

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



**Thèse en vue de l'obtention d'un diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle
(Doctorat /LMD)**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Productions agricoles et développement agricole durable

Présentée par

M. Mohammed Zine Eddine LABDAOUI

Thème

**Aménagement de la protection phytosanitaire contre les pucerons des agrumes
dans le Nord-Ouest algérien en faveur d'une lutte biologique durable**

Soutenue le : 28 février 2019 devant le jury composé de :

Président	LARID	Mohammed	Pr.	Univ. de Mostaganem
Directrice de thèse	GUENAOU	Yamina	Pr.	Univ. de Mostaganem
Examinatrice	BELKAHLA	Hadjira	Pr.	Univ. de Blida
Examinateur	LAAMARI	Malik	Pr.	Univ. de Batna
Examinateur	YOUCEF-BENKADA	Mokhtar	Pr.	Univ. de Mostaganem

Année universitaire : 2018 / 2019

DÉDICACE

*À mes parents, pour l'aide aussi bien morale que matérielle
qu'ils m'ont apportée.*

À mon oncle, ma tante et mon frère.

À toute personne qui m'a soutenu et aidé.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à rendre grâce à Dieu tout puissant, de m'avoir donné la force nécessaire pour mener ce travail jusqu'à son terme.

Je tiens à témoigner toute ma gratitude et tout mon respect à mon Professeur GUENAOUI Yamina, pour avoir accepté de m'encadrer tout au long de ces années, avec sa précieuse aide, ses encouragements et ses conseils.

Je remercie aussi, Pr. LARID Mohamed d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance. Je remercie également, les professeurs Mme. BELKAHLA Hadjira de l'Université de Blida, M. LAAMARI Malik de l'Université de Batna ainsi que M. YUCEF-BENKADA Mokhtar de l'Université de Mostaganem d'avoir accepté de juger mon travail.

*Je remercie particulièrement Pr. Yannick OUTREMAN du département d'Ecologie de l'Institut de génétique, environnement et protection des plantes « Agrocampus Ouest » Rennes –France- pour son aide dans l'identité des bactéries endosymbiotiques secondaires associées à *A. spiraecola*.*

Je remercie également, Dra. Mar FERRER SUAY, Pr. Jesus SELFA et Pr. Juli PUJADE-VILLAR pour leur accueil dans leur laboratoire et leur aide dans l'identification des hyperparasitoïdes associés aux pucerons.

Mes sincères remerciements vont également au personnel de l'exploitation agricole de l'Université de Mostaganem.

Enfin, je remercie très chaleureusement aussi très chaleureusement, toute personne qui m'a aidé de loin ou de près à réaliser ce modeste travail.

TABLE DES MATIÈRES

Dédicaces	
Remerciements	
Table des matières	
Résumé	I
Abstract	III
الملخص	V
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	XIII
Liste des abréviations	XIV
Préambule	XV
Introduction générale	1
I. Synthèse bibliographique	5
1.1. Chapitre I : Généralités sur les agrumes	6
1.1.1. Position systématique	6
1.1.2. Importance économique dans le monde	6
1.1.3. Situation des agrumes en Algérie	7
1.1.3.1. Problèmes de l'agrumiculture en Algérie	9
1.1.3.2. Situation des agrumes dans la wilaya de Mostaganem	11
1.1.4. Les principaux problèmes phytosanitaires des agrumes et moyens de lutte	13
1.1.4.1. Importance des insectes bio-agresseurs des agrumes	13
1.1.4.2. Méthodes de lutte contre les ravageurs des agrumes	14
1.2. Chapitre II : généralités sur les pucerons	15
1.2.1. Classification	15
1.2.2. Importance de la famille des Aphididae	15
1.2.3. L'origine des pucerons	17
1.2.4. Morphologie générale des pucerons	17
1.2.5. Écologie des pucerons	18
1.2.6. Mode de nutrition et relation avec la plante hôte	20
1.2.7. Défense des pucerons contre leurs ennemis naturels	21

1.3.Chapitre III : Rôle des ennemis naturels dans la protection phytosanitaire des pucerons	24
1.3.1. Les parasitoïdes	24
1.3.1.1.Les parasitoïdes primaires	25
1.3.1.2.Les hyperparasitoïdes	27
1.3.2. Les prédateurs	28
1.4.Chapitre IV : Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels	29
1.4.1. Les pucerons des agrumes	29
1.4.1.1. <i>Aphis spiraecola</i> (Patch., 1914)	29
➤ Nature des dégâts	31
1.4.1.2. <i>Aphis gossypii</i> (Glover, 1877)	32
1.4.1.3. <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer de Fonscolombe, 1841)	34
1.4.1.4. <i>Toxoptera citricidus</i> (Kirkaldy, 1907)	35
1.4.2. Les principaux ennemis naturels des pucerons des agrumes	37
1.4.2.1.Les parasitoïdes	37
a. <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (Cresson, 1880)	37
b. <i>Binodoxys angelicae</i> (Haliday, 1833)	39
1.4.2.2.Les principales espèces de prédateurs des pucerons des agrumes rencontrées dans le Bassin méditerranéen	40
a. <i>Coccinella algerica</i> (Kovar, 1977)	40
b. <i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777)	40
c. <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani, 1847)	41
d. <i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776)	42
II. Partie expérimentale	43
2.1. Partie I : Prospection des vergers d'agrumes dans la région du nord-ouest de l'Algérie entre 2014 et 2015	44
2.1.1. Matériel et méthodes	44
2.1.1.1.Choix des sites	44
2.1.1.2.Méthode d'échantillonnage	45
2.1.1.3.Méthode de dépouillement	45
2.1.1.3.1. Les pucerons	45

2.1.1.3.2. Les ennemis naturels	45
a. Les parasitoïdes	45
b. Les prédateurs	46
2.1.2. Résultats et discussion	47
2.1.2.1. Les pucerons	47
2.1.2.2. Les ennemis naturels	52
a. Les parasitoïdes	52
b. Les hyperparasitoïdes	54
c. Les prédateurs	58
Conclusion partielle	61
2.2. Partie II : Inventaire des espèces de pucerons et de leurs ennemis	62
naturels et fluctuations de leurs populations entre 2016 et 2017	
2.2.1. Matériel et méthodes	62
2.2.1.1 Caractéristiques des vergers retenus pour l'expérimentation	62
2.2.1.1.1. Localisation et superficie des vergers	62
2.2.1.1.2. Matériel végétal	63
a. Site A	63
b. Site B	63
2.2.1.1.3. Travaux réalisés	64
a. Site A	64
b. Site B	64
2.2.1.2. Méthode d'échantillonnage des pucerons et de leurs ennemis naturels	65
2.2.1.3. Prélèvement des températures	65
2.2.1.4. Méthode de calcul de la surface foliaire	66
2.2.1.5. Méthode de dépouillement	66
a. Le complexe aphidien	66
b. Les composantes du parasitisme	67
c. Les prédateurs	67
2.2.1.6. L'analyse statistique des données	68
2.2.2. Résultats et discussion	69
2.2.2.1. Site A	69
2.2.2.1.1. Les pucerons : Identité des espèces et évolution démographique des populations	69

2.2.2.1.1. Le parasitisme primaire et secondaire	75
a. Les parasitoïdes primaires	75
b. Les parasitoïdes secondaires	83
➤ Caractéristiques des espèces hyperparasitoïdes nouvellement signalées	84
i. <i>Phaenoglyphis heterocera</i> (Hartig, 1841)	84
ii. <i>Alloxysta pusilla</i> (Kieffer, 1902)	85
iii. <i>Phaenoglyphis pilipennis</i> (Kieffer, 1902)	87
2.2.2.1.2. Le complexe des prédateurs	88
2.2.2.1.3. Causes multiples de la mortalité des pucerons	90
2.2.2.2. Site B	90
2.2.2.2.1. Les pucerons : Identité des espèces et évolution démographique des populations	90
2.2.2.2.2. Le parasitisme primaire et secondaire	94
a. Les parasitoïdes primaires	94
b. Les parasitoïdes secondaires	95
2.2.2.2.3. Le complexe des prédateurs	95
2.2.2.2.4. Mortalité des pucerons et leurs ennemis naturels	97
Conclusion partielle	100
2.2.3. Identification des bactéries endosymbiotiques secondaires associées à la souche de <i>A. spiraecola</i> prélevée à Mostaganem	101
Conclusion générale	103
Références bibliographiques	106
Annexes	i
Valorisation scientifique de la thèse	

RÉSUMÉ

Cette étude comporte deux parties précédées d'une synthèse bibliographique sur les 3 niveaux trophiques agrumes/ pucerons/ ennemis naturels. La première partie a porté sur une prospection réalisée de 2014 à 2015 dans plusieurs vergers d'agrumes dans 5 wilayate du nord-ouest algérien, pour une première estimation de l'inventaire des espèces de pucerons et de leurs antagonistes. Elle a été suivie d'une deuxième partie qui s'est déroulée de 2016 à 2017 dans la wilaya de Mostaganem sur 2 sites (A et B) pour suivre la dynamique des populations de pucerons et de leurs antagonistes au cours de la poussée de sève de printemps. La méthode d'échantillonnage retenue a consisté à faire de façon aléatoire des prélèvements hebdomadaires de 100 feuilles sur la nouvelle poussée de sève à raison de 10 feuilles/ arbre sur 10 sujets par site. Les échantillons ont été rapportés au laboratoire pour un dépouillement rapide sous loupe binoculaire et une identification ultérieure de toutes les espèces. Dans le site A, aucun traitement chimique n'a été réalisé pendant l'étude ; dans le site B (propriété privée), le verger a été traité contre les pucerons avec un insecticide systémique (Acétamipride) pendant la poussée de sève.

Les résultats préliminaires concernant la première phase de cette étude ont donné une indication sur la diversité des espèces (pucerons et auxiliaires) rencontrées en vergers d'agrumes qui s'est confirmée dans la deuxième partie. Dans les deux cas, les principales espèces de pucerons étaient : *Aphis spiraecola* Patch, *Aphis gossypii* Glover et *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe (Hemiptera: Aphididae). Les parasitoïdes primaires dominants issus de momies prélevées étaient : *Lysiphlebus testaceipes* Cresson et *Binodoxys angelicae* Haliday (Hymenoptera: Braconidae : Aphidiinae). Nous avons également identifié plusieurs espèces d'hyperparasitoïdes dont 3 ont été signalées pour la première fois dans le monde sur *A. spiraecola* sur agrumes. Globalement, nous avons identifié 7 espèces de prédateurs : *Coccinella algerica* Kovar, *Oenopia dublieri* Mulsant, *Scymnus subvillosus* Goeze (Coleoptera : Coccinellidae), *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae), *Episyrphus balteatus* De Geer

(Diptera : Syrphidae), *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera : Chrysopidae) et *Campyloneura virgula* Herrich-Schaeffer (Hemiptera : Miridae).

En 2016 et 2017, *A. spiraecola* a dominé quelle que soit la date, le site ou l'année. Les infestations étaient plus précoces en 2017 par rapport à 2016, à cause des températures plus favorables. En 2016, la densité de pucerons par cm² a varié entre 7 (site A) et 10 individus (site B). En 2017, elle était moindre (entre 5 et 7 individus). Dans le site B, une réduction des effectifs après le traitement chimique a été observée, mais leur augmentation a repris rapidement par rapport à la durée de rémanence du produit. L'effet létal du traitement a été également constaté sur les larves de la cécidomyie *A. aphidimiza*. Dans le site A, Le taux de parasitisme global (nombre de momies/ nombre de pucerons) était entre 2,7 et 5,6 %. Le taux de momies de *A. spiraecola* d'où ont émergé les parasitoïdes (primaires et secondaires) a représenté 16 % pour les primaires et a varié entre 17% et 26% pour les hyperparasitoïdes. Les momies de *A. spiraecola* restées sans émergence d'adultes ont représenté entre 85 et 100%. Dans le site A (sans traitement), le parasitisme sur *A. spiraecola* est resté également faible (entre 1,6 et 3,0 %) ce qui supposerait que ce faible niveau de parasitisme serait lié à d'autres facteurs comme la résistance vis-à-vis de ses parasitoïdes. En effet, certaines espèces de pucerons hébergent des bactéries endosymbiotiques secondaires qui les protègent de leurs ennemis. Une analyse moléculaire réalisée sur notre souche de puceron a permis d'identifier deux bactéries endosymbiotiques *Serratia symbiotica* et une espèce du genre *Arsenophonus* dont le rôle reste à déterminer. Cette étude a permis de mettre en évidence la complexité du problème des pucerons sur le terrain. Il y a nécessité à poursuivre d'autres investigations pour mesurer la variabilité des niveaux des populations des différentes espèces pour mieux comprendre le fonctionnement des différentes communautés, surtout que le verger agrumicole est exposé à un risque élevé de dissémination du CTV. Une stratégie de lutte intégrée devrait inclure de nouveaux éléments de connaissance pour préserver la biodiversité dans le cadre du développement durable.

Mots clés : Agrumes, pucerons, parasitisme, prédation, lutte intégrée, développement durable.

ABSTRACT

This study has two parts including a bibliographical synthesis on the three-trophic levels (Citrus / Aphids / Natural enemies). The first survey focused on the prospection for two years (2014-2015) of several citrus orchards growing in 5 regions located in northwestern Algeria. The basic objective was to make a first inventory on aphids and their natural enemies. The second part of survey was carried out in 2016-2017 in Mostaganem province for monitoring aphids and their natural enemies. It was conducted in two orchards located in two sites (A and B) by collecting samples during flushing period. The sampling method consisted to collect, weekly and randomly, 100 samples (leaves) from 10 trees per site for following the population dynamics. All collected samples were taken to the laboratory for visualization of both aphid specimens and their natural enemies under stereomicroscope. All species were singly mounted and were identified using many keys developed by specialists. The natural enemies of aphids were separated into parasitoids and predators. In site A the orchard was free of chemicals during the study. In site B (private orchard), chemical treatments were performed with a systemic insecticide (Acetamiprid) during the flushing period.

Preliminary results of this study indicated that the fauna composition of citrus aphids and their natural enemies is quite the same across the Algerian citrus growing regions. The main aphid species were: *Aphis spiraecola* Patch, *Aphis gossypii* Glover, and *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe (Hemiptera: Aphididae). The dominant primary parasitoids emerging from mummies were *Lysiphlebus testaceipes* Cresson and *Binodoxys angelicae* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). Several hyperparasitoid species were identified with three species reported for the first time on *A. spiraecola* on Citrus. Concerning the predators, 7 species were identified: *Coccinella algerica* Kovar, *Oenopia dublieri* Mulsant, *Scymnus subvillosus* Goeze (Coleoptera: Coccinellidae), *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae), *Episyrphus balteatus* De Geer (Diptera: Syrphidae), *Chrysoperla carnea*

Stephens (Neuroptera : Chrysopidae), and *Campyloneura virgula* Herrich-Schaeffer (Hemiptera : Miridae).

Between 2016 and 2017, *A. spiraecola* was always found being the most abundant aphid species. Infestations occurred earlier in 2017 due to suitable temperatures. In 2016, the density per cm² varied between 7 aphids in site A and 10 aphids in site B. In 2017, the density was lower ranging between 5 and 7 individuals. In site B, a reduction in numbers following chemical treatment with Acetamiprid was observed, but population growth increased again few days after. The chemical killed also some *A. aphidimiza* larvae. The overall rate of parasitism expressed in number of mummies reached between 2.7% and 5.6%. The *A. spiraecola* mummies from which primary parasitoids and hyperparasitoids emerged, was about 16% for primary parasitoids and varied between 17% and 26% for secondary parasitoids. The rate of mummies on *A. spiraecola* without any emergence of adults varied between 85 and 100%. In site A (free of chemical), parasitism was also very low (between 1.6% and 3.0%), suggesting that the problem is related to other factors. The *A. spiraecola* dominance could be attributed to its resistance against its parasitoids. Indeed some species of aphids harbor secondary endosymbiotic bacteria that protect them against their enemies. We approached this question by testing our *A. spiraecola* strain by molecular analysis. Two species of endosymbiotic bacteria were identified as *Serratia symbiotica* (Moran et al., 2005) and another species belonging to the genus *Arsenophonus* but their role is unknown. This study revealed the complicated situation in field for control of aphids. Complementary investigations are useful for measuring variability in population levels of different species to go before understanding the complexities of interactions in citrus orchards where there is a high risk of dissemination of CTV. An integrated pest management strategy should include as many elements as possible based on our knowledge on the pests within the context of sustainable agriculture preservation.

Keywords: Citrus, aphids, parasitism, predation, integrated pest management, sustainable development.

الملخص

تحتوي هذه الأطروحة على جزأين تسبقهما دراسة بيليوغرافية على مستويات غذائية ثلاثية (حمضيات / من / حشرات مضادة). أجريت مرحلة استكشاف الأوي في فترة من 2014 إلى 2015 في العديد من بساتين حمضيات في 5 ولايات في شمال غرب الجزائر، وذلك من أجل تقدير أوي لأنواع من وأعدائه طبيعيين. تعقب ذلك جزء ثاني الذي تم من فترة 2016 إلى 2017 في ولاية مستغانم على موقعين (أ وب) رصد ديناميات مجموعات من وأعدائهم طبيعيين خلال فترة الأوي لدفع نسغي (في ربيع). أجريت معاينة الأسبوعية على أساس 100 ورقة مأخوذة بشكل عشوائي من 10 أشجار (10 أوراق / شجرة). نقلت عينات إلى مختبر من أجل فحص سريع تحت عدسة مكبرة، تحديد جميع الأنواع في وقت لاحق. في موقع أ، لم يتم إجراء أي معالجة كيميائية أثناء دراسة، لكن في موقع ب (ملكية خاصة)، تم استخدام مبيد حشري Acetamiprid خلال فترة دفع نسغي ضد من.

أعطت نتائج الأوية المتعلقة في مرحلة الأوي من هذه دراسة مؤشرا على تنوع الأنواع (من وحشراته مضادة) موجودة في بساتين حمضيات، والتي تم تأكيدها في جزء ثاني. في كلتا حالتين، كانت الأنواع الرئيسية لمن هي: *Aphis spiraecola* (Patch), *Aphis gossypii* (Glover) و *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) (Hemiptera : Aphididae). وكانت حشرات طفيلية الأوية سائدة التي خرجت من موميوات التي تم جمعها كما يلي: *Binodoxys* و *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera : Braconidae : Aphidiinae) *angelicae* (Haliday) قد حددنا أيضا عدة أنواع من حشرات طفيلية ثانوية، تم الإبلاغ عن 3 منها لأول مرة في مجام على A. *spiraecola* في حمضيات. عموما، حددنا 7 أنواع من حشرات مفترسة: *Coccinella* *Scymnus subvillosus* ، *Oenopia doublieri* (Mulsant) ، *algerica* (Kovar) (Goeze) ، *Episyrphus balteatus* (De ، *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) ، *Chrysoperla carnea* (Stephens) ، Geer).

ما بين سنتين 2016 و 2017، كان *A. spiraecola* من المسيطر في كل مدة معاينة بغض النظر عن موقع أو سنة. في عام 2016، تراوحت كثافة من باسم² بين 7 (موقع أ) و 10 (موقع ب). في عام 2017، كان كثافة أقل (بين 5 و 7 من). في موقع ب، وحظ انخفاض في أعداد من بعد معالجة كيميائية، كن نموها استؤنف بسرعة بالنسبة فعالية مبيد. كما وحظ

تأثير مبيد على يرقات حشرة خاتلة *A. aphidimyza*. في موقع أ، تراوح معدل تطفل (عدد موميوات / عدد من) بين 2.7 و 5.6%. كانت نسبة حشرات طفيلية الأوية التي فقت من موميوات *A. spiraeola* 16%، أما حشرات طفيلية ثانوية فتراوحت بين 17% و 26%. كان عدد موميوات *A. spiraeola* بدون خروج حشرات طفيلية يتراوح بين 85 و 100%. ترتبط هيمنة *A. spiraeola* بعوامل أخرى مثل مقاومة ضد حشرات طفيلية. في واقع، تحتوي بعض أنواع من على بكتيريا ثانوية تكافلية تحميها من أعدائها. حدد تحليل جزيئي على سلالة *A. spiraeola* نوعين من بكتيريا هما: *Serratia symbiotica* ونوع واحد من جنس *Arsenophonus*.

سلطت هذه دراسة ضوء على مدى تعقيد مشكلة من في حقل. هناك حاجة إلى مزيد من بحث قياس تباين في مستويات مجموعات أنواع مختلفة لمن فهم عملها بشكل أفضل، خاصة وأن بستان حمضيات معرض خطر كبير وهو انتشار فيروس CTV. ينبغي أن تتضمن الاستراتيجية متكاملة مكافحة الآفات عناصر معرفية جديدة في سياق تنمية مستدامة.

الكلمات المفتاحية: حمضيات، من، تطفل، الافتراض، مكافحة متكاملة، تنمية مستدامة.

LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Classement des pays méditerranéens producteurs d'agrumes en 2016 (FAOstat 2017)	7
Fig.2 : Évolution de la superficie et de la production des agrumes en Algérie (2000-2017) (M.A.D.R.P. 2018)	10
Fig.3 : Superficie et production des agrumes dans la wilaya de Mostaganem (D.S.A 2018)	12
Fig. 4 : Phylogénie des Aphidoidea (Vilcinskis 2016)	16
Fig.5 : Morphologie générale d'un puceron (a) aptère et (b) ailé (Turpeau et al. 2010).	18
Fig. 6 : Cycle biologique général des pucerons hétérocéciques (Hardie 2017) (Traduit de l'Anglais)	19
Fig. 7 : Phases de salivation du puceron à l'intérieur de la plante (Tjallingii 2006)	20
Fig.08 : Modèle de trajectoires de développement du puceron du pois (<i>Acyrtosiphon pisum</i>) parasités par <i>Aphidius ervi</i> en présence et en l'absence de l'endosymbionte facultatif <i>Hamiltonella defensa</i> et son bactériophage associé ESAP (Endosymbionte Secondaire de <i>Acyrtosiphon pisum</i>) (Weldon and Oliver 2016) (Traduit de l'Anglais).	23
Fig.09 : Cycle biologique d'un parasitoïde primaire (Turpeau et al. 2018b)	25
Fig.10 : Types d'oviposition chez les hyperparasitoïdes : (a) endophage, (b) ectophage (Sullivan 1987).	28
Fig. 11 : Morphologie générale de <i>Aphis spiraecola</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	30
Fig. 12 : Cornicules de <i>Aphis spiraecola</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	30
Fig. 13 : Cauda d' <i>A. spiraecola</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	30

Fig.14 : Colonie de <i>Aphis spiraecola</i> (Photo de Chaubet –INRA-)	30
(Blackman and Eastop 2007)	
Fig.15 : Distribution <i>Aphis spiraecola</i> dans le monde (CABI 2017)	31
Fig.16: Enroulement de pousse de <i>Citrus sinensis</i> causé par <i>Aphis spiraecola</i> (Photo originale)	31
Fig.17 : Morphologie générale de <i>Aphis gossypii</i> (a) aptère (b) ailé	32
(USDA 2014)	
Fig.18 : Cornicules de <i>Aphis gossypii</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	32
Fig.19 : Cauda de <i>Aphis gossypii</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	33
Fig.20: Colonie de <i>Aphis gossypii</i> sur feuille d'agrumes (Barbagallo et al. 1997)	33
Fig.21 : Arbre mort dû au virus de la Tristeza (CTV) (Photo Ali Arous ©)	33
Fig.22 : Antennes de <i>Toxoptera aurantii</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	34
Fig.23 : Abdomen de <i>Toxoptera aurantii</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	35
Fig.24: Colonie de <i>Toxoptera aurantii</i> sur feuille de citronnier	35
(Barbagallo et al. 1997)	
Fig.25 : Antennes de <i>Toxoptera citricidus</i> (a) aptère (b) ailé (USDA 2014)	36
Fig.26 : Comparaison entre ailes de <i>Toxoptera aurantii</i> (a) et <i>Toxoptera citricidus</i> (b) (Roberts et al. 2001)	36
Fig.27: Colonie de <i>Toxoptera citricidus</i> (CABI, 2019)	36
Fig.28: Adulte de <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (BOLDsystems 2010)	37
Fig.29 : Aile de <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (Turpeau et al. 2018b)	37
Fig.30: Adulte de <i>Binodoxys angelicae</i> (Turpeau et al. 2018b)	39
Fig.31 : Aile de <i>Binodoxys angelicae</i> (Photo Chaubet) (Turpeau et al. 2018b)	39
Fig.32 : Forme de l'ovipositeur de <i>Binodoxys angelicae</i> (Photo chaubet)	39
(Turpeau et al. 2018b)	
Fig.33: Adulte de <i>Coccinella algerica</i> (Ben Halima Kamel and Lassad 2015)	40
Fig.34: Larve de <i>Scymnus subvillosus</i> (Photo originale)	40

Fig.35: Larve de <i>Aphidoletes aphidimyza</i> dans une colonie de <i>A. spiraecola</i> (Gómez-Marco 2015)	41
Fig.36: Larve de <i>Episyrphus balteatus</i> (photo Hopkin et Ardea) (Brodeur et al. 2017)	42
Fig. 37: ● Localisation des vergers prospectés durant la période 2014-2015	44
Fig. 38: ○ Momie pleine (signe de parasitisme) sur <i>T. aurantii</i> (photo originale)	45
Fig.39 : Adulte aptère de <i>Aphis spiraecola</i> (photo originale)	47
Fig.40 : Adulte ailé de <i>Aphis spiraecola</i> (photo originale)	47
Fig. 41: Population de <i>Aphis spiraecola</i> sur jeune feuille d'agrumes (photo originale)	47
Fig. 42: Colonie dense de <i>Aphis spiraecola</i> et enroulement des feuilles d'agrumes (photo originale)	47
Fig. 43: <i>Aphis spiraecola</i> sur fleur d'agrumes (photo originale)	48
Fig. 44: Jeune feuille d'agrumes infestée par <i>Aphis gossypii</i> (Photo originale)	48
Fig.45: Oviposition par femelle aptère de <i>Aphis gossypii</i> (photo originale)	48
Fig.46 : Adulte ailé de <i>Aphis gossypii</i> (photo originale)	48
Fig. 47: Colonies de <i>Aphis gossypii</i> sur bourgeon floral d'agrumes (Photo originale)	48
Fig. 48: Colonies de <i>Aphis spiraecola</i> et de <i>Aphis gossypii</i> sur feuille d'agrumes (Photo originale)	48
Fig. 49: Colonie de <i>Toxoptera aurantii</i> sur jeune feuille d'agrumes (Photo originale)	49
Fig.50 : Adulte aptère de <i>Toxoptera aurantii</i> (photo originale)	49
Fig.51 : Adulte ailé de <i>Toxoptera aurantii</i> (Photo originale)	49
Fig. 52: Colonies de <i>Aphis spiraecola</i> et de <i>Toxoptera aurantii</i> (Photo originale)	49
Fig. 53: Colonie de <i>Aphis craccivora</i> sur jeune pousse d'agrumes (Photo originale)	49

Fig. 54: Adulte de <i>Aphis fabae</i> sur feuille d'agrumes (Photo originale)	49
Fig. 55: Larves de <i>Myzus persicae</i> sur jeune pousse d'agrumes (Photo originale).	50
Fig.56 : Larve de <i>Macrosiphum euphorbiae</i> sur jeune feuille d'agrumes (Photo originale)	50
Fig. 57: Adulte ♂ de <i>Lysiphlebus testaceipes</i> (Photo originale)	52
Fig. 58 : Adulte ♀ de <i>Lysiphlebus fabarum</i> (photo originale)	52
Fig. 59: Adulte ♀ de <i>Aphidius colemani</i> (Photo originale)	52
Fig. 60: Adulte ♀ de <i>Aphidius matricariae</i> (Photo originale)	52
Fig. 61 : Adulte ♂ de <i>Praon volucre</i> (Photo originale)	53
Fig. 62 : Adulte ♀ de <i>Binodoxys angelicae</i> (Photo originale)	53
Fig. 63: Adulte de <i>Asaphes vulgaris</i> (Photo originale)	55
Fig. 64: Adulte de <i>Pachyneuron aphidis</i> (Photo originale)	55
Fig. 65: Adulte de <i>Dendrocerus</i> Spp. (Photo originale)	55
Fig. 66 : Adulte de <i>Alloxysta victrix</i> (Photo originale)	55
Fig.67: <i>Alloxysta brevis</i> (photo originale)	55
Fig.68: Antenne de <i>Alloxysta brevis</i> (photo originale)	56
Fig.69 : Aile de <i>Alloxysta brevis</i> (photo originale)	56
Fig.70 : <i>Coccinella algerica</i> (a) larve, (b) adulte sur agrumes (photos originales)	58
Fig. 71 : <i>Scymnus subvillosus</i> (a) larves (b) adulte (photos originales)	58
Fig. 72 : <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (a) larve (b) adulte (photos originales)	59
Fig. 73 : <i>Episyrphus balteatus</i> (a) larve (b) adulte (Photo originale)	59
Fig. 74: <i>Chrysoperla carnea</i> (a) larve (b) adulte (photos originale)	59
Fig. 75: Adulte de <i>Oenopia dublieri</i> (photo originale)	60
Fig.76 : Larve de <i>Campyloneura virgula</i> (Photo originale)	60
Fig.77 : localisation géographique des deux sites d'études (A et B) (Google Earth, 2018)	62
Fig.78 : Verger de clémentinier dans le site A à Mazaghran	63
Fig.79 : Verger d'orangers (site B à Sirat)	64

Fig.80: Evolution démographique des pucerons dans le site A (2016-2017).	70
Fig.81 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site A (2016)	71
Fig.82 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site A (2017)	72
Fig.83: Evolution démographique de <i>A. spiraecola</i> dans le site A (2016-2017).	72
Fig.84: Evolution démographique des pucerons / espèce dans le site A en 2016.	74
Fig.85: Evolution démographique des pucerons / espèce dans le site A en 2017	74
Fig.86 : Taux de parasitisme par espèce de puceron dans le site A en 2016	76
Fig.87: Taux de parasitisme par espèce de puceron dans le site A en 2017	76
Fig.88 : Taux du parasitisme sur <i>Aphis spiraecola</i> site A (2016)	77
Fig.89 : Taux du parasitisme sur <i>Aphis spiraecola</i> site A (2017)	78
Fig.90 : Taux de parasitisme sur <i>Aphis spiraecola</i> / espèce de parasitoïde (site A) (2016)	79
Fig.91 : Taux de parasitisme sur <i>Aphis spiraecola</i> / espèce de parasitoïde (site A) (2017)	79
Fig.92 : Taux du parasitisme sur <i>Aphis gossypii</i> site A (2016)	80
Fig.93 : Taux de parasitisme sur <i>Aphis gossypii</i> / espèce de parasitoïde (site A) (2016)	80
Fig.94 : Taux du parasitisme sur <i>Toxoptera aurantii</i> site A (2016)	81
Fig.95 : Taux du parasitisme total sur <i>Toxoptera aurantii</i> site A (2017)	82
Fig.96 : Taux de parasitisme sur <i>Toxoptera aurantii</i> (site A) (2017)	82
Fig. 97 : <i>Phaenoglyphis heterocera</i> (Hartig, 1841) (photo originale).	85
Fig. 98 : <i>Alloxysta pusilla</i> (Kieffer, 1902) (photo originale).	86
Fig. 99 : Aile de <i>Alloxysta pusilla</i> (photo originale).	86
Fig. 100 : Antenne de <i>Alloxysta pusilla</i> (photo originale).	86
Fig.101 : <i>Alloxysta pilipennis</i> (Hartig, 1833) (Photo originale)	87

Fig. 102 : Composition des prédateurs par espèce identifiée dans le site A (2016)	89
Fig. 103 : Composition des prédateurs par espèce identifiée dans le site A (2017)	89
Fig.104 : Evolution de la densité totale et par espèce de pucerons dans le site B (2016-2017).	92
Fig.105 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site B (2016)	93
Fig.106 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site B (2017)	93
Fig. 107 : Taux de parasitisme sur <i>Aphis spiraecola</i> / espèce de parasitoïde (site B) (2016)	94
Fig.108 : Taux de parasitisme sur <i>Aphis spiraecola</i> (site B) (2017)	95
Fig. 109 : Composition des prédateurs par espèce identifiée site B (2016)	96
Fig. 110 : Composition des prédateurs par espèce identifiée site B (2017)	96
Fig.111 : Mortalité de pucerons causée par Acétamipride	97
Fig.112 : Mortalité de pucerons et de <i>A. aphidimyza</i> causée par Acétamipride	97
Fig.113 : Mortalité de pucerons et larve de <i>S. subvillosus</i> causée par Acétamipride	98
Fig.114 : Mortalité de pucerons et larve de <i>E. balteatus</i> causée par Acétamipride	98
Fig.115 : Pucerons parasités morts après traitement avec Acétamipride	98

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 :** Répartition par zone géographique régionale des agrumes en Algérie (M.A.D.R.P. 2018) 9
- Tableau 2 :** Répartition par espèce des superficies et des productions des agrumes en Algérie entre 2015 et 2017 (M.A.D.R.P. 2018). 9
- Tableau 3 :** Superficies et productions des principales espèces et variétés d'agrumes à Mostaganem entre 2015-2017 (D.S.A 2018) 11
- Tableau 4 :** Répartition géographique des espèces de pucerons trouvées dans les vergers prospectés 51
- Tableau 5 :** Planning des fertilisations (NPK) au cours de l'année dans le site B 65

LISTE DES ABREVIATIONS

ANOVA: Analysis of Variance

APSE : *Acyrtosiphon pisum* Secondary Endosymbionts

CABI: Centre for Agriculture and Bioscience International

CTV : *Citrus Tristeza Virus*

DSA : Direction des Services Agricoles

FAO : Food and Agriculture Organization

Fig : Figure

FIM : Facteur Inhibiteur de la Migration

IPM : Integrated Pest Management

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

MADRP: Ministère de l'Agriculture et du Développement Durable et de la Pêche

OEPP : Organisation Européenne pour la Protection des Plantes

RAPD : Amplification aléatoire d'ADN polymorphe

SAU : Surface agricole utile

PRÉAMBULE

Contexte et objectifs de la thèse

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'une post-graduation ayant pour thématique : Productions agricoles et développement agricole durable. Le sujet traité s'intitule : Aménagement de la lutte phytosanitaire contre les pucerons des agrumes dans le Nord-Ouest algérien en faveur d'une lutte biologique durable.

Il s'agit d'analyser la situation des vergers d'agrumes pour déterminer les facteurs responsables des pullulations de pucerons répétées sur le terrain au moment où le risque de propagation du virus CTV est grandissant. Peut-on concilier une lutte chimique systématique telle qu'elle est pratiquée par les agriculteurs avec le maintien de la biodiversité recherchée pour préserver le développement durable ?

INTRODUCTION

En Algérie, les agrumes occupent une superficie totale de 68678 Ha (MADRP, 2017) avec 3 zones de production situées au nord (est, centre, ouest). La région nord-ouest couvre une superficie de 24262 ha qui intègre la région de Mostaganem avec 5001 ha (D.S.A, 2018). La filière agrumes est soumise à l'action de plusieurs bio-agresseurs de natures diverses. Le nombre d'insectes déprédateurs est d'au moins 108 espèces dont 66 espèces appartiennent à l'ordre des Hémiptères (Franco et al. 2006). Ce sont les pucerons de la famille des Aphididae qui font l'objet de notre étude en raison de leur nuisibilité qui se traduit par des dégâts directs et indirects. Les conséquences des infestations dépendent de l'espèce et de la densité de ses populations (enroulement et crispation des feuilles, malformation et chute des fleurs, arrêt de développement des pousses, transmission de virus phytopathogènes comme la *Tristeza* qui peut causer le dépérissement plus ou moins rapide des vergers) (Blackman and Eastop, 2007; Meagher, 2008; Addante *et al.*, 2009).

Partout dans le monde, les pucerons colonisent essentiellement les jeunes feuilles des trois poussées de sève de l'année aussi bien dans les vergers âgés que dans les pépinières (Jacas and Urbaneja, 2010; Karamaouna *et al.*, 2010), mais les dégâts sont plus importants sur la première poussée de sève qui se déroule au printemps et qui porte des organes fructifères (Hermoso de mendoza *et al.*, 2001; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006). Selon la littérature scientifique, au moins 20 espèces ont été recensées sur agrumes à travers le monde (Barbagallo and Patti, 1985; Blackman and Eastop, 2006), mais les espèces les plus communes sont *Aphis spiraecola* (Patch, 1914), *Aphis gossypii* (Glover, 1877), *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe, 1841) et *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy, 1907) (Hemiptera : Aphididae) (Marroquin *et al.*, 2004; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006; Tena and Garcia-Marí, 2011). Il semble que *A. spiraecola* soit devenu l'espèce la plus

dominante à travers le monde (Wang and Tsai, 2000; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006; Bañol *et al.*, 2012; Mostefaoui *et al.*, 2014; Gómez-Marco, 2015; Lebbal and Laamari, 2015) déplaçant les deux espèces habituelles *A. gossypii* et *T. aurantii* au deuxième plan. Quant à *T. citricidus* qui représente le puceron le plus redoutable par rapport à son rôle dans la transmission des souches virulentes du virus de la *Tristeza*, son premier signalement dans le Bassin méditerranéen a été fait au Portugal (Madère) en 1994 (Fernandes and Cruz de Boelpaepe, 1994), puis en Espagne à Asturies en 2002 (Ilharco *et al.*, 2005), mais dans les pays du Maghreb, cette espèce n'a fait l'objet d'aucun signalement officiel à ce jour. Il est nécessaire de vérifier dans cette étude si ce puceron a pu être introduit accidentellement en Algérie.

Dans le Bassin méditerranéen, le nombre des espèces de pucerons sur agrumes varie entre 4 et 9 selon les pays, par exemple, on note 7 en Turquie (Satar *et al.*, 2014), 8 en Tunisie (Ben Halima-Kamel *et al.*, 1994), 7 au Maroc (Sekkat, 2008), 7 en Espagne (Jacas *et al.*, 2010), 9 en Grèce (Kavallieratos and Lykouressis, 1999). En Algérie, 4 espèces ont été recensées au Centre (Benoufella-Kitous *et al.*, 2014) et 6 dans le nord-est (Lebbal and Laamari, 2016), tandis que dans le nord-ouest le chiffre est variable et soumis à controverse, ce qui nous a conduit à réaliser cette étude pour actualiser l'inventaire à la fois des espèces aphidiennes et de leurs antagonistes en particulier les parasitoïdes.

En Algérie, les premières études menées sur les pucerons des agrumes ont été surtout concentrées sur la région de la Mitidja (centre-nord de l'Algérie) (Aroun, 1985). D'autres travaux ont été réalisés en lien avec le virus de la *Tristeza* par Benkahla *et al.* (2013) et Ali Arous *et al.* (2017). À l'est du pays, c'est dans la région de Skikda que les premiers travaux ont été réalisés (Lebbal and Laamari, 2015; Lebbal and Laamari, 2016). Les recherches sur l'impact de leurs ennemis naturels susceptibles de réguler leurs populations en particulier les parasitoïdes sont très fragmentaires et parfois controversées.

La présente étude a pour objet de préciser le statut des pucerons et celui de leurs ennemis naturels dans un environnement où les pratiques de la lutte contre les

pucerons ne sont pas raisonnées. Par exemple, la question de la dominance de l'espèce *A. spiraecola* signalée dans de nombreux travaux (Ben Halima-Kamel *et al.*, 1994; Barbagallo *et al.*, 1996; Michelena and Sanchis, 1997; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006; Boukhris-Bouhachem, 2011; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2012; Mostefaoui *et al.*, 2014; Gómez-Marco, 2015; Lebbal and Laamari, 2015) mérite d'être précisée.

Le présent travail comporte une synthèse bibliographique actualisée sur les différents niveaux trophiques : plante hôte (agrumes) /pucerons /ennemis naturels (prédateurs, parasitoïdes primaires et secondaires), suivie d'un travail de terrain composé de deux parties

- La première partie concerne la prospection de plusieurs vergers à travers plusieurs wilayate du nord-ouest entre 2014 et 2015 pour établir un premier inventaire des espèces de pucerons et de leurs antagonistes.
- La deuxième partie du travail expérimental a été conduite pendant 2 ans entre 2016 et 2017 dans deux sites situés dans la wilaya de Mostaganem. Le travail a consisté à suivre la dynamique des populations des pucerons et de leurs ennemis naturels pendant cette période. L'échantillonnage qui s'est déroulé dans deux vergers a porté surtout sur la première poussée de sève de l'année qui est la plus importante et déterminante pour la production. Nous avons suivi l'évolution démographique des populations antagonistes depuis le début des infestations. Dans cette étude, nous avons comparé la situation dans les deux vergers (l'un conduit de façon conventionnelle avec des applications chimiques, l'autre, sans aucun apport chimique).

Ce travail avait pour objectif de :

- Suivre de la dynamique des populations des trois niveaux trophiques (pucerons / parasitoïdes primaires / hyperparasitoïdes).
- Faire l'inventaire de la composante de la faune aphidienne et auxiliaire associée aux pucerons (prédateurs et parasitoïdes) pendant la phase végétative la plus importante du cycle des agrumes ;
- Vérifier le statut de l'espèce *A. spiraecola* ;
- Evaluer l'effet de la lutte chimique sur la dynamique des populations des pucerons et de leurs ennemis naturels ;
- Evoquer les facteurs possibles impliqués dans l'échec de la régulation des pucerons en vergers d'agrumes.

Synthèse

Bibliographique

1.1. CHAPITRE 1 : GÉNÉRALITÉS SUR LES AGRUMES

1.1.1. Position systématique

Taxonomiquement, les agrumes appartiennent à la famille des Rutacées qui comporte 3 principaux genres : *Poncirus*, *Fortunella* et *Citrus*. Dans ce dernier genre, Swingle and Reece (1967) mentionnent 16 espèces, tandis que Tanaka (1961) en mentionne 156. Les 8 espèces commercialement importantes sont : *C. sinensis* (L.) (Oranger doux), *C. reticulata* (Lindl.) (Mandarinier), *C. paradisi* (Macfad.) (Pamplemoussier), *C. grandis* (L.) (Pomelo), *C. limon* (L.) (Citronnier), *C. aurantifolia* (Christm.) (Limettier), *C. aurantium* L. (Bigaradier), et *C. medica* L. (Cédratier) (Swingle and Reece, 1967).

Les agrumes font partie des cultures fruitières les plus dominantes et populaires dans le monde, destinées essentiellement à l'alimentation humaine et le bien-être (Rao *et al.*, 2011 ; Liu *et al.*, 2012; Ollitrault and Navarro, 2012). En plus de leur qualité nutritive, les fruits d'agrumes (Economos and Clay 1999) ont un effet thérapeutique grâce à leur concentration en fibres et en antioxydants (vitamines C et B9) (Elegbede *et al.*, 1993) ; ils sont également riches en flavonoïdes, anthocyanes et lycopènes (Jayaprakasha and Patil, 2007) qui sont bénéfiques pour la santé.

1.1.2. Importance économique dans le monde

Les agrumes sont cultivés dans au moins 140 pays, sur une superficie de plus de 7,6 millions d'hectares, principalement dans les régions tropicales et subtropicales (environ 40° latitude de chaque côté de l'équateur) où les conditions climatiques et pédologiques sont favorables (Peña *et al.*, 2009 ; Ollitrault and Navarro, 2012) avec une production qui a dépassé les 124 millions de tonnes en 2016 (FAOstat, 2017). C'est la Chine qui a la plus grande production d'agrumes avec 26% de la production mondiale, suivie par les pays méditerranéens qui ont dépassé 25 millions de tonnes en 2016 (Fig.1), soit 20% du tonnage mondial (FAO, 2017). 60 % de cette production est destinée à l'exportation (Ollitrault and Navarro, 2012).

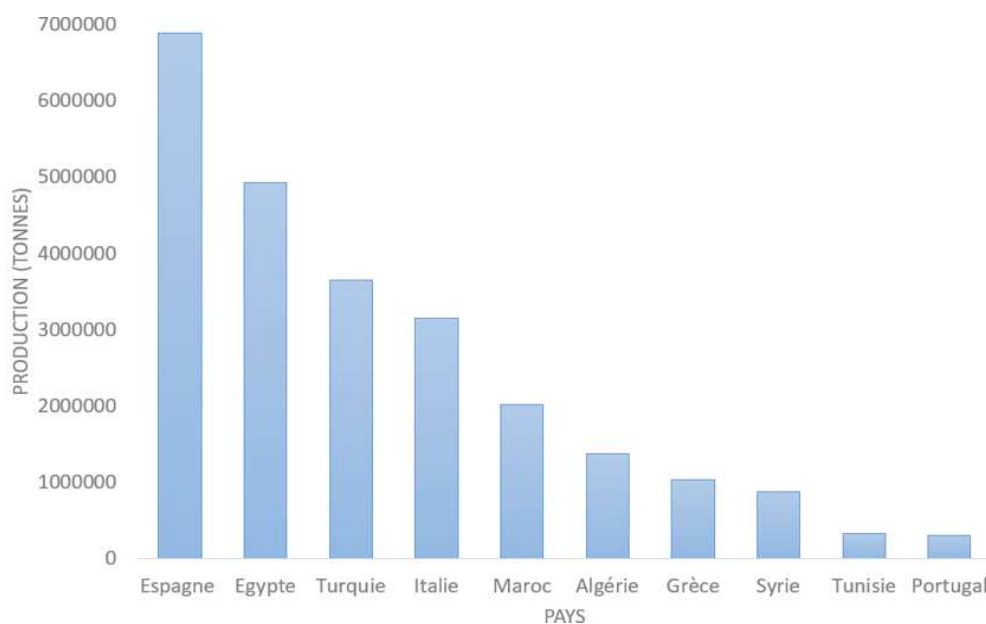


Fig.1 : Classement des pays méditerranéens producteurs d'agrumes en 2016 (FAOstat, 2017)

La production des agrumes a connu une forte augmentation à partir des années 80, surtout avec les techniques modernes de production et de transport qui ont réduit le coût et amélioré la qualité (Spreen, 2001). Les oranges représentent la majeure partie de la production des agrumes (54%), suivies par les clémentines et mandarines (26%), les citrons (13%) et les pamplemousses (7%) (FAO, 2016). Traditionnellement, les agrumes sont consommés comme fruit frais, mais durant les 30 dernières années, leur consommation sous forme de jus a augmenté dans le monde, particulièrement en Europe et aux États-Unis (Peña *et al.*, 2009).

