ecology. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 473 p.
- 135 - **Gonzalez Z J., Castillo M. et Avilla C., 2015** - Improving the knowledge of *Aphytis melinus* biology to optimize its mass production: influence of food source, host and parasitoid densities. *Bull. Insect. Espagne*. 68 (1), : 31-38.
- 136 - **Grafton-Cardwell Rill SM. et Morse JG., 2008.** - Effets de deux régulateurs de croissance d'insectes et d'un néonicotinoïde sur différents stades de la vie d'*Aphytis melinus* (Hymenoptera : Aphelinidae). *BioControl*, 53 (4), 579-587.
- 137 - **Grout T. et Richards G. I., 1989**-California red scale (Homoptera: Diaspididae) phenology on citrus in South Africa. *Journal of Economic Entomology*, 82, : 793-798.
- 138 - **Guedada F., 2016** - Ecologie du Pou de Californie, *Aonidiella aurantii* (Hom : Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouïba. *Mém. Magist. Ecol. Nat. Sup. Agron. El Harrach*, 104 p.
- 139 - **Guessoum M., 1981** – Etude des acariens des Rosacées cultivées en Mitidja et contribution à l'étude d'une lutte chimique vis-à-vis de *Panonychus ulmi* (koch) (Acarin, Tetranychidae) sur pommier. *Mem Ing. Inst. Nat. Agron., El Harrach*, 105 p.
- 140 - **Guirrou Z., El Kaoutari I., Boumezzough A., Chemseddine M. et Hilal A., 2003** - Contrôle des populations d'*Aonidiella aurantii* (Maskell) en vergers d'agrumes au Maroc. *Fruits*, 58, : 3-11.
- 141 - **Habib A., Salama H.S. and Amin A.H., 1972** - Population of *Aonidiella aurantii* on citrus varieties in relation to their physical and chemical characteristics. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 15 : 324-328.
- 142 - **Hadj Sahraoui M.K., 2007** - Mesures de développement des agrumes “, Publication semestrielle éditée par l'institut national de développement : Agriculture et développement, 70 p.
- 143 - **Hall R.W. et Ehler L.E., 1979** - Rate of establishment of natural enemies in classical biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 25 : 280–282.
- 144 - **Hance T., Van Baaren J., Vernon P. et Boivin G., 2007**- Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomol.*, 52 : 107-126.
- 145 - **Hare J.D. et Luck R.F., 1991** - Indirect effects of citrus cultivars on life history parameters of parasitic wasp. *Ecology*, 72, : 1576-1585.
- 146 - **Hare J.D. and Luck R.F., 1994** - Environmental variation in physical and chemical cues used by the parasitic wasp, *Aphytis melinus*, for host recognition. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, 72: 97-108.
- 147 - **Hare J.D. and Morgan D.J.W., 2000** - Chemical conspicuousness of an herbivore to its natural enemy: Effect of feeding site selection. *Ecology*, 81: 509-519.
- 148 - **Hare J.D., Yu D.S. et Luck R.F., 1990** - Variation in life history parameters of California red scale on different citrus cultivars. *Ecology*, 71 :1451–1460.
- 149 - **Heimpel G. E., Rosenheim J. A. and Kattari D., 1997** - Adult feeding and lifetime reproductive success in the parasitoid *Aphytis melinus*. *Entomologia experimentalis et applicata*, 83(3) : 305-315.

- 150 - Hernández P., Rodríguez, J. M. and Garcia-Marí, F., 2002** - Umbrales de tratamiento para cóccidos diaspididos en cítricos. *Boletín de Sanidad Vegetal-Plagas*, **28** : 469-478.
- 151 - Howard L.O., 1900.** A new genus of Aphelininae from Chile. *Canadian Entomologist*, 32 (6): 167-168.
- 152 - Howard L.O., 1906** - An interesting new genus and species of Encyrtidae. *Entomological News* 17: 121–122.
- 153 - Hulle M., Turpeau E., Leclant F. et Rahn M.J., 1998** - Les pucerons des arbres fruitiers. Cycles biologiques et activité de vol. Ed. Asso. Coord. Tech. Agri.(A.C.T.A) et Inst. Nat. Rech. Agron., Paris, 77p.
- 154 - Imbert E., 2008** - Le dragon jaune sort ses griffes. *Revue Fruit Trop*, n°161.
- 155 - INRA., 1978.** - Généralités sur les cochenilles diaspines. I. N. R. A Antibes. Polycop. 27P. International Citrus Congress, 3: 1067-1073.
- 156 - ITAF., 2002** - Création et conduite d'un verger du pommier. Institut Technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne. 119 p
- 157 - Jacquemond C., Agostini D. et Cur K., 2009-** Des agrumes pour l'Algérie, Bureau d'ingénierie en horticulture et agro-industrie, 4 p
- 158 - Jacquemond C., Marion H. et Coord., 2013** - .Les clémentiniers et autres petits agrumes. Ed.Quae. 368 p.
- 159 - Jacquemond C., Frank C., Marion H. et Coord., 2013** - Les clémentiniers et autres petits agrumes. Ed.Quae, : 17-36.
- 160 - Jervis M. A., Heimpel G. E., Ferns P. N., Harvey J. A. and Kidd N.A., 2001** - Life-history strategies in parasitoid wasps: a comparative analysis of „ovigeny“, *Journal of Animal Ecology*, **70** : 442–458
- 161 - Juan-Blasco M., Verdú M. J., and Urbaneja A., 2008** - Depredación del piojo rojo de California, *Aonidiella aurantii* (Maskell), por fitoseidos depredadores. *Boletín de Sanidad Vegetal-Plagas*, **34** : 187-199.
- 162 - Kaiju W.E.I., 2013** - Bionomics of *Aonidiella aurantii* on *Ligustrum Lucidum*. *Forestry Science &Technology*, 1, 7 p
- 163 - Karaca I., 1998** - Parasitization efficacy of *Aphytis melinus* DeBach (Hymenoptera: Aphelinidae) as affected by host size and size distribution of *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera : Diaspididae) *Turk.entomolerg.* 22 :101-108.
- 164 - Kasraoui M. F.; Braham M.; Denden M.; Mehri H.; Garcia M.; Lamaze T. et Attia F., 2006** - Effet du déficit hydrique au niveau de la phase photochimique du PSII chez deux variétés d'olivier. *Comptes Rendus Biologie*, Volume 329, Issue 2, :98-105
- 165 - Kennett CE. and Hoffmann RW., 1985** - Tracking CRS development by degree days. *California Agriculture*, September–October : 19–20.
- 166 - Kennett C. E., McMurtry J. A. and Beardsley J. W., 1999** - Subtropical and tropical crops.In: Bellows, T. S. and Fisher, T. W. (eds), *Handbook of Biological Control: Principles and Applications*. Academic Press, San Diego, New York., 713-742
- 167 - Kerboua M., 2002** - L'agrumiculture en Algérie. In : D 'Onghia A.M., D jelouah K.,Roistacher C.N., *Proceedings of the Mediterranean research network on certification of citrus (MNCC)*, : 21 -26.
- 168 - Kheder S. B., Jerraya A., Jrad F. et Fezzani M., 2002** - Étude de la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lep. Gracillariidae) dans la région du Cap Bon (Tunisie). *Fruits*, 57(1), : 29-42.
- 169 - Kihal N., 1992** - Etude bioécologique d'*Aonidiella aurantii* Mask (Hom. Diaspididae) sur clémentinier à l'I.T.F.V. de Boufarik et sa relation avec son parasite externe. *Aphytis chrysomphali* M. (Hym., Aphelinidae). *Mém. Ing. Agro. Inst. Nat. Ens. Sup. Univ. Blida (Algérie)*, 60 p.
- 170 - Koutti A. et Bounaceur F., 2013** - Study of damage of thrips on citrus orchards of Mitidja, Alegria.Ed angewandten biologie forschung, 1 (3), : 35-42.
- 171 - Kreiter Ph., Marro J.P. et Dijoux L., 1998** - Le monde mystérieux des cochenilles. In: *Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon*, 67^e année, n°7. : 201-206

