

UNIVERSITE DE BLIDA I

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Biotechnologies

THESE DE DOCTORAT

en Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection des plantes et environnement

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES INTERACTIONS TRITROPHIQUES AGRUMES-APHIDES-AUXILIAIRES EN MITIDJA CENTRALE (ATLAS BLIDEEN, ALGERIE).

Par

Houda MOSTEFAOUI

Devant le jury composé de :

Z. KRIMI	Professeur, U. Blida I	Présidente
Z.E. DJAZOULI	Professeur, U. Blida I	Examineur
D. PETIT	Maître de conférences HDR, U. Limoges, France	Examineur
M. BICHE	Professeur., ENASA El Harrach	Examineur
N. BENYELLES-GAOUAR	Professeur., UABT. Tlemcen	Invité
L. ALLAL- BENFEKIH	Professeur, U. Blida I	Promotrice
G. SALADIN	Maître de conférences, U. Limoges, France	Co-promotrice

Blida, 2016

RESUME

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES INTERACTIONS TRITROPHIQUES AGRUMES-APHIDES-AUXILIAIRES EN MITIDJA CENTRALE (ATLAS BLIDEEN, ALGERIE).

Ce travail est consacré à l'étude des pucerons des agrumes et leurs interactions avec la plante hôte et les communautés d'insectes entomophages dans la région de la Mitidja centrale où les deux espèces *Aphis spiraecola* et *A. gossypii* cohabitent et occasionnent des dégâts sur les clémentiniers. Durant trois années d'étude entre 2010 et 2012, les abondances aphidiennes sur le clémentinier ont semblé être influencées par les variations de température et des quantités de pluie. L'abondance des adultes ailés et aptères des deux aphides, d'insectes auxiliaires et des paramètres du métabolisme énergétique ont été mesurés chaque semaine. En parallèle, les glucides solubles, les acides aminés libres totaux, la proline libre, la callose et les tannins condensés ont été quantifiés dans les feuilles saines et infestées. La structuration des populations des deux aphides a montré des corrélations positives et hautement significatives entre les abondances des différentes formes biologiques durant les trois poussées de sève. L'analyse des décalages temporels entre les teneurs des réserves glucidiques et lipidiques des deux aphides et celles des constituants foliaires montre que la teneur en acides aminés favorise l'abondance des pucerons. Cependant, ni la callose et les tannins condensés, ni les insectes auxiliaires ne semblent moduler les populations d'aphides. La teneur en glucides foliaires est positivement corrélée avec l'abondance d'*A. spiraecola* mais pas celle d'*A. gossypii* qui est par contre défavorisée par de fortes teneurs en proline. La plus forte abondance d'*A. spiraecola* sur le clémentinier par rapport à *A. gossypii* pourrait donc s'expliquer

par une meilleure tolérance aux fortes teneurs en proline et une meilleure conversion des métabolites énergétiques foliaires.

De Juin 2012 à Juin 2013, l'inventaire des communautés d'arthropodes bénéfiques identifiées dans les vergers agrumicoles, a mis en évidence 2776 individus répartis en 8 ordres, 25 familles et 55 espèces. Par rapport à la richesse en Diptera, Hemiptera, Neuroptera, Dermaptera et Mantodea (pour un total de 2 à 4%), les Hymenoptera étaient les plus représentés avec 18 espèces (33 %) suivi par les Coleoptera avec 17 espèces (31 %) et les Aranea avec 12 espèces prédatrices (22 %). Globalement, cinq groupes trophiques ont été distingués au cours de l'année : les généralistes représentés surtout par les fourmis et les araignées, les espèces aphidiphages, coccidiphages et aleurodiphages, ainsi que les parasitoïdes de cicadelles. A travers l'application de diverses analyses multivariées, nous avons mis en évidence des différences saisonnières de composition entre les assemblages durant le développement phénologique du clémentinier. De plus, les diversités et richesses des assemblages trophiques saisonniers sont significativement différentes ce qui explique un ordre d'installation différent des arthropodes bénéfiques dans les vergers. Les principales espèces qui participent aux différences de composition au sein d'un même groupe fonctionnel saisonnier sont *Cales noacki*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Metaphycus flavus*, *Chrysoperla carnea*, *Aphytis melinus*, *Rodolia cardinalis*, *Metaphycus helvolus*, *Scymnus subvillosus* et *Episyrphus balteatus*. Ce complexe d'espèces entomophages semble particulièrement lié à la prédominance et l'abondance de leurs proies hôtes spécifiques comme *Aleurothrixus floccosus*, *Aphis spiraecola*, *Aphis gossypii* et *Icerya purchasi*.

Mots clés : aphide, clémentinier, biodiversités, faune auxiliaire, métabolisme énergétique, réseau trophique.

Abstract

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF CITRUS- APHIDS- BENEFICIALS TRITROPHIC INTERACTIONS IN CENTRAL MITIDJA (ATLAS BLIDA, ALGERIA)

This work is focused on the study of citrus aphids and their interactions with the host plant and the communities of entomophagous insects in the central Mitidja region where both species *Aphis gossypii* and *A. spiraecola* coexist and cause harmful damages on clementine tree orchards. During three years of study between 2010 and 2012, the aphid abundances on clementine trees seemed to be influenced by temperature and rainfall variations. The abundance of winged and wingless adults of both aphids, auxiliary insects and parameters of energy metabolism were measured each week. In parallel, the soluble carbohydrates, total free amino acids, free proline, callose and condensed tannins were quantified in control and infested leaves. The structure of both aphid populations showed positive and highly significant correlations between the abundances of each biological stage. But, *A. spiraecola* was consistently more abundant regardless of the stage during the three sap flows. The analysis of temporal lags between the carbohydrate and lipid reserves contents of both aphids and those of foliar contents shows that amino acid content has a positive effect on both aphid species abundance. However, neither callose and condensed tannins nor auxiliary insects seem to modulate aphid populations. Leaf carbohydrate content is positively correlated with the abundance of *A. spiraecola* but not with *A. gossypii* which is however down regulated by high proline concentrations. The higher abundance of *A. spiraecola* on clementine tree compared with that of *A. gossypii* could thus be explained by a better tolerance to high proline contents and a better conversion of energy foliar metabolites.

From June 2012 to June 2013, the inventory of beneficial arthropod communities identified in citrus orchards, highlighted a total of 2776 individuals divided into 8 orders, 25 families and 55 species. Compared with Diptera, Hemiptera, Neuroptera, Dermaptera and Mantodea richness (for a total of 2 to 4 %), Hymenoptera were the most represented with 18 species (33 %) followed by Coleoptera with 17 species (31 %), and Aranea with 12 predatory species (22 %). Overall, five trophic groups were distinguished along the year: generalists mainly represented by ants and spiders, aphidophagous, coccidophagous, and aleurodophagous species, as well as coccids, white flies and leafhoppers parasitoids. Through the application of various multivariate analyzes, we have shown seasonal differences in composition between the assemblies during the clementine tree phenology. Moreover, the diversity and richness of seasonal trophic assemblies are significantly different what explains a different recruiting order of beneficial arthropods in the orchards. The main species involved in compositional differences within a same seasonal functional group were *Cales noacki*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Metaphycus flavus*, *Chrysoperla carnea*, *Aphytis melinus*, *Rodolia cardinalis*, *Metaphycus helvolus*, *Scymnus subvillosus* and *Episyrphus balteatus*. This complex of entomophagous species seems particularly linked to the prevalence and abundance of their specific prey hosts such as *Aleurothrixus floccosus*, *Aphis spiraecola*, *Aphis gossypii* and *Icerya purchasi*.

Key words: aphid, clementine tree, biodiversity, energy metabolism, auxiliary fauna, trophic network

المخلص

المساهمة في دراسة العلاقات و التفاعلات الغذائية بين الحمضيات (شجرة المعيلة) ،
حشرات المن و الاعداء الحيوية لها في متيجة الوسطى (الأطلس البلدي، الجزائر).

خصص هذا العمل لدراسة حشرات المن، الحمضيات وتفاعلاتها مع الشجرة المعيلة ومجتمعات الحشرات المفترسة (entomophages) في منطقة متيجة الوسطى اين يتواجد نوعان من حشرات المن *A. gossypii* و *Aphis spiraeicola* اللذان يتعايشان و يتسببان في عدة اضرار على اليوسفية. خلال ثلاث سنوات من الدراسة بين عامي 2010 و 2012، تبين ان وفرة تواجد حشرتي المن على اليوسفية تتأثر بالتغيرات في درجات الحرارة وكمية الأمطار المتساقطة . من خلال المسح و التفقد و أخذ العينات المتواصلة ، تم عد الأشكال البيولوجية (يرقات، كبار مجنحة وغير مجنحة) لحشرتي المن والحشرات النافعة، كما أنه تم تقييم المعلمات الطاقوية. في المقابل ، تم حساب كمية المكونات الكيميونباتية: الكربوهيدرات القابلة للذوبان، ومجموع الأحماض الأمينية الحرة، البرولين الحر، callose و التانين لأوراق اليوسفية غير المتعرضة والمتعرضة لهجوم حشرات المن. أظهرت تركيبة فصليتي حشرتي المن علاقات إيجابية و في غاية الاهمية بين كثرة تواجد النماذج البيولوجية (يرقات ، كبار مجنحة وغير مجنحة) لحشرتي المن خلال موجات النمو الثلاث. تحليل فاروق الزمن لمخزون المدخرات الطاقوية السكرية و الليبيدية لحشرتي المن مع مكونات الكيميونباتية بيّن أن محتوى الأحماض الأمينية يُعزز كثرة تواجد المن ولكن لا callose ولا التانين المكثف، أو الحشرات المفيدة تظهر لعب دور في هذا. كمية الكربوهيدرات في أوراق اليوسفية تتناسب بشكل إيجابي مع كثرة تواجد المن *A. spiraeicola* ولكن ليس مع من *A. gossypii* الذي لا يفضل تركيزات عالية من البرولين. كثرة تواجد *A. spiraeicola* على اليوسفية مقارنة بـ *A. gossypii* يمكن تفسيره بتجاوب أفضل مع مستويات عالية من البرولين وأفضل تحويله لطاقة الأيضية الورقية.

من يونيو 2012 إلى يونيو 2013، أقيمت دراسة المجتمعات من حشرات مفيدة المحصلة في بساتين حمضيات نموذجية، حيث تم تحصيل 2776 فرد موزعة في 8 رتب و 25 عائلة والأفراد الذين ينتمون إلى 55 نوعا من الحشرات. من ناحية الثروة المحصلة و المقارنة بينها: ذوات الجناحين (Diptera)، نصفيات الجناح (Hemiptera)، Neuroptera، Dermaptera و Mantodea (2-4%)، رتبة غشائية الأجنحة (Hymenoptera) هو الأكثر بـ 18 نوعا من حشرات (33%)، يليه غمدية الأجنحة بـ 17 نوعا من حشرات (31%)، وترتيب العناكب (Aranea) يحتوي على 12 نوعا من الحشرات المفترسة بمجموع (22%). عموما، تظهر خمس مجموعات مفترسة في غضون العام: المجموعة المفترسة العامة تتكون أساسا من النمل والعناكب

المجموعة المفترس للمن ، و coccidiphages و aleurodiphages ، والطفيليات. من خلال تطبيق مختلف التحليلات متعددة المتغيرات، لقد أظهرنا الاختلافات الموسمية في تكوينها بين المجموعات خلال التطوير الفيزيولوجي لليوسفية. يوجد اختلاف كبير في التنوع والثراء وهذا ما يفسر الرتب المختلفة للمفصليات الحميدة في تجمعات الغذاء الموسمية. الأنواع الرئيسية التي تشارك في الاختلافات التركيبية ضمن نفس المجموعة الوظيفية الموسمية هي *Cales noacki* ، *Aphidoletes aphidimyza* ، *Metaphycus flavus* ، *Chrysoperla carnea* ، *Aphytis melinus* ، *Rodolia cardinalis* ، *Metaphycus helvolus* ، *Scymnus subvillosus* و *Episyrphus balteatus*. يبدو هذا التركيب للحشرات المفترسة مرتبط بشكل خاص بانتشار وفترة فريستها المضيئة الخاصة بها مثل *Aleurothrixus floccosus* ، *Aphis spiraecola* ، *Aphis gossypii* و *Icerya purchasi* .

الكلمات الرئيسية: المن ، اليوسفية ، التنوع ، حشرات مفيدة، التمثيل الغذائي الطاقوي ، وصلات التغذية .

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie **Dieu** de m'avoir donné la force et le courage nécessaire pour réaliser ce travail.

A l'issue de ce travail de recherche, je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères remerciements à Mme Allal-Benfekih Leila, Professeur à l'Université de Saad Dahleb de Blida, et directrice de cette thèse, pour m'avoir conseillée et m'avoir renouvelé sa confiance jusqu'à la fin de la thèse. Sa présence, son écoute et ses conseils avisés m'ont énormément aidé à m'affirmer et à évoluer en tant que jeune chercheuse. Je lui adresse ici toute ma reconnaissance et mon admiration.