1.1.3. Situation des agrumes en Algérie

Les premiers agrumes ont été probablement introduits dans le Bassin méditerranéen à partir de l'Inde, pendant la période romaine, mais leur plantation en Algérie comme culture n'a commencé que pendant la conquête musulmane (Reuther *et al.*, 1967; Scora, 1975 ; Peña *et al.*, 2009). Dès leur arrivée, les colonisateurs français ont commencé à s'intéresser à cette culture en plantant 170 ha dans la plaine de Mitidja (Rebour, 1948 ; Mutin, 1969). Pendant la période coloniale, la culture des agrumes a pris de l'ampleur, surtout avec la création d'une nouvelle espèce issue d'une hybridation naturelle entre mandarinier et oranger doux

obtenue dans un verger appartenant à un orphelinat situé dans la commune de Misserghin (wilaya d'Oran) au nord-ouest d'Algérie, géré par le père Clément Rodier dont porte le nom la nouvelle espèce d'agrumes connue sous le nom de clémentine (Duarte *et al.*, 2016). Cette découverte a permis d'augmenter la superficie totale des agrumes de 4000 hectares en 1913 à 8000 hectares en 1928, puis à 25000 hectares en 1948 (Rebour, 1948). En 1960, la superficie a atteint 37000 hectares (Mutin, 1969). Après l'indépendance, durant les années 60, l'Algérie exportait près de 25% de sa production soit environ 100.000 tonnes vers l'Europe et l'URSS (ITAFV, 2004). La production de moindre qualité était réservée au marché local. Les conditions exigées pour l'exportation sur le plan de la qualité environnementale sont devenues de plus en plus difficiles à respecter du fait que les conditions de culture n'ont pas évolué et sont restées différentes de celles des autres pays du Bassin méditerranéen. L'Espagne et le Maroc qui produisent surtout pour l'exportation (FAO, 2016) sont tenus de respecter les normes de sécurité alimentaire exigées par les pays importateurs.

Alors qu'elle était classée au 15^{ème} rang mondial en 2014, l'Algérie vient de se déclasser au 17^{ème} rang des pays producteurs d'agrumes (FAOstat, 2017), parce qu'elle ne respecte pas les exigences demandées pour être compétitive. L'agrumiculture représente seulement 8 % de la superficie arboricole totale soit 0,8% de la S.A.U (M.A.D.R.P., 2018). Elle est classée au 4^{ème} rang après le palmier le dattier, l'olivier et la vigne (FAO, 2016). Les vergers d'agrumes constitués essentiellement d'orangers (72,7%) (Tableau 2), sont surtout concentrés dans la région nord du pays surtout au centre dans la région de la Mitidja (Tableau 1) (M.A.D.R.P., 2018). Actuellement, l'agrumiculture est en train de se développer aussi dans le sud du pays avec de nouvelles exploitations dans la région de Ghardaïa avec 1167 ha en 2017 (M.A.D.R.P., 2018).

Tableau 1 : Répartition par zone géographique régionale des agrumes en Algérie (M.A.D.R.P., 2018)

Zone	Superficie (ha)	Production (tonnes)
Nord-ouest	24.262 (35,3 %)	487.506,4 (36,3 %)
Nord-centre	35.987 (52,4 %)	729.145,1 (54,2 %)
Nord-est	6.899 (10,1 %)	119.098,8 (8,9 %)
Sud	1.530 (2,2 %)	8.609,6 (0,6 %)

Tableau 2 : Répartition par espèce des superficies et des productions des agrumes en Algérie entre 2015 et 2017 (M.A.D.R.P., 2018).

Année Espèce	Superficie en ha			Production en tonnes		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Oranger	49.202	48.044	49.942	1.005.079	892.763	1.013.951
Clémentinier	11.082	11.175	11.855	207.322	191.828	205.447
Mandarinier	2.623	2.356	2.559	55.007	42.337	45.222
Citronnier	4.193	4.313	4.234	72.562	74.364	77.757
Pomelo	91	87	88	2.024	1.905	1.897
Total agrumes	67.191	65.975	68.678	1.341.994	1.203.197	1.344.274

1.1.3.1. Problèmes de l'agrumiculture en Algérie

Malgré son accroissement à partir de 2008 (Fig.2) qui est la conséquence de la replantation, la production des agrumes est restée toujours insuffisante par rapport aux besoins de la population, même si les données officielles mentionnent une consommation moyenne de 33,5 kg/ habitant (ITAFV, 2017) ce qui semble être bien supérieure à celle des pays de l'UE qui est de 22,8 kg / habitant (FAO, 2004). L'insuffisance et l'irrégularité des niveaux de la production engendrent des variations de prix à la consommation ; à titre indicatif entre 2000 et 2017 l'indice des prix est passé de 100 à 328. Les nouvelles techniques d'irrigation et de fertilisation produisent leurs effets de production mais exacerbent le problème des pucerons.

On peut soulever trois problèmes majeurs que rencontre l'agrumiculture en Algérie : le vieillissement des vergers, la mauvaise gestion technique de nombreux vergers et les problèmes phytosanitaires d'origine diverse.

Suite au vieillissement d'un grand nombre de vergers (20% d'orangers ayant plus de 45 ans d'âge et 50% de clémentiniers dépassant 50 ans) (Benagoudjil, 2014), l'État a initié un programme de rajeunissement des vergers agrumicoles en octroyant des subventions financières pour inciter à l'arrachage des vieux sujets et leur remplacement par de nouvelles plantations. Selon des informations via le site www.minagri.dz, une somme de 18.000 dinars / ha est octroyée pour l'arrachage et 25.000 dinars / ha pour l'achat de nouveaux plants. De façon générale, les agrumiculteurs ont estimé que ce financement reste très insuffisant pour couvrir les frais - ce qui a dissuadé certains d'entre eux à procéder à l'arrachage des vieilles plantations. Les nouvelles plantations sont exposées à la résurgence d'agents pathogènes et d'autres ravageurs.

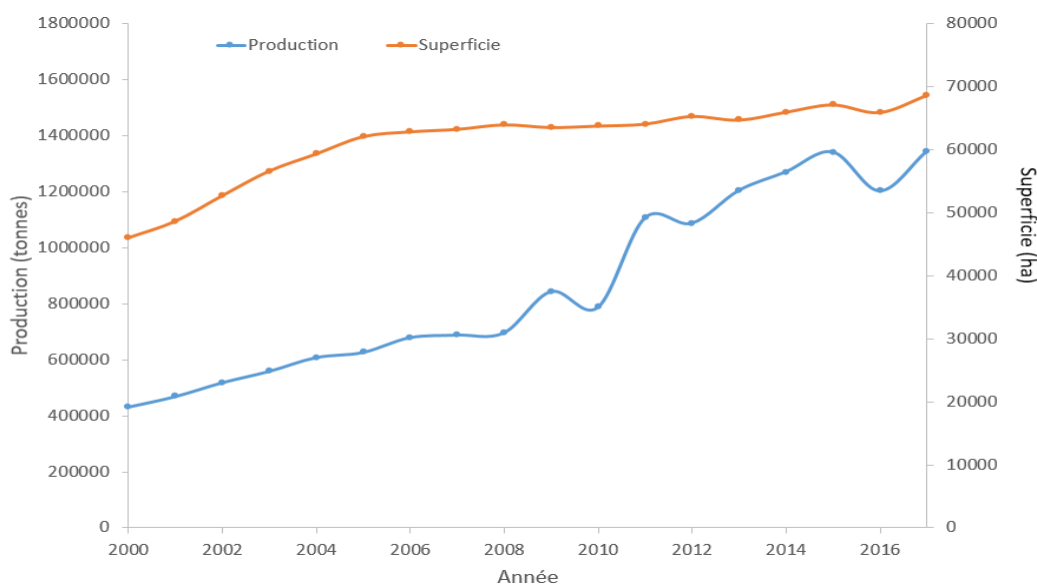


Fig.2 : Évolution de la superficie et de la production des agrumes en Algérie (2000-2017) (M.A.D.R.P., 2018)

1.1.3.2. Situation des agrumes dans la Wilaya de Mostaganem

La wilaya de Mostaganem est limitrophe de plusieurs wilayate agrumicoles (Chlef, Relizane, Oran et Mascara). Elle comporte 10 subdivisions agricoles qui regroupent 32 communes. Elle est à vocation agricole (polyculture) dans laquelle les agrumes occupent une superficie de 5001 Ha (D.S.A., 2018). La production en 2017, était de 129.486 tonnes (Fig.3), ce qui place la région à la deuxième position en termes de production (M.A.D.R.P., 2018). L'agrumiculture est concentrée dans la région ouest de la wilaya dont la commune de Bouguirat représente la plus grande zone de production (Fig.3). Les espèces les plus cultivées sont : *C. sinensis* (Washington Navel et Thomson Navel) et *C. clementina* (Tableau 3) (D.S.A, 2018).

Tableau 3 : Superficies et productions des principales espèces et variétés d'agrumes à Mostaganem entre 2015-2017 (D.S.A, 2018)

Année Espèce		Superficie en ha			Production en tonnes		
		2015	2016	2017	2015	2016	2017
Orangers	Variété						
	Washington Navel	1.747,5	1.763,5	1.775,5	36.177	42.085	43.538,3
	Thomson Navel	1.330,5	1416,5	1.446,5	30.003	33.518,5	34.534
	Double fine	560	560	560	14.994	16.048,5	16.423
	Sanguine	271	271	271	7.228,5	8.830,5	8.896,5
Clémentiniers		670,5	680,5	680,5	17.293	18.262,5	18.737,2
Citronniers		246,5	249,5	251	6.796,5	6.817	6.886
Mandariniers		16,5	16,5	16,5	508	482	471
Total		4.842,5	4.957,5	5.001	130.000	126.044	129.486

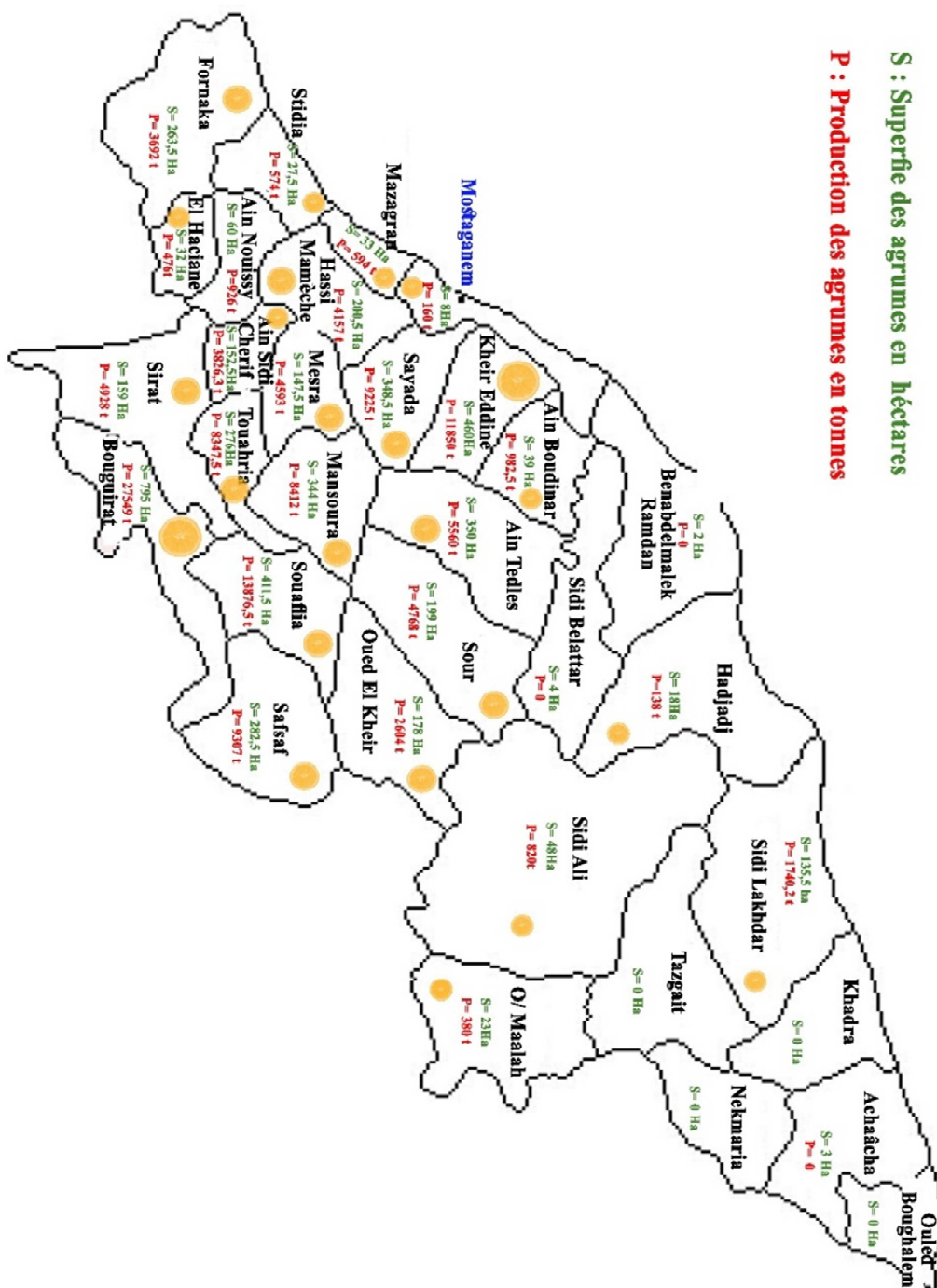


Fig.3 : Superficies et productions des agrumes dans la wilaya de Mostaganem (D.S.A 2018)

1.1.4. Les principaux problèmes phytosanitaires des agrumes et moyens de lutte

Les agrumes sont affectés à la fois par des facteurs biotiques et abiotiques qui peuvent entraîner des dégâts variables en fonction de leur intensité. Cette variation est liée à plusieurs facteurs, essentiellement, les conditions environnementales, agressivité des souches des pathogènes, type d'insecte nuisible ou résistance du porte greffe (Al-Sadi *et al.*, 2017).

1.1.4.1. Importance des insectes bio-agresseurs des agrumes

Il a été rapporté au moins 108 espèces d'insectes nuisibles aux agrumes dans le Bassin méditerranéen parmi lesquels l'ordre des Hémiptères occupe la place la plus importante avec 66 espèces entre cochenilles, aleurodes, cicadelles et pucerons. La famille des Aphididae (pucerons) comporte plusieurs espèces (Franco *et al.*, 2006).

La liste actualisée des insectes les plus nuisibles pour les agrumes dans le Bassin méditerranéen représente une dizaine d'espèces, avec une fréquence variable (%) en fonction des pays sur la base d'informations recueillies au niveau des deux sites <https://gd.eppo.int> et <https://www.cabi.org/>. Ces insectes sont : *Ceratitis capitata* (Wiedemann, 1824) (Diptera : Tephritidae) (100%), *Phyllocnistis citrella* (Stainton, 1856) (Lepidoptera : Gracillariidae) (91%), *Aonidiella aurantii* (Maskell, 1879) (82%), *Parlatoria ziziphi* (76%) (Lucas, 1853), *Unaspis citri* (Comstock, 1883) (4%) (Hemiptera : Diaspididae), *Planococcus citri* (Risso, 1813) (Hemiptera : Pseudococcidae) (86%), *Aphis spiraecola* (Patch, 1914) (86%), *Aphis gossypii* (Glover, 1877) (90%) et plus récemment, *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy, 1907) (Hemiptera : Aphididae) seulement en Espagne et au Portugal, comme c'est aussi le cas pour *Trioza erytrae* (Del Guercio, 1918) (Hemiptera : Triozidae). Le contrôle biologique contre ces ravageurs par le biais de leurs ennemis naturels reste difficile à réaliser, ce qui contribue à utiliser la lutte chimique (Franco *et al.*, 2006 ; Tena and Garcia-Marí, 2011 ; Gómez-Marco, 2015).

Les pucerons sont impliqués dans la propagation du virus de la *Tristeza* (CTV) qui appartient à la famille des Closteroviridae et au genre *Closterovirus* (Karasev *et al.*, 1995). Ce virus peut être véhiculé par les pucerons à partir d'une source infectée (Marroquin *et al.*, 2004), c'est pourquoi le problème posé par ses vecteurs doit être maîtrisé. En Algérie, la dispersion de la maladie à partir des foyers détectés dans plusieurs régions du centre à travers trois pucerons dominants est une situation préoccupante (Larbi *et al.*, 2015 ; Ali-Arous *et al.*, 2017).

1.1.4.2. Méthodes de lutte contre les ravageurs des agrumes

Il existe plusieurs méthodes de lutte, seules, ou combinées qui peuvent être utilisées en verger d'agrumes pour contrôler les différents bio-agresseurs. La lutte intégrée (IPM) est la méthode la plus conseillée car elle permet de combiner plusieurs actions de lutte en privilégiant les méthodes écologiques. Dans le Bassin méditerranéen, elle est pratiquée surtout dans les pays européens qui sont tenus de respecter des directives qui préconisent la réduction de l'utilisation des pesticides (Vacante, 2012). La superficie consacrée à l'IPM par rapport à la superficie totale varie d'un pays à un autre. Elle est de 1% en France, varie entre 10 et 20% au Maroc, au Portugal et en Italie ; elle atteint 30% en Turquie. En Espagne et en Grèce, la majorité de la superficie agrumicole est conduite en IPM ; selon Jacas *et al.* (2010), ce n'est qu'en Israël que la totalité des superficies est conduite en IPM. En ce qui concerne l'Algérie, aucune information fiable n'est disponible pour évaluer la situation. Les agriculteurs ne sont pas conscients des problèmes liés à l'usage des pesticides. Les agrumiculteurs de la wilaya de Mostaganem qui ont été interrogés sur la fréquence des traitements chimiques pratiqués sur agrumes ont confirmé qu'ils utilisaient des pesticides de façon systématique selon des calendriers préétablis proposés par les représentants des firmes phytosanitaires. Ces agents qui ont un libre accès aux exploitations ont une grande influence sur les agriculteurs. Dans les pays européens, les représentants des sociétés de produits phytosanitaires ne peuvent avoir accès aux exploitations que dans un cadre légal, programmé et contrôlé.

1.2.CHAPITRE II : GÉNÉRALITÉS SUR LES PUCERONS

Les pucerons ou aphides sont des insectes phytophages très étudiés dans le monde, à cause de leur nocivité pour l'agriculture et la foresterie (Agarwala, 2007; Sullivan, 2008 ; Harmel *et al.*, 2010; Kindlmann and Dixon, 2010; Alyokhin *et al.*, 2011; Vorburger, 2014). Ils peuvent causer des dégâts directs par spoliation de la sève ou indirects, par la transmission de particules virales à partir de sources infectées et par la formation de fumagine, un champignon du genre *Capnodium* qui se développe sur le miellat excrété par les pucerons et qui peut provoquer des perturbations dans la microflore sur la surface des plantes (Reynolds, 1999 ; Goggin *et al.*, 2017).

1.2.1. Classification

Les pucerons appartiennent à l'ordre des Hémiptères et au sous-ordre des Sternorrhyncha qui comporte plusieurs super-familles très nuisibles [Aphidoidea (les pucerons), Aleyrodoidea (aleurodes), Psylloidea (psylles) et Coccoidea (cochenilles)] (Blackman and Eastop, 1984; Blackman and Eastop, 2007; Dixon 2012; Vilcinskas, 2016). La super-famille des Aphidoidea est subdivisée en trois familles (Phylloxeridae, Adelgidae et Aphididae); cette dernière est la plus importante pour l'agriculture (Turpeau *et al.*, 2010). La phylogénie de la super-famille Aphidoidea est présentée Fig.4 à la page 17.

1.2.2. Importance de la famille des Aphididae

La famille des Aphididae comporte entre 4700 à 5000 espèces dans le monde (Remaudière and Remaudière, 1997 ; Coeur d'acier *et al.*, 2010; Favret, 2018), dont près de 450 espèces attaquent les plantes cultivées (Blackman and Eastop 2006). On compte seulement une centaine d'entre elles comme économiquement importantes (Blackman and Eastop, 2007). Cette famille comprend 23 sous-familles (Fig.4) qui regroupent plus de 97% des espèces de pucerons phytophages (Remaudière and Remaudière, 1997; Vilcinskas, 2016). La sous famille des Aphidinae qui représente entre 2700 à 2900 espèces (Blackman

and Eastop, 2007; Vilcinskas, 2016) est considérée comme la plus importante du point de vue agricole parce qu'un grand nombre d'espèces attaquent les plantes cultivées mais aussi à cause de sa diversité (Blackman and Eastop, 2006). Le genre *Aphis* est considéré comme le plus important du fait qu'il comporte un grand nombre d'espèces ; il représente plus de 10% des Aphididae distribués dans toutes les régions du monde (Coeur d'acier *et al.*, 2010).

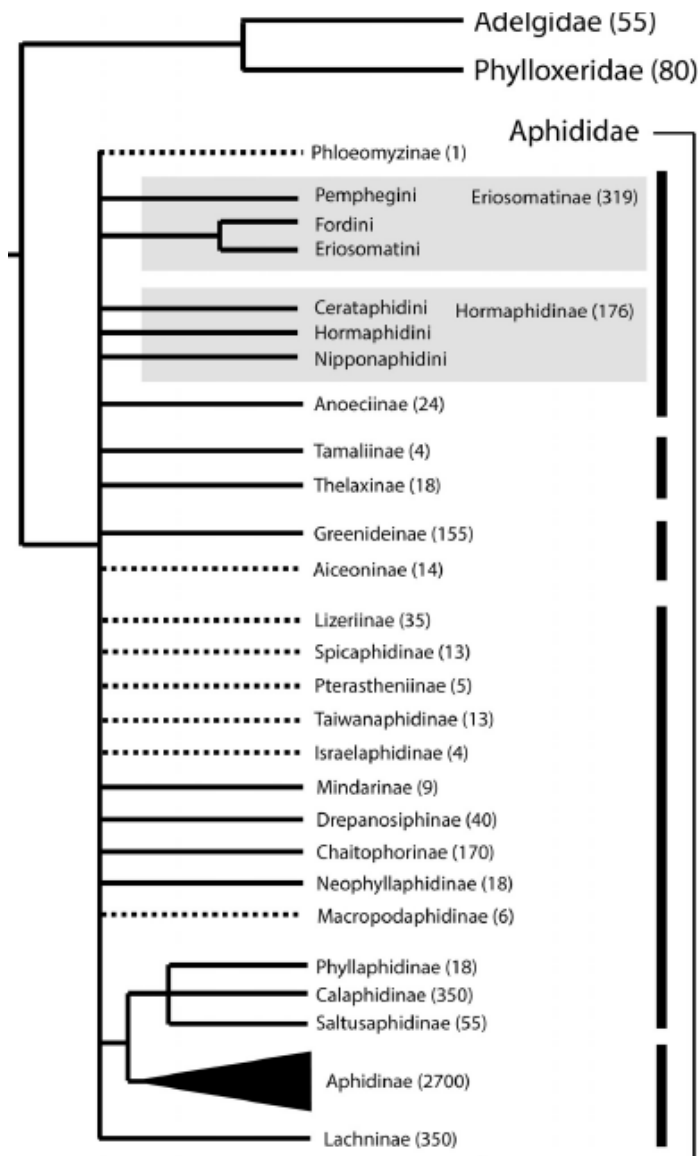


Fig. 4 : Phylogénie des Aphidoidea (Vilcinskas, 2016)

* Le chiffre entre () désigne le nombre d'espèces

1.2.3. L'origine des pucerons

Les pucerons sont plus diversifiés dans l'hémisphère nord avec quelques lignées originaires de l'hémisphère sud ; cela est probablement dû à des radiations favorables dans l'hémisphère nord durant le Tertiaire (-66 Ma à 2,58 Ma) (von Dohlen and Teulon, 2003). L'origine des Aphidoidea est supposée être plus ancienne que les angiospermes (Blackman and Eastop, 1984). Elle date probablement du Carbonifère ($-358,9 \pm 0,4$ à $-298,9 \pm 0,2$ Ma). Cependant, le plus ancien fossile trouvé correspond à la forme ailée de l'espèce *Triassoaphis cubitus* qui date du Trias ($-251 \pm 0,4$ et $-199,6 \pm 0,6$ Ma) (Dixon, 2012). On peut aussi supposer que l'évolution et la diversité des pucerons sont liées à leur plante hôte (Peccoud *et al.*, 2010).

1.2.4. Morphologie générale des pucerons

Les pucerons sont de taille petite mesurant entre 1 et 10 mm (Dixon, 2012 ; Sullivan, 2008), mais la majorité des espèces ne dépassent pas les 3,5 mm de longueur (Blackman and Eastop, 1984). Le corps est en général de forme ovale, comprenant une tête immobile possédant une paire d'antennes, des yeux composés et un rostre qui est composé de stylets grâce auxquels le puceron perse le mésophylle de la feuille pour atteindre les vaisseaux du phloème de la plante (Agarwala, 2007). Le thorax comprend trois paires de pattes et des ailes chez la forme ailée (Fig.5) ; l'abdomen peut avoir une forme variable (allongée à ronde), une coloration variable (pigmentation claire ou foncée), se terminant par une cauda (queue) qui prend des formes et des couleurs différentes en fonction de l'espèce. L'abdomen porte en général, une paire de cornicules dont la longueur, la forme, la couleur et l'ornementation varient en fonction de l'espèce (Hullé, 1998; Turpeau *et al.*, 2010; Vilcinskis, 2016).

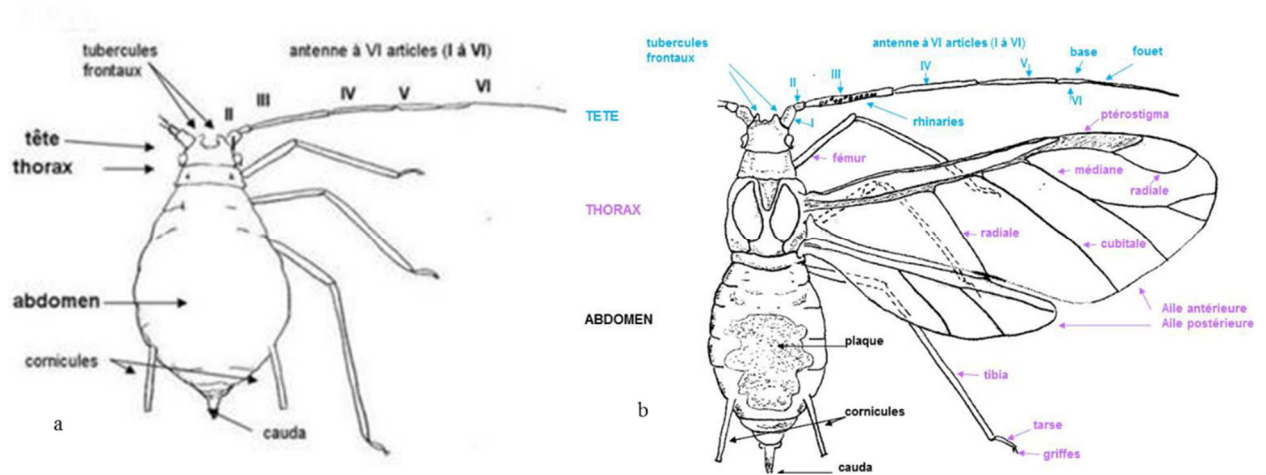


Fig.5 : Morphologie générale d'un puceron (a) aptère et (b) ailé
(Turpeau *et al.*, 2010).

1.2.5. Écologie des pucerons

Le cycle de vie des pucerons est complexe et varie selon les espèces et les saisons, en alternant avec des formes ailées et aptères, sexuelles ou parthénogénétiques (des femelles vivipares ou ovipares) (Blackman and Eastop, 1984; Blackman and Eastop, 2007; Dixon, 2012; Vilcinskas, 2016). La complexité du cycle de vie des pucerons avec l'alternance entre des générations parthénogénétiques et d'autres sexuées est probablement due à une adaptation aux changements saisonniers et approvisionnement alimentaire dans les régions tempérées (Moran, 1992 ; Michalik *et al.*, 2013). Il existe deux types de cycle de vie chez les pucerons par rapport au mode d'utilisation de la plante hôte. Certaines espèces de pucerons dites monœciques nécessitent une seule plante pour accomplir leur cycle et d'autres espèces dites diœciques ou hétéroœciques accomplissent leur cycle sur au moins deux types de plantes (Fraval, 2006; Turpeau *et al.*, 2010 ; Hardie, 2017). En général, les pucerons hétéroœciques (Fig.6) passent l'hiver sur une espèce végétale ligneuse (hôte primaire), ensuite ils migrent au printemps vers les plantes herbacées (hôtes secondaires) sur lesquelles ils se développent jusqu'à l'été ; ils reviennent vers l'hôte primaire dès l'automne (Blackman and Eastop, 1984). Chez certaines espèces la parthénogénèse est interrompue par une phase sexuée (forme sexupare) où la reproduction entre mâles andropares et femelles gynopares

(ovipares) donne naissance à des œufs déposés sur la plante hôte primaire ; ce type de cycle est appelé cycle complet ou holocyclie qu'il soit monœcique ou hétéroœcique (Blackman and Eastop, 1984; Fraval, 2006; Turpeau *et al.*, 2010; Michalik *et al.*, 2013). L'éclosion des œufs donne naissance à des femelles dites fondatrices qui sont généralement aptères et qui engendrent plusieurs générations parthénogénétiques appelées fondatrigènes (Turpeau *et al.*, 2010 ; Hardie, 2017). Les espèces anholocycliques se multiplient uniquement par parthénogénèse (Hardie, 2017) mais on considère qu'il n'existe aucune espèce de puceron pouvant se reproduire uniquement par voie sexuée (Moran, 1992). La capacité des pucerons à produire des individus ailés sous l'effet d'une surpopulation, de la détérioration de la qualité alimentaire de la plante hôte ou d'autres facteurs, permet à ces insectes de quitter la plante hôte à la recherche d'une autre plante hôte pour assurer leur alimentation (Agarwala and Das, 2012).

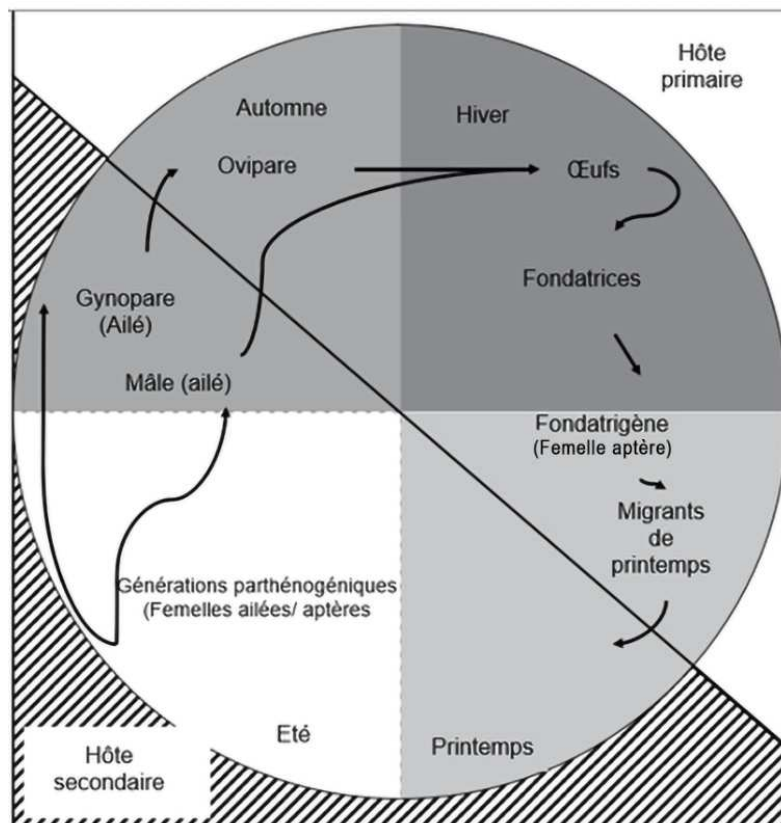


Fig. 6 : Cycle biologique général des pucerons hétéroœciques (Hardie, 2017) (Traduit de l'Anglais)

1.2.6. Mode de nutrition et relation avec la plante hôte

Les pucerons sont des insectes piqueurs-suceurs (Harmel *et al.*, 2010). Ils se nourrissent de la sève du phloème en utilisant leurs stylets (Dixon, 2012). Ils ont la capacité de nuire à la défense et à la nutrition de la plante en causant des dommages directs (spoliation) ou indirects par la transmission de virus (Field *et al.*, 2017).

Le repère visuel joue un rôle important pour l'atterrissage et le choix de la plante hôte chez les ailés des pucerons (Pettersson *et al.*, 2017). Aussi, les indices olfactifs couvrent un large spectre de substances sémio-chimiques afin de distinguer la plante et sa qualité nutritionnelle (Pickett *et al.*, 2017). Une fois sur la plante, le puceron introduit ses stylets (avec la salive) dans l'épiderme en traversant les cellules du parenchyme pour atteindre les tissus phloémiens pour prélever la sève (Harmel *et al.*, 2010). D'après Tjallingii (2006), la salivation chez les pucerons se fait en 4 étapes représentées Fig. 7 : la première salivation est gélifiante (1) car elle permet de former un manchon autour des stylets pour limiter la réaction de défense de la plante (apoplastie). Il y a ensuite une salivation aqueuse lors des piqûres intracellulaires (2) et dans les vaisseaux du phloème (3). Ensuite la dernière (4) se produit lors de l'ingestion de la sève.

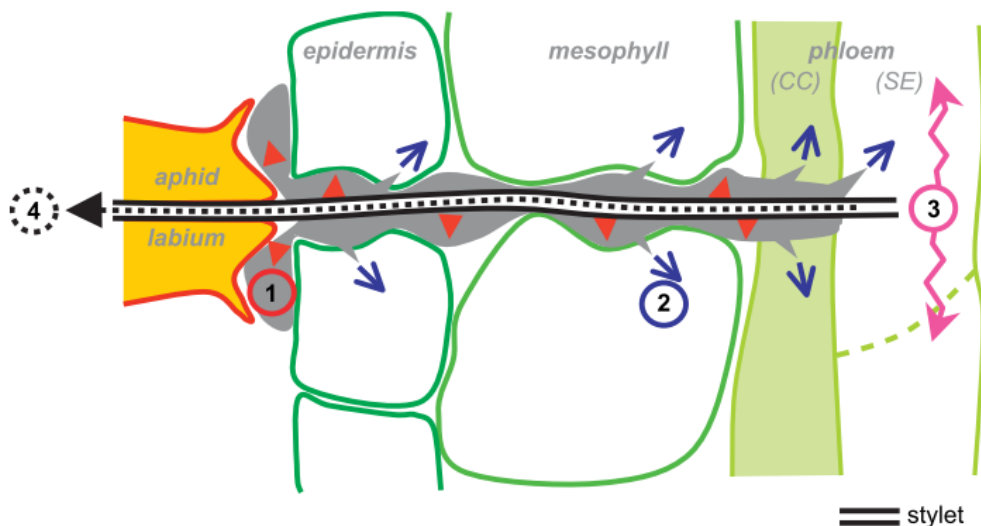


Fig. 7: Phases de salivation du puceron à l'intérieur de la plante (Tjallingii, 2006)

Une recherche récente sur le mode de nutrition des pucerons a montré que la Cytokine qui est une protéine sécrétée dans la salive par le facteur inhibiteur de la migration des macrophages (FIM) perturbe les réponses immunitaires de la plante (Naessens *et al.*, 2015; Reymond and Calandra, 2015). Une fois la sève ingérée, les pucerons produisent une quantité considérable de miellat composé essentiellement de sucres tri-saccharides, dont une partie tombe sur le sol à raison d'une moyenne de 10gr/ 100gr de sol (Dixon, 2005). Une des composantes de ce miellat, le melezitose fournit une source de carbone pour les bactéries fixatrices d'azote libre dont bénéficie la plante ; il semble qu'il existe une sorte de mutualisme entre les pucerons et la plante hôte (Owen, 1978; Owen, 1980; Owen and Wiegert, 1981; Grier and Vogt, 1990; Whitaker *et al.*, 2014).

La majorité des insectes ayant un système alimentaire déséquilibré possèdent des micro-organismes symbiotiques facilitant la digestion des nutriments (Akman Gunduz and Douglas, 2009; Feldhaar and Gross, 2009). Chez les pucerons ces micro-organismes sont trouvés sous forme de bactériosome (Dixon, 2005). La principale bactérie symbiotique primaire découverte chez les pucerons par Buchner en 1965 est l'espèce *Buchnera aphidicola* (Munson, Baumann and Kinsey, 1991) (Enterobacterales : Enterobacteriaceae) (Harada and Ishikawa, 1993). Elle est indispensable à la synthèse des acides aminés nécessaires au fonctionnement métabolique chez les pucerons (Akman Gunduz and Douglas, 2009).

1.2.7. Défense des pucerons contre leurs ennemis naturels

Les pucerons, comme tout organisme vivant, sont soumis à des agressions multiples (prédateurs, parasitoïdes ou maladies) qui peuvent réduire considérablement leurs populations (Blackman and Eastop, 1984; Hirose, 2006; Blackman and Eastop, 2007; Niu *et al.*, 2014; Brodeur *et al.*, 2017). Ils ont développé plusieurs systèmes de protection pour échapper à leurs ennemis naturels. Il existe plusieurs situations :

Le mutualisme entre les pucerons et les fourmis permet aux pucerons de se protéger contre leurs agresseurs ; en échange du miellat fourni, les fourmis agressent les prédateurs et les parasitoïdes (Völkl, 1992; Völkl *et al.*, 1995 ; Kaneko, 2002; Erickson *et al.*, 2012). En effet, des études ont montré que les colonies de pucerons en présence de fourmis ont un taux de prédation moins élevé (Muller and Godfray, 1999 ; Fischer *et al.*, 2001). Les fourmis peuvent également réduire le risque dû aux parasitoïdes ; dans une étude réalisée en Europe centrale, on a constaté que sur 40 espèces de parasitoïdes attaquant les colonies de pucerons, 14 sont agressées par des fourmis (Völkl, 1997) mais même dans ce cas il arrive que les parasitoïdes réussissent à pondre dans les pucerons (Kaneko, 2006). En général, les relations fourmis-prédateurs et fourmis-parasitoïdes perturbent le fonctionnement du contrôle biologique (Brodeur *et al.*, 2017).

La découverte relativement récente de plusieurs bactéries endosymbiotiques secondaires que les pucerons utilisent pour résister à leurs ennemis naturels et même au stress thermique, permet de mieux comprendre l'échec parasitaire chez certaines espèces (Bilodeau *et al.*, 2012 ; Asplen *et al.*, 2014 ; Oliver *et al.*, 2014; Vorburger, 2014 ; Cayetano and Vorburger, 2015). L'exemple le plus étudié est celui de *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776) qui abrite la bactérie facultative *Hamiltonella defensa* (Moran, 2005) responsable de la résistance contre le parasitoïde *Aphidius ervi* (Haliday, 1833) (Fig.8) (Oliver *et al.*, 2010 ; Bilodeau *et al.*, 2012; Asplen *et al.*, 2014). Cette même bactérie protège aussi le puceron *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) du parasitoïde *Lysiphlebus fabarum* (Marshall, 1896) (Schmid *et al.*, 2012). Il semble qu'en présence de fourmis dans une colonie de pucerons, le nombre de bactéries endosymbiontes secondaires diminue (Erickson *et al.*, 2012). A titre d'exemple, la Fig. 8 illustre les différentes trajectoires de développement du puceron du pois (*Acyrtosiphon pisum*) parasité par *A. ervi*.

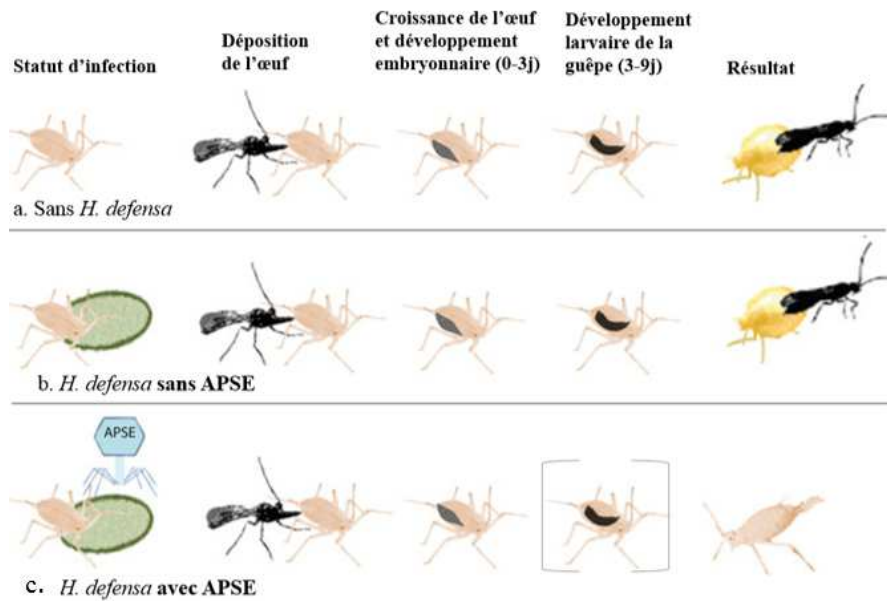


Fig.8 : Modèle de trajectoires de développement du puceron du pois (*Acyrtosiphon pisum*) parasité par *Aphidius ervi* en présence ou en l'absence de l'endosymbionte facultatif *Hamiltonella defensa* et de son bactériophage associé ESAP (Endosymbionte Secondaire de *Acyrtosiphon pisum*) (Weldon and Oliver, 2016) (Traduit de l'Anglais).

Les différentes modalités présentées Fig. 8 ont été obtenues à la température de 20°C et photopériode de 16h lumière / 24h.

- (a) **Puceron sans *H. defensa***: le parasitoïde injecte un seul œuf dans un puceron et le développement embryonnaire se déroule pendant les 3 jours qui suivent la ponte. Le développement larvaire du parasitoïde se poursuit jusqu'au 9^{ème} jour après la ponte. A la fin du développement larvaire, la chrysalide se développe en 5 à 6 jours dans le puceron momifié. Un seul adulte émerge de la momie. Le développement total de la ponte à l'émergence de l'adulte dure 14-15 jours.
- (b) **Puceron infecté par *H. defensa* sans APSE**: le développement du parasitoïde se déroule comme précédemment.
- (c) **Puceron infecté par *H. defensa* avec bactériophage APSE**: La mortalité du parasitoïde a lieu au stade œuf ou larvaire, selon la souche APSE (les parenthèses indiquent que le développement larvaire peut se produire ou pas).

1.3. CHAPITRE III : RÔLE DES ENNEMIS NATURELS DANS LA PROTECTION PHYTOSANITAIRE DES PUCERONS

La lutte biologique est basée sur l'exploitation par l'homme, d'une relation naturelle entre deux êtres vivants qui sont la cible (organisme indésirable) et l'auxiliaire qui est soit un prédateur, soit un parasitoïde ou un agent pathogène (Jourdheuil *et al.*, 1991). Le principe général de la lutte biologique repose sur l'attribution du rôle d'auxiliaire de l'homme pour combattre les ravageurs des cultures. Elle constitue la base de la lutte intégrée. Elle est différente en fonction du déprédateur visé et de la culture. Elle peut se pratiquer par conservation, en valorisant et protégeant les auxiliaires existants ou par acclimatation (lâcher inoculatif ou inondatif selon le cas lorsqu'il s'agit de lutter contre un ravageur introduit accidentellement sans ses ennemis naturels (Pintureau, 2009).

Les principaux organismes antagonistes des pucerons sont : les parasitoïdes et les prédateurs.

1.3.1. Les parasitoïdes

Ce sont des insectes holométaboles qui se développent dans leurs hôtes (endoparasitoïdes) ou sur eux (ectoparasitoïdes) (Hare and Weseloh, 2009), mais l'adulte vit librement en se nourrissant de produits végétaux (nectar, pollen, miellat). Ils sont dits koinobiontes lorsque l'hôte n'est pas tué au moment de la ponte et idiobiontes dans le cas contraire (Turpeau *et al.*, 2010). Les parasitoïdes de pucerons existent dans deux ordres dont le plus important appartient à l'ordre des hyménoptères. L'ordre des diptères est représenté à travers le monde par une seule espèce qui appartient au genre *Endaphis*. Les Hyménoptères comportent les parasitoïdes primaires dans la famille des Aphelinidae et des Braconidae, et des parasitoïdes secondaires et tertiaires connus sous le nom d'hyper-parasitoïdes qui appartiennent à plusieurs familles (Pteromalidae, Encyrtidae, Eulophidae, Megaspilidae et Charipidae) (Turpeau *et al.*, 2018b).