- 172 - Lacordaire A.I., Npiron M. et Germain J.F., 2006** - Présentation des principales espèces de cochenilles rencontrées dans les serres tropicales et espèces verts ainsi que les auxiliaires spécifiques et transposables aux plantes d'intérieur. AFPP – 1ère conférence internationale sur l'entretien des espaces verts, jardins, gazons, forêts, zones aquatiques et autres zones non agricoles, Avignon – 11 et 12 octobre 2006, : 456-465.
- 173 - Laporte M.L., 1949** - Les parasites de *Chrysomphalus ficus* Ashmed(Homoptera : Coccoidea) en Algérie. Rev. Path. Veg., Paris, 28(3) : 150-158
- 174 - Lasnami H., 1992** - Contribution à l'étude Bio-écologique de *Parlatoria ziziphi*. Lucas (Hom.Diaspididae) sur clémentinier dans la région de Boufarik et sa relation avec son parasite *Aspidiotiphagus citrinus* Craw (Hym. Aphelinidae), Mém. Ing. Agro. Inst. Nat. Ens. Sup. Univ. Blida (Algérie), 80 p.
- 175 - Llwellyn R., 2002** – The good bug book: Beneficial organisms commercially available in Australia and New Zealand for biological pest control. Ed. Inetegrated pest management P/L. Mundubbera, QLD, Australia : 55-59.
- 176 - Lopez-Llorca LV., 1990** - Purification et propriétés des protéases extracellulaires produites par le champignon nématophage *Verticillium suchlasporium*. *Journal canadien de microbiologie* , 36 (8), 530-537.
- 177 - Loussert R., 1985** - Les Agrumes. Ed. J.B. Ballière, Paris, 138 p
- 178 - Loussert R., 1987** - Les agrumes. Arboriculture. Ed. Lavoisier, Paris, Vol. n°1, 113 p
- 179 - Loussert R., 1989** - Les agrumes. Production. Ed. Lavoisier, Paris, Vol. n° 2, 157 p
- 180 - Luck R.F., 1990** - Évaluation des ennemis naturels pour la lutte biologique : une approche comportementale. *Tendances en écologie et évolution*, 5(6), 196-199
- 181 - Luck R.F., 1995** California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell) Homoptera: Diaspididae. In: Nechols JR, Andres LA, Beasley JW, Goeden RD, Jackson CG (eds), Biological Control in the Western United States. Accomplishments and Benefits of Regional Research Project W-84, 1964–1989. Publication 3361. Oakland, California: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. : 155-157
- 182 - Luck R.F. and Podoler H., 1985** - Competitive exclusion of *Aphytis lingnanensis* by *Aphytis melinus*: Potential role of host size. *Ecology*, 66 : 904-913.
- 183 - Luck R. F.and Uygun Y.N., 1986** -Host recognition and selection by *Aphytis* species: Response to California red, oleander and cactus scale cover extracts. *Entomological Experimental Applied*, 40: 129-136.
- 184 - Luck R., Podoler H. and Kfir R., 1982** -Host selection and egg allocation behaviour by *Aphytismelinus* and *A. lingnanensis*: à comparison of two facultatively gregarious parasitoids. *Ecological Entomology*, 7 : 397- 408.
- 185 - Luck R.F., J.G. Morse., P.B Haney., H.J Griffiths., J.M Barcinas., T.J. Roberts, E.E Grafton-Cardwell. and N.V O'Connell., 1992** - Citrus IPM - It Works! California Grower, 16 : 25-27
- 186 - Lumbierres B., Starý P. et Pons X., 2007** - Parasitisme saisonnier des pucerons des céréales dans un système de grandes cultures méditerranéen. *Journal of Pest Science* , 80 (2), 125-130.
- 187 - Lumbierres B., Starý P. et Pons X., 2011** - Effet du maïs Bt sur les relations tri-trophiques plante-pucerons-parasitoïdes. *BioControl* , 56 (2) : 133-143.
- 188 - M.A.D.R., 2014** - Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural .La Direction des statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information MADR., Algérie.
- 189 - Malipatil MB., Dunn KL. et Smith D., 2000** - An Illustrated Guide to the Parasitic Wasps Associated with Citrus Scale Insects and Mealybug in Australia. Knoxfield, Victoria, Australia: Department of Natural Resources and Environment,152 p.
- 190 - Manaa A., Souttou K., Sekour M., Bendjoudi D., Guezoul O., Bazizneffah F., Doumandji S., Stoetzel E. and Denys C., 2013** -Diet of Blackshouldered Kite *Elanus caeruleus* in a farmland area near Algiers, Algeria. *Ostrich*, 84 (2) : 113-117.
- 191 - Mariau D., 1996** – Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures pérennes tropicales. Ed. Cirad-Quae, Montpellier, 45 p.

- 192 - **Mariau D., 1999** – Les maladies des cultures pérennes tropicales. Ed. Cirad- Quae, Montpellier : 40-67.
- 193 - **Martínez M.A., Soto A. and García-Marí F., 2005**- Prospección de la eficacia de clorpirifos en poblaciones del cóccido *Aonidiella aurantii* (Homoptera: Diaspididae) en parcelas de cítricos de la Comunidad Valenciana. *Levante agrícola*, 375 : 176-182.
- 194 - **Martínez-Ferrer M.T., Grafton-Gardwell E.E. and H. H. Shorey., 2003** - Distruption of parasitism of the California red scale (Homoptera: Diaspididae) by three ant species (Hymenoptera: Formicidae). *Biological Control*, 26 : 279-286.
- 195 - **MATET., 2014** - MATET Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et du Tourisme. Les grands secteurs géographiques de la zone PAC (plan d'aménagement côtier).
- 196 - **McClure M.S., 1980** - Foliar nitrogen: a basis for host suit- ability for elongate hemlock scale, *Fiorinia externa* (Homoptera: Diaspididae). *Ecology*, 61 : 72-79.
- 197 - **Medjdoub Y., 2014.**- Bio-écologie de la cochenille noire *Parlatoria ziziphi* (Homoptera, Diaspididae) sur les agrumes dans la station d'El Fhoul à Tlemcen. Mem. Master, Univ. Tlemcen, 87 p.
- 198 - **Menéndez R., 2007** - How are insects responding to global warming *Tijdschrift voor Entomologie*, 150 (2) : 355-365.
- 199 - **Merahi K., 2002** - Contribution à l'étude de la population du pou de Californie *Aonidiella aurantii* Mask (Homoptera, Diaspididae) sur citronnier dans la région de Boufarik. Mém. Ing. Agron Inst. Nat. El - Harrach, Alger, 59 p.
- 200 - **Merrill R., Gutierrez D., Lewis O., Gutierrez J., Diez S. and Wilson R., 2008** -Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *J. Anim. Ecol.* 77, 145–155.
- 201 - **Milla A., Marniche F., Makhloufi A., Daoudi-Hacini S., Voisin J.F. et Doumandji S., 2012** – Aperçu de l'avifaune du Sahel algérois. *Algerian journal aride environ*, 2 : 3-15.
- 202 - **Miller D.R. and J.A Davidson., 1990** - A list of the armored scale insect pests. In: *Armored scale insects. Their biology, natural enemies and control*, Vol. 4A. Rosen, D., (Ed.), Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, :299-306.
- 203 - **Mohammedi-Boubekka N., 2007** - Biosystématique des Aphidae et leur place dans l'entomofaune de l'oranger dans la plaine de la Mitidja. Mem. Magist. Inst. Nat. Agron. , El Harrach, 156 p.
- 204 - **Molinari K., 1989** – Etude faunistique et comparaison entre trois stations dans le marais de Réghaïa. Mém. Ing. Inst. Nat. Agron., El Harrach, 171 p
- 205 - **Moreno P., Ambros S., Albiach-Martí M. R., Guerri, J., and Peña, L., 2008** - *Citrus tristezavirus* : A pathogen that changed the course of the citrus industry. *Molecular Plant Pathology*,moléculair plant pathology. Valencia. Spain, : 251-268.
- 206 - **Morgan D. and Hare J., 1998** - Volatile cues used by the parasitoid, *Aphytis melinus*, for host location: California red scale revisited. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 88(3) : 235-245.
- 207 - **Mutin G., 1977**- La Mitidja décolonisation et espèces géographiques . Ed. OPU, Alger, 607 p.
- 208 - **Niu J. Z., Hull-Sanders H., Zhang Y. X., Lin,J. Z., Dou W. et Wang J. J., 2014** - Biological control of arthropod pests in citrus orchards in China.*Biological Control*, 68 : 15-22.
- 209 - **Noyes J. S. and Hayat M., 1984** - A review of the genera of Indo-Pacific Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea). *A review of the genera of Indo-Pacific Encyrtidae (Hymenoptera: Chalcidoidea)*, 48(3) : 131-395.
- 210 - **Ode P.J. and Rosenheim J.A., 1998** - Sex allocation and the evolutionary transition between solitary and gregarious parasitoid development. *The American Naturalist*, 152 : 757–761
- 211 - **Opp S.B. and Luck R.F., 1986** - Effects of host size on selected fitness components of *Aphytis melinus* and *Aphytis lignanensis* (Hymenoptera, Aphelinidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 79 : 700-704.
- 212 - **Orphanides G.M., 1982** - Biology of the California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera: Diaspididae) and its seasonal availability for parasitization by *Aphytis* spp.in Cyprus, *Boll. Lab. Entomol. Agric.* “F. Silvestre., 39, : 203-212.

- 213 - Orphanides G.M., 1984.** Competitive displacement between *Aphytis* spp. (Hym. Aphelinidae) parasites of the California red scale in Cyprus. *Entomophaga*, 29 : 275-281.
- 214 - Ouedraogo S., 2002** – Etude diagnostique des problèmes phytosanitaires du manguier (*Mangifera indica* L.), de l'oranger (*Citrus sinensis* L.) et du mandarinier (*Citrus reticulata blanco*) dans la province du Kéné Dougou. *Mém. Ing. Dével. rural*, Burkina Faso, 167 p.
- 215 - Oukil S., 1995** - Effets des insecticides et des radiations ionisantes en relation avec la variabilité (Diptera : Trypetidae). These 3eme cycle : Univ. Aix. Marseille III, Fac. Sc. Tech-St Jerome. 138 p.
- 216 - Ouzzani T., 1984** - Approche bioécologique du pou noir de l'oranger *Parlatoria ziziphi* Lucas (Homoptera ; Diaspididae) dans la Mitidja. *Mém. Ing., Inst. Nat. Agron., El- Harrach*, 72 p.
- 217 - Ozouf M. et Pinchemel P.H., 1961-** Géographie Fernand. Ed. Nathan, France, 319 p.
- 218 - Oztemiz S., Yarpuzlu F. and Karacaoglu M., 2008** - Population dynamics of the California red scale, *Aonidiella aurantii* Maskell, and its parasitoid, *Aphytis melinus* (Howard), in grapefruit orchards in Turkey. *Journal of Entomological Science*, 43 : 291-299.
- 219 - PAC, 2006** - Programme d'aménagement côtier.
- 220 - Panis A., 1977.** Contribución al conocimiento de la biología de la “cochinilla negra de los agríos” (*Saissetia oleae* Olivier). *Boletín de Sanidad Vegetal y Plagas* 3 : 199-205
- 221 - Peacock L., Worner S. and Sedcole R., 2006** - Climate variables and their role in site discrimination of invasive insect species distributions. *Environmental Entomology* , n° 35, : 958-963.
- 222 - 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 p.
- 223 - Pekas A., Aguilar A., Tena A. and Garcia-Mari 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). *Biol. Control* 55: 132–140.
- 224 - Pekas A., Tena A., Harvey J. A., Garcia-Mari F. et Frago E., 2016** - Host size and spatiotemporal patterns mediate the coexistence of specialist parasitoids. *Ecology*, 97(5) : 1345-1356.
- 225 - Perez EQ. 1972** - The biology of the California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Diaspididae: Homoptera). *The Philippine Entomologist* 2 : 227–245.
- 226 - Piguet P., 1960** - Les ennemis animaux des agrumes. Copyright by Societe Sheil d'Algérie : 49 - 55.
- 227 - Pina T., 2007** - Lutte biologique contre le pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera: Diaspididae) et stratégies de reproduction de son principal ennemi naturel *Aphytis chrysomphali* Mercet (Hymenoptera: Aphelinidae). Thèse de doctorat, Université de Valence, Espagne, 384 p.
- 228 - Pirot R., 1998** – La motorisation dans les cultures tropicales. Ed. La librairie du Cirad, Montpellier, France, 218 p.
- 229 - Polese J., 2008** – La culture des agrumes. Ed. Artémis, France, 93p.
- 230 - Praloran C., 1971** - Les agrumes. Ed. editeur 8348, Paris, n° 5, 25 p.
- 231 - Prinsloo G.L., 1996** - The genus *Comperiella* Howard (Hymenoptera: Encyrtidae) in southern Africa: parasitoids of armoured scale insects (Homoptera: Diaspididae). *Afr. Entomol*, 4(2), : 153-160.
- 232 - Quayle H J., 1941** -Insects of citrus and other subtropical fruits. Comstock Publishing Co., Ithaca, New York, 583 p.
- 233 - Quilici S., 2003** - Analyse du Risque Phytosanitaire (ARP), organisme nuisible : *Prays citri* sur les agrumes, 28p.
- 234 - Quilici S., Vincenot D. et Franck A ., 2003-** Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de La Réunion. France : CIRAD - Chambre d'Agriculture de la Réunion, 168 p.