Je ne sais combien remercier Dr. Gaëlle Saladin, maître de conférences à la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles (LCSN) pour avoir accepté de co-diriger avec beaucoup d'attention et de soin cette thèse, pour sa disponibilité et son soutien de chaque instant. A chaque étape du travail, elle a su me guider avec une grande patience. Pour m'avoir donné goût à la recherche et pour ses encouragements à réaliser ce des extractions et des dosages. Elle a fait preuve de beaucoup de compréhension dans les moments les plus difficiles et n'a jamais cessé de me soutenir et de m'encourager. Je lui témoigne ici ma profonde gratitude et toute mon amitié.

Qu'il me soit permis d'exprimer ma profonde gratitude à Monsieur Daniel Petit, maître de conférences à la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges, pour m'avoir guidée, conseillée et orientée avec beaucoup de pertinence, chaque fois que cela était nécessaire. Je lui rends hommage pour avoir accepté de faire partie du jury.

Mes sincères remerciements vont également à Mr. le professeur Ferran Garcia Marí du département des sciences agronomiques (Université polytechnique de Valence, Institut méditerranéen des sciences agroforstières, Valence, Espagne) pour m'avoir guidée, conseillée et orientée avec beaucoup de pertinence durant mon séjour à Valence afin d'identifier ma collection entomologique réalisée avec mes récoltes dans les vergers de la Mitidja ainsi que pour le cadre qui a été mis à ma disposition pour assurer ma formation.

Mes remerciements à Mr professeur Djazouli Z. H. Je lui dois l'essentiel de ma formation en recherche. Durant toutes ces années, il m'a encouragée et m'a aidée à progresser. La voie de la raison, il a toujours su trouver les mots pour me reconforter. Boussole plus que GPS, il était toujours présent pour m'indiquer la direction et m'aider à garder le cap dans les tempêtes mais il m'incitait et m'apprenait également à rechercher par moi-même l'itinéraire à suivre. Même si cet apprentissage ne m'a pas toujours paru aisé, je tiens à lui dire que je lui en suis reconnaissante car je sais que cela m'a permis de grandir, de construire mon raisonnement, d'acquérir de l'autonomie et ainsi fait de moi une meilleure chercheuse. Merci pour sa simplicité, sa bonne humeur et son humour.

Je suis aussi très reconnaissante envers Mr. le professeur Snoussi Sid Ahmed directeur du laboratoire de biotechnologie des productions végétales, pour avoir accepté de faire de moi un membre de son laboratoire, et sans oublier ses encouragements. Je lui témoigne ici ma profonde gratitude.

J'exprime ma gratitude Mme le professeur Krimi Z. pour ses qualités humaines et scientifiques, le soutien qu'elle n'a pas cessé de me prodiguer, et pour accepter de présider mon jury.

Je tiens à exprimer mes remerciements et mes respects aux membres du jury de thèse d'avoir accepté d'honorer et d'enrichir mon travail. Pour cela, je leur exprime ma profonde reconnaissance.

Sans oublier les discussions étonnantes et enrichissantes avec Mesdames professeur Guendouz A., Djazouli Z., Moumen S., Nebih D. et Ramini L. pour m'avoir soutenue moralement et encouragée à tout moment. Toute ma gratitude pour leurs nombreux conseils et leurs soutiens constants, leurs suggestions et leurs encouragements tout au long de mon parcours d'études.

Je dis un très grand merci à mes enseignants et collègues du département d'Agronomie de Blida, Messieurs Aroun M.E.F. et Bounaceur F. ainsi qu'à Monsieur Merah O. maître de conférences à l'Université Paule Sabatier de Toulouse.

A Madame Amina Djemai, pour sa gentillesse et sa disponibilité.

A Mesdames Florence Vallet du département des sciences du vivant de la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges et Christelle Gady du Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles (LCSN) de la Faculté des Sciences et Techniques de Limoges pour leur accueil chaleureux, leur bonté et leur enthousiasme.

Je ne pourrais oublier de remercier Mr C. et son équipe pour leur service précieux pour la collection des données climatiques.

Je tiens à remercier Mr. professeur OUMOUNA Mustapha pour son aide et ses précieux conseils.

Je remercie également tous les collègues et le personnel administratif de la section de Sciences de la Nature et de la Vie de la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université Dr. YAHIA Farès de Médéa.

Je tiens à remercier également tout le personnel administratif et les collègues au sein de l'université de 08 mai à Guelma et surtout Mme Alloui, Mme Chahat, Mme Laouar Hadia, Mlle Belkacem Sofia et Mr. Darradj.

J'aimerais aussi remercier tous mes amis et plus spécialement : Nassima, Rabab, Mouna, zakia, Abla, Ali et Chihab qui m'ont accompagnée et soutenue. Enfin, je remercie spécialement, du fond du cœur tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, pour leur soutien incroyable, leur patience et leur présence affectueuse à mes côtés jusqu'à la dernière minute.

Un très grand merci à ma fille Meriem qui a donné une saveur à ma vie et encours plus de volonté et de courage pour terminer le chemin.

Enfin un autre grand merci à ma famille qui m'a accompagnée tout au long de ce projet.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents en témoignage de l'amour, du respect et de ma profonde et éternelle gratitude que je leur porte et ma reconnaissance pour leur soutien, je ne les remercierai jamais assez, pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Je dédie de tout mon cœur ce travail à ma fille Meriem.

À ma grande mère.

À l'âme de mon frère Mohamed.

*À mes chers sœurs et frères, belles sœurs et beaux-frères,
nièces et neveux et à tous mes amis et collègues.*

À toute la famille Mostefaoui et Messak.

Mostefaoui Houda

SOMMAIRE

RESUME.....	I
ABSTRACT.....	II
ملخص.....	III
REMERCIEMENTS.....	IV
DEDICACES.....	V
SOMMAIRE.....	VI
LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
INTRODUCTION GENERALE.....	23
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DES AGRUMES ET DE LA REGION AGRICOLE DE LA MITIDJA.....	26
1. Classification, origine et cycle de développement des agrumes.....	26
2. Importance des agrumes.....	30
3. Les conditions environnementales.....	36
4. Présentation de la région agricole de la Mitidja.....	39
CHAPITRE 2 : LES PUCERONS DES AGRUMES.....	49
1. Systématique et caractéristiques morphologiques.....	49
2. Biologie des pucerons.....	55
3. Facteurs de développement.....	61
4. Présentation des principaux aphides des agrumes.....	67
5. Dégâts causés par les pucerons et méthodes de lutte.....	73

CHAPITRE 3 : INTERACTIONS PLANTES – INSECT PHYTOPHAGES – AUXILIAIRES.....	77
1. Le régime phytophage.....	77
2. Résistance des plantes aux phytophages affectant le processus de colonisation.....	95
3. La compétition interspécifique.....	104
CHAPITRE 4: OBJECTIFS ET DEMARCHE EXPERIMENTALE.....	109
1. Contexte et objectifs.....	109
2. Démarche expérimentale.....	111
CHAPITRE 5: MATERIELS ET METHODES.....	116
1. Caractéristiques des vergers d'étude.....	116
2. Méthodologies d'échantillonnage.....	122
3. Dosages biochimiques chez les pucerons.....	126
4. Dosages biochimiques dans les feuilles de clémentinier.....	127
5. Exploitations des données.....	130
CHAPITRE 6: RESULTATS.....	135
1. Relations entre support nourricier et pucerons.....	135
2. Relations entre pucerons et paramètres abiotiques et biotiques.....	157
3. Composition de l'arthropodofaune auxiliaire associée au clémentinier dans la Mitidja centrale.....	176
CHAPITRE 7 : DISCUSSION GENERALE.....	211
1. Relations entre support nourricier et pucerons.....	213
2. Relations entre pucerons et paramètres abiotiques et biotiques.....	229
3. Composition de l'arthropodofaune auxiliaire associée au clémentinier dans la Mitidja centrale.....	239
CONCLUSION.....	262
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	271
APPENDICE.....	321

LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES

Figure 1.1 :	Représentation schématique des stades phénologiques des agrumes sous climat méditerranéen [59].....	29
Figure 1.2 :	Répartition géographique de la production d'agrumes destinés au marché [61].....	31
Figure 1.3 :	Production mondiale d'agrumes par groupe entre 1961 et 2010 en tonnes [61].....	31
Figure 1.4 :	Comparaison entre l'agrumiculture et les autres cultures fruitières algériennes [64].....	32
Figure 1.5 :	Répartition de la superficie agrumicole par wilaya [68].....	33
Figure 1.6 :	Superficies occupées par les principales exploitations agricoles dans la région de Blida [Ministère de l'agriculture et 72].....	34
Figure 1.7 :	Superficies occupées en arboriculture fruitière dans la région de Blida [Ministère de l'agriculture et 72].....	34
Figure 1.8 :	Situation des productions et rendements des principales variétés d'agrumes cultivées en Mitidja entre 2002 et 2006 [Ministère de l'agriculture].....	35
Figure 1.9 :	Positionnement géographique de la limite de la plaine de la Mitidja [Programme d'aménagement côtier (PAC) 2006].....	40
Figure 1.10 :	Variation des températures maximales et températures minimales au cours de la période 1984-2013.....	42
Figure 1.11 :	Précipitations annuelles dans la plaine de la Mitidja pour la période de 1967 à 2013.....	43
Figure 1.12 :	Localisation de la Mitidja dans le climagramme d'Emberger.....	45
Figure 1.13 :	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен pour la période de 1984 à 2013 dans la région de la Mitidja.....	45
Figure 1.14 :	Humidité moyenne mensuelle (en %) dans la région de la Mitidja durant la période 1984 - 2013.....	46
Figure 2.1 :	Schéma de l'anatomie d'un puceron aptère [modifié d'après 128].....	50

Figure 2.2 :	Classification des <i>Aphididae</i> proposée par HEIE [6] (a) et WOJCIECHOWSKI [135] (b).....	52
Figure 2.3.	Tête d'un puceron [138].....	53
Figure 2.4 :	Schéma d'une antenne de puceron en position de recherche [137].....	53
Figure 2.5 :	Appareil buccal de type piqueurs-suceurs [139].....	53
Figure 2.6 :	Prélèvement de nourriture dans le phloème [140].....	53
Figure 2.7 :	Schéma de l'anatomie générale d'un puceron. [modifié d'après 140].....	54
Figure 2.8 :	Schéma synthétique du cycle de vie du puceron [149].....	56
Figure 2.9 :	Les différents cycles des pucerons [13].....	57
Figure 2.10 :	Polymorphisme chez le puceron cendré du chou [138].....	58
Figure 2.11 :	Polymorphisme et polyphénisme chez le puceron des épis des céréales [140].....	60
Figure 2.12 :	Cortège de prédateurs observés dans les colonies du puceron [193].....	64
Figure 2. 13:	Clé illustré de 12 espèces de pucerons ravageurs potentiels sur Citrus aux États-Unis. [220].....	68
Figure 2.14 :	<i>Aphis spiraecola</i> [225].....	69
Figure 2.15 :	<i>Aphis gossypii</i> [225].....	70
Figure 2.16 :	<i>Toxoptera aurantii</i> [225].....	71
Figure 2.17 :	<i>Toxoptera citricida</i> [225].....	72
Figure 2.18 :	<i>Myzus persicae</i> [225].....	72
Figure 2.19 :	Dégâts du puceron sur feuilles de clémentinier dans la région de Mitidja [crédit photographique : H. Mostefaoui].....	74
Figure 2. 20 :	Physiologie d'alimentations des pucerons [260].....	74
Figure 3.1 :	Principaux devenir du pyruvate chez les insectes [modifié d'après NATION [281] et SAUVION <i>et al.</i> [266].....	80
Figure 3.2 :	Utilisation des phytostérols chez les insectes [290].....	81
Figure 3.3 :	Représentation du flux d'énergie au sein d'un organisme [modifié d'après 292 et 293].....	83
Figure 3.4 :	Progression de l'état de santé d'un individu exposé à différentes contraintes environnementales [294].....	83
Figure 3.5 :	Les différents niveaux d'évaluation du risque et leurs relations temporelles [301].....	85
Figure 3.6 :	Evaluation de la qualité de l'environnement par une approche globale chimique et biologique [311].....	87
Figure 3.7 :	Diagramme illustrant les différentes approches liées à l'évaluation de la qualité environnementale [313].....	87
Figure 3.8 :	Illustration de la procédure de recherche de choix et d'acceptation d'une plante hôte par un insecte [338].....	91
Figure 3.9 :	Utilisation des informations chimiques par les insectes spécialistes et les insectes généralistes [348].....	92