1.3.1.1. Les parasitoïdes primaires

Dans la famille des Aphelinidae, seuls les trois genres *Aphelinus*, *Protaphelinus* et *Encarsia* peuvent parasiter les pucerons (Evans *et al.*, 1995; Turpeau *et al.*, 2018b). Dans la famille des Braconidae qui est la plus diversifiée, il existe plus de 30 sous-familles comportant 40.000 espèces (Turpeau *et al.*, 2018b).

- La sous-famille des Aphidiinae comprend environ 50 genres avec 400 à 600 espèces identifiées (Mackauer and Starý, 1967; Starý, 1988; Dolphin and Quicke, 2001). Le cycle biologique se déroule selon le schéma classique présenté Fig.9.

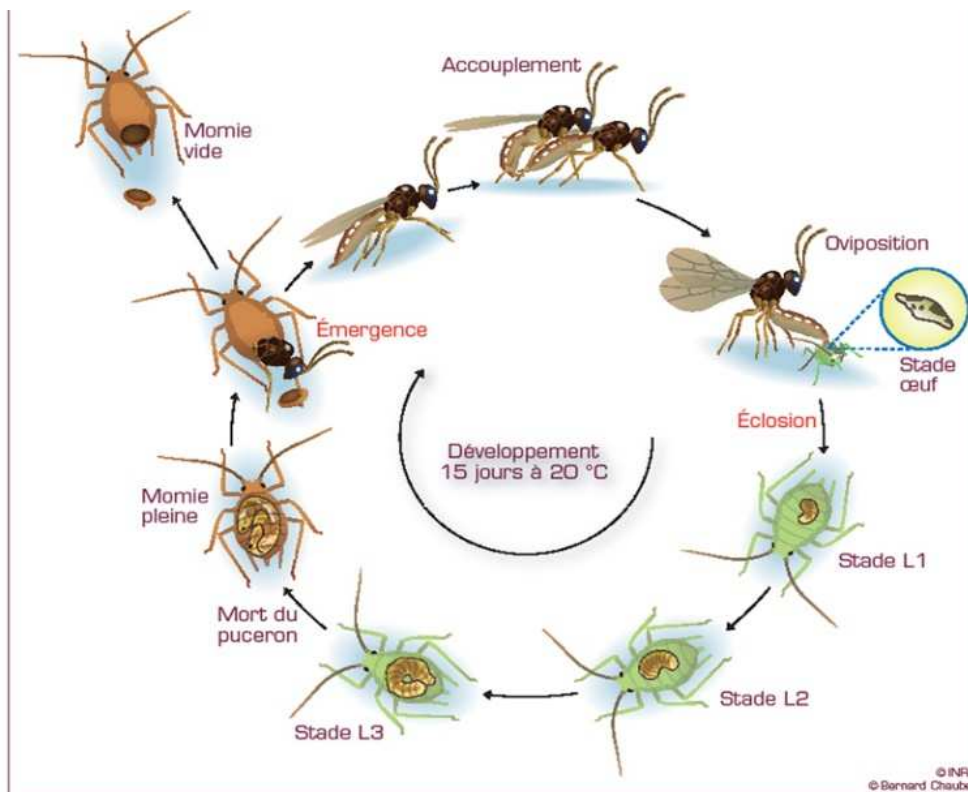


Fig.9 : Cycle biologique d'un parasitoïde primaire (Turpeau *et al.*, 2018b)

- Les Aphidiinae sont des endoparasitoïdes solitaires obligatoires des pucerons (Starý, 1969) dont la taille des adultes varie entre 1 et 10 mm (Starý, 1988; Turpeau *et al.*, 2018b). La femelle dépose un seul œuf dans le puceron, mais il arrive que plusieurs œufs soient déposés dans un seul hôte (multiparasitisme ou superparasitisme) lorsque les hôtes sont rares ou indisponibles (Völkl and Mackauer, 1990). Un liquide ovarien et du venin sont injectés avec la ponte ce qui

contribue à immobiliser l'hôte et à réguler son développement (Digilio *et al.*, 1998; Falabella *et al.*, 2000). Après une période d'incubation qui varie en fonction de la température, la larve néonate commence à se nourrir de l'hémolymphe, et poursuit son développement en passant par plusieurs stades successifs (3 à 4) au cours desquels elle va consommer l'intégralité des parties molles (Boivin *et al.*, 2012; Brodeur *et al.*, 2017). Une fois le développement achevé, la larve tapisse l'intérieur de la cuticule avec un feutrage soyeux pour se nymphoser auquel on donne le nom de momie (Müller *et al.*, 1999 ; Brodeur and Rosenheim, 2000). Le cocon peut être formé soit à l'intérieur comme c'est le cas pour les espèces des genres *Aphidius*, *Ephedrus*, *Lysiphlebus*, *Pauesia* et *Trioxys*... soit en dessous, ce qui soulève la dépouille du puceron qui est un aspect caractéristique des genres *Dyscritulus* et *Praon* (Brodeur *et al.*, 2017).

La majorité des espèces Aphidiinae se multiplient par voie sexuée, cependant, des espèces thélytoques ont été observées avec absence de mâles (Sandrock *et al.*, 2011) ; c'est le cas de la souche algérienne de *Lysiphlebus fabarum* (Guenauoui *et al.*, 1994).

L'identification des Aphidiinae est délicate, se distinguant des autres Braconidae par une nervation alaire particulière et une articulation entre le deuxième et le troisième tergite abdominal qui permet une position de ponte caractéristique (Turpeau *et al.*, 2018b). En général, la nervation alaire des Aphidiinae est réduite, mais le genre *Ephedrus* a une nervation complète (Turpeau *et al.*, 2018b). Le nombre d'articles antennaires varie en fonction des espèces et ne dépasse généralement pas 20 ; les mâles ont toujours au moins un article de plus que les femelles (Ullah *et al.*, 2015).

Plusieurs espèces de cette sous-famille des Aphidiinae sont connues comme agents de lutte biologique contre les pucerons (Stary, 1976; Starý, 1988 ; Mills and Wajnberg, 2008). Les études sur la taxonomie des Aphidiinae ainsi que leurs relations avec les pucerons ont été menées dans plusieurs pays de la Méditerranée en Italie (Starý, 1965 ; Pennacchio, 1989; Pennacchio and Höller, 1990), en France (Starý *et al.*, 1975; Starý *et al.*, 1977), en Espagne (Michelena and González, 1987

; Michelena and Oltra, 1987; Michelena and Sanchis, 1993; Michelena *et al.*, 1994; Suay *et al.*, 1998; Michelena *et al.*, 2004; Sanchez *et al.*, 2011; Bañol, 2013), au Maroc (Starý and Sekkat, 1987), en Israël (Mescheloff and Rosen, 1988; Mescheloff and Rosen, 1993), en Grèce (Kavallieratos *et al.*, 2001; Kavallieratos *et al.*, 2002; Kavallieratos *et al.*, 2004a; Kavallieratos *et al.*, 2004b), en Tunisie (Ben Halima and Ben Hamouda, 2005; Boukhris-Bouhachem, 2011; Sellami *et al.*, 2013), en Turquie (Aslan *et al.*, 2004 ; Satar *et al.*, 2014; Güz and Kılınçer, 2005) et en Algérie (Guentaoui, 1991; Guentaoui and Mahiout, 1993; Laamari *et al.*, 2011; Chehma and Laamari, 2014; Chaouche and Laamari, 2015).

En raison de leur mode de vie et de leur durée de développement courte, les parasitoïdes peuvent exercer un fort effet régulateur sur la population hôte (le puceron) (Hance *et al.*, 2017). Cependant, sur le terrain, les taux de parasitisme observés sont relativement faibles (Langer *et al.*, 1997; Thies *et al.*, 2005), parce qu'il existe des interactions entre différents groupes qui peuvent limiter l'action des parasitoïdes comme par exemple les hyperparasitoïdes (Hamilton, 1973; Höller *et al.*, 1993; Mackauer and Volkl, 1993).

1.3.1.2. Les hyperparasitoïdes

Les hyperparasitoïdes sont des parasitoïdes secondaires qui se développent au dépend des parasitoïdes primaires, ce qui représente un niveau trophique très évolué (Sullivan and Volkl, 1999 ; Jacobson, 2011). Ils ont un impact majeur dans le contrôle biologique des pucerons en raison de leurs effets négatifs sur la dynamique des populations de parasitoïdes primaires (Müller and Godfray, 1998; Sullivan and Volkl, 1999). Les hyperparasitoïdes des pucerons sont limités à trois superfamilles d'hyménoptères : Chalcidoidea, Ceraphronoidea et Cynipoidea (Sullivan, 1987). Ils sont divisés en deux catégories : les endophages (hyperparasitoïdes indirects) ont des larves qui se nourrissent à l'intérieur de l'hôte vivant (Fig.10a), tandis que les ectophages (hyperparasitoïdes directs) (parasitoïdes secondaires ou tertiaires) attaquent le parasitoïde primaire après la momification du puceron (Fig.10b) (Sullivan, 1972 ; Sullivan, 1987 ; Müller and Godfray, 1998).

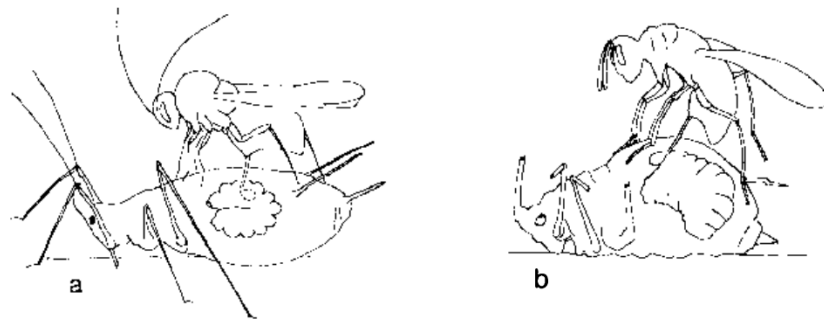


Fig.10 : Types d'oviposition chez les hyperparasitoïdes : (a) endophage, (b) ectophage (Sullivan, 1987).

Les espèces des genres *Alloxysta*, *Phaenoglyphis*, *Lytoxysta* et *Tetrastichus* sont considérées comme endophages ; par contre, les espèces des genres *Asaphes*, *Dendrocerus*, *Pachyneuron* et *Coruna* sont des ectophages (Sullivan, 1987).

1.3.2. Les prédateurs

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

1.4 CHAPITRE IV : LES PUCERONS DES AGRUMES ET LEURS ENNEMIS NATURELS

1.4.1. Les pucerons des agrumes

Les pucerons des agrumes sont considérés comme les ravageurs les plus redoutables (Jacas and Urbaneja, 2010; Karamaouna *et al.*, 2010) ; en se nourrissant sur jeunes pousses (feuilles et bourgeons floraux), ils peuvent provoquer l'enroulement des feuilles et la chute des fleurs. En plus, ils peuvent transmettre le CTV (*Citrus Tristeza Virus*) qui est le virus le plus dangereux des agrumes (Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006; Addante *et al.*, 2009). Les dégâts les plus importants sont remarqués au printemps (Hermoso de mendoza *et al.*, 2001; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006). Il existe plusieurs espèces régulièrement observées à travers le monde avec une dominance variable en fonction des régions. Les caractéristiques des principales espèces sont décrites ci-dessous.

1.4.1.1. *Aphis spiraecola* (Patch., 1914)

A. spiraecola (Fig. 14) est un puceron de petite taille, mesurant entre 1,2 à 2,3 mm. La taille des antennes représente la moitié de celle du corps (Fig.11) (Blackman and Eastop, 1984). Chez la forme aptère, le corps est de couleur jaune-verdâtre à vert-pomme avec des cornicules noires de forme sub-cylindrique (Fig.12a) et une cauda trapue de couleur sombre (marron à noire) portant entre 7 à 15 soies (Fig.13a) (Blackman and Eastop, 1984; Blackman and Eastop, 2006). La forme ailée est de couleur verte avec une tête brune ; les cornicules sont bien droites (Fig.12b), un peu plus longues que la cauda, qui est souvent noire, allongée, arrondie à l'extrémité et resserrée vers le 1/4 inférieur, portant 7 à 14 soies (Fig.13b) (Leclant, 2000).

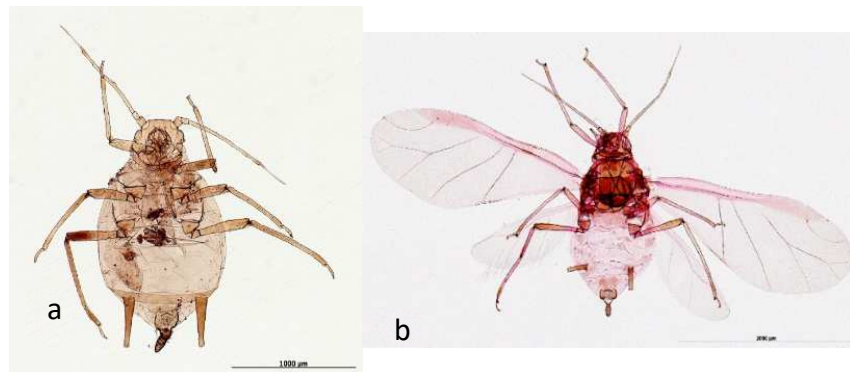


Fig. 11 : Morphologie générale de *Aphis spiraecola* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

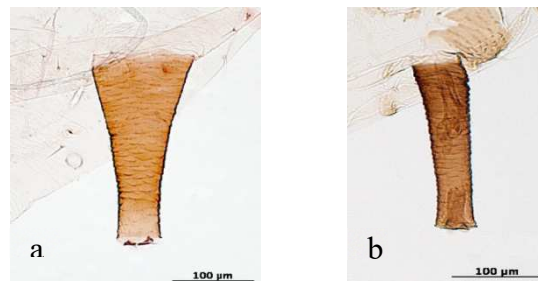


Fig. 12 : Cornicules de *Aphis spiraecola* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)



Fig. 13 : Cauda d'*A. spiraecola* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

Cette espèce a été longtemps confondue avec *Aphis citricola* (Van der Goot, 1912) à cause de leur similitude morphologique (Eastop and Blackman, 1988). Elle a été recensée dans plusieurs pays (Fig.15) mais elle est supposée être originaire d'Asie de l'est. Elle a été introduite en Amérique du nord en 1907 (Blackman and Eastop,



Fig.14 : Colonie de *Aphis spiraecola* (Photo de Chaubet -INRA-) (Blackman and Eastop, 2007)

2007). Son introduction dans la région méditerranéenne remonte à 1939 et son signalement en Afrique date de 1961 (Blackman and Eastop, 1984).

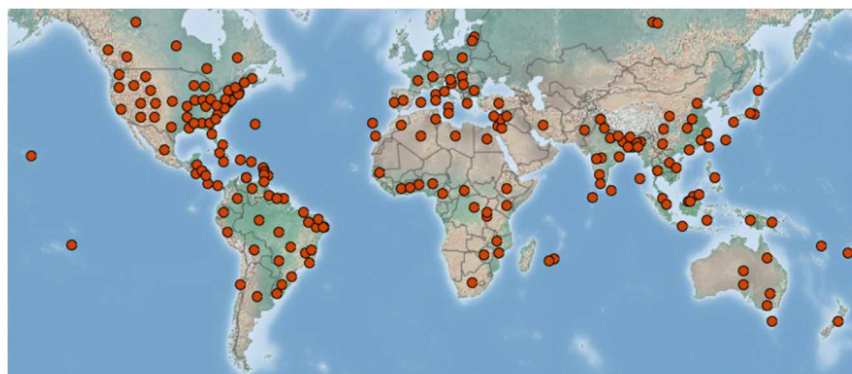


Fig.15 : Distribution *Aphis spiraecola* dans le monde (CABI, 2017)

● Présence du puceron

A. spiraecola a été signalée sur plus de 20 espèces de plantes hôtes à travers le monde (Blackman and Eastop, 2006; Holman, 2009) ; elle figure parmi la liste des 14 espèces les plus redoutables (Blackman and Eastop, 2007), surtout sur *Citrus* (Cole, 1925; Blackman and Eastop, 2006; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006; Blackman and Eastop, 2007; Gómez-Marco, 2015; Barbagallo *et al.*, 2017). L'espèce se reproduit par anholocyclie dans la majorité des régions du monde, excepté dans l'est asiatique, l'Amérique du nord et le Brésil où on a découvert une holocyclie sur l'espèce *Spiraea* spp. (Rosacée) qui est considérée comme l'hôte primaire (Komazaki, 1983). Il faut noter qu'aucune génération issue de la forme sexuée n'a été signalée en dehors du Japon (Komazaki *et al.*, 1979 ; Komazaki, 1998).

➤ Nature des dégâts

A. spiraecola attaque les jeunes pousses (feuilles, tiges et fleurs) des agrumes et provoque leur enroulement (Fig.16). Il semble que sa préférence pour les parties tendres de la plante soit due à la taille courte de son rostre (Footitt *et al.*, 2012). D'après Razaq *et al.* (2000), le rostre d'*A. spiraecola* est composé seulement



Fig.16: Enroulement de pousse de *Citrus sinensis* causés par *Aphis spiraecola* (Photo originale)

de 3 segments alors qu'il est composé de 5 segments pour la plupart des pucerons. De fortes pullulations réduisent la nouaison et retardent la croissance des jeunes arbres (Meagher, 2008).

1.4.1.2. *Aphis gossypii* (Glover, 1877)

Morphologiquement, la forme aptère mesure entre 0,9–1,8 mm et 1,1 à 1,8 mm pour la forme ailée (Fig.17). Sa couleur varie du jaunâtre au vert sombre (Blackman and Eastop, 1984). Sur agrumes, le puceron peut prendre la couleur gris-foncé ou noir-terne (Meagher, 2008). Les cornicules sont toujours très foncées (Fig.18) et la cauda généralement de la couleur du corps avec 4 à 8 soies (Fig.19) (Blackman and Eastop, 2006). La longueur des antennes est inférieure à celle du corps (Fig.17) (Hullé, 1998; Leclant, 2000; Turpeau *et al.*, 2010).

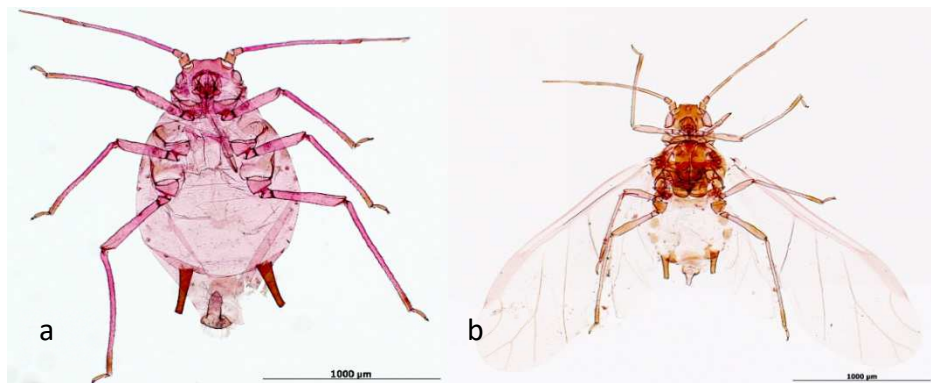


Fig.17 : Morphologie générale de *Aphis gossypii* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

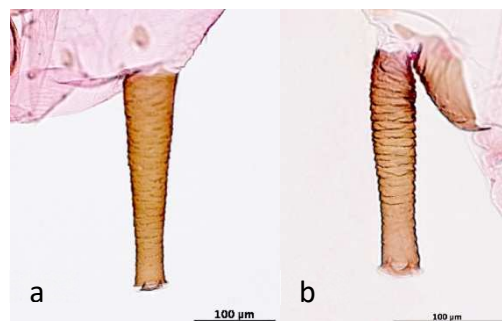


Fig.18 : Cornicules de *Aphis gossypii* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

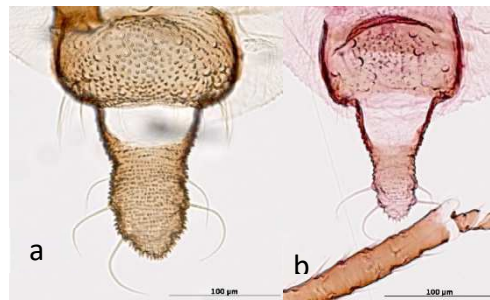


Fig.19 : Cauda de *Aphis gossypii* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

A. gossypii (Fig.20) est un ravageur cosmopolite et polyphage, pouvant se développer sur plus de 100 espèces de plantes cultivées. Il est probablement originaire de l'Amérique du nord (Blackman and Eastop, 2007). L'espèce peut transmettre plus de 50 virus (Blackman and Eastop, 1984; Blackman and Eastop, 2007; Meagher, 2008). Il transmet aussi le CTV qui est redoutable pour les agrumes en provoquant "le déclin" du verger (Fig.21) (Hermoso de mendoza *et al.*, 2001; Marroquin *et al.*, 2004; Barbagallo *et al.*, 2007; Addante *et al.*, 2009; Campolo *et al.*, 2014; Larbi *et al.*, 2015). Par le passé, *A. gossypii* a dominé sur agrumes (Barbagallo *et al.*, 2007) mais elle a été progressivement déplacée par *A. spiraecola* qui est devenu l'espèce la plus dominante (Hermoso de mendoza *et al.*, 2001; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006).



Fig.20: Colonie de *Aphis gossypii* sur feuille d'agrumes (Barbagallo *et al.*, 1997)



Fig.21 : Arbre mort dû au virus de la *Tristeza* (CTV) (Photo Ali Arous ©)

A. gossypii se multiplie surtout par anholocyclie, cependant, des populations holocycliques ont été détectées (Barbagallo *et al.*, 2007), surtout dans l'est asiatique où des populations autochtones de *A. gossypii* sont produites avec une phase sexuelle sur l'hôte primaire *Frangula* spp. (Famille : Rhamnaceae) (Blackman and Eastop, 2007). Au Japon, les œufs d'hiver ont été trouvés sur des agrumes (Komazaki *et al.*, 1979), ce qui rend probable son origine asiatique (Blackman and Eastop 2007). Des recherches par analyse moléculaire (RAPD) ont montré aussi qu'il existe des différences dans les populations de *A. gossypii* en fonction de la plante hôte, quel que soit leur origine géographique (Vanlerberghe-Masutti and Chavigny, 1998).

1.4.1.3. *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe, 1841)

Morphologiquement, *T. aurantii* mesure entre 1,1 mm et 2,0 mm. Les individus aptères sont plutôt de petite taille, de forme ovale, de couleur variant entre brun-rougeâtre et noir avec des reflets brillants (Fig.24). Les antennes possèdent des bandes noires et blanches (Fig.22a) ; la cauda est noire (Fig.23a) (CABI, 2018) ; l'aile antérieure contient un pterostigma très foncé (Fig.26a) avec une seule bifurcation de la médiane qui le distingue des autres espèces du genre *Toxoptera* (Leclant, 2000). Chez les ailés, le 3^{ème} article antennaire est pâle, excepté à l'apex (Fig.22b). Pour les deux formes (aptere et ailée), les antennes sont régulièrement et nettement rembrunies au niveau de toutes les structures articulaires (Leclant, 2000).

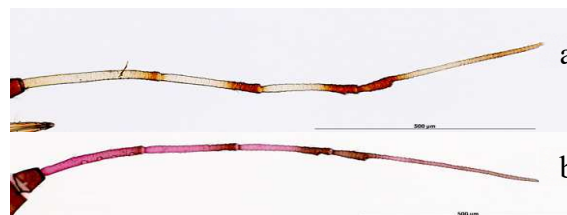


Fig.22 : Antennes de *Toxoptera aurantii* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

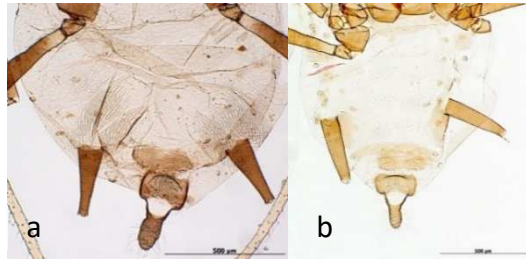


Fig.23 : Abdomen de *Toxoptera aurantii* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

T. aurantii une espèce subtropicale commune aux arbres des espèces du genre *Citrus* (Tremblay, 1984 ; Blackman and Eastop, 2007). Elle a été signalée sur environ 120 espèces de plantes appartenant essentiellement aux familles suivantes : Anacardiaceae, Anonaceae, Araliaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Moraceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sterculiaceae et Theaceae (Blackman and Eastop 1984). Il est aussi l'un des vecteurs potentiels du virus de la *Tristeza* (Marroquin et al., 2004 ; Barbagallo et al., 2007).



Fig.24: Colonie de *Toxoptera aurantii* sur feuille de citronnier (Barbagallo *et al.*, 1997)

Il vit généralement en colonie dense (Fig.24) et provoque un léger enroulement de la feuille (Blackman and Eastop, 1984). *T. aurantii* se multiplie par anholocyclie car aucune forme sexuelle n'a jamais été observée sur le terrain (Barbagallo *et al.*, 2007; Blackman and Eastop, 1984).

1.4.1.4. *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy, 1907)

Morphologiquement, la forme aptère de *T. citricidus* est globuleuse, variant du brun très foncé à noir brillant (Fig.27) (Leclant, 2000). Les 3^{ème} et 4^{ème} segments de l'antenne sont nettement clairs (Fig.25a) (Cocuzza and Barbagallo, 2011). Chez la forme ailée, le 3^{ème} article de l'antenne est noir avec 10 à 20 sensoria secondaires, alors que les tiers distal du II^{ème} et V^{ème} articles sont fortement assombris (Fig.25b); l'aile antérieure possède un ptérostigma (Fig.26 b) pâle avec une double bifurcation de la médiane (Leclant, 2000).

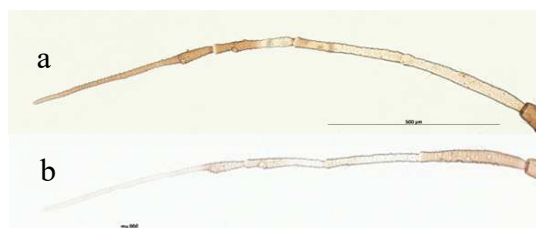


Fig.25 : Antennes de *Toxoptera citricidus* (a) aptère (b) ailé (USDA, 2014)

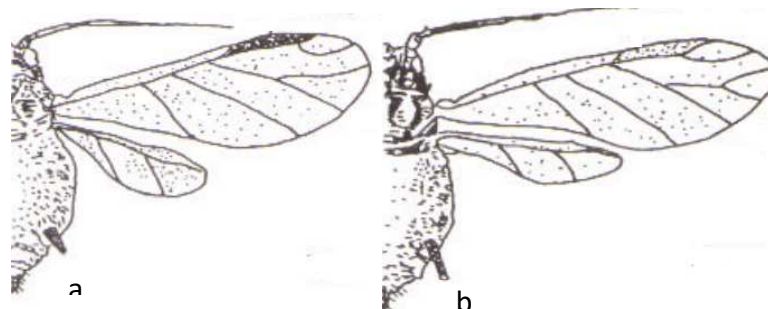


Fig.26 : Comparaison entre ailes de *Toxoptera aurantii* (a) et *Toxoptera citricidus* (b) (Roberts *et al.*, 2001)

T. citricidus (Fig.27) est l'espèce la plus redoutable sur agrumes à cause de sa grande capacité à transmettre les souches virulente du virus de la *Tristeza* (Bar-Joseph *et al.*, 1989; Michaud, 1998; Harper *et al.*, 2016; Killiny *et al.*, 2016). Cette espèce est vraisemblablement originaire de



Fig.27: Colonie de *Toxoptera citricidus* (CABI, 2019)

l'Asie du sud-est (Michaud, 1998; Barbagallo *et al.*, 2007; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2008). Actuellement, *T. citricidus* est distribuée dans pratiquement toutes les régions tropicales humides et dans les zones tempérées dans l'hémisphère sud ainsi qu'en Afrique sub-saharienne (Blackman and Eastop, 1984; Michaud, 1998; Leclant, 2000; EPPO, 2006; Barbagallo *et al.*, 2007). Son premier signalement en Floride remonte à 1995 (Michaud, 1998). Elle a été trouvée pour la première fois dans le Bassin méditerranéen en 1994 en Portugal (Aguiar *et al.*, 1994). En 2002, l'espèce a été signalée aussi en Espagne à Asturies (Ilharco *et al.*, 2005). Dans les pays du Maghreb, aucun signalement de sa présence n'a pas été réalisé à ce jour.

1.4.2. Les principaux ennemis naturels des pucerons des agrumes

1.4.2.1. Les parasitoïdes (principales espèces)

Les espèces décrites ci-dessous sont toutes endoparasitoïdes solitaires. Elles sont arrhénotoques c'est-à-dire que l'œuf fécondé donne une femelle et l'œuf non fécondé donne un mâle.

a. *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880)

L'adulte de *L. testaceipes* mesure entre 1,6 et 2,2 mm pour la femelle et de 1,5 et 2,0 mm pour le mâle (Tomanović *et al.*, 2018). L'abdomen des femelles est prolongé par un ovipositeur qui lui donne un aspect pointu (Rochat, 1997). Le nombre d'articles antennaires varie de 12 à 13 pour la femelle et de 14 à 15 pour le mâle (Carver and Franzmann, 2001). Les ailes se caractérisent par un métacarpe court et présence de soies longues à l'apex (Fig.29) (Turpeau *et al.*, 2018b).



Fig.28: Adulte de *Lysiphlebus testaceipes* (BOLDsystems, 2010)

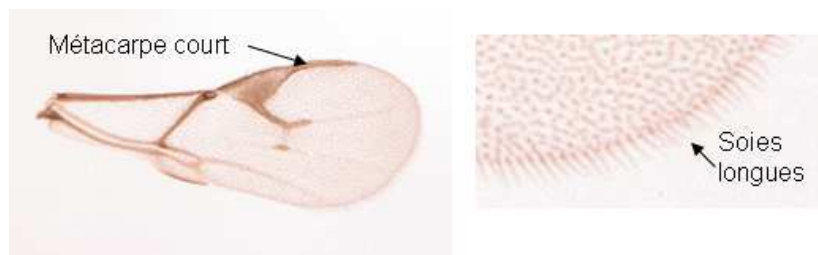


Fig.29 : Aile de *Lysiphlebus testaceipes* (Turpeau *et al.*, 2018b)

Selon Stary *et al.* (1988), *L. testaceipes* (Fig.25) a été introduite en Méditerranée en 1973 à partir de Cuba pour être lâchée dans des vergers d'agrumes dans la partie méditerranéenne de la France pour lutter contre les pucerons *T. aurantii* et *A. spiraecola*. En moins de dix ans, *L. testaceipes* a été signalé dans plusieurs pays de la Méditerranée (Espagne, Portugal et Italie) (Stary *et al.*, 1988). Ensuite, sa

dispersion s'est faite vers d'autres pays d'Europe du nord où elle s'est développée sur plusieurs pucerons hôtes (Mitrović *et al.*, 2013). En Afrique, et plus particulièrement en Algérie, l'espèce a été rapportée en 2010 dans le sud-est (Laamari and Cœur d'Acier, 2010) mais sa présence en Algérie a été déjà signalée sur *A.gossypii* sur cultures maraîchères en 1990 dans la région de Mostaganem suite à son identification par Stary et Rabasse (Guenaoui. Com.pers).

Suite à sa première introduction en vue de lutter contre les pucerons des agrumes, il a été remarqué que *L. testaceipes* introduit n'arrive pas à achever son développement sur *A. spiraecola* (Starý *et al.*, 1988; Malausa *et al.*, 2008; Žikić *et al.*, 2015). D'après Tremblay et Barbagallo (1983), la larve de *L. testaceipes* se développe normalement à l'intérieur de son hôte jusqu'à la fin du troisième stade en se nourrissant de l'hémolymphe, mais elle meurt dès son passage au quatrième stade larvaire ce qui explique la difficulté d'émergence du parasitoïde mais il a été rapporté au Portugal que cette espèce a pu se développer complètement sur *A. spiraecola* et donner des adultes viables (Costa and Starý, 1988).

L. testaceipes parasite également *A. gossypii* en déposant ses œufs dans n'importe quel stade du puceron (Hight *et al.*, 1972), mais il semble que ce sont les stades âgés (4^{ème} stade et adulte) qui soient préférés dans les conditions contrôlées (Hopkinson *et al.*, 2013). L'espèce accomplit son cycle en 21 jours à 18°C et seulement en 9 jours à 27 °C. Son développement nécessite 158,7 degrés jour, avec un seuil minimum de développement qui correspond à 10,4 °C (Weathersbee *et al.*, 2004). La fécondité moyenne sur cette espèce de puceron est de 128,8 œufs à 20°C et de 180,0 à 25°C (Steenis, 1994). *L. testaceipes* est sensible aux températures extrêmes comprises entre 0 °C et -8°C pour les plus faibles et supérieures à 41°C pour lesquelles l'insecte perd sa fonction locomotrice et entre dans le coma (Hughes *et al.*, 2010).

Ce parasitoïde a longtemps été considéré par l'Organisation Européenne pour la Protection des Plantes (OEPP) comme un agent de lutte biologique efficace contre les pucerons mais en raison de sa dispersion vers d'autres habitats qui réduit

l'action d'autres parasitoïdes (Mitrović *et al.*, 2013), il a été retiré de la liste des organismes utiles (EPPO 2008-03-26/28).

b. *Binodoxys angelicae* (Haliday, 1833)

Morphologiquement, *B. angelicae* mesure entre 2,2 à 2,6 mm (Fig.30) (Farrokhzadeh *et al.*, 2014). L'ovipositeur de la femelle se caractérise par une forme de pince (Fig.32) (Turpeau *et al.*, 2018b). Le nombre d'articles composant les antennes est de 11 pour la femelle et 13 pour le mâle (Bodlah *et al.*, 2012). Seule la nervation 3-SR est présente dans l'aile (Fig.31) (Rakhshani *et al.*, 2005).



Fig.30: Adulte de *Binodoxys angelicae* (Turpeau *et al.*, 2018b)

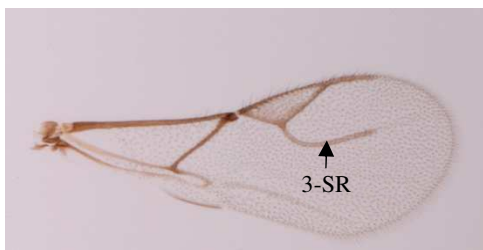


Fig.31 : Aile de *Binodoxys angelicae* (Photo Chaubet) (Turpeau *et al.*, 2018b)



Fig.32 : Forme de l'ovipositeur de *Binodoxys angelicae* (Photo chaubet) (Turpeau *et al.*, 2018b)

B. angelicae a été signalée sur plusieurs espèces de pucerons des agrumes dans plusieurs pays de la Méditerranée (Michelena and Sanchis, 1997 ; Kavallieratos *et al.*, 2002 ; Boukhris-Bouhachem, 2011; Bañol *et al.*, 2012; Gómez-Marco, 2015). Son origine est incertaine (Gómez-Marco, 2015).

1.4.2.2. Les principales espèces de prédateurs des pucerons des agrumes rencontrées dans le Bassin méditerranéen

a. *Coccinella algerica* (Kovar, 1977)

La coccinelle algérienne *C. algerica* (Fig.33) a une taille variant entre 5,1 et 7,8 mm (Kovar, 1977). Elle a été longtemps confondue avec *C. septempunctata* (L., 1758) car elle ne peut être différenciée que par la forme du lobe médian du tegmen et la largeur de la partie génitale chez les mâles (Kovar, 1977 ; Bensusan *et al.*, 2006). Elle a été souvent trouvée en vergers d'agrumes en Algérie, mais également en Tunisie (Ben Halima Kamel *et al.*, 2011; Saharaoui and Hemptinne, 2013; Benoufella-Kitous *et al.*, 2014; Braham and Amor, 2018). Il semblerait que, cette coccinelle a montré sa préférence pour *A. spiraecola* et *T. aurantii* (Ben Halima Kamel *et al.*, 2011; Saharaoui and Hemptinne, 2013).



Fig.33: Adulte de *Coccinella algerica* (Ben Halima Kamel and Lassad, 2015)

b. *Scymnus subvillosus* (Goeze, 1777)

S. subvillosus (Fig.34) mesure entre 2 et 3 mm (Turpeau *et al.*, 2018a) ; c'est l'espèce de coccinellidae la plus abondante dans plusieurs pays agrumicoles du Bassin méditerranéen, tels que le Portugal (Magro *et al.*, 1999), l'Espagne (Hermoso de Mendoza *et al.*, 2008; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2012), la Grèce (Kavallieratos *et al.*, 2004a), la Tunisie (Boukhris-



Fig.34: Larve de *Scymnus subvillosus* (Photo originale)

Bouhachem, 2011) et le Maroc (Smaili *et al.*, 2013). Les espèces du genre *Scymnus* sont considérées comme étant des prédateurs efficaces de *A. spiraecola* (Cole,

1925; Gómez-Marco et al., 2016) et de *T. aurantii* (Alvis and Garcia Marí, 2006) sur agrumes. Au contraire, Michelena et Sanchis (1997) ont remarqué que les espèces du genre *Symnus* ont une préférence pour *A. gossypii*. Cette espèce peut être intéressante dans un programme de lutte intégrée (Boukhris-Bouhachem 2011).

c. *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani, 1847)

L'espèce *A. aphidimyza* (Diptera : Cecidomyiidae) (Fig.35) est prédatrice uniquement au stade larvaire. Elle est utilisée avec succès en lutte biologique contre les pucerons sur différentes cultures (van Schelt and Mulder, 2000, Dorchin, 2008; van Lenteren, 2011). L'adulte mesure environ 2,5 mm (Turpeau *et al.*, 2018a)

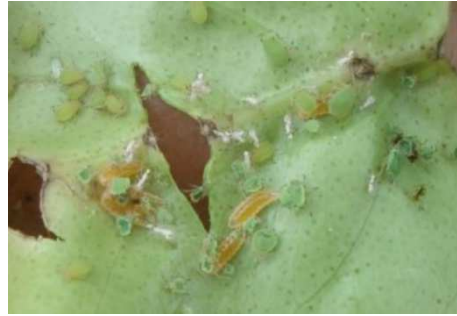


Fig.35: Larve de *Aphidoletes aphidimyza* dans une colonie de *A. spiraecola* (Gómez-Marco, 2015)

La femelle de *A. aphidimyza* utilise le miellat des pucerons comme repère pour détecter sa proie (El Titi, 1974 ; Choi *et al.*, 2004). Une fois la colonie de pucerons trouvée, la femelle dépose ses œufs à proximité. Après une période d'incubation, la larve de *A. aphidimyza* a besoin de 5 pucerons/ jour au minimum pour assurer son développement. En plus de la consommation, elle peut en tuer jusqu'à 100 pucerons (Turpeau *et al.*, 2010). Cette espèce peut avoir deux générations par an (Hermoso de Mendoza *et al.*, 2012). Bien que la lutte biologique avec *A. aphidimyza* contre les pucerons soit prometteuse, il peut y avoir des problèmes de synchronisation entre le prédateur et ses proies (Morse and Croft, 1987).

d. *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776)

La femelle de *E. balteatus* qui mesure entre 9 et 11mm (Turpeau *et al.*, 2018a), est attirée par le miellat des pucerons ; elle pond surtout dans les colonies denses (Scholz and Poehling, 2000). Cette espèce peut pondre entre 2000 à 4500 œufs (Branquart and Hemptinne, 2000).



Fig.36: Larve de *Episyrphus balteatus* (photo Hopkin et Ardea) (Brodeur *et al.*, 2017)

Les larves (Fig.36) se nourrissent en perforant la cuticule du puceron et en aspirant leur contenu (Brodeur *et al.*, 2017).

- Ces pucerons et leurs ennemis naturels précédemment cités dans ce chapitre, sont souvent trouvés dans les vergers d'agrumes. L'inventaire des antagonistes de pucerons des agrumes permet d'évaluer la diversité des espèces et mieux comprendre la nature des interactions entre les antagonistes.

Partie

Expérimentale

La partie expérimentale comporte deux volets : le volet prospection des vergers d'agrumes dans la région nord-ouest de l'Algérie entre 2014 et 2015 et le volet inventaire des espèces de pucerons et de leurs ennemis naturels et fluctuations de leurs populations entre 2016 et 2017.

2.1.PARTIE I : PROSPECTION DES VERGERS D'AGRUMES DANS LA RÉGION DU NORD-OUEST DE L'ALGÉRIE ENTRE 2014 ET 2015

2.1.1. Matériel et méthodes

Les deux années 2014 et 2015 ont été consacrées à la prospection avec des prélèvements sur la première poussée de sève de l'année (entre mars et mai) sur les trois espèces d'agrumes dominantes *C. clementina*, *C. sinensis* et *C. lemon*, afin d'inventorier les pucerons et leurs ennemis naturels. Dans cette prospection nous avons aussi concentré notre attention sur la possible présence du puceron *T. citricidus* qui est l'espèce la plus redoutable en raison de sa capacité à véhiculer les souches virulentes de la *Tristeza*.

2.1.1.1.Choix des sites

Les vergers privés et étatiques prospectés concernent les communes des wilayate suivantes (Fig.37) : Mostaganem (Mazaghran, Kheir Eddine, Touahria, Sirat et Bouguirat), Relizane (Oued Rhiou), Mascara (Mohamadia), Oran (Misserghin) et Tlemcen (Sebdou).



Fig. 37: ● Localisation des vergers prospectés durant la période 2014-2015

2.1.1.2.Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage a consisté à prélever de façon aléatoire 100 jeunes feuilles (10 feuilles / arbre) par verger. Le nombre de vergers échantillonnés a été de 9, localisés à travers 5 wilayate. Dans cette première partie, seule l'identité des pucerons et de leurs ennemis naturels notamment les parasitoïdes a été recherchée. Ce travail préliminaire devait être complété par le suivi de la dynamique des populations (pucerons et antagonistes) au niveau de deux sites dans la wilaya de Mostaganem pendant les deux années suivantes 2016 et 2017.

Les échantillons prélevés ont été placés dans des boîtes transparentes étiquetées et rapportés au laboratoire pour dépouillement.

2.1.1.3.Méthode de dépouillement

2.1.1.3.1. Les pucerons

Les échantillons ont été observés sous stéréomicroscope de marque Zeiss (40x). Les pucerons adultes ailés et aptères ont été placés dans des tubes avec de l'alcool pour leur identification ultérieure sur la base de plusieurs clés proposées par : Blackman et Eastop (1984 et 2006), Hullé (1998) et Leclant (2000).

2.1.1.3.2. Les ennemis naturels

a. Les parasitoïdes

Au laboratoire, les momies pleines (Fig.38) (signe apparent de parasitisme) ont été soigneusement prélevées des feuilles et placées individuellement dans une gélule en gélatine transparente jusqu'à l'émergence des adultes de parasitoïdes (primaires et secondaires). Ces derniers ont été conservés avec leurs pucerons momifiés



Fig. 38: ○ Momie pleine (signe de parasitisme) sur *T. aurantii* (photo originale)

dans des tubes Eppendorf dans de l'éthanol 95% et à une température de 4°C pour une identification ultérieure.

Les parasitoïdes émergés ont été séparés en deux lots : les parasitoïdes primaires et les parasitoïdes secondaires (hyperparasitoïdes). Ils ont été identifiés sur la base de caractères morphologiques grâce à plusieurs clés (Mertins, 1985; Kavallieratos *et al.*, 2001; Kavallieratos *et al.*, 2005; Rakhshani *et al.*, 2007; Ferrer-Suay *et al.*, 2012b; Nazari *et al.*, 2012; Rakhshani *et al.*, 2012; Tomanović *et al.*, 2012; Mitrović *et al.*, 2013; Rakhshani *et al.*, 2013; Barahoei *et al.*, 2014; Starý *et al.*, 2014; Ferrer-Suay and Garrido-Salas, 2015; Petrovic *et al.*, 2015; Rakhshani *et al.*, 2015; Zamora Mejías and Hanson, 2017). Concernant le parasitoïde primaire *Lysiphlebus testaceipes*, nous avons fait appel à des collègues français pour confirmer l'espèce par une analyse moléculaire. Concernant les hyperparasitoïdes, ce sont des taxonomistes espagnols, qui ont contribué à l'identification de plusieurs espèces.

b. Les prédateurs

Les prédateurs ont été prélevés en fonction de leur stade et de leur mobilité à l'aide d'un pinceau souple ou d'un aspirateur buccal. Les jeunes stades ont été placés dans une petite boîte d'élevage contenant des colonies supplémentaires de pucerons vivants pour assurer leur développement jusqu'à l'âge adulte qui est le stade nécessaire pour procéder à l'identification de l'espèce. Plusieurs clés ont été utilisées (San Martin, 2004; Bensusan *et al.*, 2006; Harris, 2009; Ślipiński *et al.*, 2012; Hodek and Honěk, 2013; Speight and Sarthou, 2014).

2.1.2. Résultats et discussion

2.1.2.1. Les pucerons

Durant la période 2014-2015, nous avons recensé sept espèces de pucerons : *Aphis spiraecola* (Patch., 1914) (Fig.39-40-41-42-43-48-52), *Aphis gossypii* (Glover, 1877) (Fig.44-45-46-47-48), *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe, 1841) (Fig.49-50-51-52), *Aphis craccivora* (Koch, 1854) (Fig.53), *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Fig.54), (Fig.52) et *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas, 1878) (Fig.55) (Hemiptera : aphididae).