- 235 - **Ramade F., 1984** –Elément d'écologie. Ecologie fondamentale. Ed. Mc Graw-Hill, Paris, 379 p. *Science*, 4(1), 56-60.
- 236 - **Ramade F., 2003** – Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 690 p.
- 237 - **Rebour H., 1966** - Les agrumes Manuel de culture des *Citrus* pour le bassin Méditerranéen. Ed. J.B. Baillière et Fils, Paris, 278 p.
- 238 - **Rebour H., 1950** - "Les agrumes en Afrique du nord". Ed. Union des syndicats de production d'agrumes Alger, 485p.
- 239 - **Régnière J., Powell J., Bentz B., and Nealis V., 2012** - Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: experimental design, data analysis and modeling. *Journal of Insect Physiology*, 58(5), : 634-647.
- 240 - **Rehmat T., Anis M., Khan T., Fatma J. and Begum S., 2011.** Aphelinid parasitoids (Hymenoptera: Chalcidoidea) of armoured scale insects (Homoptera: Diaspididae) from India. *Biol. Med.* 3(2) : 270–281.
- 241 - **Riba k et Silvy L., 1987** - Combattre les ravageurs des cultures, Enjeux et perspectives. Ed. INRA, France, 210p.
- 242 - **Richardson N.L., 1978** - Biological aspects of co-existence between *Comperiella bifasciata* (Hymenoptera: Howard Chalcidoidea : Encyrtidae) and *Aphytis* spp. Howard (Hymenoptera: Chalcidoidea: Aphelinidae). *Proceedings of the International Society of Citriculture*, **1** : 150-153.
- 243 - **Rieger M., 2002** - Mark's Fruit Corps. University of Georgia Horticulture.
- 244 - **Roistacher C.N., 1991** - Graft transmissible disease of citrus. Handbook for Detection and Diagnosis. FAO (eds), Rome, 286 p.
- 245 - **Rosen D., 1994.** Fifteen years of *Aphytis* research - an update. In: *Advances in the Study of Aphytis*, Rosen, D. ed., pp. 3-9. Intercept Ltd, Andover.
- 246 - **Rosen D. and DeBach P., 1978** - Diaspididae. In: Clausen CP (ed.), *Introduced Parasites and Predators of Arthropods Pests and Weeds: A World Review*. AgriculturevHandbook 480. Washington DC: United States Department of Agriculture, :78–128.
- 247 - **Rosen D. and DeBach P., 1979** - Species of *Aphytis* of the world (Hymenoptera: Aphelinidae), Dr. W. Junk Publishers, The Hague, Boston, London, 799 p.
- 248 - **Rosen M. and Debach P., 1990** - Conservation of natural enemies. In:ROSEN, D. [ed.]: *Armored Scale Insects: Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol. B. Elsevier Science Publ., Amsterdam : 461–471.
- 249 - **Rosenheim J. A. and Hongkham D., 1996.** Clutch size in an obligately siblicidal parasitoid wasp. *Animal Behaviour*, **51** : 841–852.
- 250 - **Saharaoui L., 1998-** Les Coccinelles d'Algérie : inventaire préliminaire et régime alimentaire (Coleoptera-Coccinellidae). *Bull. Soc. ent. Fr.*, **103** (3), 213-224.
- 251 - **Salama H.S. et Amin A.H., 1972** - Effect of nutrients supplied to *Citrus seedings* on their susceptibility to infestations with the red *Lepidosaphes beckii* New. (coccoidea). *Zool. Ang. Entomol.*, 71, pp 239-249.
- 252 - **Samways M.J., 1985** - Relationship between red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Hemiptera: Diaspididae), and its natural enemies in the upper and lower parts of citrus trees in South Africa. *Bulletin of Entomological Research*, 75 : 379–393.
- 253 - **Samways M., 2005.** *Insect Diversity Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 254 - **Schmidt S. and Polaszek A., 2007** - *Encarsia* or *Encarsiella* ? – redefining generic limits based on morphological and molecular evidence (Hymenoptera, Aphelinidae). *Systematic Entomology* 32 : 81–94
- 255 - **Segonca C., Uygun. N, Karaca I. and Schade M., 1998** - Primary studies on the parasitoid fauna of Coccoidea in cultivated and non-cultivated areas in the east Mediterranean region of Turkey. *Anzeiger Schädlingkunde, Pflanzen(schutz) und Umweltschutz*, 71 : 128-131.
- 256 - **Sherwood L., Klandorf H. and Yancey P., 2016** – *Physiologie animale*. Ed. De Boeck Superieur, Belgique, 754 p

- 257 - Simone Van EE., 1998 - *La culture fruitière sous les tropique* : 41-44.
- 258 - Siscaro G., Di Franco F. and Zappalà L., 2008 - On the presence and diffusion of *Comperiella bifasciata* How. (Hymenoptera: Encyrtidae) in Southern Italy. *IOBC/WPRS Bulletin*, 38 : 42-45.
- 259 - Siscaro G., S. Longo. and S. Lizzio., 1999 - Ruolo degli entomofagi di *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera: Diaspididae) in agrumeti siciliani. *Phytophaga*, 9 : 41-52.
- 260 - Smaili M C., Abbassi M., Boutaleb J. A., et Blenzar A., 2013 - Richesse spécifique des ennemis naturels associés aux vergers d'agrumes au Maroc : Intérêt et implication pour la lutte biologique. *EPPO Bulletin*, 43(1), : 155-166.
- 261 - Smirnoff W., 1950-Sur la biologie au Maroc de *Rhizobius lophantae* Blaisd. (Col. Coccinelidae). *Rev.Pathol. Vég. Entomol. Agric. Fr.*, 29, : 190-194.
- 262 - Smith J.M., 1957 - Effects of the food plant of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.) on reproduction of its hymenopterous parasites. *The Canadian Entomologist* 89: 219–230.
- 263 - Smith D., Beattie G.A.C. and Broadley R., 1997 - *Citrus* pests and their natural enemies. Integrated pest management in Australia. Dept. Of Primary Industries. Queensland, Australia, 12, : 125-132.
- 264 - Snowden A., 2008 – Post-Harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Ed. CRC Press, 165p.
- 265 - Soares AO., Elias RB. and Schander H., 1997. *Encarsia citrina* (Crawford) (Hymenoptera, Aphelinidae), a parasitoid of *Unaspis citri* (Comstock) and *Lepidosaphes beckii* (Newman) (Homoptera, Diaspididae) in citrus orchards of São Miguel island (Azores) *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas* 23 : 449–456
- 266 - Sorribas J., 2011 - Biological control of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae): spatial and temporal distribution of natural enemies, parasitism levels and climate effects. Thèse. Doc. Valencia, Espagne, 175 p
- 267 - Sorribas, J. and Garcia-Marí, 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.
- 268 - Sorribas J., Baaren J.V. and Ferran G. M., 2012- Effects of climate on the introduction, distribution and biotic potential of parasitoids: Applications to biological control of California red scale. *Biological Control*, 62, 103–112
- 269 - Sorribas J., Rodríguez R. and Garcia-Marí F., 2010 - Parasitoid competitive displacement and coexistence in citrus agro-ecosystems : Linking species distribution with climate. *Ecological Applications* 20 : 1101–1113.
- 270 - Sorribas J., Rodríguez R., Rodrigo E. and Garcia-Marí 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 Bulletin*, 38: 26-33
- 271 - Sorribas J., Garcia, A., Porcuna J.L., Van Baaren J. and Garcia-Mari F. 2013., -Biología, requerimientos climáticos y áreas de establecimiento de *Comperiella bifasciata* y *Encarsia perniciosi*, dos endoparasitoides introducidos en España para el control biológico del piojo rojo de California. *Levante Agrícola*, (414), 29-38.
- 272 - Stewart A.D.G., and Thompson M.W., 1969 - Microtopography of surfaces eroded by ion-bombardment. *Journal of Materials*, 4 : 56-60.
- 273 - Swingle W.T. and Reece P.C., 1967- The Botany of citrus and its wild relatives .IN : (W. Reuther, L. D. Batchelor, H. J. Webber, eds.). *The citrus Industry* University of California Berkeley. Vol.1, pp. 130-190.
- 274 - Tabet O., 2017 – Incidence parasitaire de *Comperiella bifasciata* (Hym : Encyrtidae) et *Aphytis melinus* (Hym : Aphelinidae) dans les populations du pou de Californie *Aonidiella aurantii* (Hom : Diaspididae) dans un verger d'oranger à Rouïba. Mem.master. Ecol, Nat, Sup,Agr, El-Harrach 132 p.
- 275 - Takagi S., 1990 - The adult female. In: *Armored Scale Insects: Their biology, natural enemies, and control*, Vol. 4A. Rosen, D., (Ed), Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, : 5-20.
- 276 - Takarli F., 2012 - Eco éthologie de la cochenille noire *Parlatoria ziziphi* Lucas (Homoptera) sur le clémentinier de la Mitidja. Mem. Magist. Univ. Saad Dahlab, 127 p.