Figure 3.10 :	Schéma représentant les différentes catégories de médiateurs chimiques [358].....	93
Figure 3.11 :	Présentation des relations plantes tritrophiques et interventions des molécules informatives en tant que médiateurs chimiques [358].....	94
Figure 3.12 :	Principaux «modes d'action» joués par le miellat à l'égard des insectes auxiliaires [360].....	95
Figure 3.13 :	Catégories de la défense directe de la plante contre les insectes herbivores [381].....	97
Figure 3.14 :	Les éliciteurs des réactions de défense des plantes [266 et 383].....	98
Figure 3.15 :	Voies principales de synthèse des composés secondaires chez les plantes supérieures [403].....	99
Figure 3.16 :	Les métabolites secondaires produits par les plantes suite à des agressions biotique et / ou abiotiques [400].....	101
Figure 3.17 :	Modèle des voies de transduction en réponse à la blessure [404].....	102
Figure 3.18 :	Modèle de la réponse des plantes à la présence de pucerons [404].....	103
Figure 3.19 :	Schémas simplifiés de prédation intraguilde unidirectionnelle (à gauche) et bidirectionnelle (à droite). Les flèches représentent les relations de prédation ou de parasitisme.....	106
Figure 5.1 :	Localisation des vergers d'étude dans la région de Mitidja.....	116
Figure 5.2 :	Plan parcellaire de l'EURL FSPP Cinq Palmiers Oued El Alleug, Blida.....	117
Figure 5.3 :	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussens de la région d'Oued El-Alleug durant les années 2010, 2011, 2012...	118
Figure 5.4 :	Localisation du verger de clémentiniers étudié dans région de BOUFARIK [Google Maps, 2012].....	119
Figure 5.5 :	Situation du verger de clémentinier étudié dans la région d'El-Affroun [source : Google Maps, 2012].....	120
Figure 5.6 :	Localisation du verger situé près de Chiffa [source : Google Earth, 2012].....	121
Figure 5.7 :	Verger d'étude dans la commune d'Oued El-Alleug situé près des agglomérations de Diar El Bahri.....	122
Figure 5.8 :	Dispositif expérimental de la parcelle étudiée.....	123
Figure 5.9 :	Méthode de disposition et d'échantillonnage sur terrain.....	124
Figure 5.10 :	Plan d'échantillonnage dans la parcelle de clémentinier.....	125
Figure 6.1 :	Variation temporelle des constituants phytochimiques des feuilles non attaquées de clémentinier.....	137
Figure 6.2 :	Variation temporelle des teneurs en constituants alimentaires des feuilles du clémentinier en 2010.....	142
Figure 6.3 :	Variation temporelle des teneurs en constituants non alimentaires des feuilles du clémentinier en 2010.....	143

Figure 6.4 :	Evolution des réserves lipidiques et glucidiques des deux espèces aphidiennes sur <i>Citrus clementina</i> en 2010.....	145
Figure 6.5 :	Evaluation quantitative des réserves énergétiques glucidiques et lipidiques des deux espèces aphidiennes sur <i>Citrus clementina</i> en fonction de la poussée de sève.....	146
Figure 6.6 :	Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques glucidiques d' <i>Aphis spiraecola</i>	149
Figure 6.7 :	Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques glucidiques d' <i>Aphis gossypii</i>	150
Figure 6.8 :	Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques lipidiques d' <i>Aphis spiraecola</i>	151
Figure 6.9 :	Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques lipidiques d' <i>Aphis gossypii</i>	152
Figure 6.10 :	Dynamiques annuelles des abondances des populations et des différentes formes biologiques d' <i>A. spiraecola</i> et <i>A. gossypii</i>	158
Figure 6.11 :	Structurations annuelles comparées des abondances des formes biologiques aphidiennes en 2010.....	160
Figure 6.12 :	Structurations annuelles comparées des abondances des formes biologiques aphidiennes en 2011.....	161
Figure 6.13 :	Structurations annuelles comparées des abondances des formes biologiques aphidiennes en 2012.....	162
Figure 6.14 :	Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2010, 2011 et 2012.....	166
Figure 6.15 :	Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2010.....	167
Figure 6.16 :	Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2011.....	168
Figure 6.17 :	Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2012.....	169
Figure 6.18 :	Fluctuations annuelles des prédateurs aphidiphages en 2010, 2011 et 2012 sur le clémentinier en Mitidja centrale.....	172
Figure 6.19 :	Fluctuations annuelles globales des prédateurs aphidiphages en 2010, 2011 et 2012 sur le clémentinier en Mitidja centrale...	172
Figure 6.20 :	Pourcentage du nombre d'espèces d'insectes inventoriés par ordre au niveau des vergers d'étude.....	183
Figure 6.21 :	Pourcentage d'abondance d'insectes inventoriés par ordre au niveau des vergers d'étude.....	183
Figure 6.22 :	Répartition du nombre d'insectes inventoriés par famille au niveau des vergers d'étude.....	185

Figure 6.23 :	Répartition de l'abondance des insectes inventoriés par famille au niveau des vergers.....	185
Figure 6.24 :	Fréquence de présence des auxiliaires agrumicoles en Mitidja centrale (2012-2013).....	191
Figure 6.25 :	Evolution des communautés auxiliaires en vergers d'agrumes en 2012-2013.....	193
Figure 6.26 :	Barycentre des communautés trophiques saisonnières en vergers d'agrumes en 2012-2013 dans la Mitidja centrale.....	194
Figure 6.27 :	Analyse par AFC des communautés saisonnières des arthropodes bénéfiques en vergers d'agrumes de 2012 à 2013.....	199
Figure 6.28 :	Richesses et diversités des groupes trophiques en vergers d'agrumes selon la saison.....	201
Figure 6.29 :	Diagrammes rang-fréquence des communautés des généralistes des vergers agrumicoles de la Mitidja Centrale en 2012-2013.....	204
Figure 6.30 :	Diagrammes rang-fréquence des communautés d'aphidiphages des vergers agrumicoles de la Mitidja Centrale en 2012-2013.....	205
Figure 6.31 :	Diagrammes rang-fréquence des communautés des coccidiphages des vergers agrumicoles de la Mitidja Centrale en 2012-2013.....	206
Figure 7.1 :	Corrélations temporelles entre les contenus de métabolites foliaires, les concentrations de pucerons composés énergétiques et l'abondance des populations d'aptères d' <i>A. spiraecola</i> et <i>A. gossypii</i>	226

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 :	Les différents types de sols dans la Mitidja [80].....	41
Tableau 1.2 :	Caractéristiques des vents de la région de Mitidja pendant la période 1993 à 2013 [116].....	47
Tableau 3.1 :	Besoins en acides aminés des insectes [266].....	79
Tableau 3.2 :	Présentation de deux classifications de biomarqueurs (BM) d'après GUERLET [306].....	86
Tableau 3.3 :	Synthèse des différentes modalités sensorielles impliquées dans les comportements de recherche de la plante hôte [329].....	89
Tableau 4.1 :	Principales cultures et superficies de la ferme d'étude « l'EURLFSPP Les Cinq Palmiers » d'Oued El-Alleug.....	112
Tableau 4.2 :	Cultures et superficies de la ferme d'étude « Domaine Chouhaha ».....	113
Tableau 6.1 :	Test de corrélation croisée et décalage temporel des constituants phytochimiques des feuilles non attaquées (FNA) du clémentinier en 2010 par rapport aux glucides foliaires.....	138
Tableau 6.2 :	Taux moyens des constituants phytochimiques des feuilles attaquées (FA) et non attaquées (FNA) du clémentinier au cours de l'année 2010.....	141
Tableau 6.3 :	Evolution des réserves lipidiques et glucidiques des deux espèces aphidiennes sur <i>Citrus clementina</i> en 2010.....	144
Tableau 6.4 :	Analyse de la variation temporelle des réserves énergétiques d' <i>Aphis spiraecola</i> et <i>Aphis gossypii</i> sur le clémentinier en 2010.....	147
Tableau 6.5 :	Effet de la variation temporelle des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier sur les réserves énergétiques glucidiques et lipidiques des aphides.....	154

Tableau 6.6 :	Régressions multiples des interactions entre les abondances aphidiennes et les teneurs en constituants foliaires des feuilles infestées.....	156
Tableau 6.7 :	Corrélations de Pearson entre les abondances annuelles des différentes formes biologiques d' <i>A. spiraecola</i> et <i>A. gossypii</i>	159
Tableau 6.8 :	Décalage temporel entre les abondances annuelles des différentes formes biologiques des deux espèces d'aphides en 2010, 2011 et 2012.....	163
Tableau 6.9 :	Comparaison des effectifs en 2010/2011/2012 des aphidiphages étudiées sur <i>Citrus clementina</i>	171
Tableau 6.10 :	Comparaison de la variation temporelle des effectifs aptères d' <i>Aphis spiraecola</i> , <i>Aphis gossypii</i> et leurs cortèges aphidiphages sur le clémentinier en Mitidja Centrale.....	173
Tableau 6.11 :	Corrélations (R de Pearson) entre les différents stades biologiques d' <i>Aphis spiraecola</i> et <i>Aphis gossypii</i> avec leurs aphidiphages se développant sur <i>Citrus clementina</i> en 2010, 2011 et 2012.....	175
Tableau 6.12 :	Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Araneae) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.....	177
Tableau 6.13 :	Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Coleoptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.....	178
Tableau 6.14 :	Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Dermaptera, Diptera et Hemiptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.....	179
Tableau 6.15 :	Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Hymenoptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.....	180
Tableau 6.16 :	Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Mantodea et Neuroptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.....	181
Tableau 6.17 :	Insectes inventoriés par ordre au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.....	182
Tableau 6.18 :	Insectes inventoriés par famille au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.....	184
Tableau 6.19 :	Composition des communautés fonctionnelles de l'arthropodofaune auxiliaire rencontrée sur agrumes dans la Mitidja centrale en fonction de leur régime alimentaire.....	186
Tableau 6.20 :	Composition des communautés fonctionnelles de l'arthropodofaune auxiliaire rencontrée sur agrumes dans la Mitidja centrale on fonction de leurs statut trophique.....	188

Tableau 6.21 :	Évaluation des indices écologiques de la biodiversité agrumicole dans les vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.....	189
Tableau 6.22 :	Paramètres écologiques des communautés fonctionnelles rencontrées sur les agrumes dans la Mitidja centrale.....	190
Tableau 6.23 :	Activité (%) des Coccinellidae entomophages entre Octobre et Juin 2012.....	196
Tableau 6.24 :	Comparaison des pentes et probabilités associées aux fluctuations des communautés bénéfiques saisonnières en vergers d'agrumes de la Mitidja Centrale.....	200
Tableau 6.25 :	Résultats de la comparaison des diversités entre les assemblages des différents groupes fonctionnels agrumicoles durant les périodes de poussée de sève.....	203
Tableau 6.26 :	Comparaison des groupes trophiques par ANOSIM des communautés bénéfiques en vergers d'agrumes de la Mitidja Centrale.....	208
Tableau 6.27 :	Analyse SIMPER des groupes en fonction de leur contribution dans les saisons	209

INTRODUCTION GENERALE

Les agrumes constituent la première production fruitière algérienne. La plaine de la Mitidja, avec une superficie de 16 970 ha, correspond à 30 % de la surface agrumicole d'Algérie [1 et 2]. Les rendements dans la plaine de la Mitidja, avec 23,4 tonnes par hectare, sont classés en troisième position en Algérie après Mostaganem et Boumerdes. Le clémentinier (*Citrus x clementina* Hort. Ex Tan.), introduit en Algérie en 1902, occupe la deuxième place par rapport aux autres agrumes et correspond à plus de 16 % de la production de la Mitidja. Cependant, les clémentiniers subissent depuis de plusieurs années diverses contraintes d'ordre hydrique, technique, de vieillissement des vergers ainsi que d'autres contraintes d'ordre phytosanitaire dues aux maladies virales ainsi qu'à de nombreux parasites qui ont accéléré quantitativement et qualitativement l'altération des produits et le dépérissement des vergers [3 et 4]. Les ravageurs, qui causent d'importants dégâts aux agrumes tant sur la plante que sur la récolte, sont extrêmement variés et nombreux avec par exemple plus de 120 arthropodes ravageurs [5]. Une recrudescence de ces ravageurs depuis une quinzaine d'années met ainsi en péril la santé des vergers.

Le groupe des Homoptères comprend plusieurs espèces hautement préjudiciables à l'agrumiculture dans la plaine de la Mitidja. Bien que les dégâts occasionnés par les aphides sont généralement ponctuels [6 et 7], les espèces *Aphis spiraecola* Patch et *Aphis gossypii* Glover sont pourtant les principaux insectes ravageurs d'agrumes en Mitidja [8 et 9] et elles sont responsables de pertes de production estimées de 25 à 30 % [10]. De par leur important pouvoir de multiplication, des dégâts considérables leur sont imputés suite aux toxicoses ou aux affaiblissements de la plante hôte induits par les prélèvements de sève et la transmission de virus. Leurs piqûres provoquent l'enroulement du feuillage tout en diminuant la surface qui est en contact avec le soleil, ce qui induit la réduction et/ou

l'arrêt de l'approvisionnement en métabolites essentiels pour la plante [11 ; 12 ; 13 et 14]. De plus, leur miellat favorise le développement de champignons saprophytes dont les spores constituent une fumagine noircissant la surface des feuilles et des fruits.