Fig.39 : Adulte aptère de *Aphis spiraecola* (photo originale)



Fig.40 : Adulte ailé de *Aphis spiraecola* (photo originale)



Fig. 41: Population de *Aphis spiraecola* sur jeune feuille d'agrumes (photo originale)



Fig. 42: Colonie dense de *Aphis spiraecola* et enroulement des feuilles d'agrumes (photo originale)



Fig. 43: *Aphis spiraecola* sur fleur d'agrumes (photo originale)



Fig. 44: Jeune feuille d'agrumes infestée par *Aphis gossypii* (Photo originale)



Fig.45: Oviposition par femelle aptère de *Aphis gossypii* (photo originale)



Fig.46 : Adulte ailé de *Aphis gossypii* (photo originale)

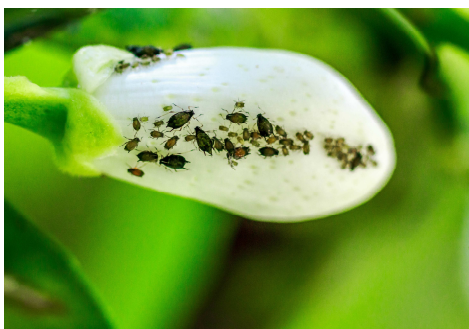


Fig. 47: Colonies de *Aphis gossypii* sur bourgeon floral d'agrumes (Photo originale)



Fig. 48: Colonies de *Aphis spiraecola* et de *Aphis gossypii* sur feuille d'agrumes (Photo originale)

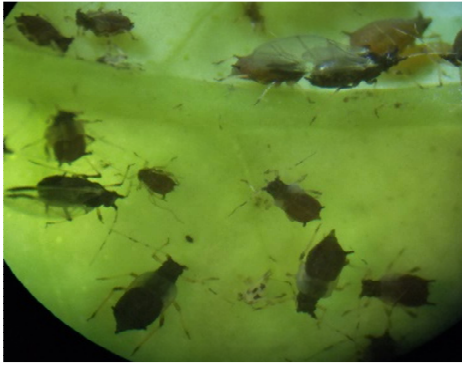


Fig. 49: Colonie de *Toxoptera aurantii* sur jeune feuille d'agrumes (Photo originale)



Fig.50 : Adulte aptère de *Toxoptera aurantii* (photo originale)



Fig.51 : Adulte ailé de *Toxoptera aurantii* (Photo originale)



Fig. 52: Colonies de *Aphis spiraecola* et de *Toxoptera aurantii* (Photo originale)



Fig. 53: Colonie de *Aphis craccivora* sur jeune pousse d'agrumes (Photo originale)



Fig. 54: Adulte de *Aphis fabae* sur feuille d'agrumes (Photo originale)



Fig. 55: Larves de *Myzus persicae* sur jeune pousse d'agrumes (Photo originale).



Fig.56 : Larve de *Macrosiphum euphorbiae* sur jeune feuille d'agrumes (Photo originale)

Ce sont les espèces *A. spiraecola*, *A.gossypii* et *T. aurantii* qui ont été régulièrement observées dans nos échantillons. Elles sont considérées comme des vecteurs potentiels du virus de la *Tristeza* (Cambra *et al.*, 2000; Marroquin *et al.*, 2004). Les autres espèces mentionnées Fig. 53 à 56 n'ont été trouvées que rarement et en petites colonies. Quant à l'espèce *T. citricidus* qui a fait l'objet de plus d'intention dans nos échantillons, elle n'a pas pu être détectée durant cette étude.

Dans la région de la Mitidja, le nombre d'espèces signalées sur agrumes a atteint 28 selon Benoufelle-Kitous *et al.* (2014). Ce chiffre est élevé du fait que l'étude a porté sur le nombre d'espèces récoltées par pièges jaunes placés dans le verger. Il est donc possible qu'un nombre important de ces espèces signalées ne soit pas associé aux agrumes mais à la végétation environnante.

Dans cette première phase d'investigation, nous avons observé que les espèces *A. spiraecola* et *A. gossypii* sont représentées dans tous les vergers prospectés avec une prédominance de la première espèce. En effet, cette dernière a été déjà signalée comme espèce dominante en Algérie, aussi bien au centre du pays (Benoufella-Kitous *et al.*, 2014; Mostefaoui *et al.*, 2014) qu'à l'Est (Lebbal and Laamari, 2016). C'est aussi le cas dans d'autres pays du Bassin méditerranéen, en Espagne (Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006; Gómez-Marco, 2015), en Italie (Addante *et al.*, 2009) et également en Tunisie (Ben Halima-Kamel *et al.*, 1994; Braham and Amor,

2018). Ce puceron est redoutable parce qu'il est un bon vecteur des souches virulentes de la *Tristeza* (CTV) ; de plus, il produit beaucoup de miellat qui favorise l'installation de champignons saprophytes (fumigines) (Hermoso de mendoza *et al.*, 2001; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006). Le tableau ci-dessous montre la répartition des espèces dans les vergers prospectés dans différentes communes de plusieurs wilayate.

Tableau 4: Répartition géographique des espèces de pucerons trouvées dans les vergers prospectés

Commune / Wilaya		Espèce de puceron						
		<i>A. spiraeicola</i>	<i>A. gossypii</i>	<i>T. aurantii</i>	<i>M. persicae</i>	<i>A. fabae</i>	<i>A. craccivora</i>	<i>M. euphorbiae</i>
Mostaganem	<i>Mazaghran</i>	X	X	X	X	X		X
	<i>Kheir-Eddine</i>	X	X					
	<i>Touahria</i>	X	X					
	<i>Sirat</i>	X	X		X			
	<i>Bouguirat</i>	X	X		X			
	<i>Mostaganem (Ville)</i>	X	X				X	
Relizane (Oued Rhiou)		X	X					
Mascara (Mohamadia)		X	X					
Oran (Misserghin)		X	X	X				
Tlemcen (Sebdou)		X	X	X				

X indique la présence de l'espèce du puceron dans la commune

2.1.2.2. Les ennemis naturels

Les ennemis naturels sont composés de parasitoïdes (primaires et secondaires) et de prédateurs. Les espèces ont été déterminées à partir de spécimens adultes.

a. Les parasitoïdes

Les 6 espèces de parasitoïdes primaires récoltées en vergers d'agrumes sont : *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880) (Fig.57), *Lysiphlebus fabarum* (Marshall, 1896) (Fig.58), *Aphidius colemani* (Viereck, 1912) (Fig.59), *Aphidius matricariae* (Haliday, 1834) (Fig.60), *Praon volucre* (Haliday, 1833) (Fig.61) *Binodoxys angelicae* (Haliday, 1833) (Fig.62).



Fig. 57: Adulte ♂ de *Lysiphlebus testaceipes* (Photo originale)



Fig. 58 : Adulte ♀ de *Lysiphlebus fabarum* (photo originale)



Fig. 59: Adulte ♀ de *Aphidius colemani* (Photo originale)



Fig. 60: Adulte ♀ de *Aphidius matricariae* (Photo originale)



Fig. 61 : Adulte ♂ de *Praon volucre*
(Photo originale)



Fig. 62 : Adulte ♀ de *Binodoxys angelicae* (Photo originale)

B. angelicae (Fig.62), *L. testaceipes* (Fig.57) et *L. fabarum* (Fig.58) ont été trouvés sur les trois espèces de pucerons dominantes, *A. spiraecola*, *A. gossypii* et *T. aurantii*. Les deux premières ont été les plus fréquentes. Plusieurs momies de *A. spiraecola* sont restées pleines sans émergence de parasitoïdes pendant plus de 6 mois. La dissection des momies a montré chez certaines, la présence d'un parasitoïde au développement inachevé. Il est bien connu que *L. testaceipes* n'arrive pas à accomplir son développement complet sur *A. spiraecola* (Tremblay and Barbagallo, 1983 ; Starý *et al.*, 1988 ; Malausa *et al.*, 2008) ; dans une étude réalisée en Tunisie, *L. testaceipes* était dominant par rapport aux autres parasitoïdes primaires émergeant des momies de pucerons mais sur *A. spiraecola* aucune valeur n'a été donnée (Sellami *et al.*, 2013). En Espagne, c'est surtout *B. angelicae* qui est signalé sur *A. spiraecola*, mais son impact n'a que peu d'effets sur les populations du puceron (Gómez-Marco *et al.*, 2015).

A. colemani (Fig.59) a été identifiée à la fois sur *A. gossypii* et sur *T. aurantii*. Cette espèce a été signalée pour la première fois à Mostaganem sur 3 espèces de puceron *Melanaphis donacis* (Passerini, 1862), *M. persicae* et *A. gossypii* à la fin des années 80 (Guenaoui, 1991). Sa présence a été confirmée dans la région de Ghardaïa, où elle a été signalée sur 14 espèces de pucerons dont *A. gossypii* sur agrumes (Chehma and Laamari, 2014). Ce parasitoïde est très commun sur *T. aurantii* (Carver, 1978; Kavallieratos *et al.*, 2004a; Gholamzadeh-Chitgar and Pourmoradi, 2017). En Espagne, *A. colemani* est utilisé sur agrumes avec des

lâchers réalisés dès le début du printemps pour lutter contre les pucerons qui se développent sur la première poussée de sève (Jacas and Urbaneja, 2010). *A. colemani* et *B. angelicae* sont les seules espèces qui parasitent *A. gossypii* sur agrumes en Grèce (Kavallieratos *et al.*, 2002).

Le parasitoïde *A. matricariae* (Fig.60) n'a été identifié que sur *T. aurantii* qui semble être un hôte habituel sur agrumes dans la région méditerranéenne (Mazih, 2008; Kavallieratos *et al.*, 2004a; Boukhris-Bouhachem, 2011; Sellami *et al.*, 2013).

L'espèce *P. volucre* (Fig.61) a été récoltée en très faible quantité sur *T. aurantii* (2 spécimens). En Espagne, cette espèce a été trouvée sur *A. gossypii* et *T. aurantii* sur agrumes (Michelena and Sanchis, 1997 ; Bañol *et al.*, 2012), tandis qu'en Turquie, cette espèce n'a été trouvée que sur *A. gossypii* (Satar *et al.*, 2014).

b. Les hyperparasitoïdes

Les hyperparasitoïdes sont des organismes qui se développent au dépend des espèces primaires et appartiennent à des groupes différents. Leur action est souvent à l'origine d'un échec en lutte biologique des pucerons.

Durant la première période de 2014 à 2015, 5 espèces d'hyperparasitoïdes ont été recensées : *Asaphes vulgaris* (Walker, 1834) (Fig.63), *Pachyneuron aphidis* (Bouché, 1834) (Fig.64) (Hymenoptera: Chalcidoidea : Pteromalidae), *Dendrocercus* spp. (Ratzeburg, 1852) (Megaspilidae) (Fig.65), *Alloxysta victrix* (Westwood, 1834) (Fig.66) et *A. brevis* (Thomson, 1862) (Fig.67) (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae : Charipinae). *A. brevis* a été trouvée ici pour la première fois en Algérie (Labdaoui *et al.*, 2018).



Fig. 63: Adulte de *Asaphes vulgaris*
(Photo originale)



Fig. 64: Adulte de *Pachyneuron aphidis* (Photo originale)



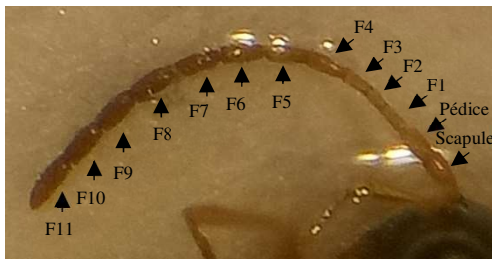
Fig. 65: Adulte de *Dendrocerus* Spp.
(Photo originale)



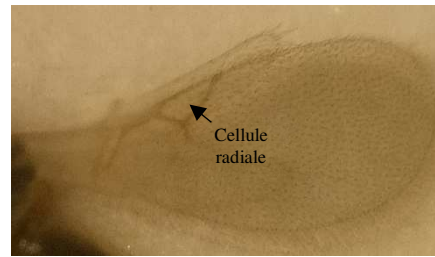
Fig. 66 : Adulte de *Alloxysta victrix*
(Photo originale)



Fig.67: *Alloxysta brevis* (photo originale)

**Fig.68:** Antenne de *Alloxysta brevis*

(photo originale)

**Fig.69 :** Aile de *Alloxysta brevis*

(photo originale)

A. vulgaris (Fig.63) a émergé des momies de 4 espèces de puceron : *A. spiraeicola*, *A. gossypii*, *T. aurantii* et *M. persicae*. Cet hyperparasitoïde idiobionte qui effectue sa ponte dans le puceron momifié, figure parmi les espèces les plus abondantes dans les vergers d'agrumes d'Espagne (Michelena and Sanchis, 1997; Bañol, 2013).

P. aphidis (Fig.64) a émergé des momies des trois pucerons suivants : *A. spiraeicola*, *A. gossypii* et *T. aurantii*. Cette espèce est très commune sur les pucerons en vergers d'agrumes dans plusieurs pays de la Méditerranée (Michelena and Sanchis, 1997; Kavallieratos *et al.*, 2002; Ciancio and Mukerji, 2010; Boukhris-Bouhachem, 2011; Satar *et al.*, 2014; Gómez-Marco, 2015; Bañol *et al.*, 2017).

Une espèce (non encore déterminée) du genre *Dendrocerus* (Fig.65) a été inventoriée sur des momies de *A. spiraeicola* et de *A. gossypii*. Une autre espèce de ce genre a été signalée sur les pucerons des agrumes en Espagne (Gómez-Marco, 2015), en Turquie (Satar *et al.*, 2014) et en Grèce (Kavallieratos and Lykouressis, 1999).

L'espèce *A. victrix* (Fig.66) a émergé des momies de *A. spiraeicola* et de *A. gossypii*. Cette espèce a été inventoriée sur *A. spiraeicola*, *A. gossypii* et *T. aurantii* sur agrumes en Tunisie (Sellami *et al.*, 2013). Elle a un large spectre d'espèces de pucerons hôtes et de parasitoïdes primaires (Ferrer-Suay *et al.*, 2014a).

A. brevis (Fig.67) qui a été recensée pour la première fois sur *A. spiraeicola* dans un verger d'oranger de variété Thomson dans la commune de Misserghin

(Wilaya d'Oran) située à 120 km de Mostaganem a fait l'objet d'un premier signalement en Algérie (Labdaoui *et al.*, 2018). *A. brevis* a comme synonyme : *Charips leguminosa* (Weld, 1920), *Allotria megourae* (Ashmead, 1887) et *Alloxysta rauchi* (Andrews, 1978). Cette espèce est connue dans les régions paléarctiques et néotropicales (Ferrer-Suay *et al.*, 2012b). Dans le Bassin méditerranéen, elle a été trouvée dans plusieurs pays, en France (Kieffer, 1904 ; De Gaulle, 1908; Ferrer-Suay *et al.*, 2015b), en Italie (Ferrer-Suay *et al.*, 2014b), au Maroc (Ferrer-Suay *et al.*, 2013), en Espagne (Ceballos, 1941; Tizado and Nuñez-Pérez, 1993; Bertolaccini *et al.*, 2004) et en Portugal (Borges *et al.*, 2008).

A. brevis est caractérisée par une cellule radiale fermée (Fig.69), 2,1 fois plus longue que large ; la carine pronotale est absente et la carine propodéale est présente en forme de plaque. Chez les deux sexes, les antennes contiennent des rhinari commençant à F4 (Fig.68). Le F1 est plus court que le pédicelle ; F1 au F3 sont subégaux en longueur (Fig.68). Elle peut être confondue avec *Alloxysta darci* (Girault, 1933), mais elle se différencie par des antennes plus courtes que le corps et des soies marginales sur les ailes plus courtes chez *A. brevis* (Ferrer Suay *et al.*, 2015b). A notre connaissance, *A. brevis* a été signalé seulement sur *T. citricidus* comme hyperparasitoïde sur agrumes parasitant *L. testaceipes* en Floride (USA) (Evans and Stange ,1997), alors que dans nos échantillons, il a été trouvé sur *A. spiraecola*.

c. Les prédateurs

7 espèces de prédateurs ont été inventoriées : 3 espèces de Coléoptères (famille des Coccinellidae) qui sont : *Coccinella algerica* (Kovar, 1977) (Fig.70), *Oenopia dublieri* (Mulsant, 1846) (en très faible quantité) (Fig.75) et *Scymnus subvillosus* (Goeze, 1777) (Fig.71) (Coleoptera : Coccinellidae). Les 2 espèces diptères sont : *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani, 1847) (Diptera : Cecidomyiidae) (Fig.72) et *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) (Diptera : Syrphidae) (Fig.73). Une espèce de l'ordre des Neuroptères : *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) (Fig.74) et une espèce de l'ordre des hémiptères (famille des Miridae) *Campyloneura virgula* (Herrich-Schaeffer, 1835) (en très faible quantité) (Fig.76).



Fig. 70 : *Coccinella algerica* (a) larve, (b) adulte sur agrumes (photos originales)

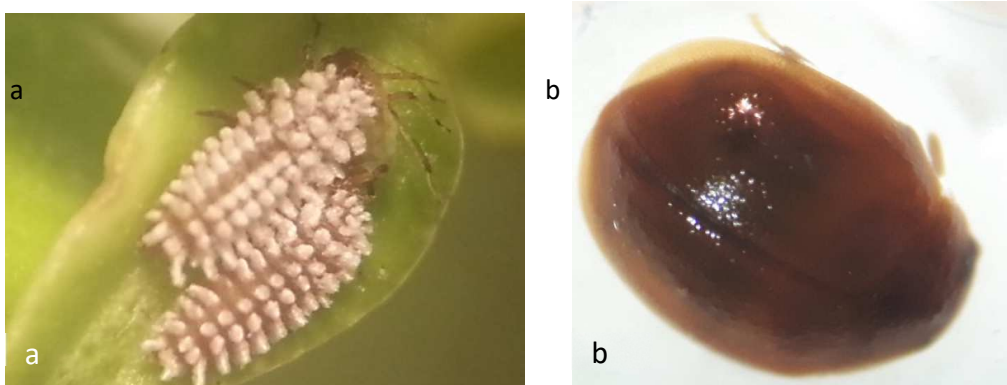


Fig. 71 : *Scymnus subvillosus* (a) larves (b) adulte (photos originales)

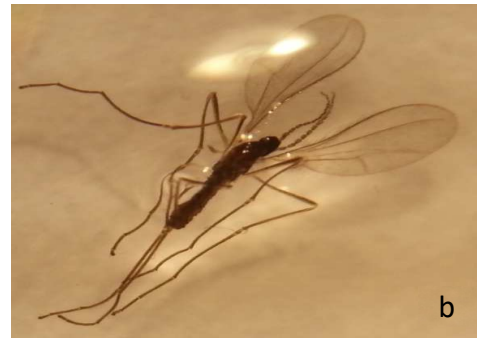


Fig. 72 : *Aphidoletes aphidimyza* (a) larve (b) adulte (photos originales)

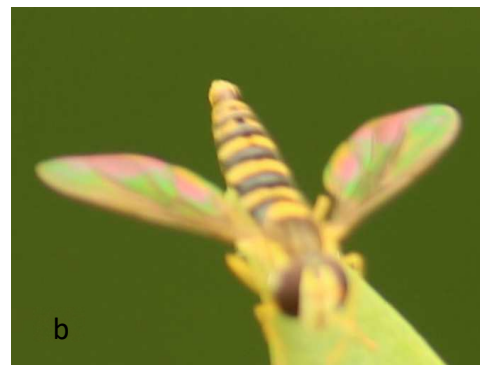


Fig. 73 : *Episyrphus balteatus* (a) larve (b) adulte (Photos originales)



Fig. 74: *Chrysoperla carnea* (a) larve (b) adulte (photos originales)



Fig. 75: Adulte de *Oenopia dublieri*
(photo originale)



Fig.76 : Larve de *Campyloneura virgula* (Photo originale)

Dans la famille des Coccinellidae, *C. algerica* (Fig.70) et *S. subvillosus* (Fig.71) sont les deux espèces les plus communes. Ces espèces figurent parmi les 7 espèces de coccinelles les plus fréquentes en Grèce (Karamaouna *et al.*, 2010). En Algérie, elles font partie des 9 espèces de coccinelles aphidiphages inventoriées sur agrumes (Saharaoui and Hemptinne, 2013).

La cécidomyie *A. aphidimyza* (Fig.72) a été rencontrée sous forme larvaire en activité dans les colonies de pucerons. Cette espèce est signalée dans plusieurs pays du Bassin méditerranéen (Kavallieratos *et al.*, 2004a; Garcia-Marí, 2009; Boukhris-Bouhachem, 2011; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2012; Smaili *et al.*, 2013; Gómez-Marco *et al.*, 2016; Braham and Amor, 2018). Elle est considérée comme le prédateur le plus important dans les vergers d'agrumes mais son action reste toujours limitée (Kavallieratos *et al.*, 2004a ; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2012; Gómez-Marco *et al.*, 2016).

Le syrpe *E. balteatus* (Fig.73) a été trouvé sous forme larvaire et adulte dans les colonies de pucerons. Seules les larves sont prédatrices, les adultes sont floricoles et se nourrissent de miellat de pucerons. Cette espèce est considérée comme un prédateur commun sur plusieurs espèces fruitières (Ben Halima and Ben Hamouda, 2005).

Le chrysope *C. carnea* (Fig.74) a été trouvé plus rarement que les autres prédateurs dans cette première partie d'étude. Il semble que cette espèce soit plus fréquente en vergers d'agrumes en Espagne (Michelena and Sanchis, 1997).

La punaise *C. virgula* (Fig.76) a été trouvée pour la première fois dans les échantillons en 2015 en très faible quantité. C'est un prédateur polyphage et cosmopolite qui se trouve généralement dans les vergers en mauvais état (Collyer, 1953). Sa présence en vergers d'agrumes a déjà été signalée en Espagne (Bru and Garcia-Marí, 2008; Tena *et al.*, 2011).

Conclusion partielle

Dans cette première partie du travail, les principales espèces de pucerons trouvées par ordre d'importance numérique sont: *A. spiraecola*, *A. gossypii* et *T. aurantii*. Les nombre de parasitoïdes primaires est de 6 espèces dont deux sont les plus représentées il s'agit de *L. testaceipes* et *B. angelicae*. Au total, 5 espèces d'hyperparasitoïdes ont été inventoriées dont *A. brevis* identifiée pour la première fois en Algérie et sur *A. spiraecola*. Nous avons recensé 7 espèces de prédateurs dont *S. subvillosus*, *C. algerica*, *A. aphidimyza* et *E. balteatus* sont les plus importantes. La cécidomyie *A. aphidimyza* a montré une efficacité relative dans les colonies denses mais son action a été tardive. Cette première étude a permis d'avoir un aperçu sur la composition du complexe pucerons-ennemis naturels des agrumes au niveau de plusieurs vergers dans la région ouest d'Algérie. La deuxième partie de l'étude avait pour objectif de suivre la dynamique des populations de pucerons pendant deux années (2016-2017), pour préciser le statut de chaque espèce et de faire une estimation de l'impact des antagonistes sur les populations aphidiennes et mettre en évidence les aspects qui limitent le contrôle biologique.

2.2 PARTIE 2 : INVENTAIRE DES ESPECES DE PUCERONS ET DE LEURS ENNEMIS NATURELS ET FLUCTUATIONS DE LEURS POPULATIONS ENTRE 2016 ET 2017

L'inventaire des espèces de pucerons rencontrées dans les deux sites d'études et celui de leurs ennemis naturels permettra de connaître la fréquence des espèces par rapport au travail précédent. La dynamique des populations a pour but de connaître les fluctuations en fonction des conditions climatiques et des autres facteurs de régulation.

2.2.1. Matériel et méthodes

2.2.1.1 Caractéristiques des vergers retenus pour l'expérimentation

2.2.1.1.1. Localisation et superficie des vergers :

Nous avons travaillé dans deux vergers situés dans la wilaya de Mostaganem (Fig.77), correspondant aux site A (commune de Mazaghran) ($35^{\circ}53' 30.49''N - 0^{\circ} 5'7.94''E$) avec une superficie de 1,12 ha et site B (Commune de Sirat) ($35^{\circ}43' 34.8''N 0^{\circ}12' 25.5''E$) avec une superficie de 2,10 ha.



Fig.77 : localisation géographique des deux sites d'études (A et B)
(Google Earth, 2018)

2.2.1.1.2. Matériel végétal

a. Site A

Le site (A) (Fig. 78) correspond à un verger d'agrumes situé dans la ferme expérimentale de l'Université de Mostaganem rattaché à la commune de Mazaghran. Il est composé essentiellement de *Citrus clementina* (Tanaka, 1961). Le verger date d'une trentaine d'années ; son porte-greffe est le bigaradier (*Citrus aurantium* L., 1753). Nous avons choisi de suivre la dynamique des populations des pucerons sur *C. clementina* à cause de sa dominance et son intérêt économique.



Fig.78 : Verger de clémentinier dans le site A à Mazaghran

b. Site B

Le verger (Fig.79) est composé d'arbres d'orangers âgés d'une quinzaine d'année greffés aussi sur bigaradier. L'espèce correspond à *C. sinensis* var. Thomson qui est la plus cultivée dans cette région.



Fig.79 : Verger d'orangers (site B à Sirat)

2.2.1.1.3. Travaux réalisés

a. Site A

La méthode d'irrigation utilisée est la gravitation. Un apport en engrais NPK (15-15-15) a été réalisé avant le début du printemps (février) et un autre apport en urée (46%) a été effectué en juin. Aucun traitement chimique n'a été appliqué depuis 2008. C'est l'élément important pour juger de la diversité des entomophages et du rôle ou non de la protection avec des produits chimiques.

b. Site B

Les deux modes d'irrigation sont utilisés (par gravitation et goutte à goutte). Plusieurs apports de fertilisants sont pratiqués (tableau 5) par les agriculteurs mais sa quantification reste difficile à chiffrer. Plusieurs traitements chimiques sont régulièrement effectués contre différents ravageurs, mais contre les pucerons c'est l'insecticide Acétamipride de la famille des néonicotinoïdes qui est utilisé au printemps après constat de l'infestation des pucerons (1^{er} mai en 2016 et 15 avril en 2017). Il est à signaler que ce produit en raison de sa nocivité vis-à-vis des abeilles vient d'être interdit en France et dans plusieurs pays européens.

Cet insecticide a été utilisé sous le nom générique de Mospilan 20SP, fabriqué par ARYSTA LifeScience et commercialisé par la société ACI-Algérie. Ce produit est vendu en sachet de 50gr en poudre soluble, contenant 20% d'Acétamipride. D'après son fabricant, il est utilisé contre les pucerons des agrumes à une dose de 10 à 12,5g/hl et contre les aleurodes et la mineuse des agrumes à une dose de 20 à 30 g/hl. Mospilan 20SP est homologué sous le numéro 08 46 170.

Tableau 5 : Planning des fertilisations (NPK) au cours de l'année dans le site B

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Fertilisant	(12,12,18) /(20, 50,10)	(20,50,10)	(0,50,10) /(15,15,15)	(12,40,12)		(30,0,0)	(12,12,36)

2.2.1.2.Méthode d'échantillonnage des pucerons et de leurs ennemis naturels

La surveillance de la poussée de sève des vergers a permis de commencer l'échantillonnage. Des visites fréquentes sont effectuées pour détecter les premières colonies de pucerons.

Pour chaque site, cent jeunes feuilles (10 par arbre) ont été récoltées au hasard hebdomadairement. Chaque échantillon étiqueté a été placé dans une boîte en plastique et rapporté au laboratoire pour le dénombrement ultérieur des insectes.

2.2.1.3. Relevés des températures

Les températures ont été prélevées pendant toute la période de l'expérimentation. Elles ont été enregistrées une semaine avant le début de l'échantillonnage. Elles ont été relevées grâce à un appareil automatique (model : NC7004-675) qui enregistre les températures à un intervalle de 60 minutes.

2.2.1.4.Méthode de calcul de la surface foliaire

Pour évaluer la densité des pucerons, nous avons estimé que les effectifs par unité de surface seraient plus justes par rapport à l'unité feuille dont la surface peut varier au cours de la poussée de sève. Nous avons utilisé la formule proposée par Onillon et al. (1973) qui est basée sur la longueur et la largeur de la feuille en fonction de l'espèce végétale.

Pour les feuilles de *C. clementina* : $s = 0,7707 \times a^{0,9392} \times b^{0,9893}$

Pour les feuilles de *C. sinensis* : $s = 0,6740 \times a^{0,9618} \times b^{1,0614}$

s : surface de la feuille (cm²)

a : la plus grande longueur du limbe

b : la plus grande largeur du limbe

2.2.1.5.Méthode de dépouillement

a. Le complexe aphidien

Les échantillons de feuilles, infestées ou pas, ont été observés sous stéréomicroscope de marque « Zeiss » x 40 afin de dénombrer tous les pucerons (parasités ou non). Les pucerons parasités qui n'ont pas encore atteint le stade de momification ont été maintenus à température ambiante en salle d'élevage. Lorsque de nouvelles momies se forment, elles doivent être ajoutées au nombre total.

L'identité des pucerons serait basée sur plusieurs clés d'identifications (Blackman and Eastop, 1984; Hullé, 1998; Leclant, 2000; Blackman and Eastop, 2006), qui permettent en général d'identifier l'espèce sur des critères morphologiques.

b. Les composantes du parasitisme

Toutes les momies pleines ont été récupérées délicatement et placées individuellement dans des gélules transparentes afin d'observer par transparence si l'émergence a eu lieu. Les parasitoïdes primaires ou secondaires émergés sont immédiatement placés avec leur puceron hôte dans l'éthanol 95% et conservés jusqu'à l'identification. Le pourcentage du parasitisme a été estimé en calculant le nombre de momies par rapport au nombre total de pucerons.

Les parasitoïdes (primaires et secondaires) ont été séparés en fonction de l'hôte. Leur identification a été basée sur les caractères morphologiques décrits dans plusieurs clés de détermination (Mertins, 1985; Kavallieratos *et al.*, 2001; Kavallieratos *et al.*, 2005; Rakhshani *et al.*, 2007; Mitrović *et al.*, 2013; Ferrer-Suay *et al.*, 2012b; Nazari *et al.*, 2012; Rakhshani *et al.*, 2012; Tomanović *et al.*, 2012; Rakhshani *et al.*, 2013; Barahoei *et al.*, 2014; Starý *et al.*, 2014; Ferrer-Suay and Garrido-Salas, 2015; Petrovic *et al.*, 2015; Rakhshani *et al.*, 2015; Zamora Mejías and Hanson, 2017). Lorsqu'il y a un doute dans l'identification d'une espèce, nous avons sollicité la contribution de plusieurs spécialistes européens notamment en ce qui concerne les parasitoïdes secondaires (hyperparasitoïdes).

c. Les prédateurs

En plus des prédateurs adultes récupérés par aspirateur à bouche sur les échantillons, différents stades larvaires de plusieurs prédateurs ont été récupérés sur feuilles et transférés dans des boîtes d'élevage en présence de feuilles infestées de pucerons. Cette opération est renouvelée jusqu'à la fin du cycle larvaire du prédateur et l'arrivée à l'âge adulte.

L'identification des prédateurs a été réalisée sur la base des clés disponibles (San Martin, 2004; Bensusan *et al.*, 2006; Harris, 2009; Ślipiński *et al.*, 2012; Hodek and Honěk, 2013; Speight and Sarthou, 2014).

2.2.1.6.L'analyse statistique des données

L'analyse statistique des données collectées a été réalisée grâce au logiciel IBM SPSS Statistics v.23. Nous avons appliqué le test ANOVA à un facteur pour comparer l'abondance des pucerons et le taux de parasitisme entre 2016 et 2017. Le test a été jugé significatif lorsque $p \leq 0,05$.

2.2.2. Résultats et discussion

Dans le site A, l'échantillonnage a commencé le 14 avril et a duré jusqu'à 2 juin 2016, tandis qu'en 2017, il a commencé avec un mois d'avance (le 13 mars) et s'est terminé le 15 mai 2017 avec près de 15 jours d'avance par rapport à 2016. Dans le site B, l'échantillonnage a été effectué du 30 mars au 18 mai 2016 et du 13 mars au 15 mai 2017.

2.2.2.1.Site A

2.2.2.1.1. Les pucerons : Identité des espèces et évolution démographique

Les effectifs des pucerons (toutes espèces confondues) récoltés dans le site A sont représentés Fig.80 pour les années 2016 et 2017. Les courbes des températures représentées Fig.80 permettent d'expliquer en grande partie leur variation. Rappelons que le verger du site A n'a reçu aucun traitement chimique qui puisse influencer sur les effectifs.

En 2016, sur la poussée de sève du printemps, les premières colonies de pucerons ont été observées à partir de la deuxième semaine d'avril avec une densité de 6 pucerons / feuille (toutes espèces confondues) soit moins d'1 puceron / cm². La densité maximale a été atteinte le 5 mai avec une moyenne de $92,8 \pm 22,4$ individus / feuille ce qui correspond à 7 pucerons / cm² à la même date (Fig.80). Ensuite, une réduction des populations de pucerons a été remarquée, liée en grande partie à l'augmentation des températures et à la maturité des feuilles (les feuilles tendres étant les seules recherchées).

En 2017, le début des infestations a été observé avec un mois d'avance par rapport à 2016 avec des niveaux de populations similaires à ceux de 2016. Le maximum des populations à la mi-avril a été également moins élevé par rapport à 2016 ($49,7 \pm 10,7$ individus / feuille, soit 5 pucerons / cm²) (Fig.80). Cette différence très significative entre les deux années ($F = 32,72$; $df = 198$; $p \approx 0$) peut être due à la hausse des températures surtout maximales qui ont varié entre 27 et 33° C durant la première semaine d'avril 2017.

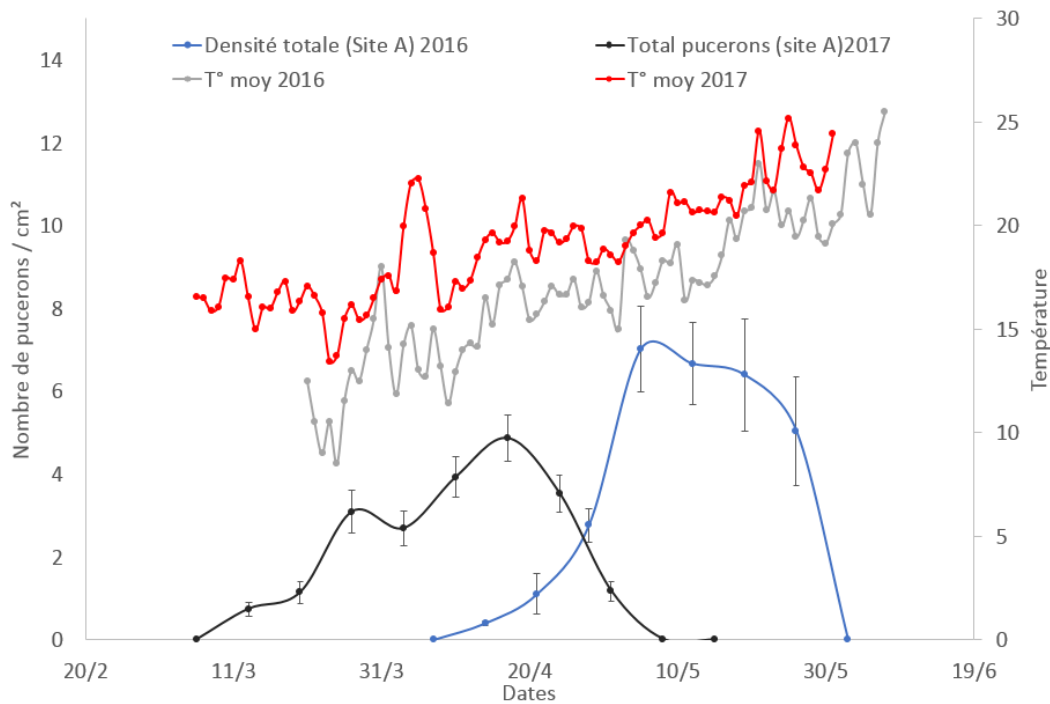


Fig.80: Evolution démographique des pucerons dans le site A (2016-2017).

Les espèces de pucerons récoltées sur feuilles d'agrumes en 2016 et 2017 (Fig.81 et 82) étaient : *A. spiraecola*, *A. gossypii*, *T. aurantii* et *M. persicae*. Cette dernière espèce n'a représenté que quelques colonies uniquement dans les échantillons de 2017. Les trois premières espèces sont les plus communes sur agrumes dans la région du Bassin méditerranéen (Ben Halima-Kamel *et al.*, 1994; Michelena and Sanchis, 1997; Addante *et al.*, 2009; Satar *et al.*, 2014; Elhaddad *et al.*, 2016; Lebbal and Laamari, 2016).

En 2016, l'espèce *A. spiraecola* qui a représenté entre 74 et 93% des effectifs (Fig.81) a été dénombrée sur 90% des feuilles dès le début des infestations. La densité moyenne maximale (6 pucerons / cm²) a été atteinte à la mi-mai (Fig.83).

En 2017, Cette espèce a également constitué entre 84 et 100 % des effectifs (Fig.82) mais avec une densité maximale moindre (4 pucerons / cm²) enregistrée à la mi- avril (Fig.83). La différence entre les deux années était significative ($F = 6,52$; $df = 198$; $p = 0,01$). Les températures ont joué à la fois un rôle dans la précocité des infestations en 2017 et également dans la décroissance des

populations à partir de la troisième semaine d’avril. On considère que les températures optimales pour *A. spiraecola* se situent entre 20 et 30 °C et au-delà de 30°C, la survie du puceron est affectée (Wang and Tsai, 2000).

Cette espèce est signalée comme étant la plus dominante dans plusieurs pays (Ben Halima-Kamel *et al.*, 1994; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006; Addante *et al.*, 2009; Mostefaoui *et al.*, 2014; Gómez-Marco, 2015; Lebbal and Laamari, 2015; Braham and Amor, 2018) mais pour des raisons différentes. Par exemple, Mostefaoui *et al.* (2014) expliquent son abondance par une meilleure tolérance à la proline contenue dans les feuilles, dont l’accumulation serait, selon Verbruggen et Hermans (2008), une réponse physiologique commune chez de nombreuses plantes en réponse aux stress de nature biotique et abiotique.

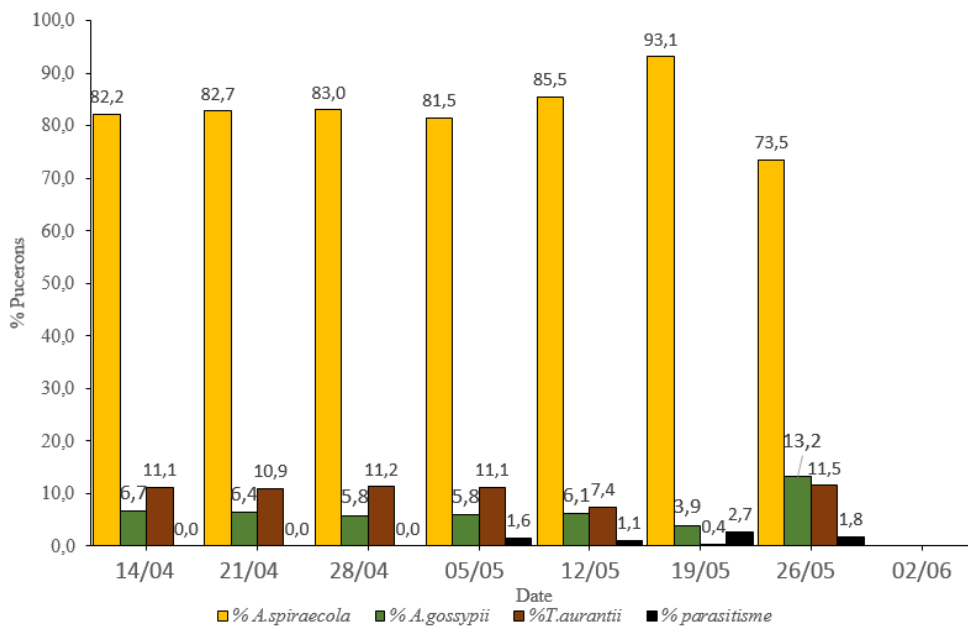


Fig.81 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site A (2016)

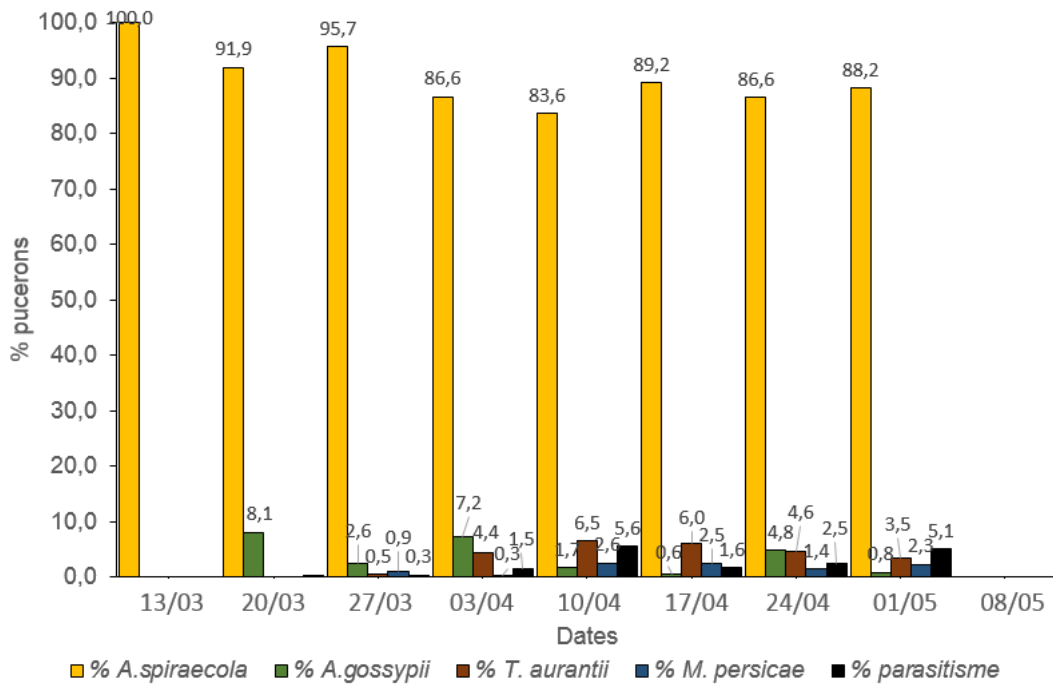


Fig.82 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site A (2017)

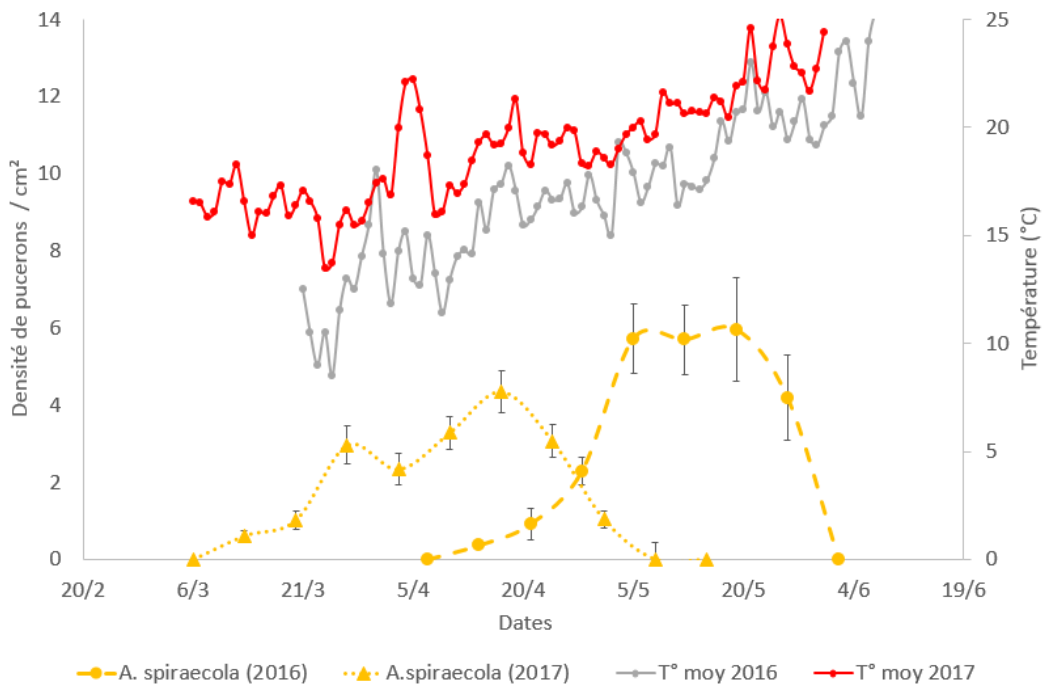


Fig.83: Evolution démographique de *A. spiraecola* dans le site A (2016-2017).