- 277 - **Talhouk A.S., 1975** - Las plagas de los cítricos en todo el mundo. In: Los cítricos. Ciba-Geigy (Ed.), Basilea, Suiza, : 21-27.
- 278 - **Tanaka T., 1961** - Citrologia : semi centennial commemoration papers on *Citrus* studies. Osaka Japan. Technique et documentation, Paris, 492 p
- 279 - **Tena A. and Garcia-Marí F., 2010** - Current situation of citrus pests and diseases in the Mediterranean basin. IOBC/wprs Bulletin, 13 (1) : 89-97.
- 280 - **Thi Hang D., 2012** – Ecology of red scale (*Aonidiella aurantii* (Maskell) [Hemiptera : Sternorrhyncha : Diaspididae]) in citrus orchards on the Central Coast of New South Wales. University of Western Sydney, Australia, 465 p.
- 281 - **Thomas H., Spreen., 2010** - Projections de la production et de la consommation mondiale d'agrumes en Dpt économique de l'alimentation, Univ. Floride Gainesville, États-Unis, 12 p.
- 282 - **Thompson S. N., 1999** - Nutrition and culture of entomophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 44 : 561–592.
- 283 - **Tower DG., 1913** - A new hymenopterous parasite on *Aspidiotus perniciosus* Comst. *Annals of the Entomological Society of America* 6 : 125–126.
- 284 - **Tower DG., 1914** - Notes on the life history of *Prospaltella perniciosi* Tower. *Journal of Economic Entomology* 7: 422–432.
- 285 - **Traboulsi R., 1968** - Prédateurs et parasites d'*Aphytis*. *Entomophaga*, 13(4) : 345-355.
- 286 - **Tumminelli R., Saraceno F., Raciti E. and E Schilirò., 1996** - Impact of ants (Hymenoptera: Formicidae) on some citrus pests in Eastern Sicily. *Proceedings International Society of Citriculture*, 1: 642–648.
- 287 - **Urbaneja A.; Dembilio O.; Tortosa D. and Castañera Y., P., 2004** - Efectos secundarios de tratamientos cebo usados para el control de *Ceratitis capitata*, sobre fauna útil. *Phytoma España*, 160 : 28-40.
- 288 - **Uygun N., 2003** - Las plagas de los cítricos y su control mediante métodos de CIP en Turquía. *Phytoma España*, 153 : 155-167.
- 289 - **Van Driesche R. G., 1983** - Meaning of “percent parasitism” in studies of insect parasitoids. *Environmental entomology*, 12(6) : 1611-1622.
- 290 - **Van Driesche, R.G., M Hoddle. and T Center., 2008** - Control of Pests and Weeds by Natural Enemies, Blackwell, London.
- 291 - **Van Driesche R.G., Bellotti A.C., Castillo J., and Herrera CJ., 1990** - Estimation des pertes totales dues aux parasitoïdes pour une population de terrain d'un insecte se reproduisant en continu, la cochenille du manioc, *Phenacoccus herreni*, (Homoptera: Pseudococcidae) en Colombie, SA. *Entomologiste de Floride* : 133-143.
- 292 - **Van Lenteren J.C., 1994** - Oviposition behavior of *Aphytis* (Hymenoptera, Chalcidoidea, Aphelinidae) parasitoids of armored scale insects (Homoptera, Coccoidea, Diaspididae). In: *Advances in the Study of Aphytis*. Rosen, D., (Ed.), Intercept Ltd, Andover, : 13-39.
- 293 - **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) : 504-532.
- 294 - **Vanaclocha P., Vidal-Quist C., Oheix S., Monton H., Planes L., Catalan J., Tena A., Verdu M.J. and Urbaneja A. 2013** - Acute toxicity in laboratory tests of fresh and aged residues of pesticides used in citrus on the parasitoid *Aphytis melinus*. *J.Pest Sci.*86 (2) : 329-336.
- 295 - **Vanderweyen A., Huet R. and Tedergerber A., 1965** - Trial of 2-aminobutane and the control of citrus green mold. *Al Awamia*, Maroc, 14 :19-28.
- 296 - **Vasseur A. et Schvester D., 1957** - Biologie et écologie du pou de Sain José (*Quadraspidiotus perniciosus*) en France, *Annales des Epiphyties et de Phylogénétique*, Institut National de Recherche Agronomique, Paris, 65,pp 5-161.

- 297 - **Viggiani G., 1988** - Citrus pest in the Mediterranean basin. *Proceedings of the Sixth International Citrus Congress*, 3 : 1067-1073.
- 298 - **Virbel-Alonso C., 2011** - Citron et autres agrumes. Ed. Groupe Eyrolles, 15 p.
- 299 - **Waage J. and Cherry A., 1992** - Quantifying the impact of parasitoids on diamondback moth. *Diamondback Moth and Other Crucifer Pests* : 245-253.
- 300 - **Wäckers F.L., 2005** - Suitability of extrafloral nectar, pollen, and honeydew as insect food sources. In: Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: a protective mutualism and its applications. F.L. Wäckers, P.C.J van Rijn, and J. Bruin (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, : 17-74.
- 301 - **Walker G.P., Zareh N. and Arabaia M.L., 1999** - Effect of pressure and dwell time on efficiency of a high-pressure washer for postharvest removal of California red scale (Homoptera, Diaspididae) from citrus fruit. *J. Econ. Entomol.* 92 (4), 906-914.
- 302 - **White I.M., and Elson Harris M.M., 1992** - Fruit flies of economic significance: their identification and bionomics. CAB International Wallingford: 602 p.
- 303 - **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*, n° 20, pp. 37-47.
- 304 - **Willard J.R., 1973** - Wandering time of the crawlers of California red scale, *Aonidiella aurantii* (Mask.) (Homoptera: Diaspididae), on citrus. *Australian Journal of Zoology*, 20 : 217-229.
- 305 - **Wilson L., and Barnett W., 1983** - Degree-days: an aid in crop and pest management. *California Agriculture*, 37(1): 4-7.
- 306 - **Winkler K., Wackers F., Bukovinszkine-Kiss G. and Van Lenteren J., 2006** - Sugar resources are vital for *Diadegma semiclausum* fecundity under field conditions. *Basic and Applied Ecology*, 7: 133-140.
- 307 - **Wojterski T. W., 1988** - Guide de l'Excursion Internationale de Phytosociologie. Algérie du Nord 1985. Ass. Int. Pour l'Etude de la Végétation. Inst. Nat. Agron., El Harrach, 274 p.
- 308 - **Yarpuzlu F., Oztemyz S. and Karaca M., 2008** - Natural enemies and Population Movement of the California Red Scale, *Aonidiella aurantii* Maskell (Homoptera : Diaspididae) with Efficiency of Parasitoid, *Aphytis melinus* (How.) (Hymenoptera : Aphelinidae) in Lemon Orchards. *J. Ent. Res. Soc.*, Vol 10 (1) : 43-58
- 309 - **Yu D.S., 1986**. The interactions between California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell), and its parasitoids in citrus groves of inland southern California. Ph.D., Dissertation, University of California, Riverside, 105 p
- 310 - **Yu D.S. and 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 : 154-161.
- 311 - **Yu D.S., Luck R.F. and Murdoch W.W., 1990** - Competition, resource partitioning and coexistence of an endoparasitoid *Encarsia perniciosi* and an ectoparasitoid *Aphytis melinus* of the California red scale. *Ecological Entomology* 15 : 469-480
- 312 - **Zappala` L., Campolo O., Grande S., Saraceno F., Biondi A., Siscaro G. and Palmeri V., 2012** - Dispersal of *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) after augmentative releases in *Citrus* orchards. *Eur J Entomol.*, 109 : 561-568
- 313 - **Zivko S., 1972-** Développement nymphal et imaginal des ovaires, comportement de ponte, sexe ratio et déterminisme du sexe chez *Aphytis* (Hymenoptera - Aphelinidae) parasite ectophage des cochenilles Diaspididae (Homoptera). Thèse. Doct. Ecol. Natio. Agro, Meknès, Maroc. Al Awamia. 92 p.

Sites internet :

[http:// www.agraria.org](http://www.agraria.org).

<http://www.agricultura.gva.es/rvfc/index.html>.

[http:// www.CABI.com](http://www.CABI.com).

<http://www.catalogueoflife.org>.

[http:// www.filaha.com](http://www.filaha.com).

<http://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5466516>.

www.fredon-corse.com.

<http://www.nhm.ac.uk/entomology/chalcidoids/index.html> - UniversalChalcidoidea Database - **Noyes J., 2013.**

<http://www.sel.barc.usda.gov/scalenet/scalenet.htm> - **ScaleNet., 2013.**

<http://www.turkstat.gov.tr> - **Turkstat., 2012.**

<http://www.Tutiempo.com>. - **Tutiempo., 2017.**

<http://www.Tutiempo.com>. - **Tutiempo., 2019.**

.