En Algérie et comme dans bon nombre de pays agrumicoles, la pression de ces ravageurs handicape sérieusement le développement qualitatif et quantitatif des agrumes et entraîne une utilisation massive de pesticides, lesquels peuvent avoir des conséquences néfastes tant sur la santé humaine que sur l'environnement [15 ; 16 ; 17, 18 et 19]. De plus, le contrôle chimique des ravageurs pose souvent des problèmes du fait que les pesticides ne se fixent pas à la face inférieure des feuilles, lieu où sont généralement concentrés les ravageurs. Par ailleurs, le phénomène d'accoutumance, de résistance vis-à-vis de nombreuses familles chimiques et les problèmes de résidus sur les fruits sont fréquents [20 ; 21 ; 22 ; 23 et 24]. L'utilisation massive de pesticides peut aussi constituer une entrave à l'action bénéfique de la faune auxiliaire [25], ce qui pose problème pour la conservation de la biodiversité [26 et 27]. Il est à noter au passage que certains pesticides considérés comme trop polluants seront bientôt interdits d'utilisation dans les pays de la Communauté Européenne, ce qui pourrait par la suite s'appliquer à l'Algérie avec l'objectif de mettre en avant l'image d'une agrumiculture soucieuse de l'environnement.

Plusieurs moyens de lutte intégrée ont été mis en place pour la protection du verger agrumicole, de son environnement et des consommateurs [28]. Au niveau des stations de l'Institut National de la Protection des Végétaux en Algérie, des agents biologiques ont été utilisés dans les vergers agrumicoles pour contrôler la mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella*) ou l'aleurode floconneuse (*Aleurothrixus floccosus*). Par contre, la lutte contre les aphides reste un problème majeur et les quelques études disponibles [24 ; 29 ; 30 et 31] semblent s'orienter vers la nécessité de mieux comprendre la régulation des populations d'ennemis naturels des pucerons. La faune auxiliaire est donc un élément à prendre en considération dans la lutte contre les aphides. En effet, les composés volatils libérés par le miellat des pucerons constituent pour plusieurs auxiliaires des signaux de source de nourriture, de proies ou d'hôtes. Ces phénomènes ont été mis en

évidence notamment chez des coccinelles, cécidomyiides, syrphides, chrysopes et parasitoïdes.

Le but de ce travail est de trouver des moyens de lutte efficaces contre les aphides (plus précisément *A. spiraeicola* et *A. gossypii*) du clémentinier tout en respectant l'environnement. Pour y parvenir, il est nécessaire de bien comprendre le développement et les interactions entre les différentes espèces en présence, c'est-à-dire le clémentinier, les aphides et la faune auxiliaire. Ce travail s'articule donc autour de trois aspects :

- caractériser les cycles biologiques et la dynamique d'*A. spiraeicola* et *A. gossypii* ainsi que de la faune associée,
- caractériser l'état de santé des feuilles de clémentinier soumises à une attaque par les aphides et les moyens de défense mis en place par ces feuilles pour limiter l'attaque,
- établir les relations entre les aphides, les auxiliaires et le clémentinier afin de mettre en évidence les éléments susceptibles de réduire le développement des aphides.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DES AGRUMES

ET DE LA REGION AGRICOLE DE LA MITIDJA

1. Classification, origine et cycle de développement des agrumes

1.1. Classification des agrumes

Ce sont des arbres de la famille des Rutacées composée de 145 ou de 156 espèces selon que les auteurs ont ou non pris en compte les hybrides [32 ; 33 et 34]. En effet, il existe entre les agrumes de larges possibilités d'hybridations interspécifiques ainsi que de la polyembryonie qui fixe ces structures hybrides [35]. Tanaka [32] a ainsi classé comme espèce de nombreux hybrides intra ou interspécifiques. Sous le nom agrumes sont regroupées plusieurs espèces du genre *Citrus* et quelques rares espèces des genres *Fortunella* et *Poncirus* [36]. Les *Citrus* se croisent naturellement entre eux et sont sujets à des mutations. Les hybridations entre les trois genres cités sont également possibles [36]. La famille des Rutacées (à laquelle appartiennent les agrumes) est classée dans la division des Magnoliophytes, le clade des Dicotylédones vraies (ou Eudicotylédones), le clade des Rosidées, le clade des Eurosidées II (ou Malvidées) et l'ordre des Sapindales [37].

Le genre *Poncirus* est essentiellement utilisé comme porte-greffe car ses fruits ne sont pas comestibles. Le genre *Fortunella* comprend 6 espèces dont 2 seulement font l'objet de quelques cultures et produisent des fruits appelés Kumquats. Le genre *Citrus* constitue le genre le plus important. Les espèces appartenant à ce genre sont cultivées pour leurs fruits qui sont consommés frais ou transformés, et pour leurs huiles essentielles [34].

1. 2. Origine et diffusion des agrumes et du clémentinier

Les agrumes, encore appelés Hespérides dans la mythologie grecque [38], sont originaires du Sud-Est asiatique, dans les régions allant du Nord-Est de l'Inde au nord de la Birmanie et celle du Sud de l'île de Hainan [39]. Leur culture commença à se propager au cours du premier millénaire avant notre ère à l'ensemble des pays du Sud-Est [34]. Aux alentours de l'an 1400, les portugais introduisirent l'oranger en Méditerranée. Les agrumes furent ensuite propagés sur les côtes orientales de l'Afrique jusqu'au Mozambique par les navigateurs arabes (X^{ème} siècle), à Haïti par Christophe Colomb (1493), puis au Mexique (1518), aux Etats-Unis (1569 à 1890) [40] et enfin, en 1654, dans la province du Cap en Afrique du Sud par les navigateurs anglo-hollandais [34 ; 41 et 42].

L'origine du clémentinier est toujours plus ou moins controversée. Pour certains, le clémentinier serait issu d'un croisement au hasard entre le Mandarinier commun et le Bigaradier Granito [43 ; 44 et 45]. Cet hybride a été découvert au 19^{ème} siècle à Messerghine (Oran, Algérie) par le Père Clément [46 et 47]. Pour d'autres auteurs, le clémentinier serait une variété de mandarinier (*Citrus reticulata* Blanco) probablement originaire d'Extrême-Orient du fait de sa ressemblance avec certains mandariniers [32 ; 48 et 49]. Cependant, des travaux plus récents attestent qu'il serait le résultat d'un croisement naturel entre un mandarinier et l'orange douce, *Citrus sinensis* (L.) Osb. [50 ; 51 et 52]. Actuellement, il existe deux clones de clémentinier en Algérie :

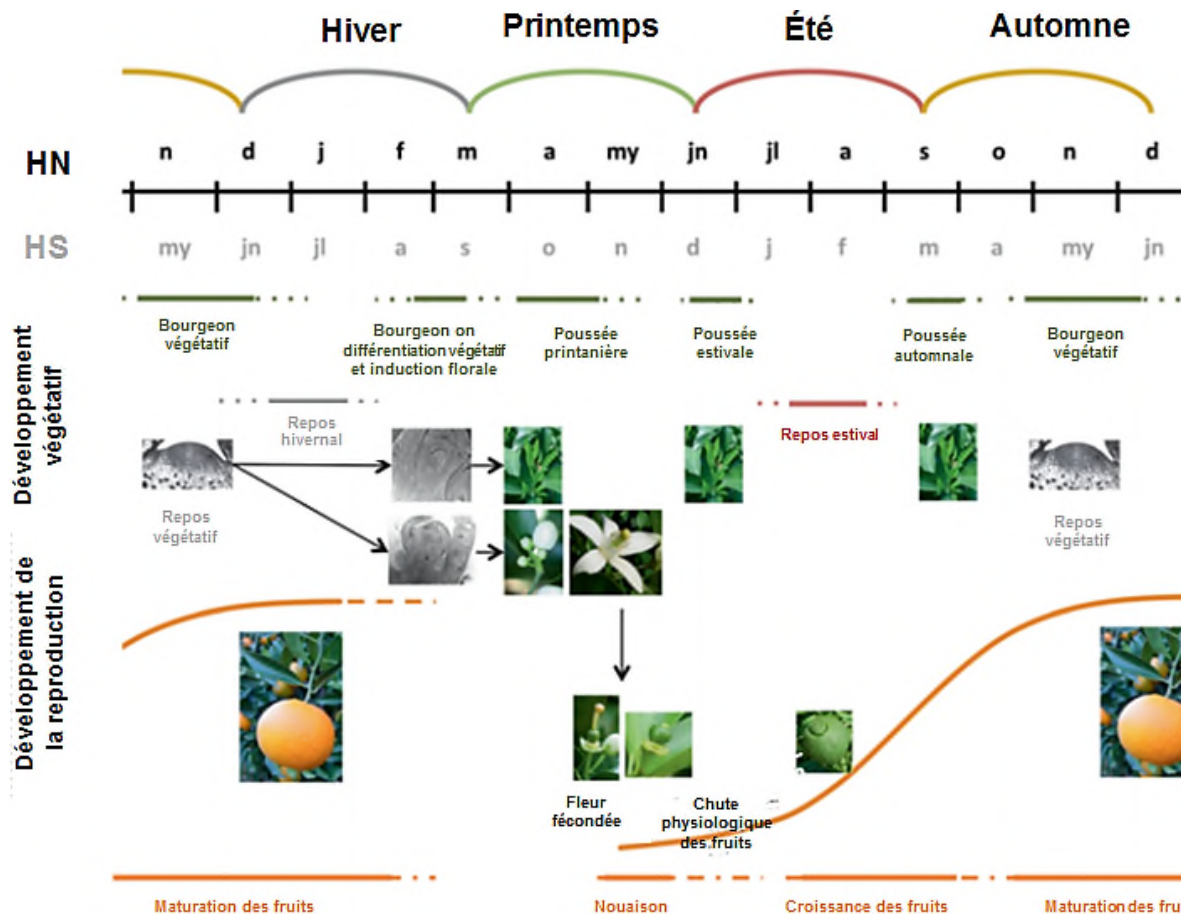
- Clone ordinaire avec une pollinisation croisée importante et un nombre élevé de pépins [46].
- Clone Montréal apparu en Algérie en 1940. Il est le plus répandu en Algérie car il fructifie davantage que le clémentinier ordinaire [53]. Ce clone auto-fertile peut produire des pépins même en absence de pollinisation [46 et 48].

Les cultivars de clémentinier sont sélectionnés sur la base de caractères d'intérêt commercial, tels que le calibre des fruits, la productivité, la précocité ou au contraire la tardivité afin de disposer d'un élargissement de la campagne de production et de commercialisation (Septembre / Octobre à Janvier / Février) [54]. Les caractères gustatifs sont également pris en compte ainsi que la facilité

d'épluchage et l'absence de pépins (parthénocarpie) observé dans les vergers monoclonaux [42 ; 46 ; 48 ; 52 ; 55 ; 56 et 57]. Cependant, les pollinisations croisées (par d'autres agrumes) engendrent le développement de pépins dans les clémentines [58]. Bien que la clémentine soit apparue relativement récemment, elle a pris une place très importante dans le bassin méditerranéen depuis la seconde moitié du 20^{ème} siècle et surtout au cours des 20 dernières années. Le bassin méditerranéen est la principale zone de production de clémentines, l'Espagne, le Maroc et l'Algérie y étant les plus grands pays producteurs [46].

1.3. Cycle de développement des agrumes

Le développement du système racinaire, tant en profondeur que latéralement, est localisé dans les premiers 100 cm de profondeur [34]. Le système aérien est limité en hauteur à quelques dizaines de cm lors de la première taille afin de favoriser le développement des branches charpentières, ces dernières étant limitées à 3, 4 ou 5 par la taille. Les feuilles sont persistantes, ce qui est un caractère d'adaptation à des hivers peu rigoureux (seul *Poncirus trifoliata* perd ses feuilles en hiver). La fleur des *Citrus* est composée de 3 à 5 sépales soudés colorés en vert, 4 à 8 pétales blancs ou légèrement colorés et 20 à 30 étamines soudées à leur base par groupes de 3 à 4. Les fruits diffèrent par leur coloration, leur forme, leur grosseur, la composition de leur jus et leur période de maturité [34]. En hiver, il y a un ralentissement de l'activité végétative des agrumes [34]. La croissance végétative (Figure 1.1) se manifeste sur les jeunes ramifications au cours des trois poussées de sève suivantes pour lesquelles les apports fractionnés d'engrais azotés et d'eau d'irrigation sont indispensables à leur soutien équilibré et au développement de nouvelles ramifications [34].