Dans cette étude, *A. gossypii* a été dénombré dès le début de l'échantillonnage sur 22% des feuilles, représentant un maximum de 13% du total des effectifs en 2016 (moins d'1 puceron / cm²) (Fig.84) comme ce fut le cas en Espagne en 2011 (Bañol *et al.*, 2012). En 2017, les effectifs n'ont représenté que 8% des populations avec moins de 2 pucerons / feuille (Fig.85) mais la nuisance de cette espèce réside dans sa capacité à disséminer le virus de la *Tristeza* dans les vergers d'agrumes (Marroquin *et al.*, 2004; Addante *et al.*, 2009; Campolo *et al.*, 2014). A titre d'exemple, en Sicile, *A. gossypii* a contribué à l'augmentation de 5% du nombre d'arbres infectés en deux ans (Davino *et al.*, 2004). *A. gossypii* qui représentait l'espèce dominante, il y a plusieurs décennies dans le Bassin méditerranéen comme par exemple en Grèce entre 1996 et 1997 (Kavallieratos *et al.*, 2002), est passée au second rang après *A. spiraecola* dans de nombreux pays (Hermoso de mendoza *et al.*, 2001; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006).

La troisième espèce *T. aurantii* a été aussi dénombrée dès le début de l'échantillonnage mais avec une densité plus élevée que *A. gossypii*. En 2016, elle a été récoltée sur 24% des feuilles et sa densité maximale a été enregistrée le 5 mai avec 10 pucerons / feuille (Fig.84). En 2017, elle est restée moins importante qu'en 2016, avec seulement 3 pucerons/feuille (Fig.85). Les effectifs peuvent varier d'une région à une autre et d'une année à l'autre en fonction de nombreux facteurs. Par exemple, cette espèce était dominante en Tunisie, en Italie et au Pérou au cours des années 70 (Talhok, 1975). En Espagne, elle a constitué entre 13 et 23% de la population totale à la fin des années 90 (Michelena and Sanchis, 1997) période à laquelle *A. spiraecola* commençait à devenir dominant en Tunisie (Ben Halima-Kamel *et al.*, 1994),

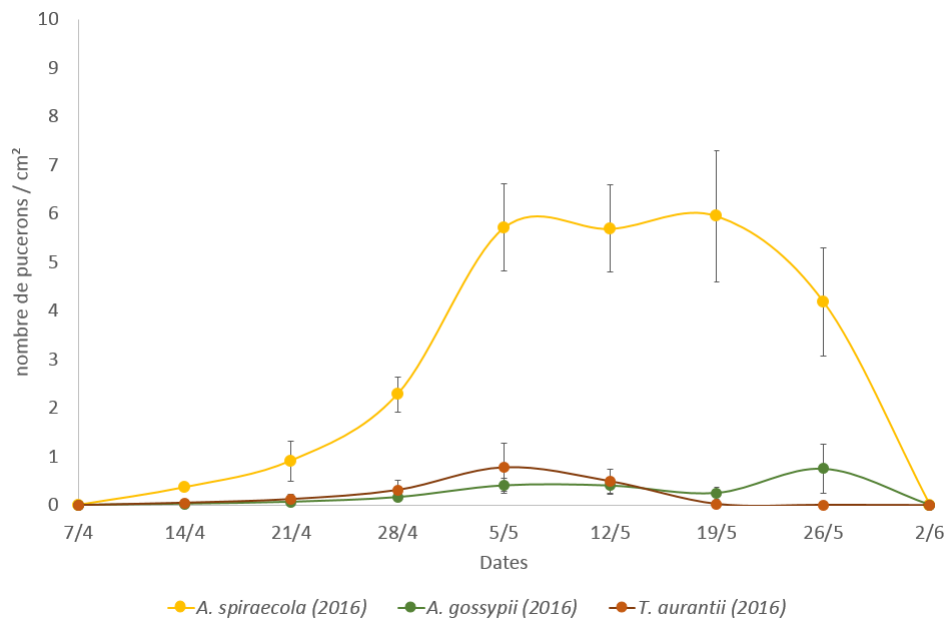


Fig.84: Evolution démographique des pucerons / espèce dans le site A en 2016

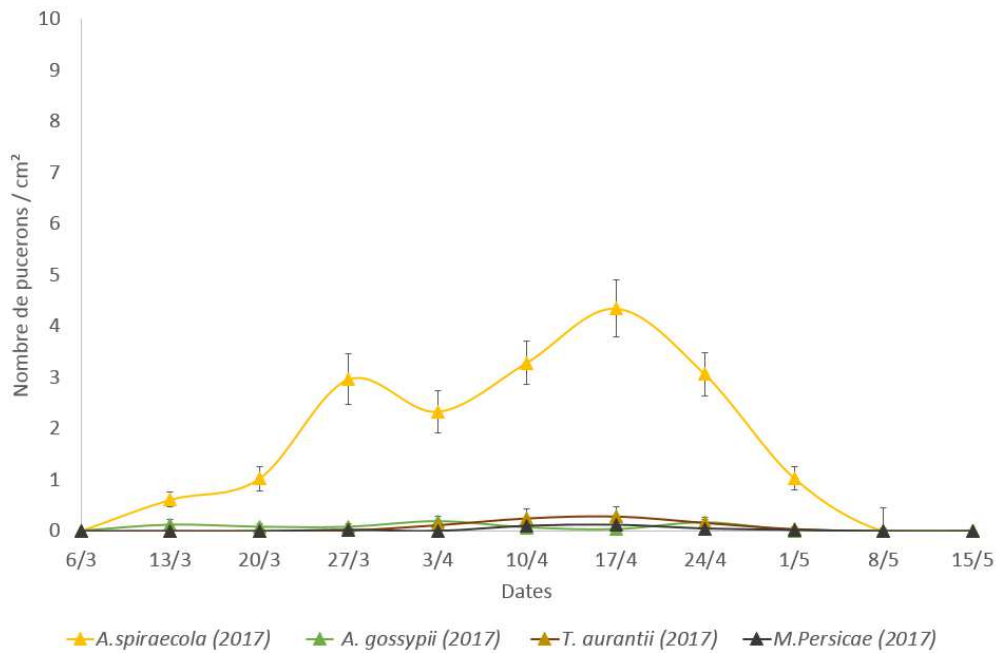


Fig.85: Evolution démographique des pucerons / espèce dans le site A en 2017

A travers ces résultats, on constate un nombre réduit d'espèces de pucerons prélevées sur les agrumes avec l'espèce *A. spiraecola* qui a dominé pendant toute la durée d'échantillonnage pour les deux années consécutives. Le début des infestations a été conditionné à la fois par la poussée de sève et les températures. Les effectifs de chaque espèce ont varié en fonction de l'impact des facteurs de régulation présents dans l'environnement immédiat (parasitisme, prédation et autres antagonismes).

2.2.3.1.2 Le parasitisme primaire et secondaire

Sur le terrain, les pucerons sont soumis à de nombreuses attaques d'organismes antagonistes parmi lesquels les parasitoïdes qui sont un groupe qui peut réduire notablement leurs effectifs. Dans certains cas ces ennemis naturels n'arrivent pas à jouer leur rôle de régulateur parce qu'ils sont eux-mêmes ciblés par d'autres organismes. Nous avons essayé d'évaluer l'impact des parasitoïdes primaires adaptés à chaque espèce de pucerons, pour comprendre les causes possibles des échecs et recenser les parasitoïdes secondaires (hyperparasitoïdes), qui se développent sur ces parasitoïdes primaires pour comprendre les interactions entre les différents niveaux.

a. Les parasitoïdes primaires :

Dans le site A, en 2016, les premières momies (signe de parasitisme avancé) ont été enregistrées le 5 mai soit 3 semaines après l'installation des premières colonies de pucerons. En 2017, les premières momies ont été récoltées le 20 mars soit une semaine après les premières infestations de pucerons ce qui laisse penser que les parasitoïdes étaient présents dans le verger au début de l'infestation. Le taux de parasitisme global est resté faible pour les deux années (2,7% en 2016 et 5,6 en 2017) et il n'est pas très différent par rapport aux niveaux observés en Espagne (Bañol *et al.*, 2012) et en Tunisie (Boukhris-Bouhachem, 2011). Ce niveau de parasitisme est lié à l'interaction de plusieurs facteurs parmi lesquels l'échec

parasitaire observé sur *A. spiraecola* semble en être la principale cause en Espagne (Gómez-Marco, 2015).

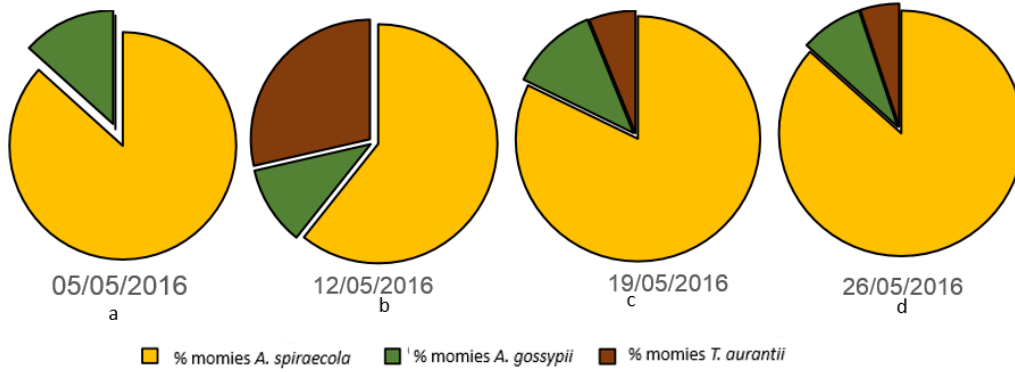


Fig.86 : Taux de parasitisme par espèce de puceron dans le site A en 2016

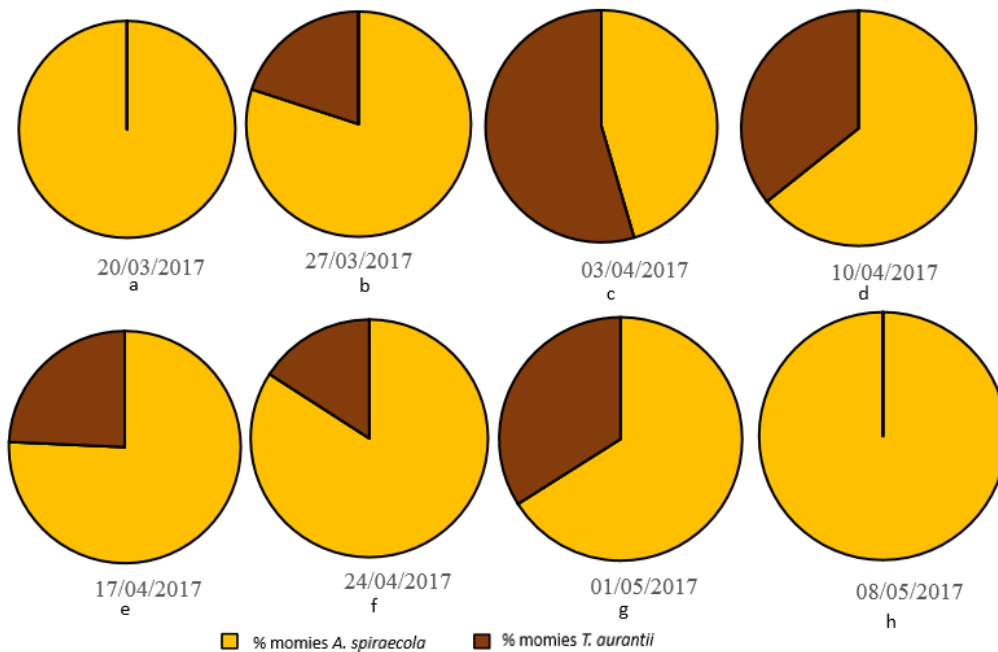


Fig.87: Taux de parasitisme par espèce de puceron dans le site A en 2017

- Dans le site A, bien que les momies sur *A. spiraecola* ont représenté entre 60% et 86% du total des momies (Fig.86 et 87), le taux du parasitisme est resté très faible variant de 1,6% en 2016 (Fig.88) à 3% en 2017 (Fig.89) parce que les populations de pucerons étaient élevées ; il n’y avait pas de différence significative

entre les deux années ($F = 0,40$; $df = 18$; $p = 0,535$). Ces taux de parasitisme sur *A. spiraecola* sont inférieurs à 5% qui est la valeur maximale exprimée en Espagne (Gómez-Marco, 2015). Les deux espèces de parasitoïdes primaires qui ont émergé des momies de *A. spiraecola*, sont : *Lysiphlebus testaceipes* et *Binodoxys angelicae*. Le taux d'émergence global des parasitoïdes a varié entre 26% en 2016 (Fig.90a) et 11% en 2017 (Fig.91g). Dans certains échantillons, l'absence d'émergence a concerné la totalité des momies sans qu'il soit possible de déterminer avec précision la cause de l'échec. L'émergence de *L. testaceipes* est restée faible variant entre 9,0 % en 2016 (Fig.90a) et 10,8 % en 2017 (Fig.91f), cependant, on peut noter de façon exceptionnelle que lors du prélèvement du 27 mars 2017 (Fig.91b), sur les 4 momies dénombrées sur une même feuille infestée par une trentaine de pucerons, 3 adultes de *L. testaceipes* ont pu émerger. Ce constat laisse supposer que ces momies proviennent de la ponte d'une même femelle. Le développement du parasitoïde a pu bénéficier des conditions thermiques favorables (moyenne des températures proches de 20°C).

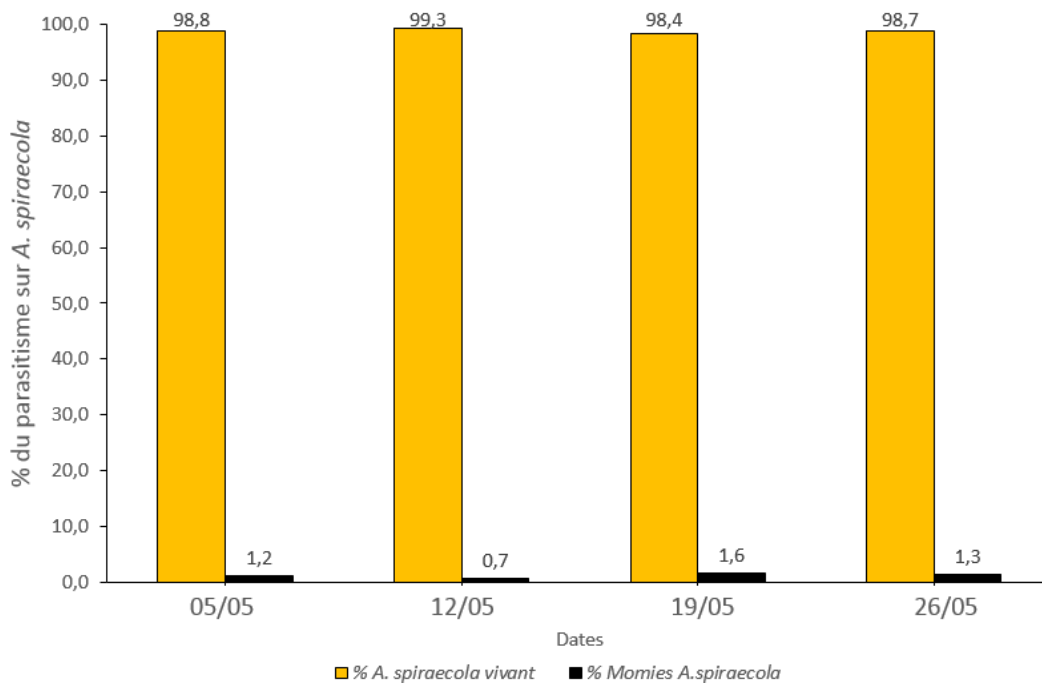


Fig.88 : Taux du parasitisme sur *Aphis spiraecola* site A (2016)

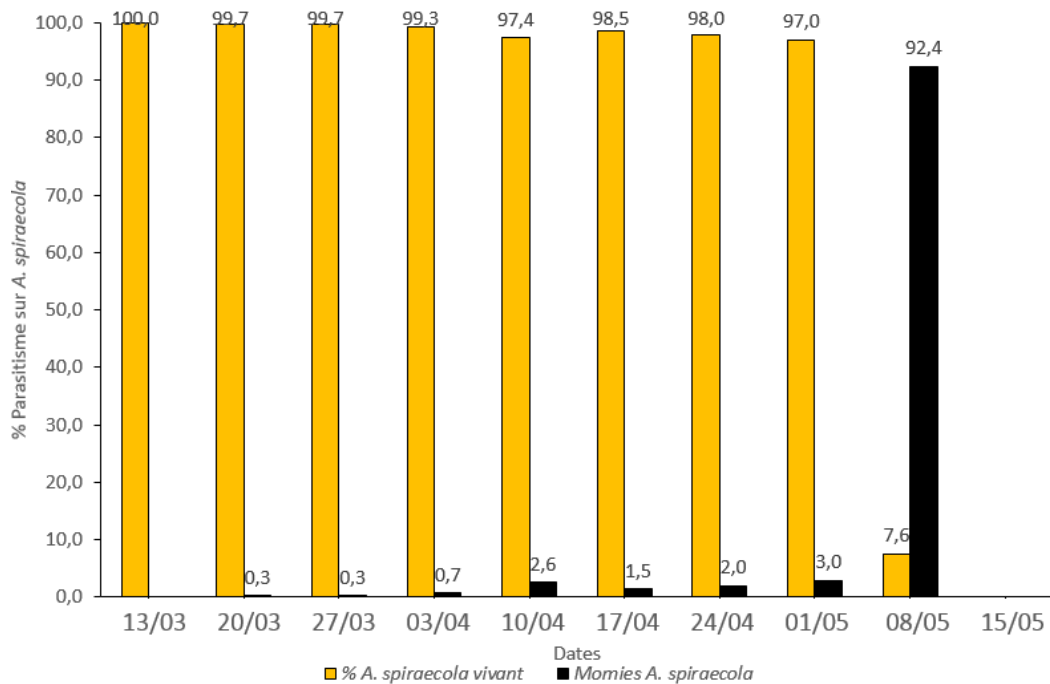


Fig.89 : Taux du parasitisme sur *Aphis spiraecola* site A (2017)

Il n'est pas facile de déterminer les causes réelles de l'échec parasitaire de *L. testaceipes* sur le puceron *A. spiraecola*. Certains auteurs considèrent que le développement du parasitoïde *L. testaceipes* n'aboutit pas à son terme, car la larve du dernier stade meurt avant de se nymphoser (Tremblay et Barbagallo, 1983). Cela peut avoir un lien avec les effets endocriniens évoqués par Beckage (1985). L'absence du développement complet jusqu'à l'adulte a été signalé par d'autres auteurs dans le Bassin méditerranéen (Costa and Starý, 1988; Michelena and Sanchis, 1997; Boukhris-Bouhachem, 2011). Parmi la liste des parasitoïdes primaires sur *A. spiraecola* trouvés en Tunisie, figure l'espèce *L. testaceipes* mais aucune évaluation de son importance n'a été rapportée (Sellami *et al.*, 2013).

Le taux d'émergence du parasitoïde *B. angelicae* à partir de momies de *A. spiraecola* a représenté 17,2 % en 2016 dans le premier échantillonnage (Fig.90a) qui correspond au taux le plus élevé dans l'année ; c'est également le niveau de parasitisme qui a été rapporté en Espagne par Gómez-Marco *et al.* (2015) ; la proportion de *B. angelicae* a baissé progressivement pour disparaître au dernier échantillonnage au profit des hyperparasitoïdes. On peut considérer que les

hyperparasitoïdes se sont développés sur *B. angelicae* réduisant son émergence (Gómez-Marco, 2015). L'espèce à l'état adulte a été totalement absente des échantillons de 2017, qui comportaient près de 70% des momies pleines (sans émergence) et des hyperparasitoïdes.

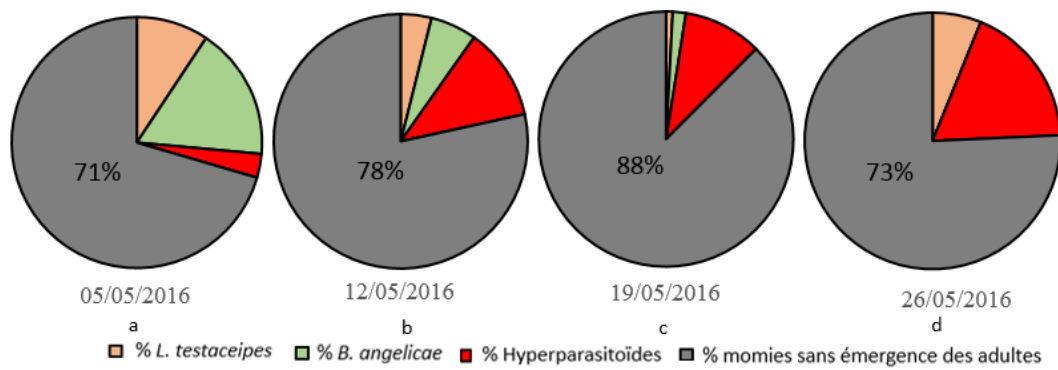


Fig.90 : Taux de parasitisme sur *Aphis spiraecola* / espèce de parasitoïde (site A) (2016)

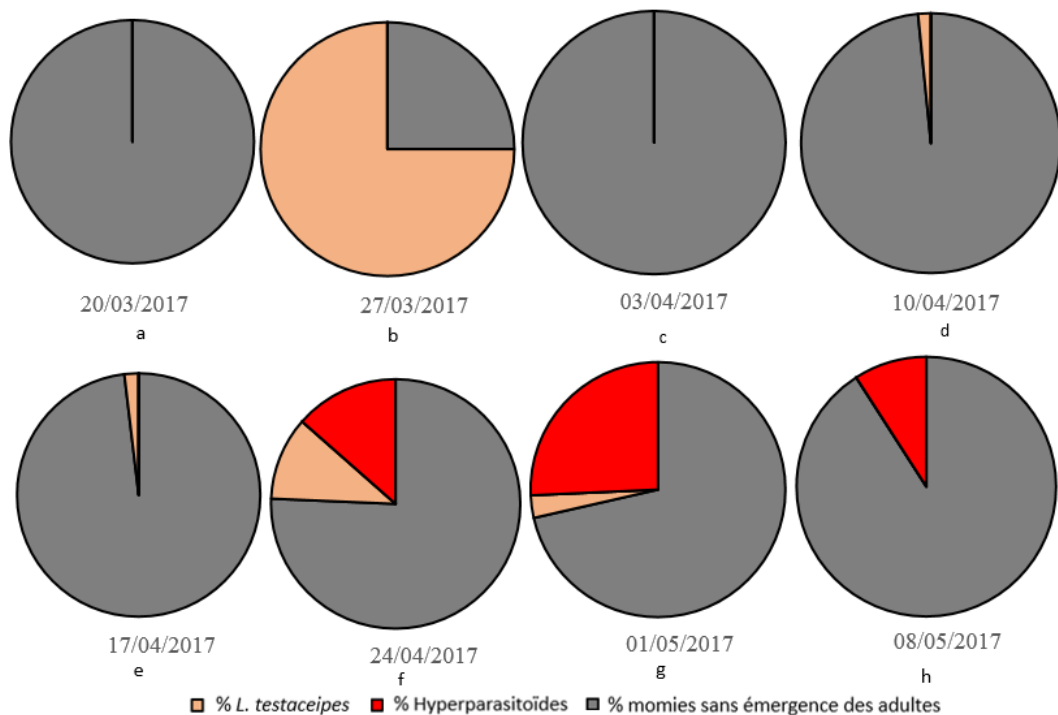


Fig.91 : Taux de parasitisme sur *Aphis spiraecola* / espèce de parasitoïde (site A) (2017)

• Dans les échantillons de 2016, les momies sur *A. gossypii* ont représenté 5,2% du total (Fig.92) alors qu'en 2017 aucune momie sur *A. gossypii* n'a été dénombrée. En 2016, il y a eu l'émergence des deux parasitoïdes primaires précités, parmi lesquels *L. testaceipes* a été le plus dominant (Fig.93). La même situation a été observée en Espagne (Bañol *et al.*, 2012). Il semble que lorsque cette espèce domine sur certaines variétés d'agrumes, elle est plus exposée au parasitisme comme ce fut le cas en Grèce où on a rapporté 7 espèces de parasitoïdes primaires parmi lesquelles *B. angelicae* était le plus dominant (Kavallieratos *et al.*, 2002).

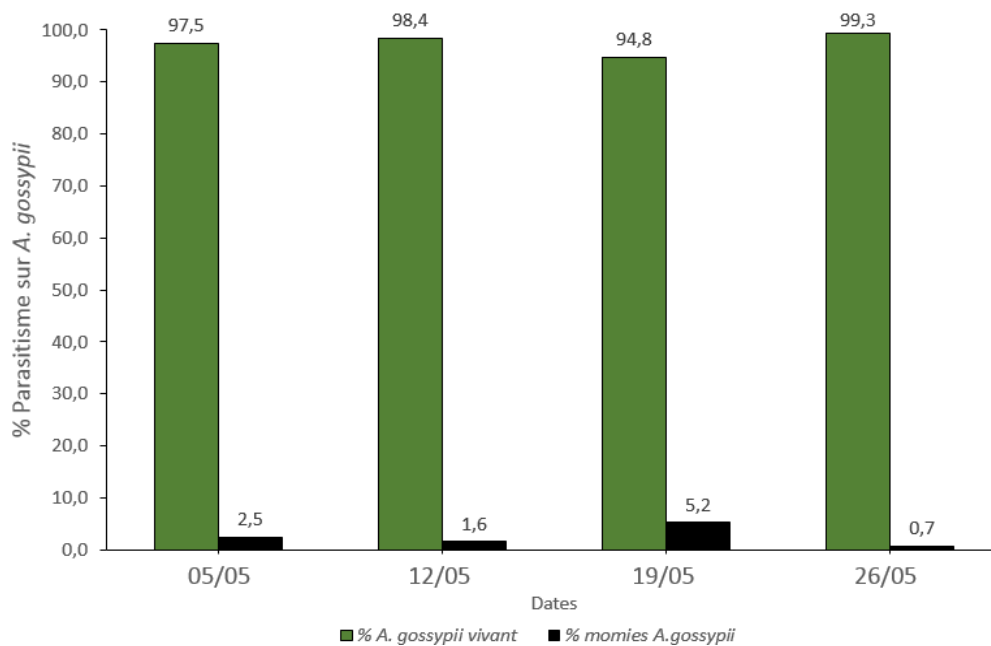


Fig.92 : Taux du parasitisme sur *Aphis gossypii* site A (2016)

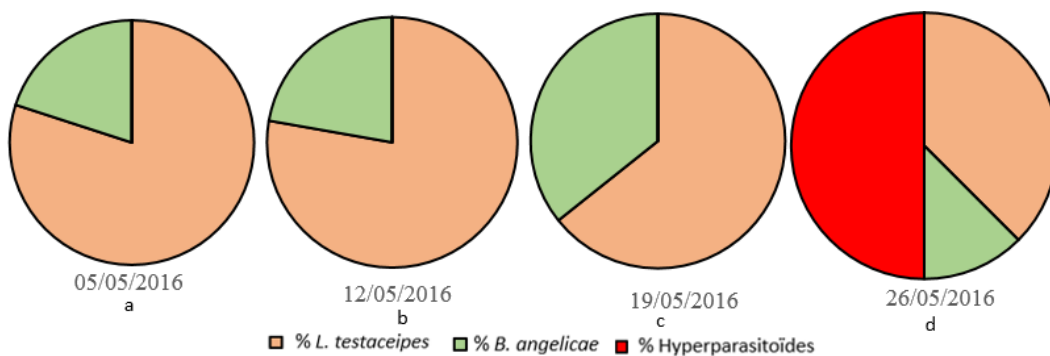


Fig.93 : Taux de parasitisme sur *Aphis gossypii* / espèce de parasitoïde (site A) (2016)

• Sur *T. aurantii*, le parasitisme (nombre de momies) a été évalué à 23,4 % en 2016 (Fig.94) avec 100 % d'émergence et à 28,5% en 2017 (Fig.95) avec un taux d'émergence variant entre 53 et 100% (Fig.96). En 2016, seul *L. testaceipes* a été identifié sur *T. aurantii*, tandis qu'en 2017, le nombre d'espèces de parasitoïdes primaires était de 4 : *L. testaceipes*, *B. angelicae*, *Aphidius matricariae* (Haliday, 1834) et *Praon volucre* (Haliday, 1834). Ces espèces sont très communes dans le Bassin méditerranéen (Tremblay, 1984; Boukhris-Bouhachem, 2011).

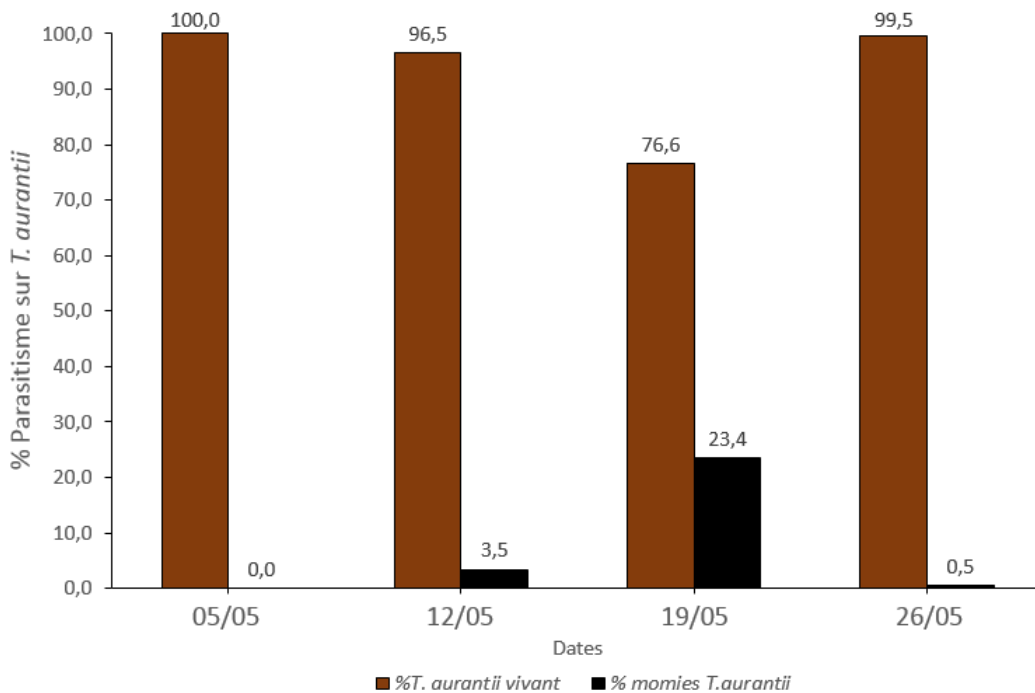


Fig.94 : Taux du parasitisme sur *Toxoptera aurantii* site A (2016)

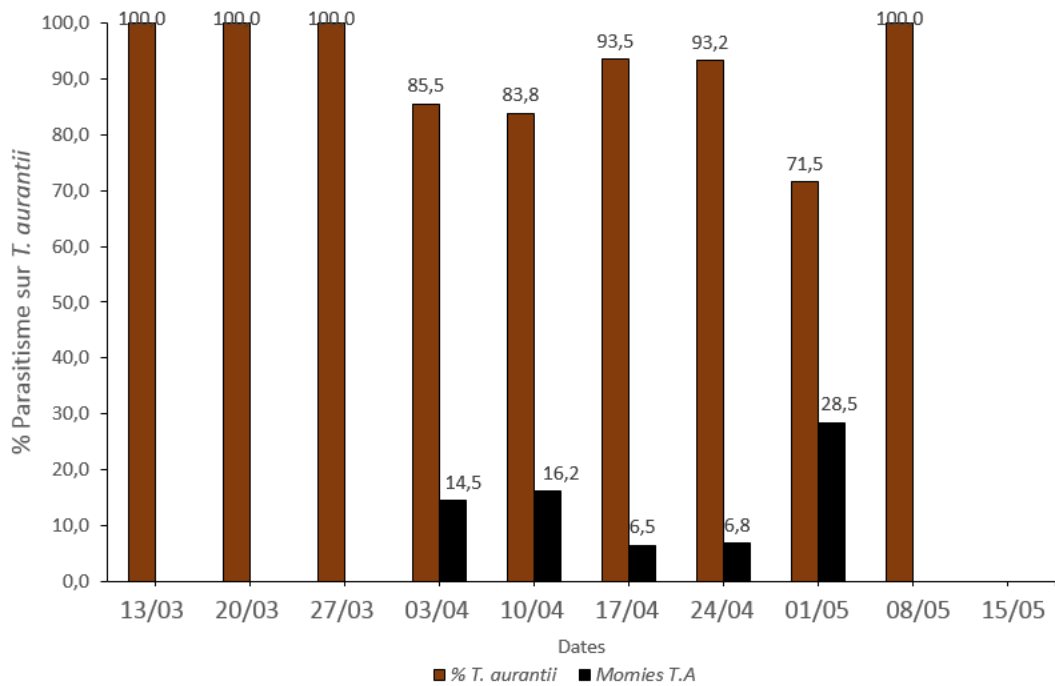


Fig.95 : Taux du parasitisme total sur *Toxoptera aurantii* site A (2017)

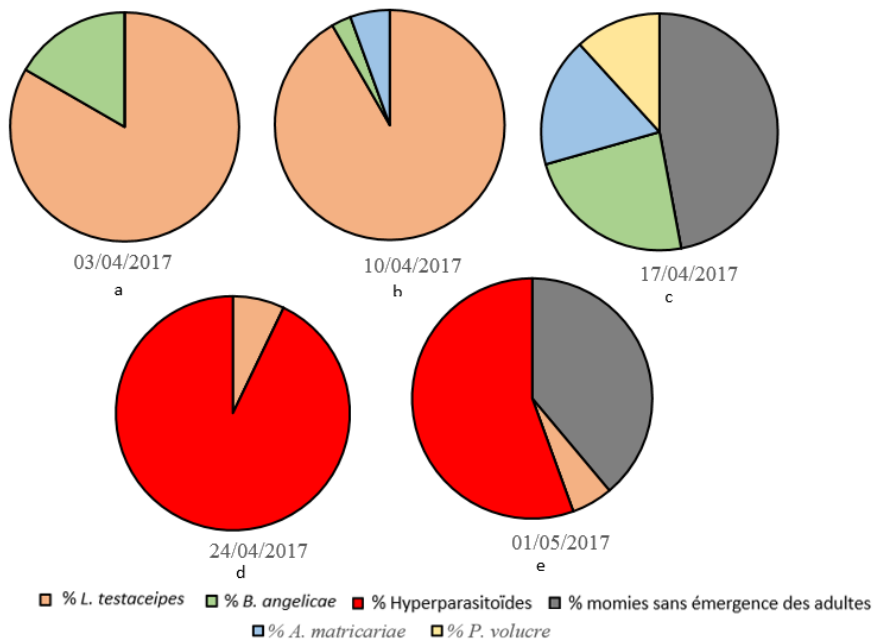


Fig.96 : Taux de parasitisme sur *Toxoptera aurantii* (site A) (2017)

b. Les parasitoïdes secondaires :

Le taux des parasitoïdes secondaires (hyperparasitisme) a varié globalement du simple au double passant de 18,0% en 2016 et 35,8% en 2017. Il est bien connu que l'hyperparasitisme affecte négativement l'efficacité des parasitoïdes primaires comme agents de contrôle en réduisant leurs effectifs (Höller *et al.* 1993; Sullivan and Volk, 1999). En effet, dans une étude réalisée en Turquie, Satar *et al.* (2014) ont constaté que la limitation du nombre de parasitoïdes primaires vers la fin de la saison printanière (juin) était due à une forte présence des hyperparasitoïdes. Ces derniers tuent la larve du parasitoïde primaire en se développant ; les substances chimiques volatiles qu'ils émettent peuvent inciter l'adulte à s'échapper (Höller *et al.*, 1994). Dans certaines conditions, ils peuvent compromettre fortement le contrôle biologique (Schooler *et al.*, 2011). L'hyperparasitoïde peut aussi avoir un effet direct sur la réponse comportementale des pucerons. Il a été rapporté dans le cas de *Dendrocerus carpenteri* (Curtis, 1829) que certains pucerons peuvent se reproduire de façon précoce lorsqu'ils se trouvent à proximité de femelles hyperparasitoïdes vierges (Boenisch *et al.*, 1997).

En 2016, sur *A. spiraecola* les premiers hyperparasitoïdes ont été dénombrés sur les premières momies récoltées le 5 mai. Le taux maximal a été atteint le 26 mai avec 17,5% (Fig.90d). En Espagne également, l'hyperparasitisme sur *A. spiraecola* a été remarqué dès le début de la saison avec un taux de 40% (Gómez-Marco, 2015). Il semble que les hyperparasitoïdes entraînent un déséquilibre dans la sex-ratio des parasitoïdes primaires en faveur des mâles comme cela est décrit chez *B. angelicae*, ce qui réduit l'efficacité du parasitoïde primaire (Gómez-Marco *et al.*, 2015). L'hyperparasitisme sur *A. gossypii* a atteint un maximum de 50 % le 26 mai (Fig.93d) tandis que sur *T. aurantii* aucun hyperparasitoïde n'a été dénombré.

En 2017, le taux d'hyperparasitisme a atteint un maximum de 25,7 % sur *A. spiraecola* (Fig.91g). Sur les 14 momies de *T. aurantii* récoltées le 24 avril, un

seul parasitoïde primaire a émergé tandis que les 13 autres correspondaient à des hyperparasitoïdes (Fig.96d).

Les 7 espèces d'hyperparasitoïdes ayant émergé des momies de *A. spiraecola* en 2016 et 2017 sont : *Asaphes vulgaris* (Walker, 1834), *Pachyneuron aphidis* (Bouché, 1834) (Hymenoptera: Pteromalidae), *Dendrocerus* spp. (Ratzeburg, 1852) (Hymenoptera: Megaspilidae), *Alloxysta victrix* (Westwood, 1834), *A. pusilla* (Kieffer, 1902), *Phaenoglyphis heterocera* (Hartig, 1841) (Hymenoptera: Figitidae) et *P. villosa* (Hartig, 1841). Dans cette étude, c'est la première fois que les deux espèces *P. heterocera* et *A. pusilla* ont été signalées sur *A. spiraecola*. En Espagne comme en Tunisie, sur *A. spiraecola* le nombre d'hyperparasitoïdes est aussi élevé (Sellami *et al.*, 2013; Gómez-Marco *et al.*, 2015).

Sur *A. gossypii*, les trois espèces d'hyperparasitoïdes sont : *P. aphidis*, *A. vulgaris* et *Dendrocerus* sp.. En 2017, 5 espèces ont été recensées à partir des momies de *T. aurantii*, il s'agit de : *A. aphidis*, *A. vulgaris*, *A. victrix*, *P. villosa* et *A. pilipennis* (Hartig, 1833). Cette dernière espèce est signalée ici pour la première fois sur *T. aurantii*.

La multiplicité des espèces d'hyperparasitoïdes exploitant les deux parasitoïdes primaires dominants contribue à réduire notablement l'efficacité de ces agents de régulation. Leur dominance et leur diversité pourraient être l'une des principales causes de la faible efficacité des parasitoïdes primaires dans les vergers d'agrumes (Bañol *et al.*, 2012).

➤ **Caractéristiques des espèces hyperparasitoïdes nouvellement signalées :**

i. *Phaenoglyphis heterocera* (Hartig, 1841)

L'espèce *P. heterocera* (Fig.85) appartient au genre *Phaenoglyphis* Förster, 1869 qui est le plus important de la sous-famille des Charipinae. Il comporte 34 espèces distribuées dans le monde (<http://www.charipinaedatabase.com/>). Seule l'espèce *P. villosa* a été déjà signalée

en Algérie par Kieffer (1909). L'espèce *P. heterocera* (Fig.59) qui a été identifiée ici pour la première fois en Algérie sur *C. clementina* (Ferrer-Suay *et al.*, 2017) n'a jamais été signalée sur *A. spiraecola* à travers le monde. Il semble qu'elle soit associée à une grande gamme d'hôtes (Ferrer-Suay *et al.*, 2012a). *P. heterocera* a été décrit pour la première fois en Allemagne par Hartig (1841). Son aire de répartition est étendue (région Nearctique et Paléarctique occidentale) : Allemagne (Hartig, 1841), Angleterre (Cameron, 1890), Autriche (Dalla Torre and Kieffer, 1910), Canada (Ferrer-Suay *et al.*, 2014b), France (Kieffer, 1904), Pays-Bas (Dettmer, 1925), Roumanie (Feraru *et al.*, 1879), Suède (Andrews, 1978) et USA (Ferrer-Suay *et al.*, 2014b). L'espèce se caractérise principalement par la taille du funicule F1 qui est plus courte que celle du pédicelle chez la femelle et plus longue chez le mâle et une rhinaria commençant à l'article 3 (F3) (Ferrer-Suay *et al.*, 2014b).



Fig. 97 : *Phaenoglyphis heterocera* (Hartig, 1841) (photo originale).

ii. *Alloxysta pusilla* (Kieffer, 1902)

Dans cette étude, *A. pusilla* (Fig.98) est aussi signalée pour la première fois en Algérie. A notre connaissance, *A. spiraecola* est son nouvel hôte. Cette

espèce est connue dans le Paléarctique et le Néotrophe (Ferrer-Suay *et al.*, 2012a). Dans le Bassin méditerranéen, elle a été signalée dans la province d'Andorre (Ferrer-Suay *et al.*, 2011), en Espagne (Ferrer-Suay *et al.*, 2012c), en France (De Gaulle, 1908; Kieffer, 1904) et en Italie (Mantero, 1906). L'espèce est principalement caractérisée par la présence d'une cellule radiale fermée (Fig.99) (Ferrer-Suay *et al.*, 2015a). Au niveau de la tête, elle a un mésosome et un métasome bruns foncés ; ses jambes sont jaunes. La couleur du pédicelle est jaune-foncé (Fig.98). Les antennes de la femelle comportent 13 segments (Fig.100), le mâle en possède 14 (Ferrer-Suay *et al.*, 2012c).



Fig. 98 : *Alloxysta pusilla* (Kieffer, 1902) (photo originale).

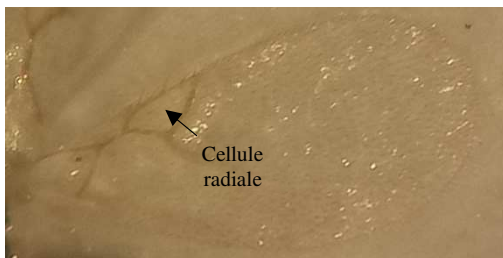


Fig. 99 : Aile de *Alloxysta pusilla* (photo originale).



Fig. 100 : Antenne de *Alloxysta pusilla* (photo originale).

iii. *Alloxysta pilipennis* (Kieffer, 1902)

A notre connaissance, *A. pilipennis* (Fig.101) est signalé dans cette étude pour la première fois dans le monde sur son nouvel hôte *T. aurantii*. L'espèce a été déjà signalée en Algérie à Mostaganem mais sur le puceron *M. persicae* (Ferrer-Suay *et al.*, 2015a). Son signalement dans d'autres pays du Bassin méditerranéen concerne l'Espagne (Ferrer-Suay *et al.*, 2013), la France (De Gaulle, 1908), Israël (Argaman, 1988) et l'Italie (Ferrer-Suay *et al.*, 2015b).

A. pilipennis se caractérise par une cellule radiale fermée, 2,5 fois plus longue que large ; chez la femelle, l'antenne comporte une seule rhinaria commençant à partir du 3^{ème} article F3 ; le F1 est plus long que le F2 et le pédicelle ; les F2, F3 et F4 ont la même longueur (Ferrer-Suay *et al.*, 2015c).



Fig.101 : *Alloxysta pilipennis* (Hartig, 1833) (Photo originale)

2.2.3.1.2 Le complexe des prédateurs

Les prédateurs ont été dénombrés et classés par espèce. Leur action a été difficile à mesurer.

Les prédateurs (toutes espèces confondues) ont été recensés pendant les deux années avec des populations faibles (stades adulte et larvaire) correspondant à 44 prédateurs / 100 feuilles en 2016 (Fig.102) et à 36 individus / 100 feuilles en 2017 (Fig.103). En 2016, les 3 espèces identifiées étaient : *Scymnus subvillosus* (Goeze, 1777) (Coleoptera : Coccinellidae), *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani, 1847) (Diptera : Cecidomyiidae) et *Episyrphus balteatus* (De Geer, 1776) (Diptera : Syrphidae), tandis qu'en 2017, il y en avait une espèce de plus qui était *Coccinella algerica* (Kovar, 1977) (Coleoptera : Coccinellidae). En 2016, dans ce site qui n'a pas été traité, c'est la cécidomyie *A. aphidimyza* qui a dominé dans tous les prélèvements avec un maximum d'effectifs de larves (39 larves / 100 feuilles) observé le 26 mai. En 2017, c'est toujours *A. aphidimyza* qui a dominé entre le 24 avril et le 1^{er} mai avec une moyenne de 26 larves / 100 feuilles. Cette espèce semble être la plus efficace car elle tue plus de proies qu'elle n'en consomme (Turpeau *et al.*, 2010). Cette différence d'effectifs est liée à la démographie des pucerons. C'est aussi l'espèce dominante dans les vergers d'agrumes parmi les prédateurs signalés en Espagne (Gómez-Marco *et al.*, 2016).