Annexe 1 : Feuille de comptage des stades de la cochenille *Aonidiella aurantii*.

| Date : | Emplacement de l'échantillon dans l'arbre : (Nord,Sud,Est,Ouest,Centre de l'arbre) | | | |
|-------------------------|---|--------------------------------|---------------|--------------|
| Individus | Feuille face supérieure | Feuille face inférieure | Rameau | Fruit |
| Larve 1 mobile vivante | | | | |
| Larve 1 mobile morte | | | | |
| Larve 1 fixée vivante | | | | |
| Larve 1 fixée morte | | | | |
| Larve 2 femelle vivante | | | | |
| Larve 2 femelle morte | | | | |
| Larve 2 mâle vivante | | | | |
| Larve 2 mâle morte | | | | |
| Jeune femelle vivante | | | | |
| Jeune femelle morte | | | | |
| Femelle adulte vivante | | | | |
| Femelle adulte morte | | | | |
| Pronymphe vivante | | | | |
| Pronymphe morte | | | | |
| Nymphe vivante | | | | |
| Nymphe morte | | | | |
| Mâle adulte vivant | | | | |
| Mâle adulte mort | | | | |
| Puparium vide | | | | |

Annexe 2 : Feuille de comptage du parasitoïde *Comperiella bifasciata*.

| <i>Comperiella bifasciata</i> | Larves | Nymphes | Adultes | Bouclier troué |
|-------------------------------|--------|---------|---------|----------------|
| Jeune femelle | | | | |
| Femelle adulte | | | | |

Annexe 3 : Feuille de comptage du parasitoïde *Aphytis melinus*.

| <i>Aphytis melinus</i> | Œufs | Larves | Nymphes | Adultes | Bouclier troué |
|------------------------|------|--------|---------|---------|----------------|
| Jeune femelle | | | | | |
| Femelle adulte | | | | | |

Annexe 4 : Feuille des mensurations de la cochenille *A. aurantii*.

| Date | Emplacement du verger | | orientation | variété |
|---|-----------------------|------------------|--------------------|------------------|
| Les différents stades d' <i>A. aurantii</i> | Feuille | | Fruit | |
| | Taille du bouclier | Taille du corps | Taille du bouclier | Taille du corps |
| | Longueur-Largeur | Longueur-Largeur | Longueur-Largeur | Longueur-Largeur |
| Larve du 1 ^{er} stade fixe | | | | |
| Larve du 2 ^{ème} stade mâle | | | | |
| Prénympe | | | | |
| Nymphe | | | | |
| Larve du 2 ^{ème} stade femelle | | | | |
| Jeune femelle | | | | |
| Femelle adulte | | | | |
| Jeune femelle parasitée | | | | |
| Dénombrement des jeunes femelles mortes | | | | |

Morphometric comparison between two populations of *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera: Diaspididae) from Algeria and Turkey

B. Khadidja^{1*}, K. Ismail², B. Mohammed¹

¹Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Algeria

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Turkey

*Corresponding author E-mail: Khadidja.Boudj@hotmail.com

Received: 01.10.2020. Accepted 01.11.2020

The size of California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879) (Homoptera: Diaspididae) is the most reliable indicator in terms of host quality for *Aphytis melinus* (DeBach, 1959) (Hymenoptera: Aphelinidae) as well as for the efficiency of its biological control. Our study consisted in comparing the cover and body size of each scale developmental stage belonging to two different populations: one from Algeria and the other one from Turkey. The two scale populations were taken from lemon trees during 3 months. We compared measurements between the two localities and also between the plant organs. The larger individuals were those from Algeria. The same results were confirmed through the plant substrate on which scale was fixed: this size variation observed is mainly explained by climatic variations between the two countries and its repercussions on phenology and metabolism of the host plant. In addition, a higher parasitism rate was noticed in the Algerian scale population compared to that of Turkey.

Keywords: *Aonidiella aurantii*; Size of individuals; Algeria; Turkey; *Aphytis melinus*

Introduction

Aonidiella aurantii (Maskell, 1879) (Homoptera: Diaspididae) is considered to be one of the most threatening pest of citrus worldwide (Pekas et al., 2016). However, given the difficulty in controlling it chemically, biological control is an excellent alternative. *Aphytis melinus* (DeBach, 1959) (Hymenoptera: Aphelinidae) is recognized as the most successful natural enemy against the California red scale (Forster & Luck, 1996) since, along with parasitism, it engages in the feeding of the host, causing a significant mortality (Tena et al., 2011). Nevertheless, the effectiveness of this ectoparasitoid is closely related to several factors that can limit its distribution and affect its abundance. Indeed, before making egg-laying decisions, the species of the genus *Aphytis* use a combination of physical characteristics of the host such as the size, the cover shape and the kairomone (Baker, 1976).

According to the literature (Hare & Morgan, 2000; Hare & Luck, 1994; Hare et al., 1993) indicate that the concentration of the non-volatile compound O-caffeoyltyrosine, used by *A. melinus* as a kairomone for the recognition of the host, is qualitatively related to the scale body size. The notion of host size is particularly important for the majority of parasitic hymenoptera, as it can affect the physical condition by affecting longevity, fertility and research capacity (Godfray, 1994; Opp & Luck, 1986).

The host size plays a major role in the effectiveness of the parasite; however, *Aonidiella aurantii* can manifest different sizes depending on where it is found (Pekas et al., 2010; Luck & Podoler, 1985). Thus, a study on scale measurements could help to understand and improve the biological fight against this pest. It is in this context that this work took place, which aimed at comparing the scale size in two different localities, namely: Algeria and Turkey. In order to confirm our results, the comparison was carried out first without taking into account the plant organ and then with consideration of the plant substrate on which the scale was fixed. This work also aimed at highlighting the relation between the California red scale size and parasitism, which represented the main point of this study.

Materials and Methods

Two lemon orchards of the Eureka variety were selected mainly by the abundance of *Aonidiella aurantii* and the natural presence of *Aphytis melinus*. The first orchard was a private farm located in the region of Rouïba (East of Mitidja – Algeria, 36°43'49" N; 3°07'27"E); the second one was located in Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü (BATEM) in Antalya (Turkey, 36°55'22"N; 30°00'23"E). The two orchards were under the same management.

Samples were taken twice a month in september, october and november, 2018. At each field visit, we choose six most infested trees. From each tree, we took five leaves and two fruits from each cardinal direction, with a total of 150 leaves and 60 fruits per field visit. In laboratory, samples were first carefully examined under a binocular magnifier to determine the developmental stage and the state of each individual (parasitized or not). After that, the cover was separated from the body of the scale to carry out the measurements. On the other hand, the adult female stage where the cover and the body remain adhered, the measurements were carried out without separation. In addition, on females parasitized by *Aphytis melinus*, only the cover size was taken into account, because the body was partially or entirely consumed by the parasitoid. Measurements were carried out by using a stereomicroscope with a micrometer in eyepiece. The calculation of the surface (in mm²) was performed by using the maximum length and the maximum width, whether for the cover or for the body of all scales individuals within 0.01 mm (Figure 1).

The data were subject to ANOVA. The averages (Means) were separated by the Tukey's test at a significance level of 5%. All analyses were performed using Excel stat 2014.

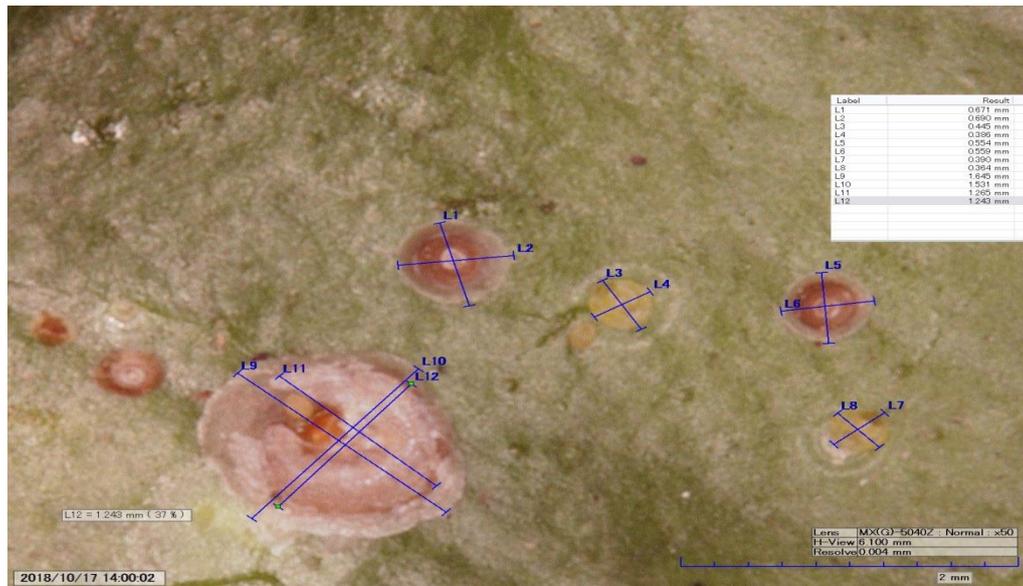


Figure 1. Example of measurements of some individuals of *A. aurantii* from stereomicroscope. The processing of results was as follows:

Comparison of the scale size between the two localities: We compared the average (mean \pm SE) cover size (CS) and body size (BS) of all developmental stages of *A. aurantii* from Algeria (ALG) with that from Turkey (TRK). We also compared climate data (Temperatures) between the two localities (Algiers and Antalya) during the study year (<http://www.Tutiempo.com>).

Comparison of the scale size according to the plant organ: We compared average measurements (mean \pm SE) of the covers and the bodies of physiologically older stages (nymph, virgin female, adult female) of the insect between the two countries (Algeria and Turkey) taking into account the plant organ (leaf and fruit) on which the scale was fixed.

Relationship between the scale size and the parasitism: We compared the average cover size of virgin females parasitized (CSP) by *A. melinus*, with that of virgin females no parasitized (CSN) and evaluated the parasitism rate on the two plant organs (leaves and fruits) in the two scale populations (Algerian and Turkish).