✓ La première poussée (P.S.1), qui a lieu au printemps (de fin février à début mai), est aussi appelée poussée printanière. Les bourgeons végétatifs et les inflorescences sont indifférenciés, fermés et recouverts d'écailles vertes. Le débourrement des bourgeons est marqué par un gonflement suivi d'une légère séparation des écailles vertes. Les ramifications s'allongent et de jeunes feuilles se développent. Leur teinte vert clair les rend très distinctes des autres feuilles plus âgées colorées en vert sombre. Sur ces nouvelles ramifications apparaissent des primordiums foliaires (boutons floraux) [34 ; 59 et 60]. La floraison du clémentinier est très abondante mais de nombreuses fleurs ne terminent pas leur maturation [53]. La chute naturelle et importante des fleurs est d'ordre physiologique et hormonal et s'avère nécessaire pour assurer un calibre convenable des fruits [34 et 48]. La pollinisation se fait lors de la pleine floraison et aboutira à seulement 1 % de fruits arrivant maturité. La fructification débute au stade de nouaison (début de

grossissement de l'ovaire après fécondation) puis le fruit augmente rapidement en volume de Mai à Juin jusqu'à un volume correspondant à environ 40 % du volume final. Les facteurs qui jouent un rôle dans le grossissement du fruit sont l'âge, la vigueur de l'arbre et les conditions climatiques [34] (Figure 1.1).

✓ La seconde poussée de sève (P.S.2) est observée en été (Juillet - Août) avec une intensité qui dépend des températures, des irrigations et de la vigueur des arbres. Cette poussée est en général moins importante que les poussées de printemps et d'automne. Cette période est marquée par la chute physiologique d'un certain nombre de fruits. Ceux qui restent continuent à grossir et atteignent environ 90 % de leur volume final tout en restant de couleur vert foncé [34 ; 60] (Figure 1.1).

✓ La troisième poussée de sève (P.S.3) se manifeste en automne (d'Octobre à fin Novembre) et assure en partie le renouvellement du feuillage. Cette période correspond aussi au grossissement final du fruit à sa coloration qui passe progressivement du vert à l'orange. La fin de cette période est marquée par le début de la sénescence et de l'abscission du fruit [59] (Figure 1.1).

2. Importance des agrumes

Les agrumes sont soit consommés comme fruit frais, soit utilisés dans la fabrication de produits dérivés (principalement des jus et des huiles essentielles) ou de coproduits (D-limonène, granulés de pulpe de citron...) et sont également connus pour avoir des propriétés médicinales utiles dans la lutte contre certaines maladies [59 et 61].

2.1. Production mondiale

Les agrumes représentent le groupe de fruits le plus important du commerce international avec 110 millions de tonnes par an [62]. Les principales zones de production d'agrumes sont localisées au Brésil, au niveau du bassin méditerranéen, aux Etats-Unis et en Chine [59 et 61] (Figure 1.2).

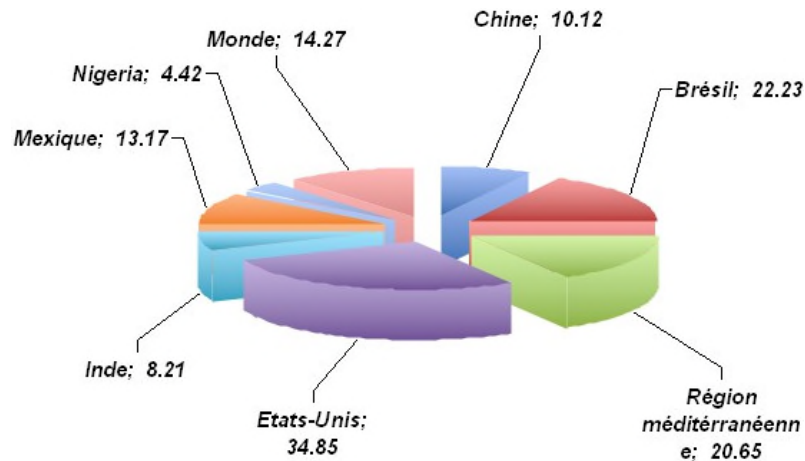


Figure 1.2 : Répartition géographique de la production d'agrumes destinés au marché [61].

La FAO [62] distingue 4 groupes de productions d'agrumes. Il s'agit du groupe des oranges, du groupe des pamplemousses et pomélos, du groupe des limes et citrons et de celui des petits agrumes. Dans cette dernière catégorie, la Chine avec 4 694 471 tonnes, était en 2009 le premier pays producteur à l'échelle mondiale. Elle est suivie du Nigéria (3 769 420 tonnes), de la Colombie (732 218 tonnes) et de la Guinée Conakry (244 002 tonnes) [63]. La clémentine représente environ 20 % de la production annuelle d'agrumes des pays du Bassin méditerranéen (30 % au Maroc), ce qui la classe en seconde position derrière les oranges 55 % [52]. La figure 1.3. présente l'évolution de la production mondiale d'agrumes.

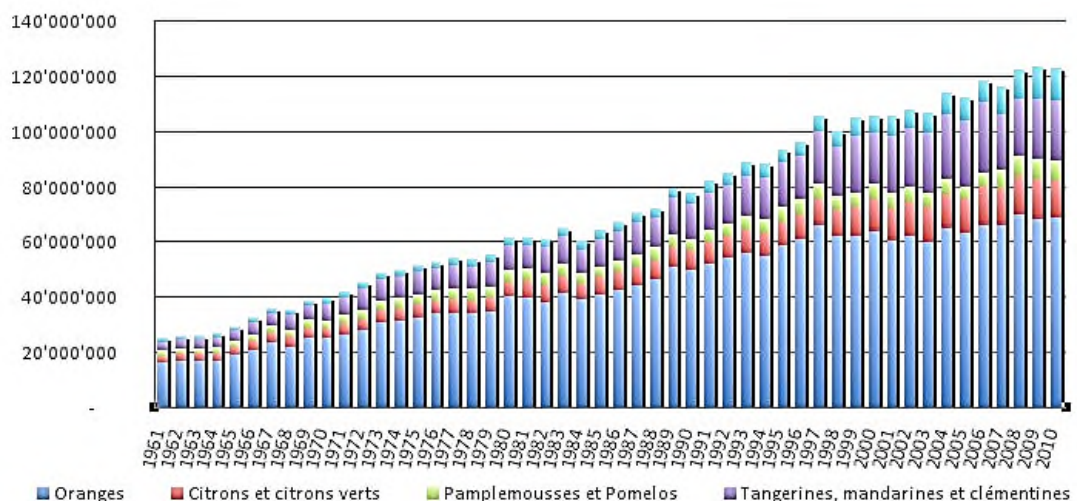


Figure 1.3 : Production mondiale d'agrumes par groupe entre 1961 et 2010 en tonnes [61].

L'augmentation de la production d'agrumes est principalement due à la croissance des terres cultivées consacrées aux agrumes et à un changement de comportement de la part des consommateurs dont le revenu progresse et dont les préférences s'orientent de plus en plus vers des produits sains et pratiques [61].

2.2. Production en Algérie

En Algérie, l'agrumiculture arrive en troisième position des surfaces destinées à la culture d'arbres fruitiers avec 11 % contre 40 % pour les cultures d'olivier et 14 % pour la viticulture (Figure 1.4.A) [64]. Cependant, en termes de rendement, ce sont les agrumes qui sont les plus productifs car ils représentent 27 % de la production totale des cultures fruitières devant les olives (22 %) et la vigne (11 %) [64] (Figure 1.4.B).

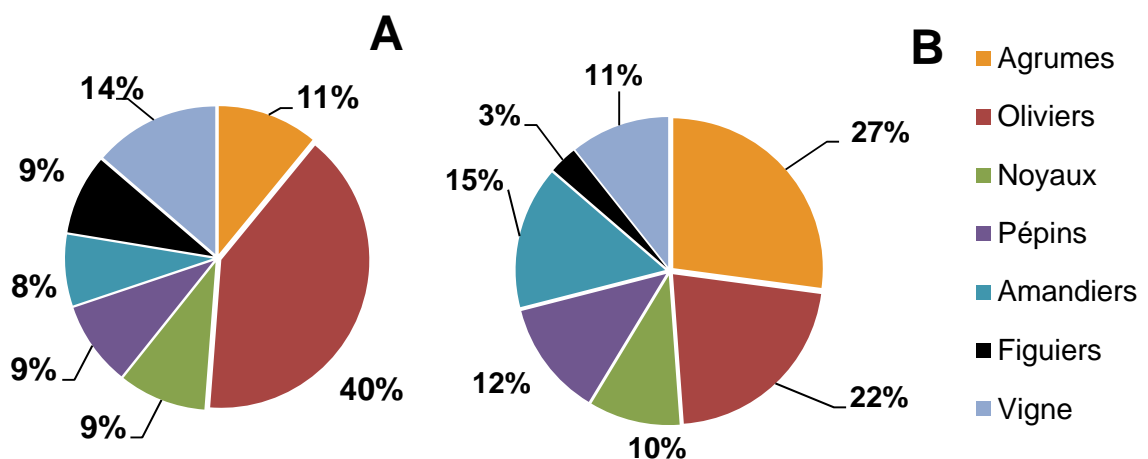


Figure 1.4 : Comparaison entre l'agrumiculture et les autres cultures fruitières algériennes [64].

A : pourcentage de superficie ; B : pourcentage de production.

L'agrumiculture algérienne est économiquement importante d'une part par contribution dans l'approvisionnement en fruits et d'autre part par sa participation potentielle dans l'exportation et par la mobilisation de l'emploi direct [65]. Elle couvre une superficie de 63 589 ha avec une production de 16,7 tonnes en 2009 [66]. Ce potentiel est concentré en grande partie au centre, dans la plaine de Mitidja, qui représente 44 % de la production totale des agrumes [1], à l'Ouest, dans la région de Relizane, Mostaganem, Mascara et Tlemcen, et à l'Est dans la région de Skikda et El-Taref [67] (Figure 1. 5).

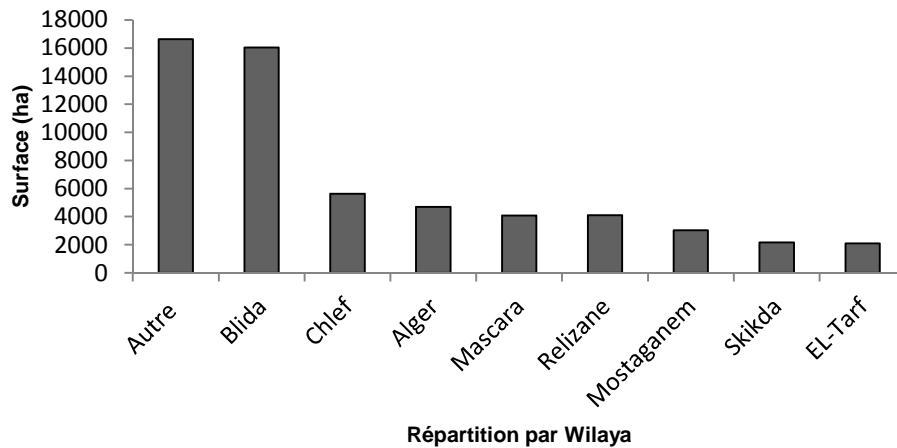


Figure 1.5 : Répartition de la superficie agrumicole par wilaya [68].

Le verger agrumicole regroupe un ensemble d'espèces d'agrumes : les orangers, les mandariniers, les citronniers et les pomelos [69]. L'agrumiculture algérienne a connu une progression sensible des plantations grâce aux efforts consentis dans le cadre du développement agricole et les pouvoirs publics mais malgré cette amélioration les rendements restent en dessous de la moyenne internationale et plus faibles que les rendements de nos voisins méditerranéens [66]. Cette situation est due au problème clé qui est le vieillissement des vergers. En effet, ces vergers sont caractérisés par un faible taux de renouvellement des plantations où plus de 60 % seraient âgés de plus de 30 ans [69].

3.3. Production dans la région de la Mitidja

Les vergers à clémentiniers étudiés dans ce travail de thèse sont situés dans la région de la Mitidja, laquelle est, comme indiqué dans le paragraphe, une région très productrice d'agrumes. La plaine de la Mitidja a longtemps connu une faible occupation des sols car les marécages occupaient de vastes étendues. Caractérisée par une agriculture traditionnelle vivrière, la plaine de la Mitidja doit sa richesse à des sols riches, une longue expérience de l'agriculture irriguée (arboriculture et maraîchage) liée à l'histoire coloniale de la plaine, la proximité d'un marché potentiel (Alger et les autres villes avoisinantes), une grande capacité de stockage et de conditionnement des produits agricoles, une forte implantation de l'industrie agro-alimentaire et une infrastructure routière bien développée [70 et 71].