L'efficacité des prédateurs aphidiphages dépend de la précocité de leur arrivée qui est aussi liée aux températures et des méthodes de lutte utilisées par l'agrumiculteur. En général, dans les vergers conduits sans traitement chimique le nombre d'espèces est souvent plus élevé et le niveau de prédation dépend des interactions entre les différents groupes. Par exemple, en Tunisie, dans un verger d'agrumes conduit en organique, le nombre d'espèces de prédateurs a été évalué à 8 espèces (Boukhris-Bouhachem, 2011)

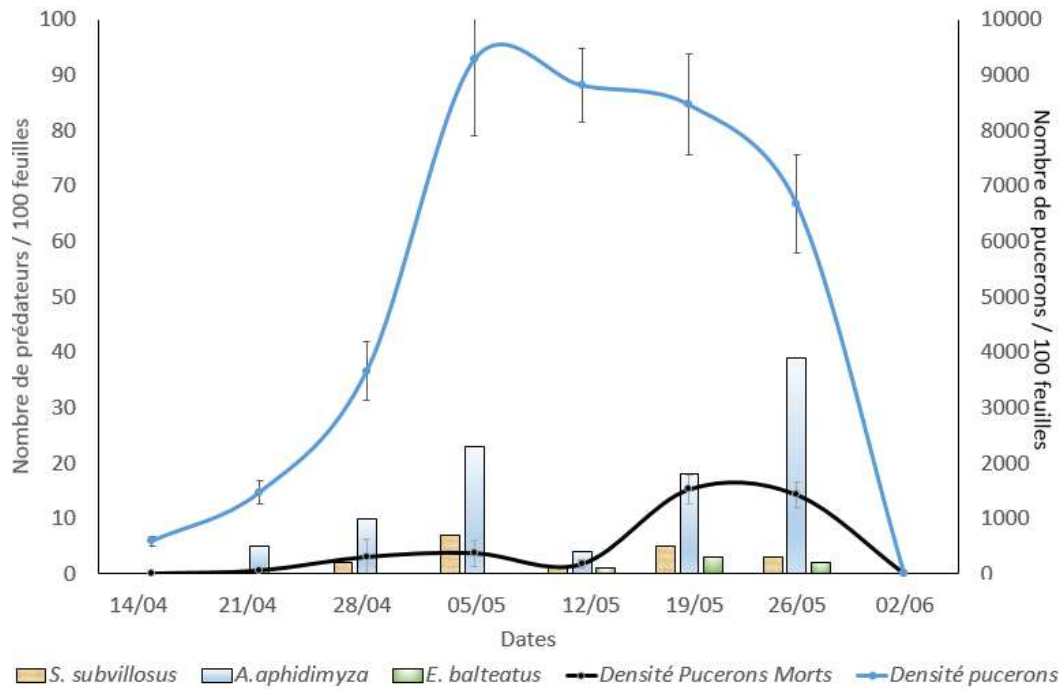


Fig. 102 : Composition des prédateurs par espèce identifiée dans le site A (2016)

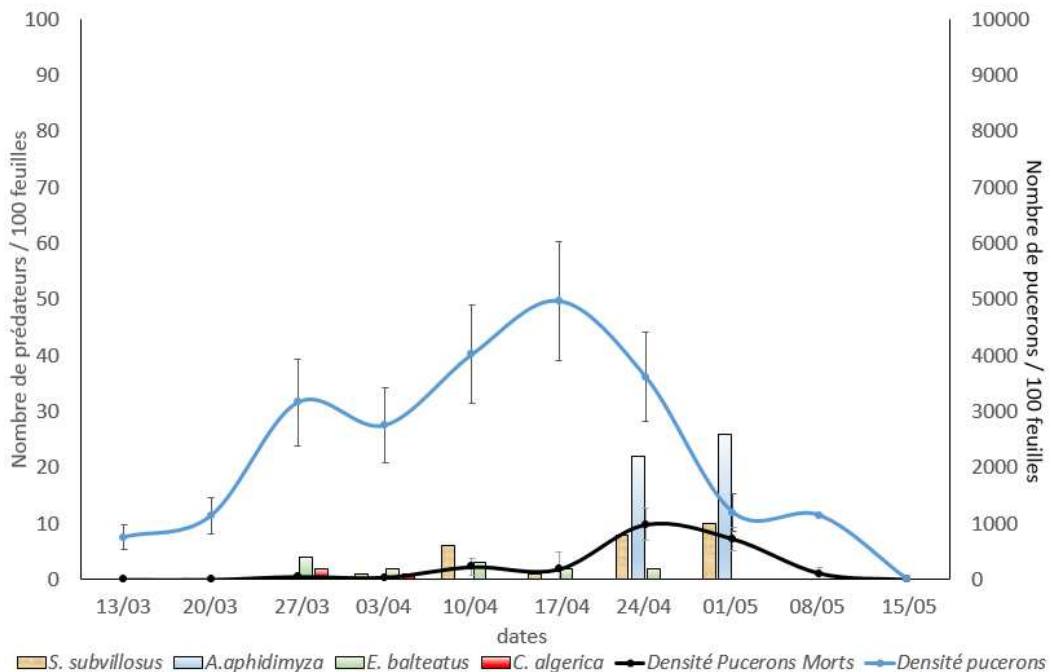


Fig. 103 : Composition des prédateurs par espèce identifiée dans le site A (2017)

2.2.3.1.3 Causes multiples de la mortalité des pucerons

La mortalité des pucerons peut être liée à d'autres facteurs que la prédation. Les températures élevées peuvent aussi entraîner la chute des effectifs de pucerons. En 2016, la mortalité a varié entre 0,5 et 3,7 pucerons / feuille entre la troisième semaine d'avril et la deuxième semaine de mai (Fig.102) et a atteint un maximum de 15 pucerons / feuille (1 puceron / cm²) à la fin de la deuxième décennie de mai ce qui a coïncidé avec une élévation de températures de 29°C à 33°C. En 2017, la mortalité a atteint le maximum durant la dernière semaine d'avril, probablement à cause de la présence des trois espèces de prédateurs : *A.aphidimyza*, *E. balteatus* et *S. subvillosus* (Fig.103).

On remarque, qu'en absence d'efficacité des ennemis naturels, il est nécessaire de proposer un moyen de lutte comme l'utilisation adaptée de pesticides homologués en fonction du niveau d'infestation. Selon Barbagallo et al. (2017), le seuil d'intervention sur les pucerons des agrumes est d'environ 25% des pousses infestées par *T. aurantii* et *A. gossypii*, mais seulement 5 à 10% des pousses infestées par *A. spiraecola*, ce qui indique que ce dernier est plus nocif. Nous avons suivi la dynamique des populations sur la parcelle B où un traitement chimique a été réalisé tardivement avec des conséquences variées.

2.2.2.2.Site B

2.2.2.2.1. Les pucerons : Identité des espèces et évolution démographique

Dans le site B, l'évolution démographique des pucerons a subi l'effet du traitement chimique réalisé le 1 mai en 2016 et le 13 avril en 2017.

En 2016, les premières colonies de pucerons ont été observées le 30 mars lorsque les températures moyennes ont dépassé 14 °C (0,6 pucerons / cm²). Un mois après, la densité est passée de 0,6 puceron / cm² à 10,5 pucerons / cm² (152,9 pucerons / feuille) (Fig.104) avec l'augmentation des températures passant de 17 °C à 25°C. Le traitement insecticide réalisé le 1 mai, avec Acetamipride a entraîné une réduction des effectifs au cours de l'échantillonnage suivant (-66%). Le test

ANOVA a montré une différence démographique très significative entre les deux prélèvements, liée probablement à l'effet de l'insecticide ($F = 123,58$; $df = 198$; $p \approx 0$). Environ 10 jours après le traitement, une nouvelle augmentation des effectifs de pucerons (3 pucerons / cm^2) a été observée mais elle a été ralentie par la hausse des températures pendant la semaine du 12 au 18 mai. Au dernier échantillonnage du 18 mai, l'absence des pucerons a été sans doute liée à la migration des formes ailées elles-mêmes générées par la maturation des feuilles (Agarwala and Das, 2012).

En 2017, les premières colonies ont été observées avec deux semaines d'avance par rapport à 2016 parce que les températures étaient plus favorables supérieures à $16^\circ C$. La densité maximale avait atteint 53,6 pucerons / feuille soit 7 pucerons / cm^2 durant la deuxième semaine d'avril avant le traitement (Fig.104). Les densités maximales ont montré une différence très significative entre les deux années 2016 et 2017 ($F = 17,72$; $df = 198$; $p \approx 0$). Cette différence dans la croissance démographique peut être due aux températures (Fig.104) et à l'effet des ennemis naturels de façon ponctuelle.

En 2017, le traitement insecticide qui a été réalisé le 13 avril avec la même molécule qu'en 2016 a permis la réduction des effectifs de près de 70%. 5 jours après le traitement, la densité par cm^2 est passée de 7 à 1,5 pucerons. Cette différence est hautement significative ($F = 79,94$; $df = 198$; $p \approx 0$). 10 jours après le traitement comme en 2016, on constate une reprise de la courbe de croissance aphidienne portant la densité à 3 pucerons / cm^2 (Fig.104), ce qui laisse penser que l'efficacité du produit a baissé avant la fin de la durée de sa rémanence qui est de 14 jours (<https://www.aci-algerie.com/produit/mospilan-20-sp/>). Après cette augmentation, nous avons observé à partir du début mai, une nouvelle chute des populations qui semble être liée à l'effet conjugué des températures et de l'état physiologique des feuilles.

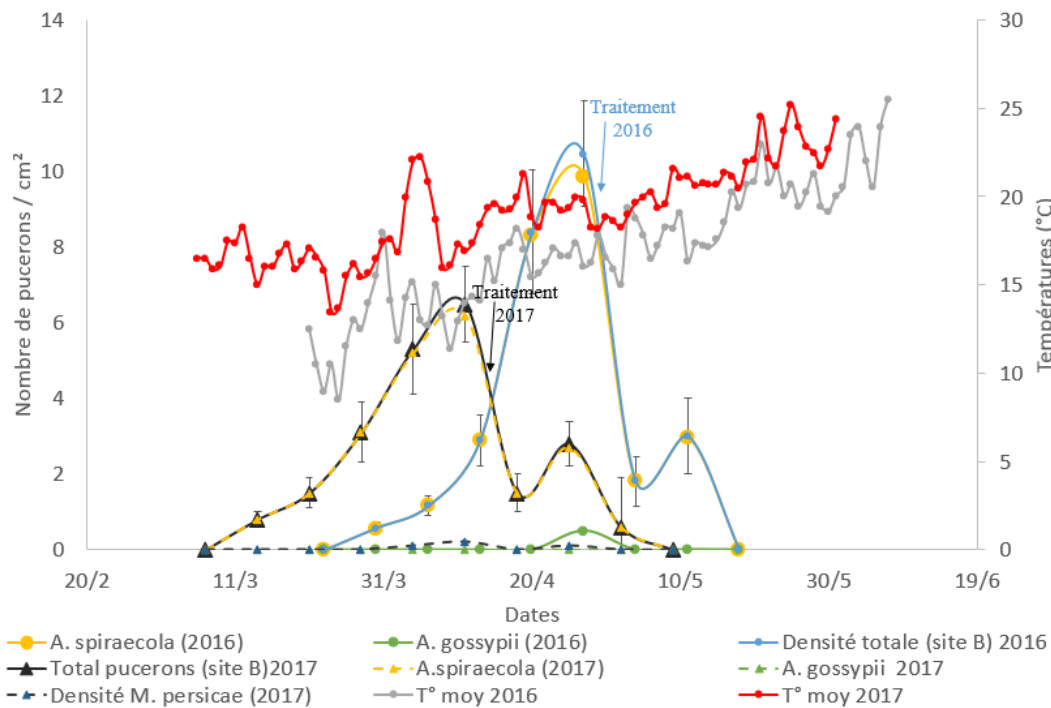


Fig.104 : Evolution de la densité totale et par espèce de pucerons dans le site B (2016-2017).

Les principales espèces de pucerons recensées sont : *A. spiraecola*, *A. gossypii* et *M. persicae*. Cette dernière espèce a été trouvée en faible quantité seulement en 2017 (Fig.106). *A. spiraecola* a été l'espèce prédominante durant tout l'échantillonnage (Fig.105-106), avec des effectifs élevés (144 / feuille) soit 10 / cm² vers la fin avril 2016 (Fig.104). En 2017, le nombre a atteint 52 pucerons / feuille ce qui correspond à 6 / cm² (11 avril 2017). La différence entre les deux pics qui a été très significative ($F = 71,72$; $df = 198$; $p \approx 0$) était probablement liée à l'effet de la température comme pour l'ensemble des espèces. En effet, cette espèce est signalée comme la plus dominante sur *C. sinensis* dans plusieurs pays (Marroquin *et al.*, 2004; Ben Halima and Ben Hamouda, 2005; Bañol *et al.*, 2012; Lebbal and Laamari, 2016; Braham and Amor, 2018).

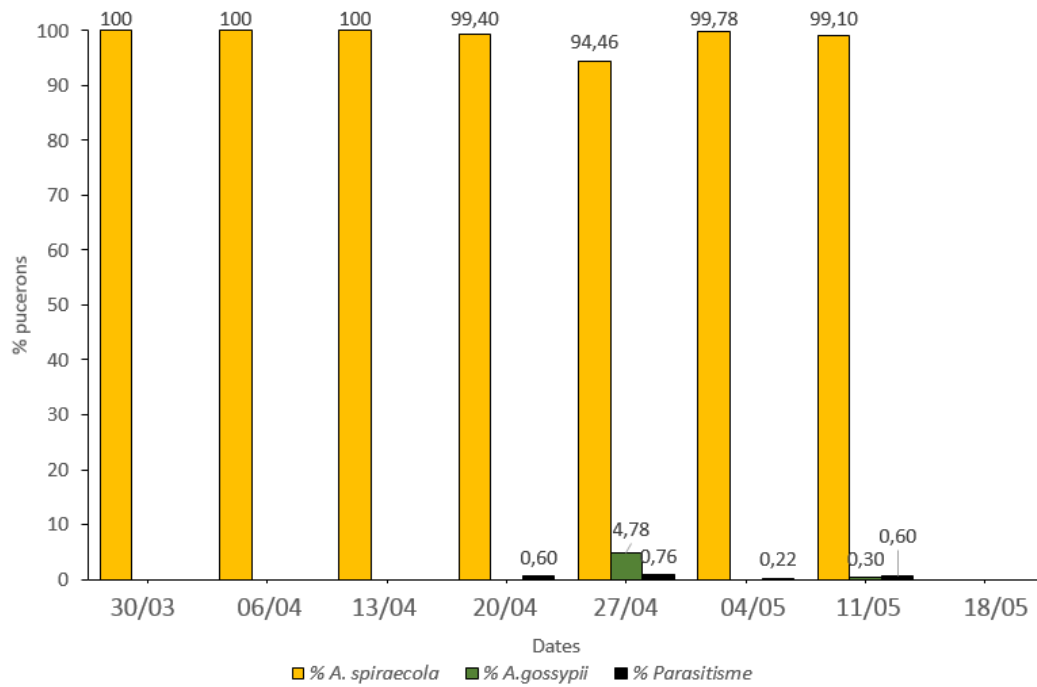


Fig.105 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site B (2016)

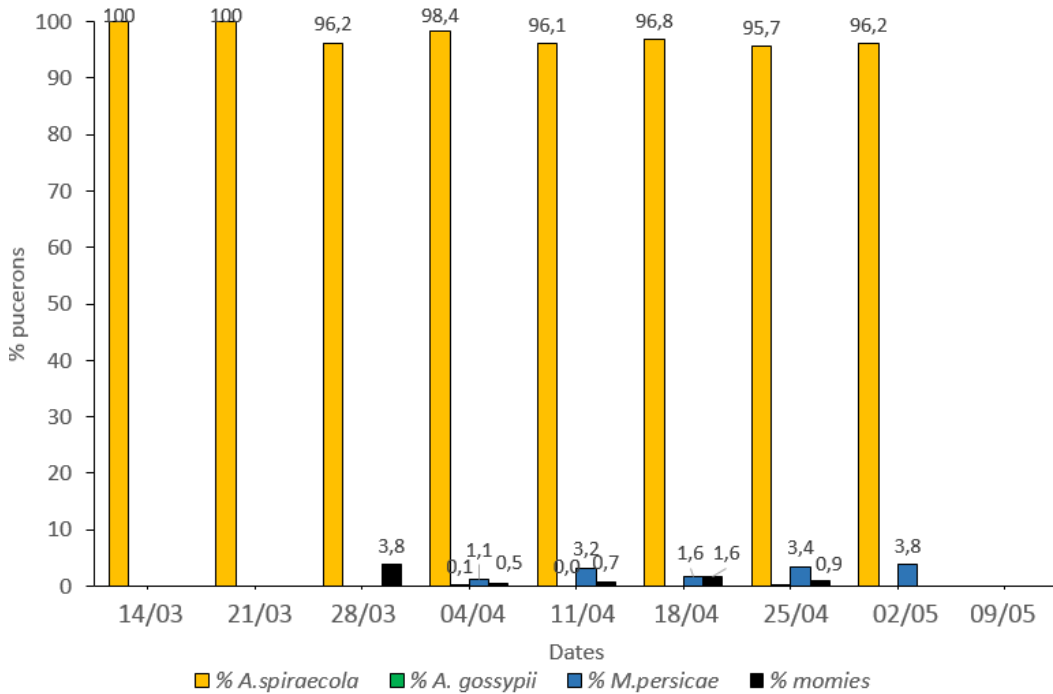


Fig.106 : Répartition du taux des pucerons / espèce et taux de parasitisme dans le site B (2017)

L'espèce *A. gossypii* n'a été recensée qu'à deux dates (27 avril et 14 mai 2016) avec moins d'un puceron / cm². En 2017, le nombre d'individus a représenté 3 pucerons pour 100 feuilles en 2017. Ce puceron qui dominait sur agrumes par le passé a été supplanté par *A. spiraecola* ces dernières années dans de nombreux pays (Hermos Mendoza *et al.*, 1997; Kavallieratos *et al.*, 2002; Hermoso de Mendoza *et al.*, 2006).

M. persicae a été observé à partir du début avril 2017 et n'a représenté que 4% du total des pucerons.

2.2.2.2. Le parasitisme primaire et secondaire

a. Les parasitoïdes primaires

En 2016, les premières momies ont été observées vers la mi-avril, tandis qu'en 2017, elles ont été prélevées lors de l'échantillonnage du 28 mars. Le taux de parasitisme global qui a été faible (0,8% en 2016 et 3,8 % en 2017), est dû essentiellement aux momies de *A. spiraecola*. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux années ($F = 0,40$; $df = 18$; $p = 0,5$). Le taux d'émergence des adultes n'a pas dépassé 32,2% en 2016 (Fig.107) et 20,0% en 2017 (Fig.108). En 2017, l'absence d'émergence des adultes parasitoïdes dans la parcelle traitée laisse supposer que l'insecticide utilisé a eu un effet létal sur les parasitoïdes.

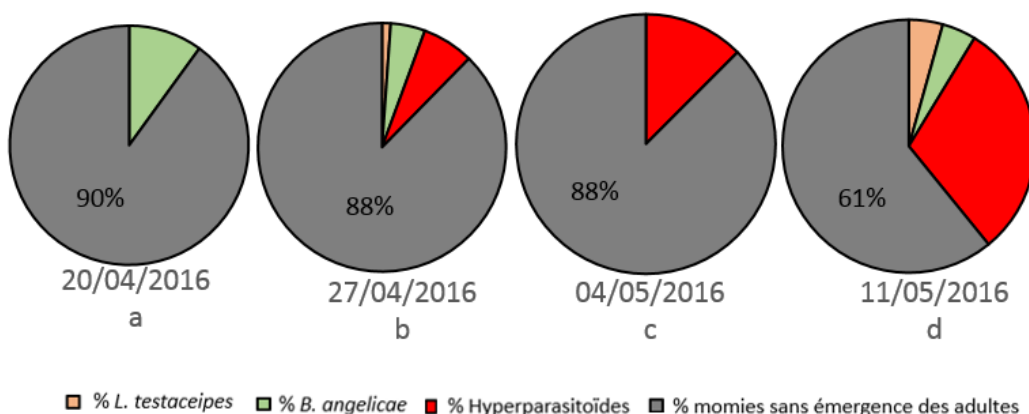


Fig. 107 : Taux de parasitisme sur *Aphis spiraecola* / espèce de parasitoïde (site B) (2016)

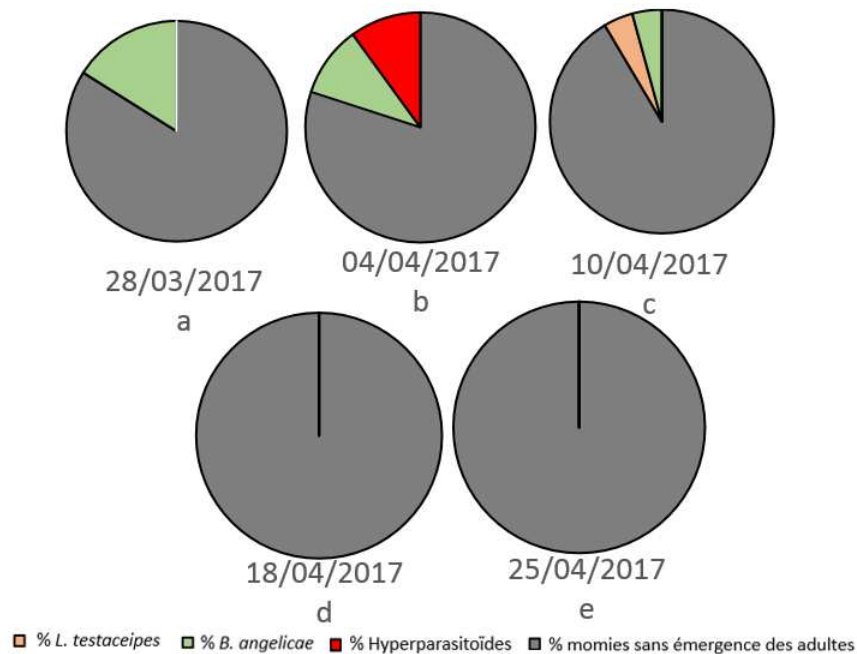


Fig.108 : Taux de parasitisme sur *Aphis spiraecola* (site B) (2017)

Les espèces de parasitoïdes primaires qui ont émergé sont : *L. testaceipes* et *B. angelicae*. Le taux d'émergence maximal de *L. testaceipes* n'a pas dépassé 4% pour les deux années. Celui de *B. angelicae* a été supérieur, variant de 10% en 2016 à 16% en 2017.

b. Les parasitoïdes secondaires

Le taux global d'hyperparasitisme sur momies de *A. spiraecola* a atteint 30% en 2016 et 10% en 2017. En 2016, le nombre d'espèces était de 3 (*A. vulgaris*, *P. aphidis* et *A. victrix*), tandis qu'en 2017, en plus de ces 3 espèces, nous avons identifié deux autres (*Dendrocerus* sp. et *A. pusilla*).

2.2.2.2.3. Le complexe des prédateurs

Le nombre des prédateurs (toutes espèces confondues) est resté toujours très faible pendant les deux années, ne dépassant pas 20 individus / 100 feuilles (Fig.109-110). Les espèces identifiées en 2016 sont : *S. subvillosus*, *A. aphidimyza*,

E. balteatus, *C. algerica*, *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836) (Neuroptera : Chrysopidae). En 2017, les deux dernières n'ont pas été recensées.

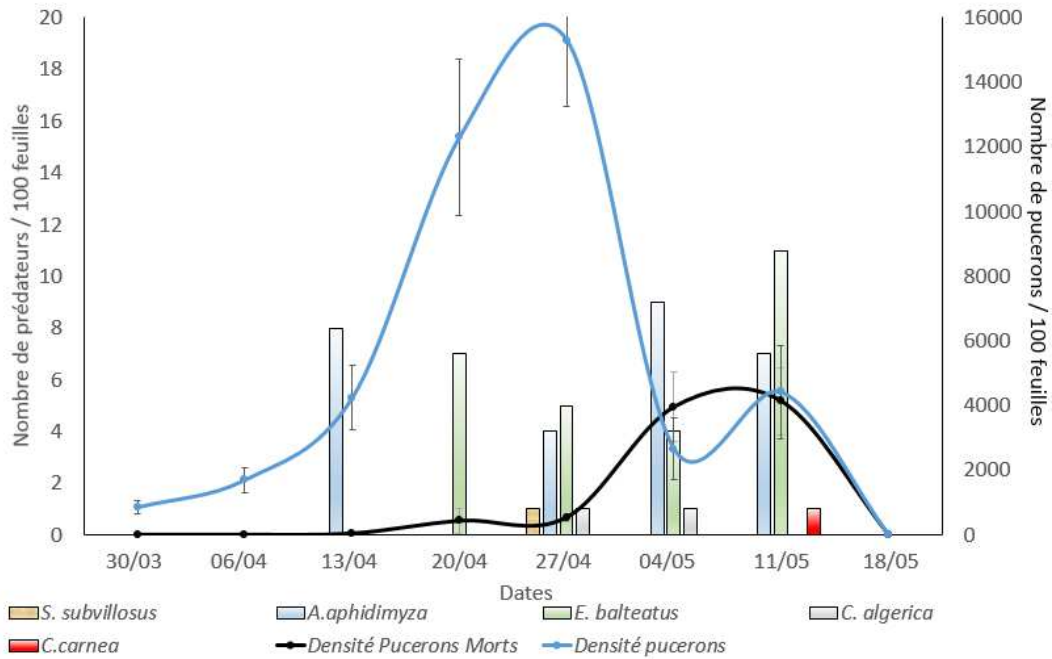


Fig. 109 : Composition des prédateurs par espèce identifiée site B (2016)

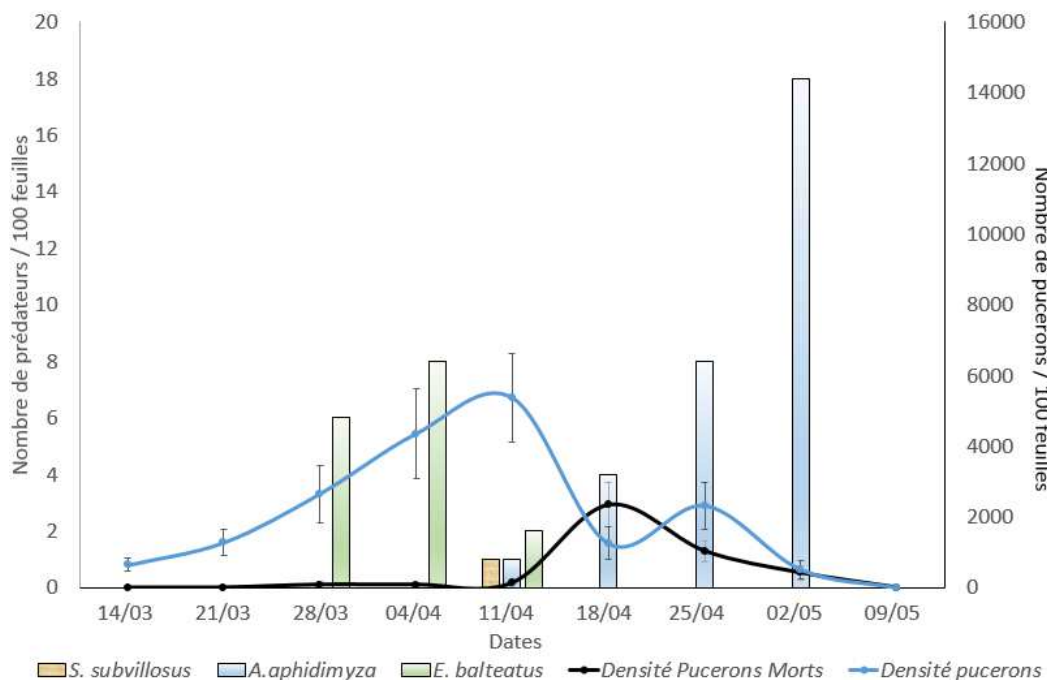


Fig. 110 : Composition des prédateurs par espèce identifiée site B (2017)

L'espèce *A. aphidimyza* a été dominante en 2017 avec un maximum de 18 larves / 100 feuilles en date du 2 mai (Fig.110). En 2016, sa présence était moitié moindre (9 individus / 100 feuilles) mais en mélange avec quelques larves du syrphé (Fig.109).

2.2.2.2.4. Mortalité des pucerons et leurs ennemis naturels

Pour les deux années, la mortalité naturelle des pucerons a été négligeable (moins d'un puceron par feuille) mais elle a fortement augmenté après le traitement insecticide (Fig.109-110).

En 2016, 3 jours après le traitement effectué le 1er mai avec l'Acétamipride nous avons compté une 40ème de pucerons morts / feuille (3 pucerons / cm²) (Fig.109). Durant cette même période, nous avons constaté une mortalité des ennemis naturels notamment, les larves de *A. aphidimyza*. En 2017, le traitement réalisé le 13 avril a provoqué la mortalité de 23,4 pucerons / feuille (Fig.110). Nous avons aussi enregistré une mortalité non négligeable des ennemis naturels en particulier *A. aphidimyza* et *E. balteatus* (Fig.111-112-113-114-115).



Fig.111 : Mortalité de pucerons causée par Acétamipride



Fig.112 : Mortalité de pucerons et de *A. aphidimyza* causée par Acétamipride



Fig.113 : Mortalité de pucerons et de larve de *S. subvillosus* causée par Acétamipride



Fig.114 : Mortalité de pucerons et de larve de *E. balteatus* causée par Acétamipride



Fig.115 : Pucerons parasités morts après traitement avec Acétamipride

Le traitement avec Acetamipride a été réalisé tardivement pendant les deux années 2016 et 2017. De ce fait, son efficacité a été réduite surtout que la croissance démographique des pucerons a repris 10 jours après l'application du produit. De plus, le traitement s'est déroulé au moment où l'activité prédatrice de *A. aphidimyza* était la plus élevée. La critique qui peut être adressée à tous les services chargés de la protection des végétaux et aux agriculteurs eux-mêmes, concerne le choix de la date du traitement pour réduire l'effet des pucerons sur la culture. En principe les traitements doivent être effectués dès l'apparition des premières colonies pour empêcher la croissance démographique, mais en même temps il faut éviter de traiter pendant la floraison pour la première poussée de sève. De plus, le fait de traiter avec une même molécule constitue un risque de résistance des pucerons qui a été signalée

par plusieurs auteurs (Wang et al., 2007 ; Herron and Wilson, 2011; Shi *et al.*, 2011). En Espagne, ce produit est généralement utilisé en pépinière (Espadas, 2009).

Les agrumiculteurs ne prennent aucune précaution lors des pulvérisations d'insecticides surtout pendant la période de floraison des agrumes. On constate que les ruches ne sont pas déplacées pendant les traitements. Cette attitude est due au manque de formation sur les dangers des pesticides vis-à-vis des insectes utiles et de l'environnement en général. L'erreur vient du comportement des différents représentants des sociétés de produits phytosanitaires, qui de façon frauduleuse, produisent des documents qui certifient que les produits utilisés ne comportent aucune dangerosité (<https://www.aci-algerie.com/produit/mospilan-20-sp/> consulté le 01/12/2018 ; <https://www.aci-algerie.com/produit/aceplan-20-sp/> consulté le 10/12/2018 ; <http://casapdz.com/produits/produits-phytosanitaires/picador20-sl/> consulté le 10/12/2018).

Notre recherche bibliographique sur le sujet révèle au contraire à travers de nombreux travaux publiés (Iwasa *et al.*, 2004; Laurino *et al.*, 2011) que l'Acétamipride est très dangereux pour les abeilles et probablement pour d'autres insectes utiles. Plus récemment, en France, l'interdiction de plusieurs molécules de la famille des néonicotinoïdes sur la base d'une expertise a confirmé la dangerosité de ces molécules (Le Monde du 01/09/2018). Cette molécule (Acétamipride) est si préjudiciable aux abeilles qu'une interdiction de son utilisation est en voie d'approbation décidée par des autorités de plusieurs pays européens (<https://agriculture.gouv.fr> consulté le 24 juin 2019).

Conclusion partielle

Dans cette étude, nous avons contribué à une meilleure connaissance de la faune aphidienne et de celle de ses ennemis naturels parasitoïdes et prédateurs dans une zone de production d'agrumes représentative de la région de Mostaganem (Algérie). Parmi les espèces de pucerons récoltées, *A. spiraecola* a été la plus dominante dans les deux vergers et pendant les deux années. Nous considérons que l'accroissement des populations de ce puceron sur agrumes est attribuable à plusieurs facteurs (parfois combinés). Le climat constitue un facteur favorable et régulateur ; l'échec du parasitisme sur cette espèce dominante est constaté au cours de cette étude, confirmant les résultats d'autres travaux dans le Bassin méditerranéen. Les causes de cet échec peuvent être liées à un taux d'hyperparasitisme élevé avec une arrivée précoce. Il peut être également lié à la possible présence de bactéries endosymbiotiques chez le puceron *A. spiraecola* qui contribuent à sa protection contre les parasitoïdes. C'est pourquoi, nous avons procédé à une analyse dans ce sens pour identifier les espèces de bactéries qui seraient abritées par notre souche de puceron.

Conclusion générale

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PROPOSITIONS

L'objectif de cette thèse était de poser le problème de la protection phytosanitaire contre les espèces de pucerons qui se développent sur agrumes afin de mieux comprendre le fonctionnement des composantes du milieu associées aux pucerons. Nous avons choisi la wilaya de Mostaganem comme région de référence en raison de sa réputation comme zone agrumicole de l'ouest et des avantages de proximité qu'elle offre pour le suivi de l'expérimentation. Cette étude a consisté à préciser, d'une part, le statut des principales espèces de pucerons par le suivi de la dynamique de leurs populations et d'autre part à faire l'inventaire de leurs principaux ennemis naturels dans deux situations, l'une avec lutte chimique systématique et l'autre en absence de traitement.

L'étude de la dynamique des populations aphidiennes soumises à l'action spontanée de leurs ennemis naturels a été réalisée selon une méthodologie décrite en page 62. Elle a été menée pendant deux années consécutives dans deux sites A et B.

Globalement, les résultats de l'expérimentation ont permis d'identifier les espèces des trois niveaux trophiques (pucerons / ennemis naturels / hyperparasitoïdes). Les principales espèces de pucerons identifiées étaient : *A. spiraecola*, *A. gossypii* et *T. aurantii*, avec la dominance marquée de la première quel que soit le site, la variété ou l'année. Les températures ont déterminé le début des infestations et la fluctuation des populations. Dans le site A, en 2016, les premières colonies de pucerons ont été observées avec un mois de retard par rapport à 2017 et le maximum des effectifs a été atteint le 5 mai avec une moyenne de 7 pucerons / cm² qui est supérieure à celle de 2017. Dans le site B, en 2016, le niveau des populations a été supérieur (10 pucerons / cm²) par rapport à 2017 probablement en lien avec les températures qui étaient très favorables. Dans le site B, le traitement insecticide avec Acétamirpide réalisé tardivement n'a eu un

effet létal que très ponctuel sur les pucerons puisque la courbe de la croissance a repris 10 jours après le traitement alors que la rémanence du produit est de 14 jours. La mortalité attribuée à l'effet du produit se situe à 66%, mais les effectifs ont brutalement chuté suite à une hausse de températures (>30°C) et à l'état physiologie des feuilles défavorable au maintien du puceron.

La faune utile spontanée était composée de 5 espèces de prédateurs appartenant à 3 ordres (Coléoptères, Diptères et Névroptères), parmi lesquelles *A. aphidimyza* est la plus dominante, et de deux espèces de parasitoïdes primaires qui sont *L. testaceipes* et *B. angelicae* (Hymenoptera : Braconidae : Aphidiinae). Concernant le troisième niveau trophique, 7 espèces de parasitoïdes secondaires associées à ces dernières ont été identifiées dans le site A et B, parmi lesquelles 3 ont été signalées pour la première fois, il s'agit de *P. heterocera*, *A. pusilla* et *A. pilipennis*. Leur action a sans doute réduit l'efficacité des auxiliaires en les empêchant de se multiplier. Même en absence de traitements, le niveau d'efficacité parasitaire est resté très faible.

Les causes possibles de la dominance des populations de *A. spiraecola* pendant toute la poussée de sève peuvent être attribuées soit à l'échec parasitaire partiel des parasitoïdes primaires sur cette espèce (taux de parasitisme inférieur à 3%), soit au manque de synchronisation entre les pucerons et leurs antagonistes, ou alors aux interactions entre prédateurs et parasitoïdes (prédation intra-guilde). Les hyperparasitoïdes contribuent aussi à amplifier l'échec parasitaire.

La lutte chimique contre les pucerons des agrumes qui devient nécessaire face aux risques élevés de la propagation du virus de la *Tristeza* en Algérie n'est pas conduite de façon raisonnée par les agrumiculteurs à travers différents vergers visités. En général, les traitements sont déclenchés tardivement et sans tenir compte de la faune utile en activité. Ces comportements sont liés à leur niveau de connaissance très limité et à la pression exercée par les firmes de produits phytosanitaires qui diffusent une publicité mensongère concernant l'innocuité de leur produit vis-à-vis de la faune utile (pollinisateurs et auxiliaires).

La meilleure conduite serait de surveiller l'installation des premières colonies sur les poussées de sève en relation avec les stations de météo de la région pour connaître les risques et cibler les premières colonies. L'intensité des traitements dépendra de l'importance de la faune utile active. Malheureusement, cette démarche demande des connaissances spécifiques que les agriculteurs ne possèdent pas.

Pour améliorer la biodiversité de la faune utile associée aux pucerons dans le verger, il est conseillé de maintenir la végétation abondante aux abords des vergers qui servirait de refuge pour différents auxiliaires en dehors de la colonisation des pucerons. Cette pratique est devenue courante dans de nombreux pays du Bassin méditerranéen mais son application nécessite un aménagement global de la protection phytosanitaire des vergers.

Face à la complexité du problème posé par l'espèce *A. spiraecola* partout dans le monde, de nouvelles pistes de réflexion dans le domaine de la recherche scientifique sont évoquées pour déterminer le rôle joué par les bactéries endosymbiotiques.

Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Addante R, Djelouah K, D'Onghia A (2009) Citrus aphids in Italy: historical review. *Options Méditerranéennes–Citrus Tristeza Virus and Toxoptera citricidus: a serious threat to the Mediterranean citrus industry* 65:63-68
- Agarwala B (2007) Phenotypic plasticity in aphids (Homoptera: Insecta): Components of variation and causative factors. *Current Science* 93: 308-313
- Agarwala B, Das J (2012) Weed host specificity of the aphid, *Aphis spiraecola*: developmental and reproductive performance of aphids in relation to plant growth and leaf chemicals of the Siam weed, *Chromolaena odorata*. *Journal of Insect Science* 12:24 doi:10.1673/031.012.2401
- Aguiar A, Fernandes A, Ilharco FA (1994) On the sudden appearance and spread of the black citrus aphid *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy),(Homoptera: Aphidoidea) on the island of Madeira. *Bocagiana* 1-7.
- Akman Gunduz E, Douglas AE (2009) Symbiotic bacteria enable insect to use a nutritionally inadequate diet. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 276:987-991 doi:10.1098/rspb.2008.1476
- Al-Sadi A, Queiroz R, Donkersley P, Nasehi A, Elliot S (2017) *Plant protection: Lime diseases and insect pests*. Chapter 10 The Lime: Botany, Production and Uses, *CABI, Wallingford*:149-166
- Ali Arous S, Guenaoui Y, Djelouah K (2017) Current status of *Citrus Tristeza Virus* (CTV) and its potential aphid's vectors in Chlef valley (Algeria) In: 2017 A (ed) *Eighth International Scientific Agricultural Symposium" Agrosym 2017"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 05-08, 2017., pp 1064-1070

- Alvis L, Garcia Marí F (2006) Identificación y abundancia de artrópodos depredadores en los cultivos de cítricos Valencianos. *Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos*:132-136
- Alyokhin A, Drummond FA, Sewell G, Storch RH (2011) Differential effects of weather and natural enemies on coexisting aphid populations. *Environmental Entomology* 40:570-580 doi:10.1603/EN10176
- Andrews FG (1978) Taxonomy and host specificity of Nearctic Alloxystinae with a catalog of the world species (Hymenoptera: Cynipidae)[New taxa]. *Occasional Papers Entomology (USA)*. 131 p
- Argaman Q (1988) Additions to the cynipoid fauna of Israel (Hymenoptera, Cynipoidea). *Israel Journal of entomology* 22:109-117
- Aslan M, Uygun N, Starý P (2004) A survey of aphid parasitoids in Kahramanmaras, Turkey (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae; and Hymenoptera: Aphelinidae). *Phytoparasitica*. 32:255-263 doi:10.1007/BF02979820
- Asplen MK et al. (2014) Specialisation of bacterial endosymbionts that protect aphids from parasitoids. *Ecological Entomology* 39:736-739 doi:10.1111/een.12153
- Bañol C (2013) *Contribución al conocimiento de la entomocenosis en un cultivo ecológico de cítricos: "Hymenoptera Parasitica de Aphididae (Hemiptera)"*. Doctorat thesis. Universitat Autònoma de Barcelona (Espanne). Juillet 2013.162 p.
- Bañol C, Pérez N, Piñol J, Barrientos JA (2017) Nestedness between aphids and parasitoids populations in plants associated with an organic citrus grove. In: MOL2NET 2016, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 2nd edition, 2017. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 1-5 doi: 10.3390/MOL2NET-02-M???
- Bañol C, Piñol J, Barrientos J, Perez N, Pujade Villar J (2012) Abundancia estacional y efecto de los parasitoides sobre los pulgones de un cultivo ecológico de cítricos. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas* 38, 335-348

- Bar-Joseph M, Marcus R, Lee RF (1989) The Continuous Challenge of *Citrus Tristeza Virus* Control. *Annual Review of Phytopathology* 27:291-316
doi:10.1146/annurev.py.27.090189.001451
- Barahoei H, Rakhshani E, Madjdzadeh S, Alipour A, Taheri S, Nader E, Bogdanović A, Petrović-Obradović O, Stary P, Kavallieratos N, Tomanović Z (2014) Aphid parasitoid species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of central submountains of Iran. *North-Western Journal of Zoology* 9:70-93
- Barbagallo S, Cocuzza G, Cravedi P, Komazaki S (2017) IPM case studies: tropical and subtropical fruit trees. In: Van Emden, F H (eds) *Aphids as crop pests*. CABI, Wallingford, pp 643-654. doi:10.1079/9780851998190.0663
- Barbagallo S, Cravedi P, Pasqualini E, Patti I, Stroyan HL (1997) *Aphids of the principal fruit-bearing crops*. Bayer.123p
- Beckage NE (1985) Endocrine Interactions Between Endoparasitic Insects and Their Hosts. *Annual Review of Entomology* 30:371-413
doi:10.1146/annurev.en.30.010185.002103
- Ben Halima-Kamel M, Ben Hamouda M (2005) A propos des pucerons des arbres fruitiers de Tunisie. *Notes fauniques de Gembloux* 58:11-16
- Ben Halima Kamel M, Lassad M (2015) Ladybird diversity on crops and ecology of *Coccinella algerica* Kovar in Tunisia. *Stack C(ed):227-238*
- Ben Halima-Kamel M, Rabasse JM, Ben Hamouda M (1994) Les pucerons des agrumes et leurs ennemis en Tunisie. *Tropicultura* 12:145-147
- Ben Halima-Kamel M, Rebhi R, Ommezine A (2011) Habitats et proies de *Coccinella algerica* Kovar dans différentes régions côtières de la Tunisie. *Entomologie faunistique-Faunistic Entomology*. 63 : 35-45
- Benagoudjil M (2014) Marché des fruits et légumes en Algérie: La production algérienne des fruits et légumes. *Agroline* 87:12-25
- Benoufella-Kitous K, Doumandji S, Hance T (2014) Inventaire des aphides et leurs ennemis naturels dans un verger d'agrumes. In: AFPP (ed) *Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture* Montpellier-France 2014. AFPP, p 10

- Bensusan KJ, Muñoz Batet J, Perez CE (2006) *Coccinella algerica* Kovár, 1977: a new species to the fauna of mainland Europe, and a key to the *Coccinella* Linnaeus, 1758 of Iberia, the Maghreb and the Canary Islands (Coleoptera, Coccinellidae). *Boletín de la SEA*:323-327
- Bertolaccini I, Núñez-Pérez E, Tizado EJ (2004) Plantas hospedadoras alternativas de áfidos plaga de cultivos de leguminosas, sus parasitoides e hiperparasitoides en la provincia de León (España). *Boletín de la Asociación española de entomología* 28:33-47
- Bilodeau E, Simon J-C, Guay J-F, Turgeon J, Cloutier C (2012) Does variation in host plant association and symbiont infection of pea aphid populations induce genetic and behaviour differentiation of its main parasitoid, *Aphidius ervi*?. *Evolutionary Ecology* 27:165-184 doi:10.1007/s10682-012-9577-z
- Blackman R, Eastop V (1984) *Aphids on the world crops*. Chichester: John Wiley and Sons edn. Chichester: John Wiley and Sons. 474p
- Blackman RL, Eastop VF (2006) *Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs* vol 1-2. John Wiley & Sons. 1450p
- Blackman RL, Eastop VF (2007) Taxonomic issues. In: Emden V, Helmut F (eds) *Aphids as crop pests*. CABI, Wallingford, pp 1-29. doi:10.1079/9780851998190.0001
- Bodlah I, Naeem M, Rakhshani E (2012) Genus *Binodoxys* Mackauer, 1960 (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) from Punjab. *Province of Pakistan Pakistan Journal of Zoology* 44:2 pp 551-557.
- BOLDSsystems (2010) *Lysiphlebus* {genus} http://v3.boldsystems.org/index.php/Taxbrowser_Taxonpage?taxid=7628. Accessed 6 juin 2019
- Boenisch A, Petersen G, Wyss URS (1997) Influence of the hyperparasitoid *Dendrocerus carpenteri* on the reproduction of the grain aphid *Sitobion avenae*. *Ecological Entomology* 22:1-6 doi:10.1046/j.1365-2311.1997.00038.x
- Boivin G, Hance T, Brodeur J (2012) Aphid parasitoids in biological control. *Canadian Journal of Plant Science* 92:1-12 doi:10.4141/cjps2011-045