Results

Comparison of the scale size between the two localities

The results reported in Table 1 show that larger scales are those of Algeria compared to those of Turkey.

Table 1. The average size (mm²) of cover (CS) and body (BS) of different *A. aurantii* developmental stages according to the locality (Algeria and Turkey). For each parameter (CS and BS) the row means with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

| Developmental stages | CS (ALG) | CS (TRK) | BS (ALG) | BS (TRK) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1 st fixed stage | 0.17 \pm 0.001 a | 0.16 \pm 0.001 a | 0.12 \pm 0.0 01 a | 0.11 \pm 0.001 a |
| 2 nd stage male | 0.40 \pm 0.002 a | 0.38 \pm 0.002 b | 0.21 \pm 0.003 a | 0.18 \pm 0.002 b |
| 2 nd stage female | 0.47 \pm 0.006 a | 0.37 \pm 0.006 b | 0.32 \pm 0.003 a | 0.28 \pm 0.004 b |
| Prepupa | 0.51 \pm 0.006 a | 0.46 \pm 0.004 b | 0.23 \pm 0.003 a | 0.19 \pm 0.005 b |
| Pupa | 0.71 \pm 0.001 a | 0.58 \pm 0.002 b | 0.28 \pm 0.001 a | 0.22 \pm 0.002 b |
| Virgin female | 0.95 \pm 0.002 a | 0.71 \pm 0.002 b | 0.69 \pm 0.002 a | 0.50 \pm 0.002 b |
| Gravid female | 2.03 \pm 0.004 a | 1.83 \pm 0.002 b | 1.63 \pm 0.004 a | 1.43 \pm 0.003 b |

Statistical analysis did not show any significant difference in size for the first stage between the two scale populations (Algerian and Turkish) (Cover: $F=3.60$; d.f.=1, 43; $P=0.064$. Body: $F=2.90$; d.f.=1, 43; $P=0.096$). On the other hand, we noted a significant difference between the two scale populations of Algeria and Turkey for the physiologically younger stages: 2nd stage female (Cover: $F=18.15$; d.f.=1, 11; $P=0.002$. Body: $F=13.41$; d.f.=1, 11; $P=0.004$), 2nd stage male (Cover: $F=9.61$; d.f.=1, 11; $P=0.011$ Body: $F=6.20$; d.f.=1, 11; $P=0.031$) and prepupa (Cover: $F=7.77$; d.f.=1, 11; $P=0.019$ Body: $F=8$; d.f.=1, 11; $P=0.017$). As for the physiologically older stages, Anova analysis showed a highly significant difference between the two scale populations (Algerian and Turkish): pupa (Cover: $F=200.90$; d.f.=1, 79; $P<0.0001$. Body: $F=28.25$; d.f.=1, 79; $P<0.0001$), virgin female (Cover: $F=107.57$;

d.f.=1, 111 P <0.0001 ; Body: F=65,79; d.f.=1, 111; P <0.0001) and adult female (Cover: F=35,23 ; d.f.=1, 127; P <0.0001 Body: F=28,31; d.f.=1, 127; P <0.0001). Indeed, Algerian scale individuals were larger than those of Turkey, confirmed by the two parameters: cover and body size. Figure 2 indicates the minimum, maximum and average temperatures in °C in Algiers and Antalya during the year 2018, clearly showing that the city of Antalya recorded higher temperatures than Algiers.

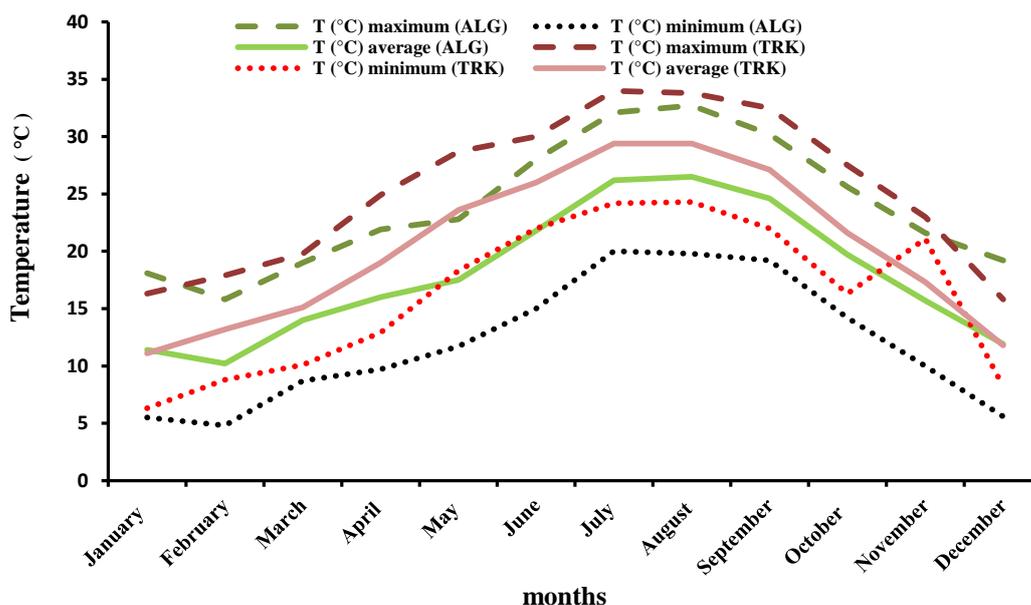


Figure 2. Temperature fluctuation in Algiers and Antalya during the year 2018.

Comparison of the scale size according to the plant organ

The size comparison of each *A. aurantii* stage between the two populations fixed on the same plant organ (Table 2) indicated that, for the two parameters (CS and BS), Algerian scale population always remained larger than Turkish scale population.

Table 2. The average size (mm²) of cover (CS) and body (BS) of physiologically older stages (pupa, virgin female and adult female) according to the plant organ (leaf and fruit) and locality (Algeria and Turkey). For each parameter (CS and BS) and each plant organ the row means with different letters differ significantly (p <0.05).

| Developmental stages | <i>Aonidiella aurantii</i> fixed on leaf | | | | <i>Aonidiella aurantii</i> fixed on fruit | | | |
|----------------------|--|----------------|---------------|----------------|---|---------------|----------------|---------------|
| | CS (ALG) | CS (TRK) | BS (ALG) | BS (TRK) | CS (ALG) | CS (TRK) | BS (ALG) | BS (TRK) |
| Pupa | 0.69 ± 0.003a | 0.57 ± 0.001 b | 0.25 ± 0.002a | 0.21 ± 0.001b | 0.73 ± 0.002 a | 0.58 ± 0.002b | 0.30 ± 0.002a | 0.24 ± 0.002b |
| Virgin female | 0.89 ± 0.005a | 0.67 ± 0.004 b | 0.62 ± 0.004a | 0.44 ± 0.004 b | 1.01 ± 0.003 a | 0.75 ± 0.003b | 0.76 ± 0.004 a | 0.56 ± 0.003b |
| Gravid female | 1.96 ± 0.007a | 1.78 ± 0.003 b | 1.57 ± 0.006a | 1.37 ± 0.005 b | 2.10 ± 0.008 a | 1.87 ± 0.003b | 1.70 ± 0.008 a | 1.49 ± 0.006b |

Statistical analysis revealed that Algerian scale individuals remained significantly larger than Turkish individuals, regardless of the plant organ on which they are attached. On leaf: pupa (Cover: F=26,15; d.f.=1, 39; P <0.0001. Body: F=14.07; d.f.=1, 39 ; P=0.0005), virgin female (Cover: F=41.99; d.f.=1, 55; P <0.0001. Body: F=37.85; d.f.=1, 55; P <0.0001) and adult female (Cover: F=15.09 ; d.f.=1, 63; P=0.0002. Body: F=16.78; d.f.= 1, 63; P=0.0001) also on fruit: pupa (Cover: F=127.44; d.f.=1, 39; P <0.0001. Body: F=23.22; d.f.=1, 39 ; P <0.0001), virgin female (Cover: F=112.94; d.f.=1, 55; P <0.0001. Body: F=53,63; d.f.=1, 55 ; P <0.0001) and adult female (Cover: F=23.93; d.f.=1, 63; P <0.0001. Body: F=14,41; d.f.=1, 63 ; P=0.0003).

Our results show that for the two populations and for the two parameters (CS and BS), plant substrate did not act on *A. aurantii* size variation according to the locality and the largest scale sizes were recorded on leaves and fruits of Algeria.

Relationship between scale size and parasitism

Figure 3 shows that the average size of parasitized cover (CSP) was larger than the average size of non-parasitized cover (CSN) on the two substrates and in the two insect populations. The statistical results reveal that *A. melinus* highly parasitized covers having the largest sizes present on fruits for Algerian scale population (F=8.65; d.f.=1, 43; P=0.0005) and significantly covers of large sizes found on leaves in Algeria (F=4,76; d.f.=1, 38; P=0.03) and on fruits in Turkey (F=5.18; d.f.=1, 35; P=0.029), while scales attached to leaves in Turkey, large sizes were not significantly parasitized (F=0.06; d.f.=1, 39; P=0.793).