Sur l'ensemble des cultures existantes dans la Mitidja, les agrumes occupent le premier rang en superficie avec plus de 13 000 ha (Figure 1.6).

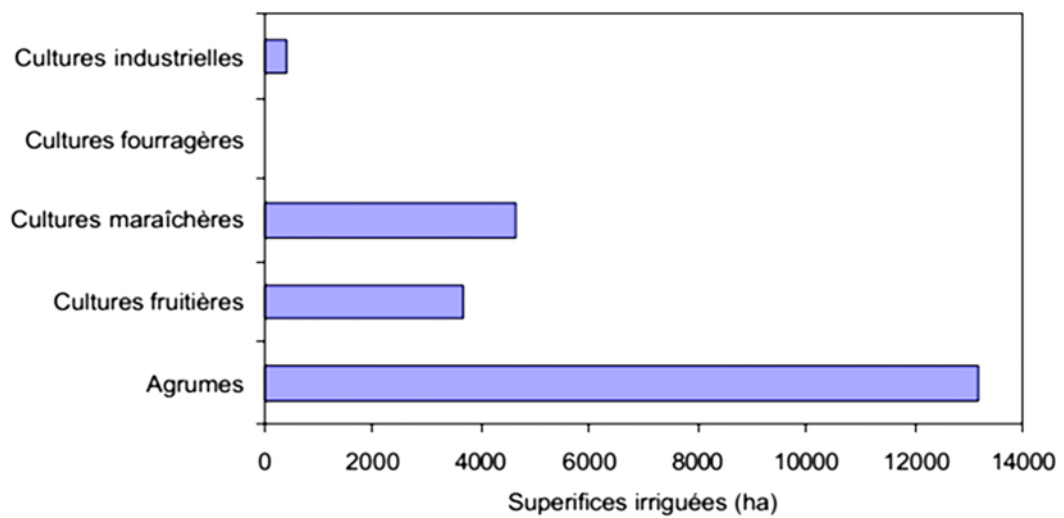


Figure 1.6 : Superficies occupées par les principales exploitations agricoles dans la région de Blida [Ministère de l'agriculture et 72].

Parmi les cultures d'arbres fruitiers dans la région de la Mitidja, les agrumes occupent une place prépondérante (Figure 1.7). Entre 1999 et 2001, les agrumes ont ainsi représenté plus de 80 % de toute la superficie agricole de la région de Blida devant les autres arbres fruitiers. Cette superficie a cependant tendance à diminuer depuis au profit des arbres à noyaux et pépins.

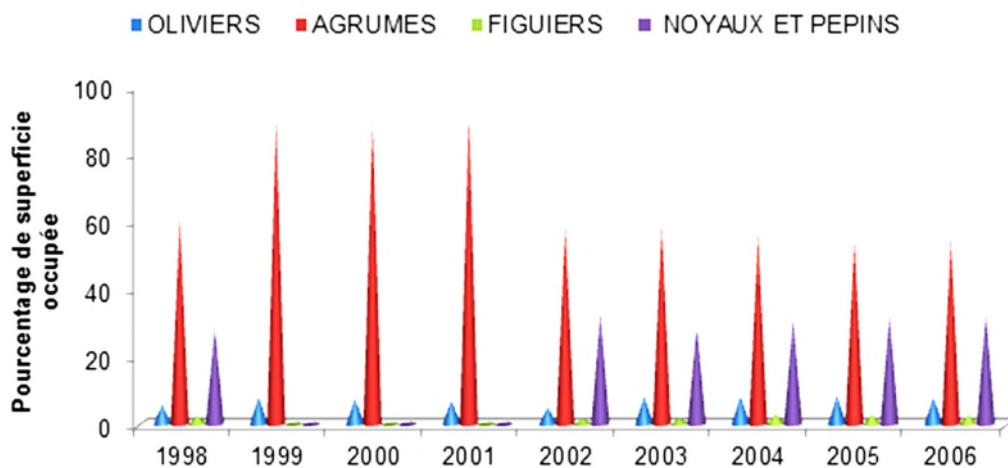


Figure 1.7 : Superficies occupées en arboriculture fruitière dans la région de Blida [Ministère de l'agriculture et 72].

Du point de vue de la répartition des espèces d'agrumes, les orangers occupent la première place en termes de superficie avec plus de 7000 ha, suivis des clémentiniers avec environ 3000 ha (Figure 1.8 A). Les autres cultures d'agrumes occupent une superficie moins importante : moins de 1000 ha pour les cultures de citrons et de mandariniers et une surface négligeable pour les pomelos. Pour la production totale annuelle, les orangers occupent également la première place parmi les agrumes avec 1 650 000 quintaux d'oranges en 2006 contre 1 200 000 et 1 250 000 entre 2002 et 2005 (Figure 1.8 B). Les clémentines occupent la seconde place avec 300 à 450 000 quintaux récoltés chaque année.

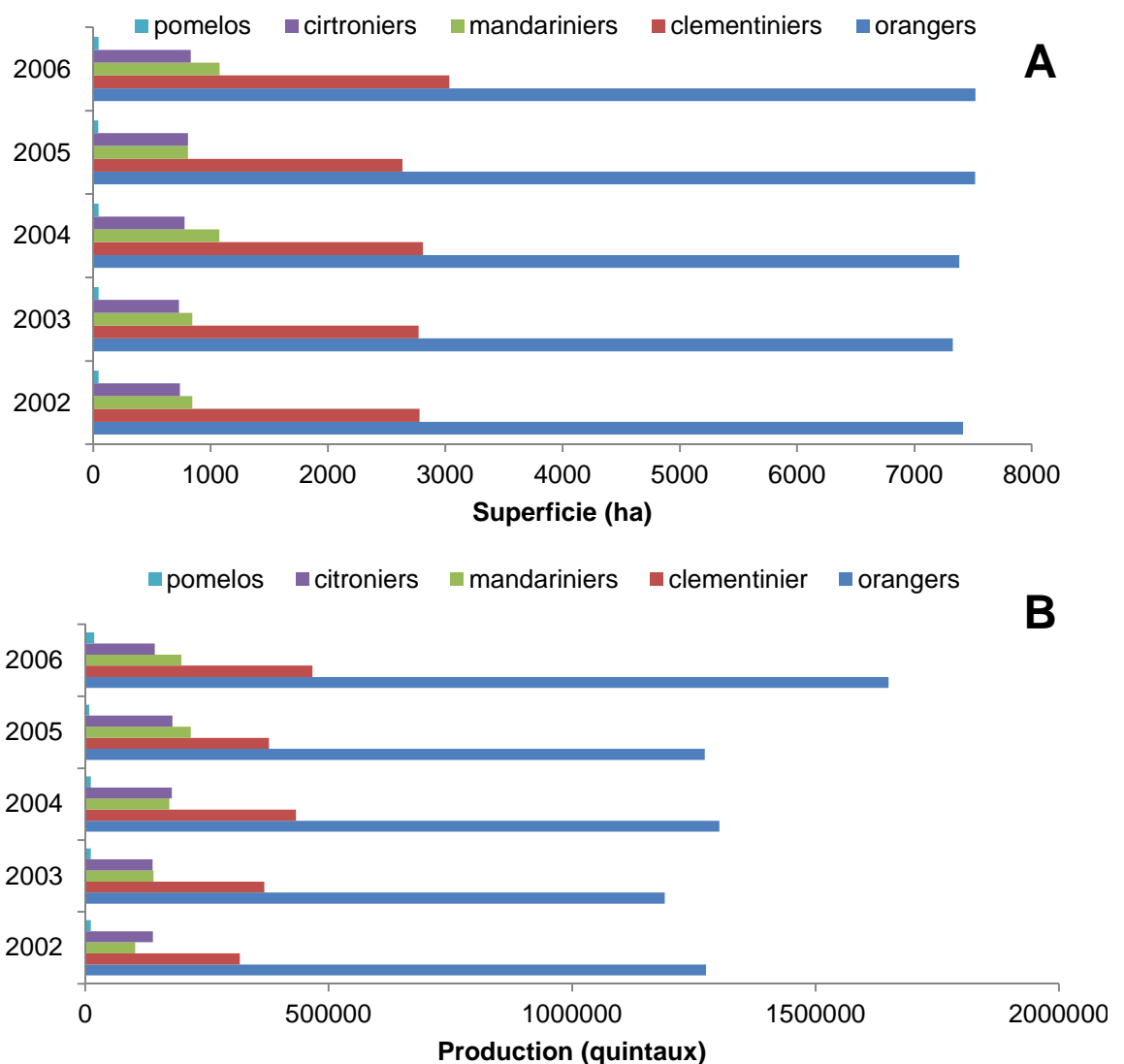


Figure 1.8 : Situation des productions et rendements des principales variétés d'agrumes cultivées en Mitidja entre 2002 et 2006 [Ministère de l'agriculture]

3. Les conditions environnementales

Les facteurs environnementaux jouant un rôle sur le rendement et la qualité des fruits comprennent le climat (température, vent, précipitations, grêle), l'intensité lumineuse, la qualité du sol, l'emplacement du verger (altitude et latitude) et la pression exercée par les différents ravageurs [59 ; 73 ; 74 ; 75 ; 76 et 77].

3.1. Les exigences climatiques

Les températures moyennes favorables à la culture des *Citrus* sont de l'ordre de 10 à 12°C pour les moyennes hivernales et entre 22 à 24°C pour les moyennes estivales, avec un optimum de végétation oscillant entre 22 et 26°C et un arrêt au-delà de 30°C [34]. Les températures régulent l'abscission des jeunes fruits, la taille, les réserves de glucides ainsi que la couleur des fruits [59]. Chez les cultivars parthénocarpiques, des températures comprises entre 20 et 22°C en journée et entre 11 et 13°C en période nocturne contribuent à accroître la nouaison, tandis que celles entre 30 et 34°C (jour) et 21 et 25 °C (nuit) favorisent l'abscission des jeunes fruits. Par ailleurs, une température diurne inférieure à 13 - 15°C a tendance à dégrader les caroténoïdes et les chlorophylles [59].

Le berceau de l'agrumiculture est caractérisé par une pluviométrie qui peut atteindre 1200 mm par an. Dans la région méditerranéenne dont la pluviométrie annuelle est généralement comprise entre 600 et 1200 mm, la quantité d'eau reste toujours au-dessous des exigences de l'agrumiculture, d'où la nécessité d'une irrigation en complément des précipitations [78]. Une relation inverse a été montrée entre les précipitations annuelles moyennes et l'acidité totale contenue dans les mandarines et les clémentines. Les précipitations influent aussi sur la forme des fruits et l'épaisseur de la peau [59].

Les agrumes ont une tolérance élevée à l'ombre mais les rendements maximaux sont produits sous haute intensité lumineuse. Il existe une corrélation entre les petites tailles de fruits et le pourcentage de jours nuageux au cours du printemps. La concentration totale en glucides solubles augmente avec l'intensité lumineuse et la teneur en vitamine C dans le jus peut varier en fonction de l'exposition du fruit à la lumière. La couleur de la peau est également affectée par

la lumière, laquelle est nécessaire à la synthèse des caroténoïdes et des anthocyanes. Les fruits exposés à la lumière sont donc plus colorés que ceux poussant à l'ombre. [59]. Les agrumes à maturation précoce sont particulièrement résistants à un fort ensoleillement sauf si les températures dépassent 44°C.

Le vent peut avoir un effet limitant sur le développement des agrumes car il peut générer des blessures et donc un ralentissement de croissance, voire une baisse de rendement. Les vitesses de vent supérieures à 24 km / h sont considérées comme potentiellement dommageables. Les blessures causées par le vent prennent la forme de taches brunes irrégulières qui peuvent affecter uniquement les tissus superficiels des feuilles ou des fruits mais peuvent altérer les organes plus profondément selon la vitesse du vent, la sensibilité variétale ou encore l'âge de l'organe, les organes jeunes étant plus sensibles [59].

3.2. Les exigences édaphiques

Les agrumes peuvent être cultivés sur une large gamme de sols avec un pH compris généralement entre 6 et 7, ces derniers pouvant être enrichis en fertilisants et en eau [46]. Les sols argileux ont tendance à réduire le développement des racines. En limitant le système racinaire et donc l'absorption d'eau et d'éléments nutritifs, les sols argileux ont pour conséquence la production de fruits de petite taille, moins juteux et présentant un zeste épais et rugueux. A l'inverse, il a été observé que sur sol sableux, les fruits présentent des concentrations supérieures en glucides solubles et en vitamine C. Les sols constitués de sable limoneux sont considérés comme les meilleurs pour la production d'agrumes [59].