- Borges P, Abreu, C., Aguiar, A. F., Carvalho, P., Jardim, R., Melo, I., Oliveira, P., Sérgio, C., Serrano, A. & Vieira, P. (2008) A list of the terrestrial fungi, flora and fauna of Madeira and Selvagens archipelagos Direcção Regional do Ambiente da Madeira and Universidade dos Açores. *Funchal and Angra do Heroísmo* 440p
- Boukhris-Bouhachem S (2011) Aphid enemies reported from Tunisian citrus orchards. *Tunisian Journal of Plant Protection* 6:21-28
- Braham M, Amor N (2018) Effect of pruning severity on the vegetative growth, density and population dynamics of the Spirea aphid, *Aphis spiraecola* in Citrus orchard. *Journal of entomology and zoology studies* 6:311-319
- Branquart E, Hemptinne J-L (2000) Development of ovaries, allometry of reproductive traits and fecundity of *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *European Journal of Entomology* 97:165-170
- Brodeur J, Rosenheim JA (2000) Intraguild interactions in aphid parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 97:93-108 doi:10.1046/j.1570-7458.2000.00720.x
- Brodeur J, Hajek A, Heimpel GE, Sloggett J, Mackauer M, Pell JK, Völkl W (2017) *Predators, Parasitoids and Pathogens 1*. In: Van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as crop pests* (2nd edition), . CABI, Wallingford, UK, pp 225-261
- Bru P, Garcia-Marí F (2008) Seasonal and spatial population trend of predatory insects in eastern-Spain citrus orchards. *IOBC/wprs Bulletin* 38:261-266
- CABI (2017) *Aphis spiraecola* (2017) <https://www.cabi.org/isc/datasheet/6221>. Accessed 21 mai 2017
- CABI (2018) *Toxoptera aurantii* (2018) <https://www.cabi.org/isc/datasheet/54271#1140FDD8-8580-4540-9473-496EAA3B5118>.
- Cambra M et al. (2000) Incidence and epidemiology of *Citrus Tristeza Virus* in the Valencian Community of Spain. *Virus Research* 71:85-95 doi:10.1016/s0168-1702(00)00190-8

- Cameron P (1890) *A monograph of the British phytophagous Hymenoptera*. The Ray Society, London 3:274
- Campolo O, Chiera E, Malacrinò A, Laudani F, Fontana A, Albanese GR, Palmeri V (2014) Acquisition and transmission of selected CTV isolates by *Aphis gossypii*. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 17:493-498 doi:10.1016/j.aspen.2014.04.008
- Carver M (1978) The Black Citrus Aphids, *Toxoptera Citricidus* (Kirkaldy) and *T. Aurantii* (Boyer De Fonscolombe) (Homoptera: Aphididae). *Australian Journal of Entomology* 17:263-270 doi:10.1111/j.1440-6055.1978.tb00156.x
- Carver M, Franzmann B (2001) *Lysiphlebus* Förster (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in Australia Australian. *Journal of Entomology* 40:198-201 doi:10.1046/j.1440-6055.2001.00218.x
- Cayetano L, Vorburger C (2013) Genotype-by-genotype specificity remains robust to average temperature variation in an aphid/endosymbiont/parasitoid system. *Journal of Evolutionary Biology* 26:1603-1610 doi:10.1111/jeb.12154
- Cayetano L, Vorburger C (2015) Symbiont-conferred protection against Hymenopteran parasitoids in aphids: how general is it?. *Ecological Entomology* 40:85-93 doi:10.1111/een.12161
- Ceballos G (1941) *Las tribus de los himenópteros de España*. Madrid. 43 p.
- Chaouche ST, Laamari M (2015) Aphid parasitoid species (hymenoptera: braconidae: Aphidiinae) and their associations in biskra province, Algeria. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 3:179-184
- Chehema S, Laamari M (2014) Etude bioécologique des Hyménoptères parasitoïdes des pucerons associés au milieu naturel et cultivé dans la région de Ghardaïa = Bio-ecology study of hymenoptera parasitoids of aphids associated with natural and cultivated area in the region of Ghardaia. *Revue des Bioressources* 4:62-75 doi:10.12816/0025673

- Choi M-Y, Roitberg BD, Shani A, Raworth DA, Lee G-H (2004) Olfactory response by the aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* to honeydew from green peach aphid, *Myzus persicae*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 111:37-45 doi:10.1111/j.0013-8703.2004.00151.x
- Ciancio A, Mukerji K (2010) *Integrated management of arthropod pests and insect borne diseases* vol 5. Springer Science & Business Media. 374p
- Cocuzza G, Barbagallo S (2011) *Toxoptera citricidus* (kirkaldy), pericoloso afide degli agrumi di temuta introduzione in Italia. *Approfondimenti*. 36-40
- Coeur d'Acier A, Pérez-Hidalgo N, Petrović-Obradović O (2010) Aphids (Hemiptera, Aphididae) Chapter 9.2. *BioRisk* 4:435-474 doi:10.3897/biorisk.4.57
- Cole FR (1925) The Natural Enemies of the Citrus Aphid, *Aphis Spiraecola* (Patch). *Journal of Economic Entomology* 18:219-223 doi:10.1093/jee/18.1.219
- Collyer E (1953) Biology of some Predatory Insects and Mites Associated with the Fruit Tree Red Spider Mite *Metatetranychus ulmi* (KOCH); in South-Eastern England III. Further Predators of the Mite. *Journal of Horticultural Science* 28:98-113 doi:10.1080/00221589.1953.11513773
- Costa A, Starý P (1988) *Lysiphlebus testaceipes*, an introduced aphid parasitoid in portugal [Hym.: Aphidiidae]. *Entomophaga* 33:403-412 doi:10.1007/bf02373176
- Dalla Torre Kv, Kieffer J (1910) Das Tierreich Hymenoptera Cynipidae. 24p
- Davino S, Cocuzza G, Sorrentino G, Benfatto D, Caruso A, Davino M (2014) Diffusione del virus della “Tristeza” degli agrumi (CTV) in Sicilia. In: *Giornate Fitopatologiche* 2004, 367-372.
- De Gaulle J (1908) *Catalogue systématique et biologique des Hyménoptères de France*. Librairie Paul Klincksieck,
- Desneux N et al. (2017) Intraspecific variation in facultative symbiont infection among native and exotic pest populations: Potential implications for biological control. *Biological Control* 116 : 27-35 doi:10.1016/j.biocontrol.2017.06.007

- Dettmer H (1925) Neue Cynipiden aus den Miederlanden. *Natuurhistorisch Maandblad Maastrich* 14:112-125
- Digilio MC, Pennacchio F, Tremblay E (1998) Host regulation effects of ovary fluid and venom of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Insect Physiology* 44:779-784 doi:https://doi.org/10.1016/S0022-1910(98)00010-9
- Dixon AFG (2005) *Insect herbivore-host dynamics: tree-dwelling aphids*. Cambridge University Press. 208p
- Dixon AFG (2012) *Aphid ecology an optimization approach*. Springer Science & Business Media. 309p
- Dolphin K, Quicke DLJ (2001) Estimating the global species richness of an incompletely described taxon: an example using parasitoid wasps (Hymenoptera: Braconidae). *Biological Journal of the Linnean Society* 73:279-286 doi:10.1111/j.1095-8312.2001.tb01363.x
- Dorchin N (2008) Gall Midges (Diptera: Cecidomyiidae). In: Capinera JL (ed) *Encyclopedia of Entomology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 1576-1580. doi:10.1007/978-1-4020-6359-6_1025
- D.S.A. (2018) Statistiques sur l'agrumiculture de la wilaya de Mostaganem. Direction des services agricoles de Mostaganem.
- Duarte A, Fernandes MJ, Bernardes JP, Miguel MG (2016) Citrus as a component of the Mediterranean Diet. *Journal of Spatial and Organizational Dynamics* 4:289-304
- Eastop VF, Blackman RL (1988) The identity of *Aphis citricola* van der Goot. *Systematic Entomology* 13:157-160 doi:10.1111/j.1365-3113.1988.tb00238.x
- Economos C, Clay W (1999) Nutritional and health benefits of citrus fruits. *Journal of Food, Nutrition and Agriculture*. 24:11-18
- El Titi A (1974) The release of oviposition in the aphidophagous gall-midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera:Cecidomyiidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 17:9-21 doi:10.1007/BF00342558

- Elegbede JA, Maltzman TH, Elson CE, Gould MN (1993) Effects of anticarcinogenic monoterpenes on phase II hepatic metabolizing enzymes. *Carcinogenesis*. 14:1221-1223 doi:10.1093/carcin/14.6.1221
- El Haddad A, El Amrani A, Fereres A, Moreno A (2016) Spatial and temporal spread of *Citrus Tristeza Virus* and its aphid vectors in the North western area of Morocco. *Insect Science* 23:903-912 doi:10.1111/1744-7917.12228
- EPPO 2006 *Toxoptera citricidus*. *Bulletin OEPP/EPPO* 36:451-456 doi:10.1111/j.1365-2338.2006.01040.x
- Erickson DM, Wood EA, Oliver KM, Billick I, Abbot P (2012) The Effect of Ants on the Population Dynamics of a Protective Symbiont of Aphids, *Hamiltonella defensa*. *Annals of the Entomological Society of America* 105:447-453 doi:10.1603/an11176
- Espadas AL (2009) Plagas y enfermedades de los cítricos en la Región de Murcia, Consejería de Agricultura y Agua edn. *Comunidad Autónoma de la Región de Murcia Consejería de Agricultura y Agua*. 112p
- Evans GA, Polaszek A, Bennett FD (1995) The taxonomy of the *Encarsia flavoscutellums* species-group (Hymenoptera: Aphelinidae) parasitoids of Hormaphididae (Homoptera: Aphidoidea). *Oriental Insects* 29:33-45 doi:10.1080/00305316.1995.10433740
- Evans GA, Stange LA (1997) *Parasitoids associated with the brown citrus aphid, Toxoptera citricida, in Florida (Insecta: Hymenoptera)*. Fla. Department Agric. & Consumer Services, Division of Plant Industry, 1-5.
- Falabella P, Tremblay E, Pennacchio F (2000) Host regulation by the aphid parasitoid *Aphidius ervi*: the role of teratocytes. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 97:1-9 doi:doi:10.1046/j.1570-7458.2000.00710.x
- FAO (2004) *Perspectives à moyen terme pour les produits agricoles. Projections vers l'an 2010*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 101p.

- FAO (2016) *Citrus fruit statistics 2015*, Food and Agriculture Organization edn. Food and Agriculture Organization, Database of agricultural statistics
- (2017) Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/>. Accessed 13-12-2017
- FAO (2017) Integrated Pest Management of major pests and diseases in eastern Europe and the Caucasus. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 110p
- FAOstat (2017) Database of Agricultural Statistics. Food and Agriculture Organisation of United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/>. Accessed 13-12-2017
- Farrokhzadeh H, Moravvej G, Modarres-Awal M, Karimi J (2014) Molecular and morphological identification of hymenopteran parasitoids from the pomegranate aphid, *Aphis punicae* in Razavi Khorasan province, Iran. *Turkiye Entomoloji Dergisi-Turkish* 38:291-306
- Favret, C. (2018) Aphid Species File. Version 5.0/5.0. <http://Aphid.SpeciesFile.org> Accessed 2018-08-15.
- Feldhaar H, Gross R (2009) Insects as hosts for mutualistic bacteria. *International Journal of Medical Microbiology* 299:1-8 doi:10.1016/j.ijmm.2008.05.010
- Feraru E, Mustăță G, BARNEA O (1879) the diversity of the parasitoids in some colonies of Aphids (Homoptera: Aphididae) installed on grassy plants. *Lucrarile. "Entomofagii si rolul lor in pastrarea achilibrului natural" Universitatea "Al.I. Cuza" Iasi*. 1879: 67-91pp
- Ferrer-Suay M, Garrido-Salas LM (2015b) Interactive Charipinae Worldwide Database: a valuable tool for entomologists, agronomists and pest controllers. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural* 78:83-91
- Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade-Villar J (2011) Nuevos registros de la subfamilia Charipinae (Hymenoptera, Cynipoidea, Figitidae) para Andorra junto con una clave identificativa. *Boletín de la Asociación española de entomología* 35:345-367

- Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade-Villar J (2012b) Taxonomic revision of *Alloxysta brevis* complex (Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) vol 51. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*. 51: 237-249.
- Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade-Villar J (2013) A Review of *Alloxysta* Species (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) from Africa. *African Entomology* 21:255-266 doi:10.4001/003.021.0222
- Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade-Villar J (2014b) First Records, New Species, and a Key of the Charipinae (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) From the Nearctic Region. *Annals of the Entomological Society of America* 107:50-73 doi:10.1603/an13077
- Ferrer-Suay M, Paretas-Martinez J, Selfa J, Pujade-Villar J (2012a) Taxonomic and synonymic world catalogue of the Charipinae and notes about this subfamily (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae). *Zootaxa* 3376:1-92
- Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade J, Ribes A (2012c) Contribucions al coneixement dels Charipins de Catalunya (Insecta, Hymenoptera). *Orsis: organismes i sistemes* 26:0117-0138
- Ferrer-Suay M, Selfa J, Seco MV, Pujade-Villar J (2014c) New Charipinae (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) from Italy. *Redia* 97:3-13
- Ferrer-Suay M, Selfa J, Villemant C, Pujade-Villar J (2015b) Charipinae Dalla Torre & Kieffer, 1910 (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) from the Mercantour National Park (Alpes-Maritimes, France), with descriptions of three new species. *Zoosystema* 37:115-138 doi:10.5252/z2015n1a5
- Ferrer-Suay M, Selfa J, Rakhshani E, Nader E, Pujade-Villar J (2015a) New host and new records of Charipinae (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) from Iran Turkish. *Journal of Zoology* 39:1121-1131 doi:10.3906/zoo-1402-61
- Ferrer-Suay M, Jankovic, M., Selfa, J., Van Veen, F. J., Tomanovic, Z., Kos, K., Rakhshani, E., Pujade-Villar, J. (2014a) Qualitative analysis of aphid and primary parasitoid trophic relations of genus *Alloxysta* (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae). *Environmental Entomology* 43:1485-1495 doi:10.1603/EN14131

- Field L, Bass C, Davies E, Williamson W, Zhou J (2017) Aphid Genomics and its Contribution to Understanding Aphids as Crop Pests. In: Van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as Crop Pests*. Cabi, pp 37-49
- Fischer MK, Hoffmann KH, Volkl W (2001) Competition for mutualists in an ant-homopteran interaction mediated by hierarchies of ant attendance. *Oikos* 92:531-541 doi:10.1034/j.1600-0706.2001.920314.x
- Footitt RG, Lowery DT, Maw HEL, Smirle MJ, Lushai G (2012) Identification, distribution, and molecular characterization of the apple aphids *Aphis pomi* and *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae: Aphidinae). *The Canadian Entomologist* 141:478-495 doi:10.4039/n09-037
- Franco JC, Garcia-Marí F, Ramos AP, Besri M (2006) Survey on the situation of citrus pest management in Mediterranean countries. *IOBC wprs Bulletin* 29:335-346.
- Fraival A (2006) *Les pucerons-Ière partie*. Insectes. 6p
- Garcia-Marí F (2009) Guía de campo. Plagas de cítricos y sus enemigos naturales. *Phytoma*, Valencia, Spain. 166p
- Gholamzadeh-Chitgar M, Pourmoradi S (2017) An evaluation of the effect of botanical insecticide, palizin in comparison with chemical insecticide, imidacloprid on the black citrus aphid, *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe and its natural enemy, *Aphidius colemani* Viereck. *Journal of Plant Protection Research* 57 doi:10.1515/jppr-2017-0013
- Goggin F, Quisenberry SS, Ni X (2017) 14 Feeding Injury. In: van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as Crop Pests*, vol 2. CABI edn. pp 303-322.
- Gómez-Marco F (2015) *Integrated Pest Management of Aphis spiraecola (Hemiptera: Aphididae) in clementines: enhancing its biological control*. Doctorat thesis, Universitat Politècnica de València. May 2015. 202p
- Gómez-Marco F, Tena A, Jaques JA, García AU (2016) Early arrival of predators controls *Aphis spiraecola* colonies in citrus clementines. *Journal of Pest Science* 89:69-79 doi:10.1007/s10340-015-0668-9

- Gómez-Marco F, Urbaneja A, Jaques JA, Rugman-Jones PF, Stouthamer R, Tena A (2015) Untangling the aphid-parasitoid food web in citrus: Can hyperparasitoids disrupt biological control?. *Biological Control* 81:111-121 doi:10.1016/j.biocontrol.2014.11.015
- Grier CC, Vogt DJ (1990) Effects of Aphid Honeydew on Soil Nitrogen Availability and Net Primary Production in an *Alnus rubra* Plantation in Western Washington. *Oikos* 57:114-118 doi:10.2307/3565744
- Guenauoui Y (1991) Role of temperature on the host suitability of *Aphis gossypii* Glover (Hom.: Aphididae) for the parasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hym.: Aphididae). *Redia* 74:153-165
- Guenauoui Y, Mahiout R (1993) The role of a thelytokous strain of *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hymenoptera: Aphidiidae) in the population control of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in North Algeria. In: Aphidophaga (ed), 5, *I.O.B.C. symposium*, Antibes, September 1993. *Aphidophaga*, pp 6-10
- Guenauoui Y, Mahiout R, Boualem M, Kerachi R (1994) Recherches de moyens biologiques pour lutter contre *Aphis gossypii* Glover (Hom: Aphididae) en cultures protegees. Premiere evaluation de l'action parasitaire d'une souche thelytoque de *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hym: Aphidiidae) d'origine algerienne sur son hote *A. gossypii*. *IOBC WPRS BULLETIN* 17:165-165
- Güz N, Kılınçer N (2005) Aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on weeds from Ankara, Turkey. *Phytoparasitica* 33:359 doi:10.1007/BF02981302
- Hamilton PA (1973) The biology of *Aphelinus flavus* [Hym. Aphelinidae], a parasite of the Sycamore aphid *Drepanosiphum platanoides* [Hemipt. Aphididae]. *Entomophaga* 18:449-462 doi:10.1007/bf02371022
- Hance T, Kohandani-Tafresh F, Munaut F (2017) Biological Control11. In: Van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as Crop Pests* (2nd edition). Cabi, pp 448-493

- Harada H, Ishikawa H (1993) Gut microbe of aphid closely related to its intracellular symbiont. *Biosystems* 31:185-191 doi:10.1016/0303-2647(93)90048-h
- Hardie J (2017) Life Cycles and Polyphenism1. In: Van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as Crop Pests* (2nd edition). Cabi, pp 81-97
- Hare JD, Weseloh RM (2009) Chapter 123 - *Host Seeking, by Parasitoids*. In: Resh VH, Cardé RT (eds) *Encyclopedia of Insects* (Second Edition). Academic Press, San Diego, pp 463-466. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00132-6
- Harmel N, Haubruge E, Francis F (2010) Etude des salives de pucerons : un préalable au développement de nouveaux bio-insecticides. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. 14:369-378
- Harper SJ, Killiny N, Tatineni S, Gowda S, Cowell SJ, Shilts T, Dawson WO (2016) Sequence variation in two genes determines the efficacy of transmission of *Citrus Tristeza Virus* by the brown citrus aphid. *Archives of Virology*. 161:3555-3559 doi:10.1007/s00705-016-3070-x
- Harris KM (2009) Aphidophagous Cecidomyiidae (Diptera): taxonomy, biology and assessments of field populations. *Bulletin of Entomological Research* 63 doi:10.1017/s0007485300039080
- Hartig T (1840) Ueber die Familie der Gallwespen. F. Fleischer. *Zeitschrift für Entomologie* 2: 176-210
- Hartig T (1841) Erster Nachtrag zur Naturgeschichte der Gallwespen. *Zeitschrift für Entomologie* 3:322-358
- Hermoso de mendoza A, Belliure B, Carbonell EA, Real V (2001) Economic Thresholds for *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on *Citrus clementina*. *Journal of Economic Entomology* 94:439-444 doi:10.1603/0022-0493-94.2.439
- Hermoso de Mendoza A, Esteve R, Llorens J, Michelena J (2012) Evolución global y por colonias de los pulgones (Hemiptera, Aphididae) y sus enemigos naturales en clementinos y limoneros valencianos. *Boletín de sanidad vegetal Plagas* 38:61-71

- Hermoso de Mendoza A, Arouni R, Belliure B, Carbonell EA, Pérez-Panadés J (2006) Intervention Thresholds for *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) on *Citrus clementina*. *Journal of Economic Entomology* 99:1273-1279 doi:10.1603/0022-0493-99.4.1273
- Hermoso de Mendoza A, Alvarez A, Michelena JM, González P, Cambra M (2008) Dispersión, biología y enemigos naturales de *Toxoptera citricida* (Kirkaldy)(Hemiptera, Aphididae) en España. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*. 34: 77-87
- Herron GA, Wilson LJ (2011) Neonicotinoid resistance in *Aphis gossypii* Glover (Aphididae: Hemiptera) from Australian cotton. *Australian Journal of Entomology* 50:93-98 doi:doi:10.1111/j.1440-6055.2010.00788.x
- Hight SC, Eikenbary RD, Miller RJ, Starks KJ (1972) The Greenbug and *Lysiphlebus testaceipes*. *Environmental Entomology* 1:205-209 doi:10.1093/ee/1.2.205
- Hirose Y (2006) Biological control of aphids and coccids: a comparative analysis. *Population Ecology* 48:307-315 doi:10.1007/s10144-006-0005-5
- Hodek I, Honêk A (2013) *Ecology of coccinellidae* vol 54. Springer Science & Business Media. 599p.
- Höller C, Borgemeister C, Haardt H, Powell W (1993) The Relationship between Primary Parasitoids and Hyperparasitoids of Cereal Aphids: An Analysis of Field Data. *Journal of Animal Ecology* 62:12-21 doi:10.2307/5478
- Höller C, Micha SG, Schulz S, Francke W, Pickett JA (1994) Enemy-induced dispersal in a parasitic wasp. *Experientia* 50:182-185 doi:10.1007/bf01984961
- Holman J (2009) *Host plant catalog of aphids*. Springer. 1216p
- Hopkinson JE, Zalucki MP, Murray DAH (2013) Host selection and parasitism behavior of *Lysiphlebus testaceipes*: Role of plant, aphid species and instar. *Biological Control* 64:283-290 doi:10.1016/j.biocontrol.2012.11.016

- Hughes GE, Owen E, Sterk G, Bale JS (2010) Thermal activity thresholds of the parasitic wasp *Lysiphlebus testaceipes* and its aphid prey: implications for the efficacy of biological control. *Physiological Entomology* 35:373-378 doi:10.1111/j.1365-3032.2010.00754.x
- Hullé M (1998) *les pucerons des arbres fruitiers: cycles biologiques et activités de* vol. Editions Acta Inra. 80p
- Ilharco F, Sousa-Silva C, Alvarez-Alvarez A (2005) First report on *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy) in Spain and Continental Portugal (Homoptera, Aphidoidea). *Agronomia Lusitana* 51:19-21
- ITAFV (2004) La culture des agrumes. Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne. 24p
- ITAFV (2017) Pour une reprise durable et diversifiée de l'agrumiculture, préservons et valorisons la patrimoine génétique. 6p
- Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT, Roe RM (2004) Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Protection* 23:371-378
- Jacas JA, Urbaneja A (2010) Biological Control in Citrus in Spain: From Classical to Conservation Biological Control. In: Ciancio A, Mukerji KG (eds) *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 61-72. doi:10.1007/978-90-481-8606-8_3
- Jacas JA, Karamaouna F, Vercher R, Zappalà L (2010) Citrus Pest Management in the Northern Mediterranean Basin (Spain, Italy and Greece). In: Ciancio A, Mukerji KG (eds) *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 3-27. doi:10.1007/978-90-481-8606-8_1
- Jacobson R (2011) Hyperparasitoids: a threat to IPM of aphids on sweet pepper. *IOBC/WPRS Bulltin* 68:75-78
- Jayaprakasha GK, Patil BS (2007) In vitro evaluation of the antioxidant activities in fruit extracts from citron and blood orange. *Food Chemistry*. 101:410-418 doi:10.1016/j.foodchem.2005.12.038

- Jourdheuil P, Grison P, Fraval A (1991) La lutte biologique: un aperçu historique. *Courrier de la Cellule Environnement INRA* 15:37-60
- Kaneko S (2002) Aphid-attending ants increase the number of emerging adults of the aphid's primary parasitoid and hyperparasitoids by repelling intraguild predators (behavior and ecology). *Entomological Science* 5:131-146
- Kaneko S (2006) Predator and parasitoid attacking ant-attended aphids: effects of predator presence and attending ant species on emerging parasitoid numbers. *Ecological Research* 22:451-458 doi:10.1007/s11284-006-0025-9
- Karamaouna F, Mylonas P, Papachristos D, Kontodimas D, Michaelakis A, Kapaxidi E (2010) Main Arthropod Pests of Citrus Culture and Pest Management in Greece. In: Ciancio A, Mukerji KG (eds) *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 29-59. doi:10.1007/978-90-481-8606-8_2
- Kavallieratos N, Lykouressis D (1999) Parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) emerged from aphids (Homoptera: Aphidoidea) on citrus and their frequency in Greece. *Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria "Filippo Silvestri"* 55:93-104
- Kavallieratos NG, Stathas GJ, Tomanovic Z (2004a) Seasonal abundance of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) and predators (Coleoptera: Coccinellidae) of aphids infesting citrus in Greece. *Biologia-Bratislava* 59:191-196
- Kavallieratos NG, Athanassiou CG, Stathas GJ, Tomanović Ž (2002) Aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on citrus: Seasonal abundance, association with the species of host plant, and sampling indices. *Phytoparasitica* 30:365-377 doi:10.1007/bf02979684
- Kavallieratos NG, Lykouressis DP, Sarlis GP, Stathas GJ, Segovia AS, Athanassiou CG (2001) The Aphidiinae (Hymenoptera: Ichneumonoidea: Braconidae) of Greece. *Phytoparasitica* 29:306-340 doi:10.1007/bf02981847

- Kavallieratos NG Tomanović, Ž., Starý, P., Athanassiou, C. G., Sarlis, G. P., Petrović, O. Niketić, M, Veroniki, M.A (2004b) A survey of aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of Southeastern Europe and their aphid-plant associations. *Applied Entomology and Zoology* 39:527-563 doi:10.1303/aez.2004.527
- Kavallieratos NG, Tomanović Ž., Starý P., Athanassiou C. G., Fasseas C., Petrović O., Stanisavljević L., Veroniki MA (2005) *Praon* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of Southeastern Europe: key, host range and phylogenetic relationships *Zoologischer Anzeiger. Journal of Comparative Zoology* 243:181-209 doi:10.1016/j.jcz.2004.11.001
- Kieffer J (1904) Description de quelques Cynipides exotiques dont l'un forme un genre nouveau. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Metz* 23:59-66
- Kieffer J (1909) Beschreibung neuer in Blattläusen schmarotzender Cynipiden. *Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forsten und Landwirtschaft Stuttgart* 7:479-482
- Killiny N, Harper SJ, Alfaress S, El Mohtar C, Dawson WO (2016) Minor Coat and Heat Shock Proteins Are Involved in the Binding of *Citrus Tristeza Virus* to the Foregut of Its Aphid Vector, *Toxoptera citricida*. *Applied and Environmental Microbiology* 82:6294-6302 doi:10.1128/AEM.01914-16
- Kindlmann P, Dixon AF (2010) *Modelling population dynamics of aphids and their natural enemies*. In: Kindlmann, P., Houdkova, K., Dixon, A. F. G. (eds) *Aphid biodiversity under environmental change*. Springer, pp 1-20
- Komazaki S (1983) Overwintering of the Spirea Aphid, *Aphis citricola* VAN DER GOOT (Homoptera : Aphididae) on *Citrus* and *Spirea* Plants. *Applied Entomology and Zoology* 18:301-307 doi:10.1303/aez.18.301
- Komazaki S (1998) Difference of egg diapause in two host races of the spirea aphid, *Aphis spiraecola*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 89:201-205 doi:10.1046/j.1570-7458.1998.00400.x
- Komazaki S, Sakagami Y, Korenaga R (1979) Overwintering of aphids on *Citrus* trees Japanese. *Journal of Applied Entomology and Zoology* 23:246-250 doi:10.1303/jjaez.23.246

- Kovar I (1977) A new species of the genus *Coccinella* (Coleoptera) from North Africa. *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae* 39:231-235
- Laamari M, d'Acier AC (2010) The grapevine aphid *Aphis illinoisensis* now found in Algeria. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 40:167-168
- Laamari M, Chaouche S, Benferhat S, Abbès B, Merouani H, Ghodbane S, Khenissa N, Sary P (2011) Interactions tritrophiques: plante-puceron-hyménoptère parasitoïde observées en milieux naturels et cultivés de l'Est algérien. *Entomologie faunistique-Faunistic Entomology* 63 : 115-120.
- Labdaoui Z.E, Guenaoui Y, Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade Villar J (2018) First record and new hosts relationships of *Alloxysta brevis* (Thomson, 1862) (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) from Algeria. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*. 82: 63-66.
- Langer A, Stilmant D, Verbois D, Hance T (1997) Activity and distribution of cereal aphid parasitoids in Belgium. *Entomophaga* 42:187-193
- Larbi D, Belkahla H, Djelouah K, D'Onghia AM (2015) Monitoring *Citrus Tristeza Virus* (Ctv) in Algeria and Characterization of Local Isolates. *Acta Horticulturae*:767-771 doi:10.17660/ActaHortic.2015.1065.96
- Laurino D, Porporato M, Patetta A, Manino A (2011) Toxicity of neonicotinoid insecticides to honey bees: laboratory tests. *Bulletin of Insectology* 64:107-113
- Lebbal S, Laamari M (2015) Seasonal dynamics of aphids on lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. f.), orange (*C. sinensis* (L.) Osb.) and clementine (*C. clementina* Hort. ex Tan.) in Skikda (Algeria). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 3:321-324
- Lebbal S, Laamari M (2016) Population dynamics of aphids (Aphididae) on orange (*Citrus sinensis* 'Thomson Navel') and mandarin (*Citrus reticulata* 'Blanco'). *Acta Agriculturae Slovenica* 107:137-145 doi:10.14720/aas.2016.107.1.14
- Leclant F (2000) *Les pucerons des plantes cultivées-clefs de détermination*. ACTA-INRA-Paris. 328p

- Liu Y, Heying E, Tanumihardjo SA (2012) History, Global Distribution, and Nutritional Importance of Citrus Fruits Comprehensive. *Reviews in Food Science and Food Safety*. 11:530-545 doi:10.1111/j.1541-4337.2012.00201.x
- Luo C, Luo K, Hu Z-Q, Tao Y-Y, Zhao H-Y (2016) The infection frequencies and dynamics of three secondary endosymbionts in the laboratory environments on *Sitobion avenae* (Fabricius) as determined by long PCR. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 19:473-476 doi:10.1016/j.aspen.2016.04.006
- M.A.D.R.P. (2018) Statistiques sur la culture des agrumes.
- Mackauer M, Starý P (1967) *World Aphidiidae: Hym. Ichneumonoidea, Index of Entomophagous Insects* vol 2. Le François, Paris. 195p
- Mackauer M, Volkl W (1993) Regulation of aphid populations by aphidiid wasps: does parasitoid foraging behaviour or hyperparasitism limit impact?. *Oecologia* 94:339-350 doi:10.1007/BF00317107
- Magro A, Araujo J, Hemptinne J (1999) Coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae) in citrus groves in Portugal: listing and analysis of geographical distribution. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*. 25:235-345
- Malausea JC, Rabasse JM, Kreiter P (2008) Les insectes entomophages d'intérêt agricole acclimatés en France métropolitaine depuis le début du 20^{ème} siècle. *EPPO Bulletin* 38:136-146 doi:10.1111/j.1365-2338.2008.01199.x
- Mantero G (1906) Materiali per un Catalogo degli Imenotteri Liguri. Parte IV. *Cinipidi Annali del Museo Civico di Storia Naturale di Genova* 42:445-467
- Marroquin C et al. (2004) Estimation of the number of aphids carrying *Citrus Tristeza Virus* that visit adult citrus trees. *Virus Research* 100:101-108 doi:10.1016/j.virusres.2003.12.018
- Mazih A (2008) Current situation of citrus pests and the control methods in use in Morocco. *IOBC/wprs Bull* 38:10-16
- Meagher R (2008) Citrus Pests and their Management. In: Capinera JL (ed) *Encyclopedia of Entomology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 878-903. doi:10.1007/978-1-4020-6359-6_683

- Mertins JW (1985) Hyperparasitoids from Pea Aphid Mummies, *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae), in North America. *Annals of the Entomological Society of America* 78:186-197 doi:10.1093/aesa/78.2.186
- Mescheloff E, Rosen D (1988) Biosystematic studies on the Aphidiidae of Israel (Hymenoptera: Ichneumonoidea) 1. Introduction and key to genera. *Israel Journal of Entomology* 22:61-73
- Mescheloff E, Rosen D (1993) Biosystematic studies on the Aphidiidae of Israel (Hymenoptera: Ichneumonoidea). 5. The genera *Trioxys* and *Binodoxys*. *Israel Journal of Entomology* 27:31-47
- Michalik A, Szklarzewicz T, Wegierek P, Wieczorek K (2013) The ovaries of aphids (Hemiptera, Sternorrhyncha, Aphidoidea): morphology and phylogenetic implications. *Invertebrate Biology* 132:226-240 doi:10.1111/ivb.12026
- Michaud JP (1998) A Review of the Literature on *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae). *The Florida Entomologist* 81:37-61 doi:10.2307/3495995
- Michelena J, González FP (1987) Contribución al conocimiento de la familia Aphidiidae (Hymenoptera) en España: I Aphidius NEES. *Eos* 63:115-131
- Michelena J, Oltra M (1987) Contribución al conocimiento de la familia Aphidiidae (Hymenoptera) en España II. Géneros: *Ephedrus*, *Praon*, *Adyalitus*, *Lysiphlebus*:61-68
- Michelena J, Sanchis A (1993) *Metaphidius* Stary & Sedlag, 1959 en la Península Ibérica (Hymenoptera, Braconidae). *Nouvelle Revue Entomologique* :379-380
- Michelena J, Sanchis A (1997) Evolución del parasitismo y fauna útil sobre pulgones en una parcela de cítricos. *Boletín de sanidad vegetal Plagas* 23:241-255
- Michelena J, Sanchis A, González P (1994) Afidiinos sobre pulgones de frutales en la Comunidad Valenciana. *Boletín de sanidad vegetal Plagas* 20:465-470

- Michelena J, González P, Soler E (2004) Parasitoides afidiinos (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) de pulgones de cultivos agrícolas en la Comunidad Valenciana. *Boletín de sanidad vegetal Plagas* 30:317-326
- Mills NJ, Wajnberg E (2008) Optimal foraging behavior and efficient biological control methods. *Behavioral Ecology of Insect Parasitoids: From Theoretical Approaches to Field Applications*:3-30
- Mitrović M, Petrović A, Kavallieratos NG, Starý P, Petrović-Obradović O, Tomanović Ž, Vorburger C (2013) Geographic structure with no evidence for host-associated lineages in European populations of *Lysiphlebus testaceipes*, an introduced biological control agent. *Biological Control* 66:150-158 doi:10.1016/j.biocontrol.2013.05.007
- Le Monde (2018). Les pesticides néonicotinoïdes désormais interdits pour protéger les abeilles. Article du 1^{er} septembre 2018. Online : https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/09/01/les-pesticides-neonicotinoides-desormais-interdits-pour-protoger-les-abeilles_5348847_3244.html . Accessed: 10-10-2018.
- Moran NA (1992) The Evolution of Aphid Life Cycles. *Annual Review of Entomology* 37:321-348 doi:10.1146/annurev.en.37.010192.001541
- Morse JG, Croft BA (1987) Biological control of *Aphis pomi* [Hom.: Aphididae] of *Aphidoletes aphidimyza* [Dip.: Cecidomyiidae]; a predator-prey model. *Entomophaga* 32:339-356 doi:10.1007/bf02372443
- Mostefaoui H, Allal-Benfekih L, Djazouli ZE, Petit D, Saladin G (2014) Why the aphid *Aphis spiraecola* is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*?. *Comptes Rendus Biologies* 337:123-133 doi:10.1016/j.crv.2013.11.008
- Müller CB, Godfray HCJ (1998) The response of aphid secondary parasitoids to different patch densities of their host. *BioControl*. 43:129-139 doi:10.1023/a:1009948213250
- Müller CB, Godfray HC (1999) Predators and mutualists influence the exclusion of aphid species from natural communities. *Oecologia* 119:120-125 doi:10.1007/s004420050767

- Müller CB, Adriaanse ICT, Belshaw R, Godfray HCJ (1999) The structure of an aphid-parasitoid community. *Journal of Animal Ecology* 68:346-370 doi:10.1046/j.1365-2656.1999.00288.x
- Mutin G (1969) L'Algérie et ses agrumes. *Revue de géographie de Lyon* 44:5-36 doi:10.3406/geoca.1969.2637
- Naessens E, Dubreuil G, Giordanengo P, Baron OL, Minet-Kebdani N, Keller H, Coustau C (2015) A Secreted MIF Cytokine Enables Aphid Feeding and Represses Plant Immune Responses. *Current Biology*. 25:1898-1903 doi:10.1016/j.cub.2015.05.047
- Nazari Y et al. (2012) Diversity and host associations of aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in the farmlands of western Iran. *Acta Entomologica Musei Natioalis Pragae* 52: 559–584
- Niu J-Z, Hull-Sanders H, Zhang Y-X, Lin J-Z, Dou W, Wang J-J (2014) Biological control of arthropod pests in citrus orchards in China. *Biological Control* 68:15-22 doi:10.1016/j.biocontrol.2013.06.005
- Oliver KM, Russell JA, Moran NA, Hunter MS (2003) Facultative bacterial symbionts in aphids confer resistance to parasitic wasps. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100:1803-1807 doi:10.1073/pnas.0335320100
- Oliver KM, Degnan PH, Burke GR, Moran NA (2010) Facultative symbionts in aphids and the horizontal transfer of ecologically important traits. *Annual Review of Entomology* 55:247-266 doi:10.1146/annurev-ento-112408-085305
- Oliver KM, Smith AH, Russell JA, Clay K (2014) Defensive symbiosis in the real world - advancing ecological studies of heritable, protective bacteria in aphids and beyond. *Functional Ecology* 28:341-355 doi:10.1111/1365-2435.12133
- Ollitrault P, Navarro L (2012) Citrus. In: Badenes ML, Byrne DH (eds) *Fruit Breeding*. Springer US, Boston, MA, pp 623-662. doi:10.1007/978-1-4419-0763-9_16

- Onillon JC, Franco E, Brun P (1973) Contribution à l'étude de la dynamique des populations d'Hemiptères inféodés aux Agrumes. Estimation de la surface des feuilles des principales espèces d'agrumes cultivées en Corse. *Fruits* 1:37-38
- Owen DF (1978) Why Do Aphids Synthesize Melezitose?. *Oikos* 31:264-267 doi:10.2307/3543572
- Owen DF (1980) How Plants May Benefit from the Animals That Eat Them. *Oikos* 35:230-235 doi:10.2307/3544430
- Owen DF, Wiegert RG (1981) Mutualism between Grasses and Grazers: An Evolutionary Hypothesis. *Oikos* 36:376-378 doi:10.2307/3544637
- Peccoud J, Simon JC, von Dohlen C, Coeur d'acier A, Plantegenest M, Vanlerberghe-Masutti F, Jusselin E (2010) Evolutionary history of aphid-plant associations and their role in aphid diversification. *Comptes Rendus Biologies* 333:474-487 doi:10.1016/j.crv.2010.03.004
- Pennacchio F (1989) The Italian species of the genus *Aphidius* Nees (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae). *Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria 'Filippo Silvestri'* 46:75-106
- Pennacchio F, Höller C (1990) Identity and taxonomic status of *Aphidius uzbekistanicus* Luzhetzki (Hymenoptera, Braconidae) a parasitoid of *Sitobion Mordvilko* species (Homoptera, Aphididae). *Bollettino del Laboratorio di Entomologia Agraria 'Filippo Silvestri'*:127-137
- Peña L et al. (2009) *Citrus*. In: Kole C, Timothy C H (eds) *Compendium of Transgenic Crop Plants*. John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/9781405181099.k0501
- Petrovic A et al. (2015) Genetic and morphological variation in sexual and asexual parasitoids of the genus *Lysiphlebus* - an apparent link between wing shape and reproductive mode. *BMC Evolutionary Biology*. 15:5 doi:10.1186/s12862-015-0293-5
- Pettersson J, Tjallingii WF, Hardie J (2017) Host-plant selection and feeding. In: van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as crop pests*. Cabi, pp 173-195

- Pickett JA, Bruce T, Glinwood RT (2017) Chemical ecology. In: van Emden HF, Harrington R (eds) *Aphids as crop pests*. Cabi, pp 148-172
- Pintureau B (2009) La lutte biologique et ses techniques. In: Pintureau B (ed) La lutte biologique. *Application aux arthropodes ravageurs et aux adventices*. Ellipses Edition Marketing S.A., pp 8-14
- Rakhshani E, Stary P, Tomanovic Z (2013) Tritrophic associations and taxonomic notes on *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae), a keystone aphid parasitoid in Iran. *Archives of Biological Sciences* 65:667-680 doi:10.2298/abs1302667r
- Rakhshani E, Stary P, Tomanovic Z, Mifsud D (2015) Aphidiinae (Hymenoptera, Braconidae) aphid parasitoids of Malta: review and key to species. *Bulletin of the Entomological Society of Malta* 7:121-123
- Rakhshani E, Talebi A, Stary P, Tomanović Ž, Manzari S (2007) Aphid-parasitoid (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) associations on willows and poplars in Iran. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 53:281-292
- Rakhshani E, Kazemzadeh, S., Stary P., Barahoei, H., Kavallieratos, N., Četković A, Popovic A, Popovic L, Tomanovic Z (2012) Parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of northeastern Iran: aphidiine-aphid-plant associations, key and description of a new species. *Journal of Insect Science* 12:1-26 doi:10.1673/031.012.14301
- Rao MN, Soneji JR, Sahijram L (2011) *Citrus*. In: Kole C (ed) *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources: Tropical and Subtropical Fruits*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 43-59. doi:10.1007/978-3-642-20447-0_3
- Razaq A, Kashiwazaki T, Mohammad P, Shiraishi M (2000) SEM Observations on the citrus green aphid *Aphis citricola* van der Goot (Homoptera: Aphididae). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3:942-952
- Rebour H (1948) La culture des agrumes en Algérie. Alger, Algérie: documents algériens. *Série économique: agriculture* vol 49. 4p.