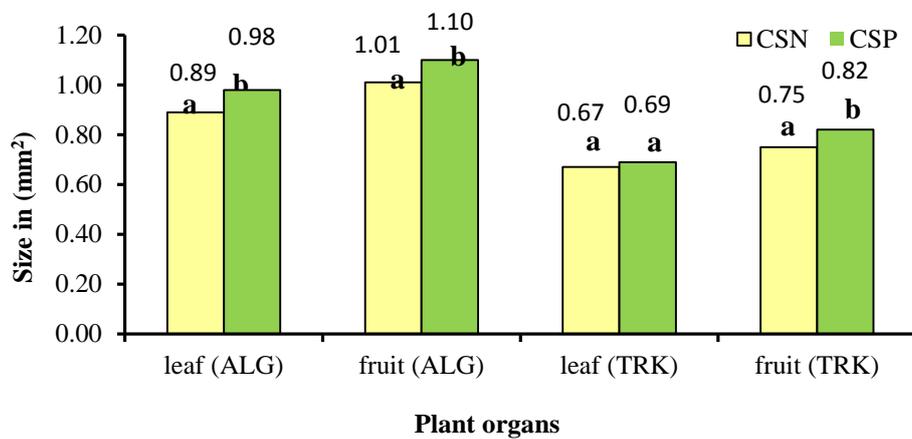


Figure 3. Comparison between the average size of parasitized (CSP) and non-parasitized covers (CSN) according to the plant organ in the two populations. For each plant organ (leaf and fruit) and each country (Algeria and Turkey) means with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

From Figure 4, it appears that parasitism was higher in Algerian scale population compared to the Turkey population, but within the same population (Algerian or Turkish), the parasitism rate was higher on fruits than on leaves.

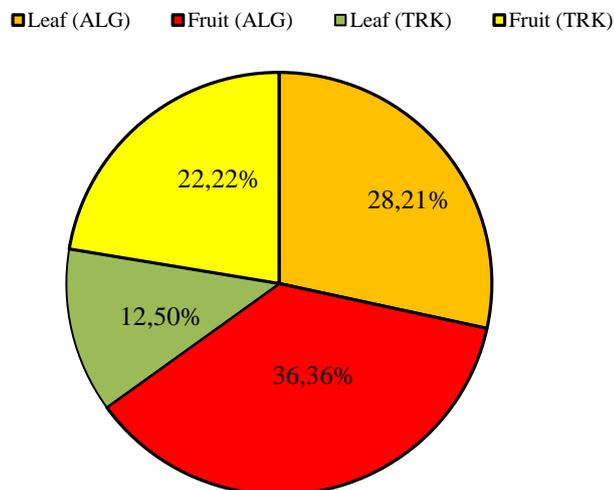


Figure 4. Parasitism rate according to the plant organ and the locality of *A. aurantii*. For each plant organ (leaf and fruit) and each country (Algeria and Turkey).

Discussion

From the results of the size comparison between the two countries, it seems that geographic variation has a significant influence on scale size and it's considered to be an important agent influencing the scale size. Indeed, (Luck & Podoler, 1985) noted significant differences between localities of citrus orchards in California. They found that covers were smaller going from the coast towards the interior of California, with a tendency related to the climate in the scale size variation. On the other hand, Citrus fruits thrive well where the climatic conditions are favorable, according to researcher (Loussert, 1985) an optimum of vegetation oscillating between 22°C and 26°C whereas beyond 30°C we note a stop tree vegetation. In this case, maximum temperatures above 32°C are recorded in July, August and September in Antalya coincide with the summer sap thrust (second sap growth) which certainly causes a slowing or stopping of the sap thrust, supposed to provide essential elements for the development of the lemon tree and indirectly that for the scale among others potassium, which affects the primary metabolites in plant tissues and plays important roles in animal cells life. So, we think that the scale size variation between the two countries would therefore be related not only to climatic conditions but also to the chemical and biochemical constituents of lemon trees derived from the quality and quantity of sap thrust. Indeed, in a study on *Parlatoria oleae* (Colvée, 1880), the two authors (Biche & Sellami, 1999) affirmed that the host plant intervenes as a true ecological factor whose action is superimposed on other factors. In addition, a reduction of about 50% in the body size of adult females of California red scale is observed under seasonal influences in Spain (Pekas, 2011). Other works have shown that a notable seasonal variation on scale size, which they explained by the effect of temperature (Hare & Morgan, 2000; Hare & Luck, 1994; Hare et al., 1990; Yu & Luck, 1988).

Concerning the comparison of the scale size between the two localities according to the plant organ, in Algeria *A. aurantii* showed a marked preference for fruits compared to other parts of the tree (Biche et al., 2012). In Turkey, the scale was more abundant on fruits than on twigs and leaves in a highly significant way (Karaca, 1998). However, despite the quality and richness of the nutrients that characterize the fruit, regardless the region, a priori the influence of geographic variation on the size is much more intense than the plant organ factor seems insignificant, because regardless the plant organ on which the scale develops (leaf or fruit) Algerian scale remains always larger than Turkish scale. The comparison between the average size of the parasitized and non-parasitized scale for the two countries leads us to deduce that there is a positive relation between the host size and the parasitism because the parasite attributes to itself the most important hosts. Similar results were found in another study in Spain (Pekas et al., 2010).

Moreover, the highest parasitism rates of *A. melinus* and *Aphytis lignanensis* (Compere, 1955) are noticed on hosts with the largest cover sizes (Opp & Luck, 1986).

A study carried out by researchers (Yarpuzlu et al., 2008) on lemon trees; showed that *A. melinus* mainly looks for individuals attached to the fruit. These results are in accordance with our results where we found a higher parasitism rate on the fruit than on leaf in the two scale populations (Algerian and Turkish) and confirm the presence of a close connection between the plant organ, the host size and parasitism. The female of *A. melinus* had the capacity to decide the sex of its offspring by attributing male eggs mainly to small size hosts, inferior to 0.39 mm² and female eggs to large size hosts over 0.39 mm² (Pekas et al., 2010; Yu, 1986; Luck & Podoler, 1985). Therefore, it's possible that the scarcity of suitable hosts for the production of females by *A. melinus* in Turkish population compared to that of Algeria, would lead to an evolution towards sex ratios favoring males and consequently a lower parasitism rate. Indeed, the adults of *Aphytis chrysomphali* (Mercet, 1912) from large size hosts were significantly larger and lived almost twice as long as parasitoids from smaller hosts (Desfilis, 2007). On the other hand, coexistence with other predators or other parasites in the orchard can probably compete with *A. melinus* resulting in a decrease in its effectiveness.

Conclusion

The host size is considered to be a key element in the successful biological control of *A. aurantii* because it strongly influences the parasitoid effectiveness. However, it varies considerably depending on the locality where it's situated. Indeed, it depends on the region of the attacked orchard, *A. aurantii* showed large or small measurements. The size variation observed in this work (Algerian scale larger than that of Turkey), is mainly explained by climatic variations between the two countries and its repercussions on phenology and metabolism of the host plant consequently affecting the scale size. In addition, regardless the plant organ on which the scale develops (leaf or fruit), we have found that Algerian scale remains always larger than Turkish scale, then we deduce that the type of plant substrate on which scale grows, doesn't affect the difference in scale size observed between the two localities. A positive relation was noted between the presence of the parasite and the host size, indicating the exploitation of *A. melinus* of high quality hosts (with large size). A parasitism rate of up to 36% is recorded in Algerian scale population while that of Turkey the maximum is about 22%, these results follow those of the size comparison between the two countries where the largest sizes recorded of *A. aurantii* are those coming from Algeria, moreover we think that Algerian scale population offers to the parasite an availability of better quality hosts in terms of size and consequently a higher incidence.

Acknowledgements

The authors extend their thanks to thank Prof. Ismail Karaca for his welcome and his encouragement in his laboratory and Protection of plants in agricultural and natural environments against pests of crops in the regions of Algiers and Blida of the National School of Agronomy (Algier's).

References

- Baker, J. L. (1976). Determinants of host selection for species of Aphytis (Hymenoptera: Aphelinidae), parasites of diaspid scales. *Hilgardia*, 44(1), 1-25.
- 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), 287-292.
- 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, 59-64.
- Desfilis, M. T. P. (2007). Control biológico del piojo rojo de California, *Aonidiella aurantii* (Maskell)(Hemiptera: Diaspididae) y estrategias reproductivas de su principal enemigo natural *Aphytis chrysomphali* (Mercet)(Hymenoptera: Aphelinidae) (Doctoral dissertation, Universitat de València).
- Forster, L. D., & Luck, R. F. (1996). The role of natural enemies of California red scale in an IPM program in California citrus. *Proceedings of the International Society of Citriculture*, 1, 12-17. InB.
- Godfray, H.C.J. (1994). *Parasitoïdes: écologie comportementale et évolutive* (Vol. 67). Presses universitaires de Princeton.
- Hare, J. D., & Luck, R. F. (1994). Environmental variation in physical and chemical cues used by the parasitic wasp, *Aphytis melinus*, for host recognition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 72(2), 97-108.
- Hare, J. D., & Morgan, D. J. W. (2000). CHEMICAL CONSPICUOUSNESS OF AN HERBIVORE TO ITS NATURAL ENEMY: EFFECT OF Feeding Site Selection. *Ecology*, 81(2), 509-519.
- Hare, J. D., Millar, J. G., & Luck, R. F. (1993). A caffeic acid ester mediates host recognition by a parasitic wasp. *Naturwissenschaften*, 80(2), 92-94.
- Hare, J. D., Yu, D. S., & Luck, R. F. (1990). Variation in Life History Parameters of California Red Scale on Different Citrus Cultivars. *Ecology*, 71(4), 1451-1460.
- Karaca, İ. (1998). Parasitization efficacy of *Aphytis melinus* DeBach (Hymenoptera: Aphelinidae) as affected by host size and size distribution of *Aonidiella aurantii* (Maskell)(Homoptera: Diaspididae) in a lemon orchard. *Turkiye Entomol. Dergisi*, 22, 101-108.
- Loussert, R. (1985). *Les agrumes*, vol. 1. Lavoisier, Paris, 113.
- Luck, R. F., & Podoler, H. (1985). Competitive Exclusion of *Aphytis lignanensis* by *A. melinus*: Potential Role of Host Size. *Ecology*, 66(3), 904-913.
- Opp, S. B., & Luck, R. F. (1986). Effects of Host Size on Selected Fitness Components of *Aphytis melinus* and *A. lignanensis* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 79(4), 700-704.
- Pekas, A. (2011). Factors affecting the biological control of California red scale *Aonidiella aurantii* (Hemiptera: Diaspididae) by *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae) in eastern Spain citrus: host size, ant activity, and adult parasitoid food sources ((PhD Thesis). Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain).
- Pekas, A., Aguilar, A., Tena, A., & 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(2), 132-140.
- Pekas, A., Tena, A., Harvey, J. A., Garcia-Marí, F., & Frago, E. (2016). Host size and spatiotemporal patterns mediate the coexistence of specialist parasitoids. *Ecology*, 97(5), 1345-1356.
- Tena, A. & Garcia-Marí, F. (2011). Situation actuelle des ravageurs et maladies des agrumes dans le bassin méditerranéen. *IOBC Bull*, 62, 365-368.