La teneur en matière organique et en minéraux joue est également à prendre en compte pour optimiser les cultures. Un minimum de 2 à 3 % de matière organique dans les 20 premiers cm est nécessaire, les agrumes pouvant présenter une croissance réduite en-dessous de 1 % [46]. Par ailleurs, une forte teneur en calcaire actif (supérieure à 8 - 10 %) peut bloquer l'assimilation de certains éléments et provoquer des chloroses sur les feuilles. L'oxyde de potassium (K_2O) et le pentoxyde de phosphore (P_2O_5) constituent avec l'azote du sol les éléments fondamentaux de la nutrition minérale pour les agrumes [59].

Outre la composition du sol, un bon drainage est également important en agrumiculture [79 et 80]. En effet, une stagnation d'eau libre autour des racines entraîne une mauvaise aération. Il a été établi qu'une perméabilité du sol entre 10-30 cm / h est considérée comme optimale alors que des valeurs supérieures à 40 cm / h ou inférieures à 5 cm / h rendent le sol peu rentable. Le manque de drainage peut provoquer une accumulation de sels, qui, à son tour, peut réduire le développement de la plante, entraîner une déshydratation, induire l'abscission des fruits et causer une réduction de rendement. Les *Citrus* sont assez sensibles à la salinité : une conductivité du sol supérieure à 3,2 dS / m est considérée comme dangereuse pour leur croissance [59].

3.3. Les principaux bioagresseurs des agrumes

Les agrumes doivent faire face aux pressions parasitaires en constante évolution qui constituent une des principales contraintes de production [81 et 82]. Les agrumes sont attaqués par des insectes qui se nourrissent aux dépens de la plante, entraînant des déformations au niveau des feuilles et des fruits. Ces insectes peuvent également être des vecteurs de maladies bactériennes (greening) ou virales (tristeza). Les principaux insectes ravageurs des agrumes sont les mouches des fruits (Diptera : *Ceratitis capitata* et Tephritidae) [83 ; 84 et 85]. Les pucerons (principalement *Aphis spiraecola*, *Aphis gossypii* et *Toxoptera citricida*) sont quant à eux davantage présents sur les feuilles plus dominâtes ; ils seront décrits plus précisément dans le chapitre 2 [82 ; 86 et 87]. D'autres dégâts importants sont imputés au groupe des homoptères avec plus particulièrement les Aleurodes *Dialeurodes citris*, *Aleurothrixus floccosus* et *Parabemesia myricae* [88 ; 89 ; 90 et 91], les cochenilles qui sont très polyphages (*Aonidiella aurantii*, *Saissetia oleae*, *Pseudococcus* sp et *Unapsis* sp) [3 ; 92 et 93] et les psylles (*Diaphorina citri*, *Tryoza erytrae*) [5 ; 81 et 94]. Parmi les lépidoptères attaquant les agrumes, on trouve notamment la mineuse (*Phyllocnistis citrella*) et les tétranyques *Panonychus citri* et *Tetranychus urticae* [82 ; 95 et 96].

Le scab (*Elsinoe fawcettii*) [97], la gommose (*Phytophthora citrophthora* et *P. parasitica*) [98], la fumagine (*Capnodium citri*) [99], l'antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) et le mal secco (*Phoma tracheiphilia*) [34] sont des affections dues

aux champignons et dont les dégâts sur les agrumes peuvent être importants. Sur les fruits, les moisissures comme la moisissure bleue (*Penicillium italicum*) et la moisissure verte (*Penicillium digitatum*) ainsi que les pourritures comme la pourriture brune (*Phytophthora sp.*) provoquent des altérations diverses et rendent les fruits impropres à la consommation [34]. D'autres maladies peuvent être d'origine bactérienne comme le cancer des Citrus (*Phytoplasma citri*), la bactériose (*Pseudomonas syringae*) [34], le chancre bactérien des agrumes (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*) et le stubborn (*Spiroplasma citri*) [100 ; 101 et 102.]. L'existence de maladies à virus et à viroïdes dans les vergers d'agrumes est connue depuis assez longtemps. Les viroses des agrumes peuvent être transmises de diverses manières : par greffage, par la graine, par les insectes vecteurs et par la sève [78]. Les principales viroses constituant une menace pour l'agrumiculture sont la tristezza (*Citrus tristezza closterovirus* ou CTV) et les psoroses (*Citricolpoxvirus psorosis*) [78 et 103]. Quelques viroïdes sont également connus pour occasionner des maladies sur les agrumes comme l'exocortis, la xyloporose ou cachexie et le cristacortis.

4. Présentation de la région agricole de la Mitidja

Les travaux de cette Thèse ont été réalisés à partir d'observations et de prélèvements effectués dans plusieurs vergers de clémentiniers de la région de la Mitidja. Une description de la méthodologie de prélèvement dans les vergers est présentée dans le chapitre « Matériels et Méthodes » mais il est nécessaire au préalable de définir les conditions environnementales de la région agricole d'étude.

4.1. Situation géographique

La Mitidja est la plus vaste plaine sublittorale d'Algérie avec une latitude de 36° 36' 0N et une longitude de 3° 0' 0E. D'une superficie de 140 000 ha, elle s'étire sur une centaine de kilomètres de long et 5 à 20 km de large (Figure 1.9). Elle est isolée de la mer par la ride du Sahel, prenant appui sur le vieux massif du Chenoua et la mer au Nord. Les altitudes sur la lisière méridionale dépassent généralement les 140 m (260 m à Blida) pour s'abaisser vers le Nord, dans la basse plaine à une vingtaine de mètres (18 m à l'ancien lac Halloula). Par contre, aux deux extrémités,

les altitudes varient de 60 à 70 m pour la partie occidentale et de 90 à 100 m pour la partie orientale [80].



Figure 1.9 : Positionnement géographique de la limite de la plaine de la Mitidja [Programme d'aménagement côtier (PAC) 2006].

La Mitidja constitue un important réservoir alimentaire, en mesure de contribuer dans une large part à la couverture des besoins de la population en produits agricoles, notamment les agrumes. [72]

4.2. Pédologie et hydrologie

La Mitidja est caractérisée par des sols peu évolués et constitués d'apports alluviaux. Ce sont des sols lourds à texture limoneuse et argilo-limoneuse. D'après AUBERT et DUCHAUFOR cités par MUTIN [80], il existe 5 types de sols dans la plaine (Tableau 1.1). Les sols peu évolués se situent au centre de la Mitidja et confèrent une grande unité à la plaine. Ils sont très étendus et se composent d'une bande très large de sols alluviaux avec cependant quelques variantes. Les sols hydromorphes se rencontrent dans la basse plaine aux points les plus bas et constituent un autre type de terroir beaucoup moins favorable que les précédents. Les sols rouges se trouvent au sud de la plaine avec notamment une ceinture discontinue bordant l'Atlas. Les vertisols et les sols carbonates se situent aux deux extrémités orientale et occidentale, là où manquent les alluvions récentes.

Tableau 1.1 : Les différents types de sols dans la Mitidja [80].

Types de sol	Caractéristiques	Superficie (km²)
Peu évolués	Limono-sableux (4 % Ca), peu de matière organique, rajeunissement périodique.	75 000
Hydromorphes	Argilo-limoneux, saturé en eau, migration de fer.	7 000
Sesquioxydes de fer	Limono-argileux (0,1 % Ca), pH 6,1, sols rouges et sols bruns.	43 500
Vertisols	Argilo-limoneux à argileux (9 à 10 % Ca).	6 000
Calci-magnésiques	Sols peu profonds sur calcaire à l'Ouest.	1 500

La longue dépression que constitue la plaine de la Mitidja ne correspond pas à l'existence d'un réseau hydrographique bien adapté et bien hiérarchisé. D'après LOUCIF SEIAD [72], la plaine de la Mitidja est sillonnée par plusieurs Oueds à vallées étroites, peu profondes, encaissées et prenant naissance au piémont de l'Atlas Blidéen. Quatre oueds dominant à l'Ouest (Mazafran, Djer, Bouroumi et Chiffa) et 3 à l'Est de la plaine (El-Harrach, Djemaâ et Hamiz). La plaine de la Mitidja se caractérise par d'importantes potentialités hydro-agricoles grâce aux bassins fluviaux côtiers MUTIN [80]. Les eaux souterraines estimées à 1,9 milliard de m³ sont exploitées à plus de 90 % [104] pour les zones urbaines, industrielles ainsi que pour les irrigations et le tourisme. Plus de 12000 forages, 9000 sources et 100 000 puits sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI). Les pompages agricoles restent faibles par rapport à ceux réalisés pour l'industrie et l'AEP [104].

4.3. Conditions climatiques

Le climat est la composante directe déterminante de la distribution des organismes vivants et le facteur influant l'activité des organismes [105]. L'étude du climat, en l'occurrence les précipitations et les températures, nécessite de longues et nombreuses séries d'observations. Malheureusement, nous ne disposons pas de séries de données parfaitement continues. Celles-ci proviennent des trois

organismes en Algérie, à savoir l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (ANRH), l'Office National de Météorologie (ONM) et le centre météorologie du service de la défense nationale. Les données pluviométriques disponibles sont très hétérogènes tant du point de vue de la fiabilité des mesures que de la durée des séries d'observation. Les erreurs dans les données peuvent avoir plusieurs origines : erreur de lecture, erreur de report, défaut de l'appareillage, etc. L'existence des valeurs aberrantes peut conduire à des interprétations erronées. Il est donc indispensable de comparer tous les relevés des stations faisant partie de la même microrégion pour s'assurer qu'ils ne présentent pas de discordance. Pour les besoins de l'étude et pour une bonne répartition spatiale, nous avons procédé au comblement des lacunes.

4.3.1. Température

La température en tant que facteur abiotique majeur affecte le métabolisme et le comportement des organismes vivants [106]. Elle conditionne de ce fait la répartition des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère.

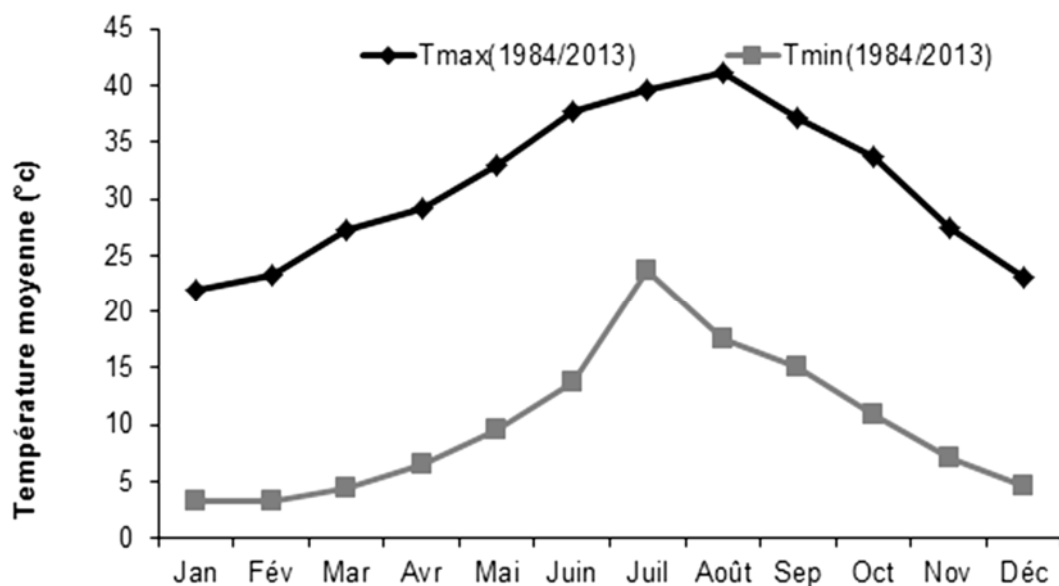


Figure 1.10 : Variation des températures maximales et températures minimales au cours de la période 1984-2013.

L'analyse de l'évolution des températures minimales (m) et maximales (M) enregistrées durant la période 1984 / 2013, fait ressortir que les basses températures sont enregistrées aux mois de Février, alors que les températures les plus élevées sont notées durant le mois d'Août (Figure 1.10). Les moyennes des

minimas du mois le plus froid ont été enregistrées au mois de Janvier de l'année 2005 avec une température de $-0,3^{\circ}\text{C}$ et les moyennes des maxima du mois le plus chaud ont été notées au mois d'Août 1999 avec $45,9^{\circ}\text{C}$

4.3.2. Pluviométrie

La pluviométrie, facteur limitant des équilibres biologiques, joue un rôle important dans le fonctionnement et la répartition des écosystèmes [107]. D'après MUTIN [80], les précipitations moyennes annuelles dans la Mitidja ont un régime typiquement méditerranéen et varient entre 600 et 900 mm en fonction de la région considérée, avec un maximum en hiver et un minimum en été. L'analyse de la variabilité pluviométrique durant la période de 1967 à 2013, montre que depuis plus de 20 ans, la moyenne pluviométrique dans la région de la Mitidja a souvent été en dessous d'une moyenne de l'ordre de 640 mm, enregistrée à la fin des années 1960 (Figure 1.11).