- Remaudière G, Remaudière M (1997) *Catalogue des Aphididae du monde (Homoptera Aphidoidea): Catalogue of the world's Aphididae*. Editions Quae. 473p
- Reuther W, Batchelor LD, Webber HJ (1967) *The Citrus Industry*. Vol. I. History, World Distribution, Botany and Varieties. 661p.
- Reynolds DR (1999) *Capnodium citri*: The sooty mold fungi comprising the taxon concept. *Mycopathologia* 148:141-147 doi:10.1023/a:1007170504903
- Reymond P, Calandra T (2015) Plant Immune Responses: Aphids Strike Back. *Current Biology*. 25:604-606 doi:10.1016/j.cub.2015.05.051
- Roberts P, MCGovern R, Lee R, Niblett C (2001) *Tristeza*. Institute of Food and Agricultural Sciences Uni Florida. 174p.
- Rochat J (1997) Modélisation d'un système hôte-parasitoïde en lâcher inoculatif : application au couple *Aphis gossypii* - *Lysiphlebus testaceipes* en serre de concombre. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard – Lyon I-France. Setunue le 9 juillet 1997. 354p.
- Saharaoui L, Hemptinne J-L (2013) Dynamique des communautés des coccinelles (Coleoptera: Coccinellidae) sur agrumes et interactions avec leurs proies dans la region de Rouïba (Mitidja orientale) Algérie. *Annales de la Société entomologique de France (NS)* 45: 245-259 doi:10.1080/00379271.2009.10697604
- San Martin G (2004) *Clé des Chrysopidae de Belgique*. Jeunes & Nature, Wavre. 44p.
- Sanchez JA, La-Spina M, Michelena JM, Lacasa A, Hermoso de Mendoza A (2011) Ecology of the aphid pests of protected pepper crops and their parasitoids. *Biocontrol Science and Technology*. 21:171-188 doi:10.1080/09583157.2010.530641
- Sandrock C, Schirrmeister BE, Vorburger C (2011) Evolution of reproductive mode variation and host associations in a sexual-asexual complex of aphid parasitoids. *BMC Evolutionary Biology* 11:348 doi:10.1186/1471-2148-11-348

- Satar S, Satar G, Karacaoglu M, Uygun N, Kavallieratos NG, Stary P, Athanassiou CG (2014) Parasitoids and hyperparasitoids (Hymenoptera) on aphids (Hemiptera) infesting citrus in east Mediterranean region of Turkey. *Journal of Insect Science* 14:178-183 doi:10.1093/jisesa/ieu040
- Schmid M, Sieber R, Zimmermann Y-S, Vorbürger C (2012) Development, specificity and sublethal effects of symbiont-conferred resistance to parasitoids in aphids. *Functional Ecology* 26:207-215 doi:10.1111/j.1365-2435.2011.01904.x
- Scholz D, Poehling HM (2000) Oviposition site selection of *Episyrphus balteatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94:149-158 doi:10.1046/j.1570-7458.2000.00615.x
- Schooler SS, De Barro P, Ives AR (2011) The potential for hyperparasitism to compromise biological control: Why don't hyperparasitoids drive their primary parasitoid hosts extinct? *Biological Control* 58:167-173 doi:10.1016/j.biocontrol.2011.05.018
- Scora RW (1975) On the History and Origin of Citrus. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 102:369-375 doi:10.2307/2484763
- Sellami EL, Delvare G, Chermiti B (2013) Parasitoids and hyperparasites of citrus aphids in northern east of Tunisia (Cap Bon). *IOBC-WPRS Bulletin* 95:131-139
- Shi X, Jiang L, Wang H, Qiao K, Wang D, Wang K (2011) Toxicities and sublethal effects of seven neonicotinoid insecticides on survival, growth and reproduction of imidacloprid-resistant cotton aphid, *Aphis gossypii*. *Pest Management Science* 67:1528-1533 doi:doi:10.1002/ps.2207
- Ślipiński A, Pang H, Booth RG (2012) Revision of the Australian Coccinellidae (Coleoptera) Part 8. Genus *Scymnus* Kugelann. *Annales Zoologici* 62:679-704 doi:10.3161/000345412x659731
- Smaili MC, Abbassi M, Boutaleb JA, Blenzar A (2013) Richesse spécifique des ennemis naturels associés aux vergers d'agrumes au Maroc: Intérêt et implication pour la lutte biologique. *EPPO Bulletin* 43:155-166 doi:10.1111/epp.12013

- Speight M, Sarthou J (2014) *StN key for the identification of the genera of European Syrphidae (Diptera)*. Syrph the Net, the database of European Syrphidae 79
- Spreen TH (2001) Projections de la production et de la consommation mondiales d'agrumes en 2010. In, 2001. *Symposium sur les agrumes, Chine/FAO*. 5-14.
- Starý P (1965) *The Aphidiidae of Italy: (Hymenoptera Ichneumonoidea)*. Tipografia Compositori. 75p
- Starý P (1969) Biology of aphid parasites (Hymenoptera: Aphidiidae) with respect to integrated control. *Anzeiger für Schädlingskunde und Pflanzenschutz* 42:190-190 doi:10.1007/bf02330200
- Starý P (1976) *Aphid parasites (Hymenoptera, Aphidiidae) of the Mediterranean area* vol 86. vol 2. Springer Science & Business Media. 95p
- Starý P (1988) Aphidiidae. *Aphids, their biology, natural enemies and control*. 2:171-184
- Starý P, Sekkat A (1987) Parasitoids (Hymenoptera: Aphidiidae) of aphid pests in Morocco. *Annales de la Société Entomologique de France*. 23:145-149
- Starý P, Leclant F, Lyon J (1975) Aphidiides (Hymenoptera) et aphides (Homoptera) de Corse. I Les Aphidiides. *Annales de la Société Entomologique de France* 11:745-762
- Starý P, Remaudière G, Leclant F (1977) Nouveaux compléments sur les Aphidiides (Hym.) de France et leurs hôtes. *Annales de la Société Entomologique de France*. 165-181
- Starý P, Lyon JP, Leclant F (1988) Biocontrol of aphids by the introduced *Lysiphlebus testaceipes* (Cress.) (Hym., Aphidiidae) in Mediterranean France. *Journal of Applied Entomology* 105:74-87 doi:10.1111/j.1439-0418.1988.tb00163.x
- Starý P Kavallieratos, N. G., Petrović, A., Žikić, V., Rakhshani, E., Tomanović, S. Tomanović, Z., Havelka J (2014) Interference of field evidence, morphology, and DNA analyses of three related *Lysiphlebus* aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Journal of Insect Science* 14:171-176 doi:10.1093/jisesa/ieu033

- Steenis MJ (1994) Intrinsic rate of increase of *Lysiphlebus testaceipes* Cresson (Hym.; Braconidae), a parasitoid of *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae) at different temperatures. *Journal of Applied Entomology* 118:399-406 doi:10.1111/j.1439-0418.1994.tb00817.x
- Suay CV, Martínez FL, Michelena J (1998) Parasitoides no afidiinos de pulgones (Chalcidoidea: Aphelinidae) e hiperparasitoides de las superfamilias Chalcidoidea, Ceraphronoidea y Cynipoidea (Hymenoptera: Apócrifa: Parastitica) en la provincia de Valencia. *Boletín de la Asociación española de Entomología*. 22:99-113.
- Sullivan DJ (1972) Comparative Behavior and Competition Between Two Aphid Hyperparasites: *Alloxysta victrix* and *Asaphes californicus* (Hymenoptera: Cynipidae; Pteromalidae). *Environmental Entomology* 1:234-244 doi:10.1093/ee/1.2.234
- Sullivan DJ (1987) Insect Hyperparasitism. *Annual Review of Entomology* 32:49-70 doi:10.1146/annurev.en.32.010187.000405
- Sullivan DJ (2008) Aphids (Hemiptera: Aphididae). In: Capinera JL (ed) *Encyclopedia of Entomology*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 191-215. doi:10.1007/978-1-4020-6359-6_10284
- Sullivan DJ, Volkl W (1999) Hyperparasitism: multitrophic ecology and behavior. *Annual Review of Entomology* 44:291-315 doi:10.1146/annurev.ento.44.1.291
- Swingle W, Reece P (1967) The botany of Citrus and its wild relatives. In: Reuther W, Webber H, Batchelor L (eds) *The citrus industry*, vol 1. University of California Berkeley, pp 190-130
- Talhok A (1975) *Citrus pests throughout the world*. Citrus:21-23
- Tanaka T (1961) *Citologia: semi-centennial commemoration papers on citrus studies* Osaka: Citologia Supporting Foundation
- Tena A, Garcia-Marí F (2011) Current situation of citrus pests and diseases in the Mediterranean basin. *IOBC Bulltin* 62:365-368

- Thies C, Roschewitz I, Tschardt T (2005) The landscape context of cereal aphid–parasitoid interactions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272:203-210 doi:10.1098/rspb.2004.2902
- Thomson CG (1862) Försök till uppställning och beskription af Sveriges Figiter.
- Tizado E, Nuñez-Pérez E (1993) *Some data on Alloxistinae (Hym., Charipidae) in Spain*. In: Aphidophaga 5-IOBC Symposium, p 97
- Tjallingii WF (2006) Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses. *Journal of Experimental Botany*. 57:739-745 doi:10.1093/jxb/erj088
- Tomanović Ž., Starý P., Kavallieratos N. G., Gagić V., Plečas M., Janković M., Rakhshani E., Četković A., Petrović A. (2012) Aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in wetland habitats in western Palearctic: key and associated aphid parasitoid guilds. *Annales de la Société entomologique de France (NS)* 48:189-198 doi:10.1080/00379271.2012.10697763
- Tomanović Ž, Mitrović, M., Petrović, A., Kavallieratos, N. G., Žikić, V., Ivanović, A, Rakhshani E., Starý P., Vorburger C. (2018) Revision of the European *Lysiphlebus* species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on the basis of COI and 28SD2 molecular markers and morphology. *Arthropod Systematics & Phylogeny* 76:213
- Tremblay E (1984) The parasitoid complex [Hym.: Ichneumonoidea] of *Toxoptera aurantii* [Hom.: Aphidoidea] in the Mediterranean area. *Entomophaga* 29:203-209 doi:10.1007/BF02372109
- Tremblay E, Barbagallo S (1983) *Lysiphlebus testaceipes* (Cr.), a special case of ecesis in Italy. In: Aphid antagonists. *Proceedings of a meeting of the EC Experts' Group*, Portici, Italy, 23-24 November 1982, 1983. pp 65-68
- Turpeau E, Hulle M, Chaubet B (2010) Encyclop'Aphid le site des Aphicionados. INRA. <https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/>. Accessed 12/12-17 2017
- Turpeau E, Hulle M, Chaubet B (2018a) Les insectes prédateurs de pucerons. <https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/>. Accessed 12/12-17 2017

- Turpeau E, Hulle M, Chaubet B (2018b) Parasitoïdes primaires et secondaires. <https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/>. Accessed 12/12-17 2017
- Ullah M, Maid Zaman NA, Ali M, Ali J (2015) Description of key to different species of Genera of Aphidiinae (Homoptera: Aphididae) of District DI. Khan, KPK, Pakistan. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 3:221-224
- USDA (2014) *Aphis gossypii* http://aphid.aphidnet.org/Aphis_spiraecola.php. Accessed 21-05-2018
- USDA (2014) *Aphis spiraecola* http://aphid.aphidnet.org/Aphis_gossypii.php. Accessed 21-05-2018
- USDA (2014) *Toxoptera aurantii* http://aphid.aphidnet.org/Toxoptera_aurantii.php. Accessed 21-05-2018
- Vacante V (2012) The History of IPM in the Mediterranean Citruculture. In: Vacante V, Gerson U (eds) *Integrated Control of Citrus Pests in the Mediterranean Region*. Bentham eBooks, pp 19-27
- van Lenteren JC (2011) The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl* 57:1-20 doi:10.1007/s10526-011-9395-1
- van Schelt J, Mulder S (2000) Improved methods of testing and release of *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae) for aphid control in glasshouses. *European Journal of Entomology* 97:511-516
- Vanlerberghe-Masutti F, Chavigny P (1998) Host-based genetic differentiation in the aphid *Aphis gossypii* Glover, evidenced from RAPD fingerprints. *Molecular Ecology* 7:905-914 doi:10.1046/j.1365-294x.1998.00421.x
- Verbruggen N, Hermans C (2008) Proline accumulation in plants: a review. *Amino Acids* 35:753-759 doi:10.1007/s00726-008-0061-6
- Vilcinskas A (2016) *Biology and ecology of aphids*. CRC Press. 282p
- Völkl W (1992) Aphids or Their Parasitoids: Who Actually Benefits from Ant-Attendance?. *The Journal of Animal Ecology* 61:2 273-281 doi:10.2307/5320

- Völkl W (1997) Interactions Between Ants and Aphid Parasitoids: Patterns and Consequences for Resource Utilization. In: Dettner K, Bauer G, Völkl W (eds) *Vertical Food Web Interactions: Evolutionary Patterns and Driving Forces*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 225-240. doi:10.1007/978-3-642-60725-7_13
- Völkl W, Mackauer M (1990) Age-specific pattern of host discrimination by the aphid parasitoid *Ephedrus californicus* Baker (Hymenoptera: Aphididae). *The Canadian Entomologist* 122:349-361 doi:10.4039/Ent122349-3
- Völkl W, Kranz P, Weisser W, Hübner G (1995) Patch time allocation and resource exploitation in aphid primary parasitoids and hyperparasitoids searching simultaneously within aphid colonies. *Journal of Applied Entomology* 119:399-404 doi:10.1111/j.1439-0418.1995.tb01307.x
- von Dohlen CD, Teulon DAJ (2003) Phylogeny and Historical Biogeography of New Zealand Indigenous Aphidini Aphids (Hemiptera, Aphididae): An Hypothesis. *Annals of the Entomological Society of America* 96:107-116 doi: 10.1016/s1055-7903(02)00025-8
- Vorburger C (2014) The evolutionary ecology of symbiont-conferred resistance to parasitoids in aphids. *Insect Science*. 21:251-264 doi:10.1111/1744-7917.12067
- Vorburger C (2017) Symbiont-conferred resistance to parasitoids in aphids – Challenges for biological control. *Biological Control* 116: 17-26 doi:10.1016/j.biocontrol.2017.02.004
- Wang J-J, Tsai JH (2000) Effect of Temperature on the Biology of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Annals of the Entomological Society of America* 93:874-883 doi:10.1603/0013-8746(2000)093[0874:eototb]2.0.co;2
- Wang K-Y, Guo Q-L, Xia X-M, Wang H-Y, Liu T-X (2007) Resistance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) to selected insecticides on cotton from five cotton production regions in Shandong, China. *Journal of Pesticide Science* 32:372-378 doi:10.1584/jpestics.G06-51.

- Weathersbee AA, McKenzie CL, Tang YQ (2004) Host Plant and Temperature Effects on *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Aphidiidae), a Native Parasitoid of the Exotic Brown Citrus Aphid (Homoptera: Aphididae). *Annals of the Entomological Society of America* 97:476-480 doi:10.1603/0013-8746(2004)097[0476:hpateo]2.0.co;2
- Weldon SR, Oliver KM (2016) *Diverse Bacteriophage Roles in an Aphid-Bacterial Defensive Mutualism*. In: Hurst CJ (ed) *The Mechanistic Benefits of Microbial Symbionts*. Springer International Publishing, Cham, pp 173-206. doi:10.1007/978-3-319-28068-4_7
- Westwood J (1833) Notice of the habits of a *Cynipidous* insect parasitic upon the *Aphis rosae* with descriptions of several other parasitic Hymenoptera. *Magazine of Natural History* 6:491-497
- Whitaker MRL, Katayama N, Ohgushi T (2014) Plant–rhizobia interactions alter aphid honeydew composition. *Arthropod-Plant Interactions* 8:213-220 doi:10.1007/s11829-014-9304-5
- <https://www.aci-algerie.com/produit/mospilan-20-sp/> consulté le 01/12/2018
- <https://www.aci-algerie.com/produit/aceplan-20-sp/> consulté le 10/12/2018
- <https://www.cabi.org> consulté le 10/02/2018
- <https://agriculture.gouv.fr/projet-darrete-portant-derogation-linterdiction-dutilisation-de-produits-phytopharmaceutiques> consulté le 23 juin 2019
- <http://casapdz.com/produits/produits-phytosanitaires/picador20-sl/> consulté le 10/12/2018
- <http://www.charipinaedatabase.com/> consulté le 10/11/2018
- <https://gd.eppo.int> consulté le 10/02/2018
- Zamora Mejías D, Hanson PE (2017) Clave dicotómica para especies parasitoides e hiperparasitoides (Hymenoptera) de áfidos (Homoptera: Aphididae) de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 28 doi:10.15517/ma.v28i3.24640
- Žikić V, Stanković SS, Ilić Milošević M, Petrović-Obradović O, Petrović A, Starý P, Tomanović Ž (2015) First detection of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Aphidiinae) in Serbia: an introduced species invading Europe?. *North-Western Journal of Zoology* 11:97-101

Annexes

Annexe 1 : Récapitulatif des parasitoïdes primaires et secondaires associés aux espèces pucerons des citrus entre 2014 et 2017

Année	Pucerons	Parasitoïdes primaires	Parasitoïdes secondaires *
2014-2015	<i>A. spiraecola</i>	<i>L. testaceipes</i>	<i>A. vulgaris</i> <i>P. aphidis</i> <i>Dendrocerus sp.</i> <i>A. victrix</i> <i>A. brevis</i> ⁽¹⁾
		<i>B. angelicae</i>	
	<i>A. gossypii</i>	<i>L. testaceipes</i>	<i>A. vulgaris</i> <i>P. aphidis</i> <i>Dendrocerus sp.</i> <i>A. victrix</i>
		<i>L. fabarum</i>	
		<i>A. colemani</i>	
<i>T. aurantii</i>	<i>L. testaceipes</i>	P.P.S	
2016	<i>A. spiraecola</i>	<i>L. testaceipes</i>	<i>A. vulgaris</i> <i>P. aphidis</i> <i>P. heterocera</i> ⁽²⁾ <i>A. victrix</i> <i>A. pusilla</i> ⁽³⁾
		<i>B. angelicae</i>	
	<i>A. gossypii</i>	<i>L. testaceipes</i>	<i>A. vulgaris</i> <i>P. aphidis</i>
		<i>B. angelicae</i>	
<i>T. aurantii</i>	<i>L. testaceipes</i>	P.P.S	
2017	<i>A. spiraecola</i>	<i>L. testaceipes</i>	<i>A. vulgaris</i> <i>P. aphidis</i> <i>P. villosa</i> <i>A. pusilla</i>
	<i>A. gossypii</i>	P.P.	P.P.S
	<i>T. aurantii</i>	<i>L. testaceipes</i>	<i>A. vulgaris</i> <i>P. aphidis</i> <i>P. villosa</i> <i>A. victrix</i> <i>A. pilipennis</i> ⁽³⁾
		<i>B. angelicae</i>	
		<i>A. matricariae</i>	
<i>M. persicae</i>	P.P.	P.P.S	

* Les parasitoïdes secondaires sont référés aux espèces de pucerons momifiées

⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾ Premier signalement sur *A. spiraecola*

⁽³⁾ Premier signalement sur *T. aurantii*

P.P.: Pas de parasitoïdes

P.P.S.: Pas de parasitoïdes secondaires

Annexes

Annexe 2 : Traitement ANOVA entre les pics de densités de pucerons entre 2016 et 217 dans le site A

ANOVA

VAR00002

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	92520,964	1	92520,964	32,719	,000
Within Groups	559894,551	198	2827,750		
Total	652415,514	199			

Annexe 3 : Traitement ANOVA entre les pics de densités de *A. spiraecola* entre 2016 et 217 dans le site A

ANOVA

VAR00001

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	93,393	1	93,393	6,515	,011
Within Groups	2838,280	198	14,335		
Total	2931,674	199			

Annexe 4 : Traitement ANOVA du parasitisme sur *A. spiraecola* entre 2016 et 2017 dans le site A

ANOVA

A. spiraecola mummies

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24,200	1	24,200	,399	,535
Within Groups	1090,800	18	60,600		
Total	1115,000	19			

Annexe 5 : Traitement ANOVA entre avant et après traitement insecticide dans le site B (2016)

ANOVA

VAR00001

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	673,208	1	673,208	17,715	,000
Within Groups	7524,586	198	38,003		
Total	8197,794	199			

Annexes

Annexe 6 : Traitement ANOVA entre avant et après traitement insecticide dans le site B (2017)

ANOVA

VAR00001

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	84693,698	1	84693,698	79,926	,000
Within Groups	209810,504	198	1059,649		
Total	294504,202	199			

Annexe 7 : Traitement ANOVA entre les pics de densités de *A. spiraeicola* entre 2016 et 217 dans le site A

ANOVA

VAR00001

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	673,208	1	673,208	17,715	,000
Within Groups	7524,586	198	38,003		
Total	8197,794	199			

Annexe 8 : Traitement ANOVA du parasitisme global entre 2016 et 2017 dans le site B

ANOVA

A.spiraeicola mummies

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24,200	1	24,200	,399	,535
Within Groups	1090,800	18	60,600		
Total	1115,000	19			

Valorisation scientifique de la thèse

LISTE DES TRAVAUX RÉALISÉS DANS LE CADRE DE LA THÈSE

POSTERS:

- Guenaoui Y, Labdaoui ZE (2018) Analyse des causes contribuant à l'échec parasitaire entre le puceron *Aphis spiraecola* (Patch, 1914) (Hemiptera : Aphididae) et ses parasitoïdes (Hymenoptera: Braconidae) en vergers d'agrumes dans la région nord/ouest d'Algérie. In : *6ème Congrès Franco-Tunisien de Zoologie – 6ème Congrès Maghrébin de Zoologie – 119ème Journées Annuelles de la SZF –* , 21-23 novembre 2018, Paris –France-
- Labdaoui Z, Guenaoui Y (2015) The aphids infesting citrus orchards and their natural enemies in the Northwestern Algeria. In: *Sixth International Scientific Agricultural Symposium" Agrosym 2015"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 15-18, 2015.
- Labdaoui ZE, Guenaoui Y (2017) Potentialités des parasitoïdes primaires des pucerons des agrumes dans la région de Mostaganem – Algérie- In : *VII Journées scientifiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie –Université de Mostaganem- Algérie*, Mars 2017.
- Labdaoui ZE, Guenaoui Y (2017) The main citrus aphid species and their parasitoids in northwestern Algeria. Why is aphid control not always successful? In: *Eighth International Scientific Agricultural Symposium" Agrosym 2017"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 05-08, 2017.

Labdaoui ZE, Guenaoui Y (2017) Why *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) is becoming the most dominant pest on citrus in Algeria? In: *Eighth International Scientific Agricultural Symposium" Agrosym 2017"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 05-08, 2017.,

Labdaoui ZE, Guenaoui Y (2017) Analyse des facteurs responsables de la dominance du puceron *Aphis spiraecola* patch (hemiptera : aphididae) sur agrumes dans la region nord-ouest d'algerie. In : *Premier Symposium Maghrébin sur la Protection Intégrée des Plantes (Sympip 2017)*. 30 octobre au 1^{er} novembre 2017.

PUBLICATIONS

Ferrer-Suay M, J. S, Labdaoui Z.E., Guenaoui Y., Pujade-Villar J (2017) First record of *Phaenoglyphis heterocera* (Hartig, 1841) (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) from Algeria. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 81:17-18

Labdaoui Z, Guenaoui Y (2015) The aphids infesting citrus orchards and their natural enemies in the Northwestern Algeria. In: *Sixth International Scientific Agricultural Symposium" Agrosym 2015"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 15-18, 2015. Book of Proceedings, 2015., pp 787-792

Labdaoui ZE, Guenaoui Y (2017a) The main citrus aphid species and their parasitoids in northwestern Algeria. Why is aphid control not always successful? In: *Eighth International Scientific Agricultural Symposium" Agrosym 2017"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 05-08, 2017., pp 1114-1119

Labdaoui ZE, Guenaoui Y (2017b) Why *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) is becoming the most dominant pest on citrus in Algeria? In: *Eighth International Scientific Agricultural Symposium" Agrosym 2017"*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 05-08, 2017., pp 1461-1468

Labdaoui, Z.E., and Guenaoui, Y. (2018) Some observations on the predominance of *Aphis spiraecola* on citrus in Northwestern Algeria. *Tunisian Journal of Plant Protection* 13 (si): 147-157.

Labdaoui ZE, Guenaoui Y, Ferrer-Suay M, Selfa J, Pujade Villar J (2018) First record and new hosts relationships of *Alloxysta brevis* (Thomson, 1862)(Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) from Algeria. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 82:63-66

GEA, FLORA ET FAUNA

First record and new hosts relationships of *Alloxysta brevis* (Thomson, 1862) (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) from Algeria

Zine Eddine Labdaoui*, Yamina Guenaoui*, Mar Ferrer Suay**, Jesus Selfa** & Juli Pujade-Villar***

* Département d'agronomie, faculté des sciences de la nature et de la vie. Université Abdelhamid Iben Badis. Mostaganem. Algérie. A/e: zineddine.labdaoui@univ-mosta.dz, yguena@yahoo.fr

** Universitat de València. Facultat de Ciències Biològiques. Departament de Zoologia. Campus de Burjassot-Paterna. Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot, València, España. A/e: mar.ferrer.suay@gmail.com, jesus.selfa@uv.es

*** Universitat de Barcelona. Facultat de Biologia. Departament de Biologia Animal. Avda. Diagonal, 645. 08028 Barcelona, Catalunya. A/e: jpujade@ub.edu

Corresponding author: Zine Eddine Labdaoui. A/e: zineddine.labdaoui@univ-mosta.dz

Rebut: 19.03.2018; Acceptat: 03.05.2018; Publicat: 30.06.2018

Abstract

In the framework of a study on citrus aphids in the North-Western of Algeria, we determined primary and secondary parasitoids on the main citrus aphid's species (*Aphis spiraecola* Patch, 1914 and *Aphis gossypii* Glover, 1877) during the first flushing period on *Citrus sinensis* var. Thomson in spring 2015. Among hyperparasitoids associated to *A. spiraecola*, we recorded the species *Alloxysta brevis* (Thomson, 1862) for the first time in Algeria. Studies in other regions has not found its presence yet.

Key words: *Alloxysta brevis*, aphids, *Aphis spiraecola*, Charipinae, citrus, hyperparasitoids.

Resum

Primera cita d'*Alloxysta brevis* (Thomson, 1862) (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) per Algèria

En el marc d'un estudi sobre àfids de cítrics al nord-oest d'Algèria, vam determinar els parasitoides primaris i secundaris sobre les principals espècies d'àfids (*Aphis spiraecola* Patch, 1914 i *Aphis gossypii* Glover, 1877) durant el primer període de la primavera de 2015 a *Citrus sinensis* var. Thomson. Entre els hiperparasitoides associats a *A. spiraecola*, vam registrar l'espècie *Alloxysta brevis* (Thomson, 1862) per primera vegada a Algèria. En els estudis realitzats en altres regions algerianes no s'ha detectat la seva presència.

Paraules clau: *Alloxysta brevis*, pugons, *Aphis spiraecola*, Charipinae, cítrics, hiperparasitoides.

Introduction

Hyperparasitoids are secondary insect parasitoids that develop at the expense of primary parasitoids, thereby representing a highly evolved trophic level (Jacobson, 2011; Sullivan & Volkl, 1999). They are divided in two categories: endophagous (indirect-hyperparasitoids) have larvae that feed inside the host, while ectophagous (direct-hyperparasitoids) can be secondary or tertiary parasitoids and the larvae feed externally (Sullivan, 1987; Sullivan, 1972). Hyperparasitoids have major implications for the biological control of pest aphids because of its negative effects on the population dynamics of beneficial primary parasitoids (Müller & Godfray, 1998; Sullivan & Volkl, 1999).

Aphid hyperparasitism is restricted to three hymenopteran superfamilies: Chalcidoidea, Ceraphronoidea and Cynipoidea (Sullivan, 1987). This last, recognize five families: Austrocynipidae, Ibalidae, Liopteridae, Cynipidae and Figitidae

(Ronquist, 1999). The Cynipidae and Figitidae are called microcynipoids, smaller insects that are gall inhabitants (inducers or inquiline) or endoparasitic koinobionts of endopterygote insect larvae (Ferrer-Suay *et al.*, 2012a)

Charipinae (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) is a widely distributed subfamily of very small wasps (0.8 - 2.0 mm), with smooth and shiny body (Ferrer-Suay *et al.*, 2014a). Taxonomically, it includes eight genera: *Alloxysta* (Förster, 1869), *Phaenoglyphis* (Förster, 1869), *Lytoxysta* (Kieffer, 1909), *Loboptercharips* (Paretas-Martinez & Pujade-Villar, 2007), *Dilyta* (Förster, 1869), *Apocharips* (Fergusson, 1986), *Dilapothor* (Paretas-Martinez & Pujade-Villar, 2006) and *Thoreauana* (Girault, 1930) (Ferrer-Suay *et al.*, 2015a).

Species of the genus *Alloxysta* are biologically characterized as aphid hyperparasitoids (Hemiptera: Aphididae) via Aphidiinae (Hymenoptera: Braconidae) and Aphelininae (Hymenoptera: Aphelinidae) (Ferrer-Suay *et al.*, 2014a). This genus is characterized being koinobiont endohyperparasitoid

Some Observations on the Predominance of *Aphis spiraecola* on Citrus in Northwestern Algeria

Zine Eddine Labdaoui and Yamina Guenaoui, Département d'Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid Ben Badis, Mostaganem, Algeria

ABSTRACT

Labdaoui, Z.E., and Guenaoui, Y. 2018. Some observations on the predominance of *Aphis spiraecola* on citrus in Northwestern Algeria. *Tunisian Journal of Plant Protection* 13 (si): 147-157.

Aphis spiraecola is the main aphid species found on citrus in Algeria. This study was carried out on *Citrus clementina* in northwestern Algeria, during a two year period (2016-2017) in the first flushing period (spring). The aphid fluctuation of the populations and their natural enemies, especially the parasitoids, were evaluated based on a weekly sampling of 100 leaves taken on 10 trees (10 leaves/tree). *A. spiraecola* colonized citrus trees since the beginning of flushing. The density per young leaf reached a maximum of 78.8 ± 23.4 aphids in 2016 and 44.4 ± 13.0 aphids in 2017 with an average density of 6.0 ± 1.5 aphids/cm² and 4.4 ± 0.6 aphids/cm², respectively, where a significant difference between years ($P < 0.05$) was observed. The parasitism rate expressed in terms of number of *A. spiraecola* mummies remained very low, varying between 1.6% in 2016 and 3.0% in 2017 with no significant difference ($P > 0.05$) between years. Also, the emergence number of primary parasitoids was low for both years with 26.6% in 2016 and 10.8% in 2017. The primary parasitoids of *A. spiraecola* in 2016 were *Lysiphlebus testaceipes* and *Binodoxys angelicae* whereas only *L. testaceipes* was found in 2017. The total hyperparasitism rate varying between 16.7% in 2016 and 25.7% in 2017 did not differ significantly between years ($P > 0.05$). Mummies without adult emergence rate were found to be very high varying between 85 and 100%. This partial parasitic failure observed on *A. spiraecola* underlines many questions related with different factors (climate, ability of aphids to form winged populations to escape to their enemies, impact of hyperparasitoids). The new field of research is concerning the possible presence of endosymbiont organisms that could give to the aphid a defense reaction against its aggressors.

Keywords: *Aphis spiraecola*, citrus, hyperparasitoids, Northwestern Algeria, primary parasitoids

About twenty aphid species were recorded on citrus crops worldwide (Barbagallo and Patti 1985; Blackman and Eastop 2006) but the most harmful species are *Aphis spiraecola*, *A. gossypii*,

Toxoptera aurantii and *T. citricidus* (Hermoso de Mendoza et al. 2006; Marroquin et al. 2004; Tena and Garcia-Marí 2011). The latest species has not been detected in Algeria yet.

A. spiraecola is one of the 14 aphid species of agricultural importance worldwide (Blackman and Eastop 2007). It is known to infest heavily citrus crops in all Mediterranean countries including Algeria (Ali-Arous et al. 2017; Barbagallo et al. 1996; Ben Halima-

Corresponding author: Zine Eddine Labdaoui
Email: zineddine.labdaoui@univ-mosta.dz

Accepted for publication 8 January 2018

NOTA BREU

First record of *Phaenoglyphis heterocera* (Hartig, 1841) (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) from Algeria**Primera cita de *Phaenoglyphis heterocera* (Hartig, 1841) (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae: Charipinae) a Algèria**

Mar Ferrer-Suay*, Jesús Selfa*, Mohamed Z. E. Labdaoui**, Yamina Guenaoui** & Juli Pujade-Villar***

* Universitat de València. Facultat de Ciències Biològiques. Departament de Zoologia. Campus de Burjassot-Paterna. Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot (València), Spain. A/e: jesus.selfa@uv.es; mar.ferrer.suay@gmail.com** Université Abdelhamid Ben Badis -Mostaganem. Faculté des sciences de la nature et de la vie. Département d'agronomie. 27000-Mostaganem. Algeria. A/e: labdaoui.zm@gmail.com; zineddine.labdaoui@univ-mosta.dz; yguena@yahoo.fr*** Universitat de Barcelona. Facultat de Biologia. Departament de Biologia Animal. Avda. Diagonal, 645. 08028-Barcelona, Catalunya. A/e: jpujade@ub.eduCorresponding author: Mar Ferrer-Suay, A/e mar.ferrer.suay@gmail.com

Rebut: 09.03.2017. Acceptat: 17.03.2017. Publicat: 31.03.2017

The Charipinae (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) is a subfamily distributed worldwide (Ferrer-Suay *et al.*, 2012). They are very small wasps, smooth and shiny. This subfamily is compound by eight valid genera: *Alloxysta* Förster, 1869 (cosmopolitan), *Phaenoglyphis* Förster, 1869 (cosmopolitan), *Lytoxysta* Kieffer, 1909 (North America), *Loboapterocharips* Paretas-Martínez & Pujade-Villar, 2007 (Nepal), *Dilyta* Förster, 1869 (cosmopolitan except Australia), *Apocharips* Fergusson, 1986 (Eastern Palaearctic and Neotropics), *Dilapothor* Paretas-Martínez & Pujade-Villar, 2006 (Australia) and *Thoreauana* Girault, 1930 (Australia).

Until now only seven Charipinae species were recorded from Algeria: *Alloxysta arcuata* (Kieffer, 1902), *A. consobrina* (Zetterstedt, 1838), *A. fracticornis* (Thomson, 1862), *A. pilipennis* (Hartig, 1840), *A. quedenfeldti* (Kieffer, 1909), *A. victrix* (Westwood, 1833) and *Phaenoglyphis villosa* (Hartig, 1841). Thanks to collection studies in this region here a new *Phaenoglyphis* species is cited for the first time, *P. heterocera* (Hartig, 1841).

Phaenoglyphis Förster, 1869 is one of the most diverse genus within Charipinae. It is composed by 34 species (www.charipinaedatabase.com). This genus is well distributed worldwide but previously only *P. villosa* was cited in Algeria by Kieffer (1909). It is the first time that *P. heterocera* is cited in this country. The distribution of *P. heterocera* is Holarctic, it was described from Europe (Germany) by Hartig (1841), and then it has been recorded from several countries in this region (Ferrer-Suay *et al.*, 2012), and more recently it was recorded for the first time in USA and Canada (Ferrer-Suay *et al.*, 2014a). This species has been associated with a wide variety of hosts, and here new host as well as trophic relationship is established: *Citrus clementina* Tanaka, 1961 - *Aphis spiraecola* (Patch, 1914).

Phaenoglyphis heterocera (Fig. 1) is mainly characterized by having F1 shorter than pedicel in female but longer in male, rhinaria and club shape beginning in F3, rounded

scutellar foveae not delimited apically and basally. It is similar to *Phaenoglyphis stenosis* Andrews, 1978, but they can be differentiated by the beginning of rhinaria: in F3 in *P. heterocera* but F2 in *P. stenosis*; F1 shorter than pedicel in *P. heterocera* female but F1 longer than pedicel in *P. stenosis* female; F1-F3 subequal in length in *P. heterocera* female while F1-F3 not subequal in *P. stenosis* female; scutellar fovea separated by a carina in *P. heterocera* but slightly fused in *P. stenosis*.

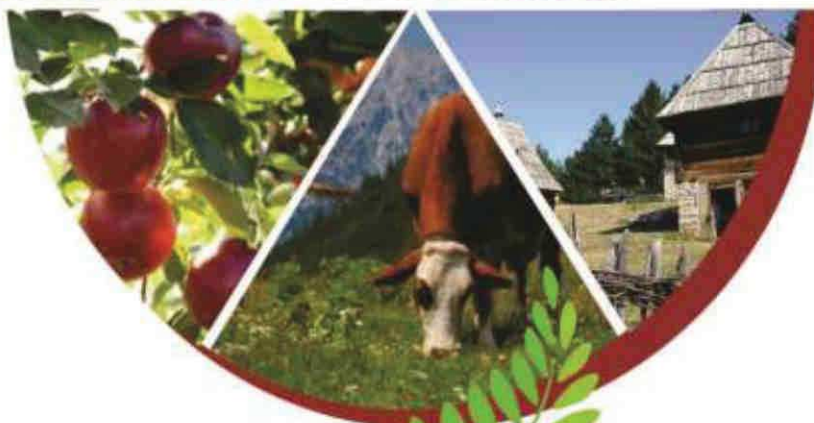
Phaenoglyphis heterocera has a Nearctic and Western Palaearctic distribution: Austria (Dalla Torre & Kieffer, 1910: 275); Canada (Alberta) (Ferrer-Suay *et al.*, 2014a: 67); England (Cameron, 1890: 234); France (Kieffer, 1904a: 598; De Gaulle, 1908: 26); Germany (Hartig, 1841: 351); Italy (Ferrer-Suay *et al.*, 2014b: 10); Romania (Feraru & Mustata, 2005: 75); Sweden (Andrews, 1978: 84); The Netherlands (Dettmer, 1925: 124); and USA (Arizona and Colorado) (Ferrer-Suay *et al.*, 2014a: 67).

Figure 1. Habitus of *Phaenoglyphis heterocera* (Hartig, 1841).

BOOK OF PROCEEDINGS



*VIII International Scientific Agriculture Symposium
Jahorina, October 05-08, 2017*



AGRO 2017
sym

THE MAIN CITRUS APHID SPECIES AND THEIR PARASITOIDS IN NORTHWESTERN ALGERIA. WHY IS APHID CONTROL NOT ALWAYS SUCCESSFUL?

Zine Eddine LABDAOUI*, Yamina GUENAOUI

Department of Agronomy, University Ibn Badis of Mostaganem, Algeria

*Corresponding author: zineddine.labdaoui@univ-mosta.dz

Abstract

Aphids are an important problem in the Algerian citrus groves with very high densities during spring seasons. During the last years, the aphid *Aphis spiraecola* Patch has displaced *Aphis gossypii* Glover and *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe (Hemiptera: Aphididae) in most citrus groves located in the region of Mostaganem (northwestern Algeria). This research was conducted in order to develop the control of the main Citrus aphid species. We have to record parasitoid populations able to destroy the aphid populations in 2 localities in order to determine the main parasitoids associated with the dominant aphid species and to evaluate the impact of pesticides on the parasitism rate. Samples of infested young leaves were recorded weekly from the beginning of the flush period until the end of spring. Aphid densities reached 153 aphids/leaf equivalents to 10 aphids.cm⁻². The parasitoid species *Lysiphlebus testaceipes* Cresson and *Binodoxys angelicae* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphinae) were associated with both *A. spiraecola*, *A. gossypii* and *T. aurantii*, but the parasitism rate remains very low in both situations varying between 0.76 and 2.66. We tried to give some factors to explain why parasitoids were unsuitable for use in biological control of *A. spiraecola*.

Keywords: *Citrus*, *aphids*, *natural enemies*, *integrated control*, *Northwestern Algeria*.

Introduction

Among several pests attacking *Citrus* trees, aphids are considered as the most damaging insects causing economic losses both in nurseries and Citrus groves. Feeding on young foliage, they produce leaf curling and are also able to transmit the most damaging disease due to *Citrus Tristeza Virus* (CTV) (Hermoso de Mendoza, 2001; Addante and *al.*, 2009). The damage is more important in spring (Hermoso de Mendoza *et al.*, 2001, 2006). In Algeria, the first work on aphid on *Citrus* spp. was started in 1985 (Aroun, 1985). Some works on aphids and their natural enemies, especially parasitoids were done in most growing *Citrus* spp. regions located in the north; in the centre (Benoufella-kitous and *al.*, 2014), in the northeast (Lebbal and Laamari, 2015) and in the northwest (Labdaoui and Guenaoui, 2015) but these studies were not deepened. Only 6 aphid species were found in the northwest of Algeria: *Aphis spiraecola* (Patch.), *Aphis gossypii* (Glover), *Aphis craccivora* (Koch), *Aphis fabae* (Scopoli), *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) and *Myzus persicae* (Sulzer), with always a predominance of *A. spiraecola* (Labdaoui and Guenaoui, 2015). The European producing countries of *Citrus* spp. fruit usually try to control aphids by natural enemies associated to *Citrus* spp. (Stary *et al.*, 1988a; Jacas and Urbaneja, 2010; Gómez-Marco *et al.*, 2016). Indeed, in Algeria, chemical control is the only issue for the farmers, and it is very hard to guide the farms towards sustainability, promoting ecological principles with the conservation of resources. The objective of this study was to evaluate the importance of parasitoids attacking aphids in 2 situations: in a Citrus orchard, free of pesticides and in a

WHY *APHIS SPIRAECOLA* (HEMIPTERA: APHIDIDAE) IS BECOMING THE MOST DOMINANT PEST ON CITRUS IN ALGERIA?

Zine Eddine LABDAOUI, Yamina GUENAOUI*

Department of Agronomy, University Ibn Badis of Mostaganem, Algeria

*Corresponding author: yguena@yahoo.fr

Abstract

In the last few years the aphid *Aphis spiraecola* Patch (Hemiptera: Aphididae) has become the most abundant pest in Algeria. Its population dynamics is connected with favourable factors (young shoots of *Citrus* and suitable climatic factors) or unfavourable factors causing its death as unsuitable natural enemies or high temperatures. The objective of this work was to evaluate the potential of parasitoids associated with *A. spiraecola* for understanding why this aphid species was not efficiently controlled by natural enemies. This study was carried out during the spring leaf-flushing period in 2016 and 2017 in 02 orchards located in 02 sites situated in the Mostaganem region. Sampling of 100 infested young leaves weekly taken from 10 citrus trees in each site showed the predominance of *A. spiraecola* with high densities reaching at least 150 aphids per leaf (10 individuals per cm²). The total parasitism rate remained below 3%. We identified two primary parasitoid species *Lysiphlebus testaceipes* Cresson and *Binodoxys angelicae* Haliday (Hymenoptera: Braconidae) and 6 secondary parasitoid species (hyperparasitoids) with the first record in Algeria of an hyperparasitoid belonging to Charipinae (Hymenoptera: Fitigidae). The parasitism rate in the plantation conducted under a conventional management with sprays of insecticides was by far lower than parasitism rate obtained under ecological management. Protection of *Citrus* from *A. spiraecola* feeding is becoming very difficult because of several factors such as early presence of hyperparasitoids in orchard, relative failure of the development of *L. testaceipes* with a high number of aborted mummies (without adult emergence) and the possible presence of endosymbionts in aphids providing protection against parasitic wasps.

Keywords: *Citrus* aphids, *Aphis spiraecola*, *Lysiphlebus*, hyperparasitoid abundance, biological control failure.

Introduction

The green citrus aphid (*Aphis spiraecola* Patch) is among the most damaging aphid species in Algeria, because high populations feed on tender shoots (young leaves, buds, flowers) and spring time attacks are the most deleterious causing distorted foliage and dropping of flowers. It is one of the four main species recorded in Algeria (Mostfaoui et al., 2014; Labdaoui and Guenaoui, 2015). It has a very large indirect impact as it is one of the principal vector of the citrus tristeza virus CTV (Blackman and Eastop, 2000, Addante et al., 2009) with *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy) which had been reported in several Mediterranean countries but not yet detected in Algeria. In the Mediterranean region, *A. spiraecola* is one of the most abundant on *Citrus* in Turkey (Satar et al., 2014) and according to Blackman et Eastop (1984) it was found on over 65 plant genera including important crops (*Malus* sp., *Prunus* sp., *Pyrus* sp.). In Spain, it had displaced the native and previously dominant species *Toxoptera aurantii* becoming the most important citrus aphid species after 1960 (Gomez Marco, 2015); with the rational use of pesticides implemented in Spanish citrus, *A. spiraecola* had become the most abundant and harmful aphid species (Hermoso de 2014; Labdaoui and Guenaoui, 2015). The

Original scientific paper
10.7251/AGSY1505787L

THE APHIDS INFESTING CITRUS ORCHARDS AND THEIR NATURAL ENEMIES IN THE NORTHWESTERN ALGERIA

Zine-Eddine LABDAOUI, Yamina GUENAOUI*

Department of Agronomy, University Ibn Badis of Mostaganem, Algeria

*Corresponding author: guenaoui@yahoo.com

Abstract

During the last decade, especially in the Northwest part of Algeria, the citrus orchards showed fluctuations in production with a reduction of citrus growing areas in comparison with others growing areas. The decline of quality and quantity of production is a result of several problems occurring in the same time: aging of orchards, water stress, inadequate methods of control, emergence of new pests and diseases. The objective of this study was to determine the main aphid species causing serious damages directly and indirectly on *Citrus sinensis* and *Citrus clementina* and to identify their main natural enemies including parasitoids and predators. After two years of investigations the main aphid species recorded on both citrus orchards were: *Aphis gossypii* Glover, *Aphis spiraecola* Patch and *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe (Hemiptera: Aphididae), *Aphis craccivora* Koch. The primary parasitoids recorded were mainly: *Lysiphlebus fabarum* (Marshall), *Lysiphlebus confusus* (Trembley and Eady), *Lysiphlebus testaceipes* Cresson, *Aphidius colemani* Viereck, *Aphidius matricariae* Haliday and *Binodoxys angelicae* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). We also recorded an important activity of predators mainly *Propylea 14-punctata* (L.), *Coccinella septempunctata* (L.), *Scymnus* species (Coleoptera: Coccinellidae), *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae) and 2 Syrphidae species but their presence happened too late. This study was conducted for a better knowledge on the health status of citrus orchards because the complex of aphid antagonists is poorly investigated in our region. This work could help citrus growers in understanding the situation for taking the best measures to preserve activity of natural enemies by reducing chemical control.

Key words: *Citrus*, *aphids*, *natural enemies*, *integrated control*, *Northwestern Algeria*

Introduction

Algerian citrus orchards harbour an important diversity of native and alien species of pests that attack trees in the same time and also a wide range of native and exotic natural enemies. Among the main pests damaging citrus groves, aphids are particularly noxious because high aphid population is regularly seen during spring season (during flushes) leading to reduction in vigor of the host plant and causing great damage both directly and indirectly (leaf deformation, malformation of flowers, underdeveloped shoots, virus transmission and consequently damage on fruits). In all citrus growing areas in Mediterranean Basin several aphids are considered harmful pests, (Barbagallo et al., 1986; Marroquin et al., 2004). In Algeria, studies conducted on aphids were concentrated in the Mitidja region (the north-center of Algeria). The number of species is depending on region, season, variety and period of investigation (Aroun, 1985; Mostafaoui et al., 2014; at least 08 species were recorded on *Citrus sinensis* var. Thomson (Benoufella-Kitous et al., 2014). In Greece 09 aphid species were reported on citrus (Kavallieratos et al., 2002) and in Turkey 07 species were determined (Satar et al., 2014). At least 25 aphid species have been reported infesting citrus in the world but only 3 or 4 species are considered damaging in Italy (Barbagallo et Patti, 1986) or in Spain (Hermoso de Mendoza et al., 1997) where *Aphis spiraecola* and *Aphis gossypii* are found to be the most abundant (Tena et Garcia-Mari, 2011). In the north-western Algeria