- Yarpuzlu, F., Öztemiz, S., & Karacaoğlu, M. (2008). Natural Enemies and Population Movement of the California Red Scale, *Aonidiella aurantii* Maskell (Homoptera: Diaspididae) with Efficiency of Parasitoid, *Aphytis melinus* (How.) (Hymenoptera: Aphelinidae) in Lemon Orchards. *Journal of the Entomological Research Society*, 10(1), 43-58.
- Yu, D. S. (1986). The interactions between California red scale, *Aonidiella aurantii* (Maskell), and its parasitoids in citrus groves of inland southern California (PhD Thesis). University of California, Riverside.
- 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), 154–161.
-

Citation:

Khadidja, B., Ismail, K., Mohammed, B. (2020). Morphometric comparison between two populations of *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Homoptera: Diaspididae) from Algeria and Turkey. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(5), 240-244.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License

العنوان : إيكولوجيا القشرية الكاليفورنية (Hom :Diaspididae) (*Aonidiella aurantii*(Maskell,1879) في أشجار الليمون في منطقة الروبية

ملخص: أجريت هذه الدراسة داخل بستان ليمون المتواجد على مستوى منطقة الروبية خلال الفترة الممتدة من شهر جويلية 2015 إلى غاية شهر ديسمبر 2016 ، أين أظهرت أن القشرية الكاليفورنية *Aonidiella aurantii* تطور أربعة أجيال خلال السنة. التطور الفصلي لهذه الحشرة يتزامن مع التدفق الفصلي للنسغ، كما وجدنا ان توزيعها كثيف في مركز الشجرة وعلى مستوى الفاكهة والأغصان مقارنة بالأوراق. أما بالنسبة للوفاة الطبيعية فهي تحدث لسبب قد يكون مناخي، كيميائي، أو فسيولوجي. كذلك قمنا بدراسة دور *Comperiella bifasciata* و *Aphytis melinus* في تنظيم مستوى القشرية الكاليفورنية، فإن هذين الطفيلين قد طوروا ثلاث أجيال موافقة لتطور القشرية الكاليفورنية. إن الأنثى البالغة هي المرحلة التطورية المستهدفة الوحيدة لهذين الطفيليتين. هاتين الحشرتين الطفيليتين تتعايشان وتتشاركان نفس الحشرة المضيفة. التأثير الطفيلي لـ *C. bifasciata* في إناث القشرية الكاليفورنية هي 9.03% ويفضل هذا الطفيل الافراد المضيفة المتواجدة في الغصن. أما نسبة التطفل لـ *A. melinus* في اناث القشرية الكاليفورنية هي 11.44% و أعلى نسبة التطفل سجلت على مستوى الفواكه. يشكل حجم القشرية الكاليفورنية المعيار الأكثر موثوقية من حيث جودة المضيف لـ *A. melinus* في مكافحة الحبوية. لذلك تم إجراء دراسة تكملية في منطقة أنطاليا الواقعة في تركيا، من بداية شهر سبتمبر الى غاية نهاية نوفمبر 2018. دراسة بعض العوامل التي تؤثر على قياسات أفراد القشرية الكاليفورنية في تركيا، تكشف مايلي : نوع العضو النباتي، نوع الحمضيات، موضع العضو النباتي على الشجرة، كلهم يؤثر على حجم الحشرة المضيفة. وجدنا أن الفواكه تؤثر على زيادة الحجم. كما سجلنا ملاحظات مماثلة (قياسات كبيرة) على شجرة البرتقال والموقع المركزي للشجرة. بالإضافة إلى ذلك، تمت مقارنة أحجام أفراد كل مرحلة من المراحل التطورية القشرية الكاليفورنية من مجموعتين مختلفتين؛ واحدة من الجزائر والأخرى من تركيا مأخوذة من أشجار الليمون. أظهرت النتائج أن الأفراد الأكبر حجما قادمة من الجزائر. بالإضافة إلى ذلك، لوحظ أن معدل التطفل مرتفع في أفراد القشرية الكاليفورنية من الجزائر مقارنة بتركيا.

الكلمات المفتاحية: *A. aurantii*، *C. bifasciata*، *A. melinus*، أشجار الليمون، التطفل، حجم الأفراد ، الجزائر ، تركيا.

Titre : Ecologie du Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879) (Homoptera: Diaspididae) sur citronnier dans la région de Rouïba.

Résumé : Cette étude est menée dans un verger de citronnier dans la région de Rouïba au cours de la période allant de juillet 2015 jusqu'à décembre 2016. Le suivi de l'écologie du Pou rouge de Californie *Aonidiella aurantii* a montré que l'espèce évolue en quatre générations annuelles. Au sujet de la phénologie saisonnière de cette cochenille, elle coïncide avec les quatre poussées de sève du citronnier. De plus, ce ravageur présente une préférence marquée pour les fruits et les rameaux alors que les feuilles sont moins recherchées. L'emplacement Centre de l'arbre est l'endroit le plus privilégié par la cochenille. La mortalité naturelle de ce déprédateur est très élevée, elle est d'ordre climatique, chimique et physiologique. Nous avons étudié également le rôle du *Comperiella bifasciata* et de l'*Aphytis melinus* dans la régulation des niveaux d'infestations du Pou rouge de Californie. Ces deux parasitoïdes coexistent ensemble et se partagent le même hôte. Ils ont développé chacun trois générations annuelles qui suivent la même évolution de la cochenille. Par ailleurs, la femelle adulte du Pou rouge de Californie est le seul stade cible de ces deux ennemis naturels. L'impact parasitaire de *C. bifasciata* sur les femelles de l'hôte est de 9,03%, cet endoparasite préfère le rameau. Toutefois, l'incidence parasitaire de l'*A. melinus* dans la population femelle adulte de la cochenille est de 11,44%. Celle-ci est plus importante sur le fruit. La taille du Pou rouge de Californie *A. aurantii* constitue le repère le plus fiable en terme de qualité de l'hôte pour *A. melinus* ainsi pour l'efficacité de son contrôle biologique. De ce fait, une étude complémentaire est réalisée à Antalya en Turquie, du début du mois de septembre jusqu'à la fin du mois de novembre 2018. L'étude de quelques facteurs affectant les mensurations de la population de cochenille turque révèle que le type d'organe végétal, la variété d'agrumes et le positionnement de l'organe végétal sur l'arbre agissent sur la taille de l'insecte hôte. En effet, nous avons trouvé que le fruit favorise l'agrandissement de la taille de la cochenille. Des observations similaires (Des grandes mensurations) sont notées sur l'oranger et l'emplacement Centre de l'arbre. En outre, on a comparé la taille du bouclier et du corps de chaque stade de développement du Pou rouge de Californie appartenant à deux populations différentes ; l'une provenant d'Algérie et l'autre de Turquie prélevées sur citronnier. Les résultats ont montré que les individus de plus grandes tailles sont ceux en provenance d'Algérie. De plus, un taux de parasitisme plus important est noté dans la population de cochenille algérienne par rapport à celle de Turquie.

Mots clés : *A. aurantii*, *C. bifasciata*, *A. melinus*, Citronnier, Parasitisme, Taille des individus, Algérie, Turquie.

Title : Ecology of California red scale *Aonidiella aurantii* (Maskell,1879) (Homoptera: Diaspididae) in a lemon orchard in Rouïba.

Abstract: This study is conducted in a lemon orchard in the Rouïba region during the period from July 2015 to December 2016. The monitoring of the California red scale *Aonidiella aurantii* showed that the species evolves four annual generations. Regarding the seasonal phenology of this scale insect, it coincides with the four sap growth of the lemon tree. In addition, this pest has a marked preference for fruits and twigs, while leaves are less desirable. The Tree Center location is the most preferred location for the scale insect. The natural mortality of this pest is very high, the causes of this mortality are: climatic, chemical and physiological. We also investigated the role of *Comperiella bifasciata* and *Aphytis melinus* in regulating the levels of California red scale infestations. These two parasitoids coexist together and share the same host. They developed three annual generations each of them which follow the same evolution of the California red scale. Moreover, the adult female of *A. aurantii* is the only target stage of these two natural enemies. The parasitic impact of *C. bifasciata* on female host is 9.03%, this endoparasite prefers the twig. However, the parasitism rate of *A. melinus* in female population of *A. aurantii* is 11.44%. The parasitism rate is more important on fruit. The size of California red scale *Aonidiella aurantii* is the most reliable indicator in terms of host quality for *Aphytis melinus* as well as for the efficiency of its biological control. Therefore, a complementary study is carried out in Antalya, Turkey, from the beginning of September until the end of November 2018. The study of some factors affecting the measurements of the Turkish scale population reveals that the type of plant organ, the variety of citrus fruit and the positioning of the plant organ on the tree affect the size of the host. Indeed, we have found that fruits promote the enlargement of the host size. Similar observations (Large measurements) are noted on the orange tree and the Center location of the tree. In addition, the cover and body sizes of each developmental stage of the California red scale from two different populations were compared; one from Algeria and the other from Turkey taken from lemon trees. The results showed that the larger individuals are those from Algeria. In addition, a higher parasitism rate is noticed in the Algerian scale population compared to that of Turkey.

Key words: *A. aurantii*, *C. bifasciata*, *A. melinus*, Lemon tree, Parasitism, Size of individuals, Algeria, Turkey.