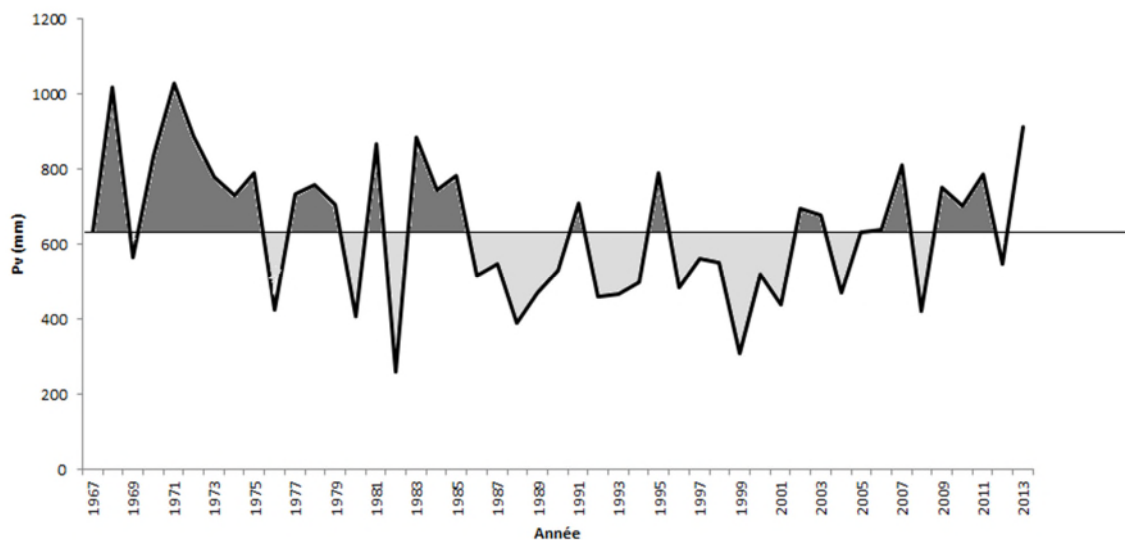


Figure 1.11 : Précipitations annuelles dans la plaine de la Mitidja pour la période de 1967 à 2013.

L'abondance et le déficit pluviométrique sont représentés en gris foncé et gris clair, respectivement.

Trois périodes de sécheresse de durées différentes ont été enregistrées dont la plus intense et la plus longue est celle s'étalant de 1996 à 2002. De ce fait, une baisse pluviométrique de 17,2 % est notée par rapport à la moyenne annuelle des précipitations estimée dans la région du Mitidja centrale. Les cultures d'agrumes

souffrent du manque d'eau qui est dû à une faible pluviométrie (12 000 m³ d'eau sont nécessaires par ha dont 50 % doivent être fournis par irrigation) et à des pertes d'eau importantes dues à l'état défectueux du réseau de distribution et à la conduite des vieux vergers d'agrumes où certaines pentes demeurent peu irriguées. Les vergers sont irrigués par l'eau de barrages, de forages, d'oueds et à moindre niveau des puits. L'irrigation est actuellement mal conduite et son niveau reste faible. Les agrumiculteurs ne réinvestissent plus ou peu dans de nouveaux réseaux d'irrigation et pratiquent alors d'anciennes techniques d'irrigation [71]. Une étude menée en 2002 a indiqué que 94 % des vergers d'agrumes ont été irrigués mais la quantité d'eau apportée n'est pas toujours suffisante pour assurer une production optimale [72].

4.3.3. Etage bioclimatique et diagramme ombrothermique

L'indice d'Emberger [108] permet la caractérisation des climats et leur classification dans les différents étages bioclimatiques. D'après STEWART [109], il se calcule selon la formule : $Q_2 = 3.43 \times P/M - m$ avec P : pluviométrie annuelle (mm), M : moyennes des températures maximale du mois le plus chaud et m : moyennes des températures minimales du mois le plus froid. En plaçant les valeurs $T_{\min} = -0,3^{\circ}\text{C}$ et $Q_2 = 45,69$ sur le climagramme d'Emberger, la région d'étude se situe dans l'étage semi-aride à hiver froid pour la période de 1984 à 2013 (Figure 1.12). La distribution inégale des précipitations au cours du cycle annuel et l'alternance de saison humide et de saison sèche joue un rôle régulateur des activités biologiques des ravageurs.

Le diagramme ombrothermique défini par BAGNOULS et GAUSSEN [110] présente les précipitations moyennes mensuelles (P_v) et les températures moyennes mensuelles (T_{moy}) avec une graduation d'échelle où $P_v = 2 T_{\text{moy}}$ (Figure 1.13). Les mois considérés secs correspondent à ceux où la courbe des précipitations est inférieure à celle des températures.

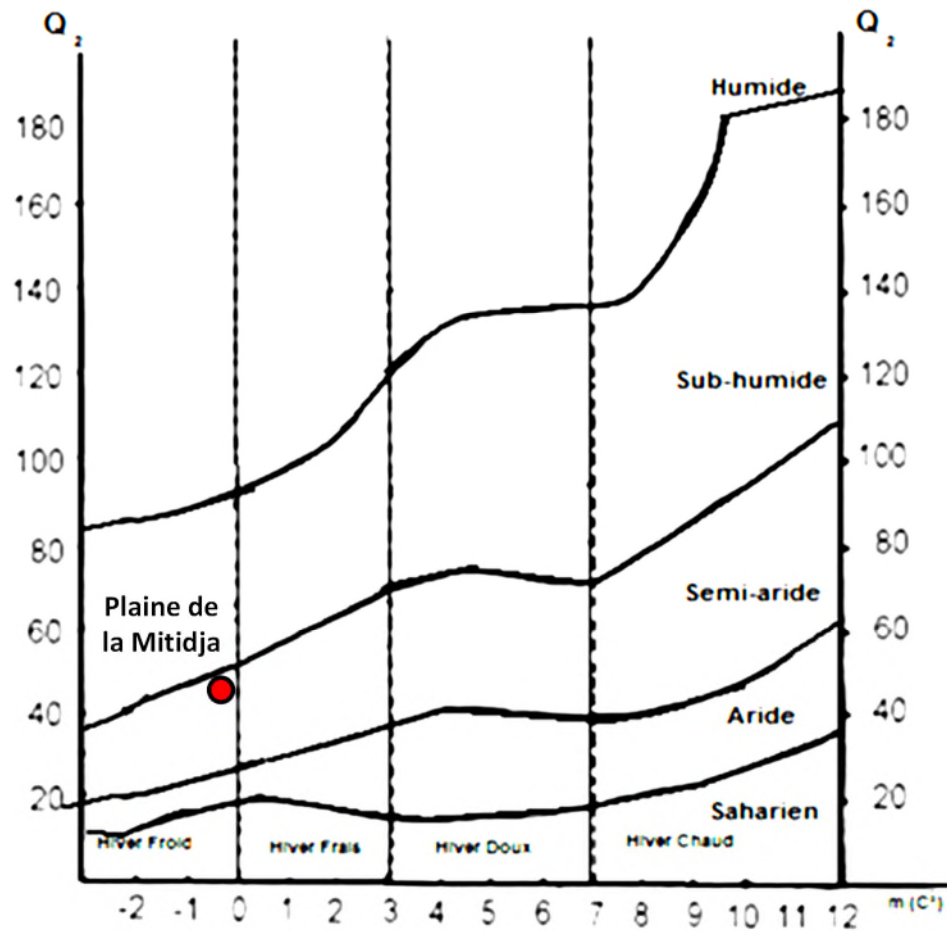


Figure 1.12 : Localisation de la Mitidja dans le climagramme d'Emberger.

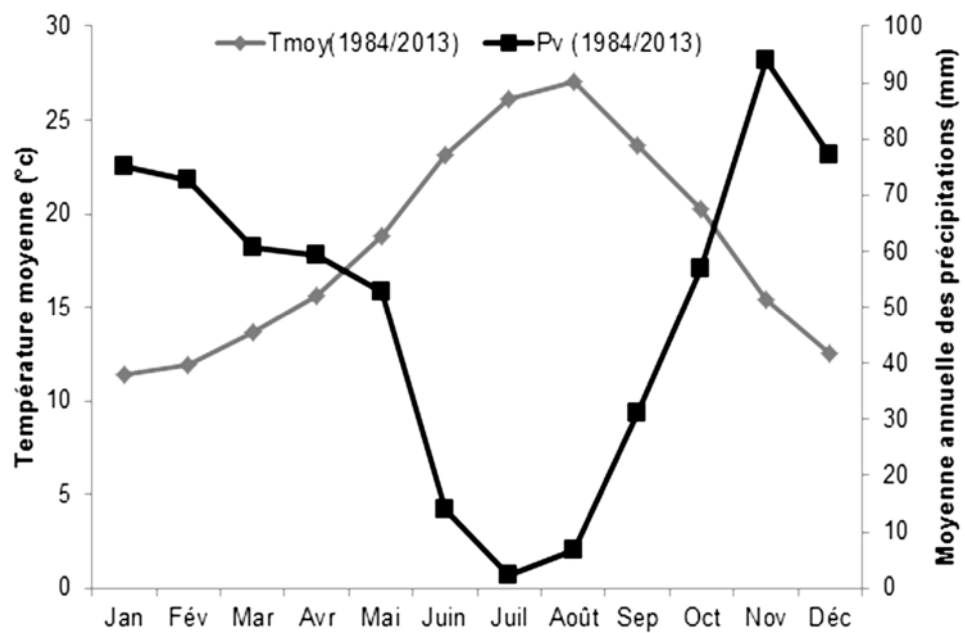


Figure 1.13 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la période de 1984 à 2013 dans la région de la Mitidja.

Pour la région de la Mitidja concernant la période de 1984 à 2013, la saison sèche s'étale donc sur 6 mois de Mai à Octobre et la saison humide s'étale sur 6 mois de Novembre à Avril.

4.3.4. Humidité et gelées

Le vol des pucerons est rare lorsque l'humidité relative de l'air est supérieure à 75 % combinée avec une température inférieure à 13°C, et il est favorisé à une humidité relative de l'air inférieure à 75 % avec une température comprise entre 20 et 30°C [111]. Les relevés de l'humidité atmosphérique moyenne dans la région de la Mitidja pour la période allant de 1984 à 2013 sont reportés dans la Figure 4.7.

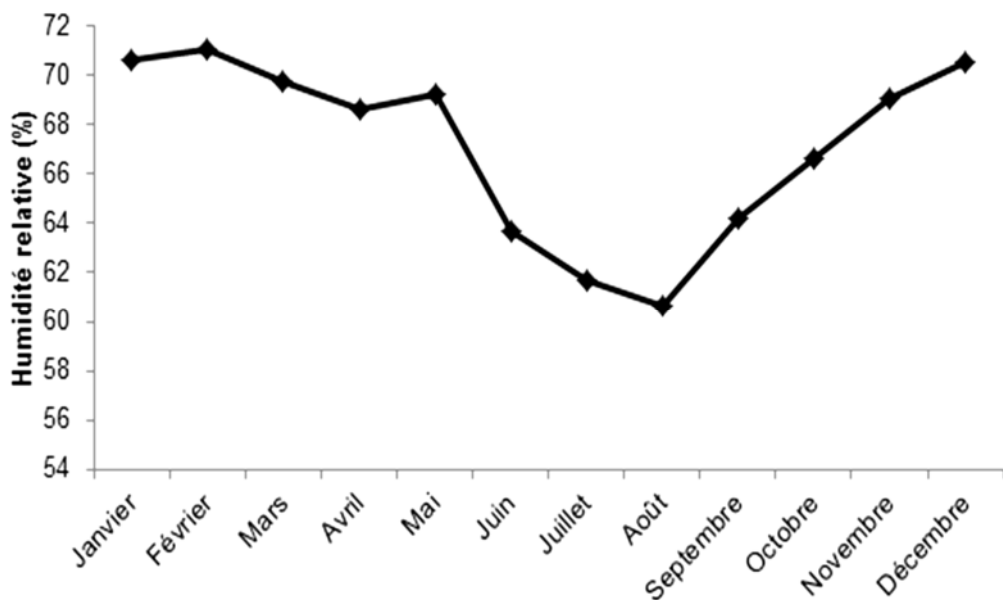


Figure 1.14 : Humidité moyenne mensuelle (en %) dans la région de la Mitidja durant la période 1984 - 2013.

L'hygrométrie est assez élevée en hiver avec plus de 70 % de Décembre à Février. Elle peut parfois dépasser 80 % comme c'était le cas en Octobre 2007. A l'opposé, le taux d'hygrométrie est plus faible en été avec un pourcentage moyen de 60 en Août. Le taux d'hygrométrie estival peut parfois être plus faible avec notamment une valeur de 48 % enregistrée en Juillet 2006.

Des gelées sont signalées en hiver et causent de graves dommages sur les feuilles les jeunes rameaux et les pousses donnant un aspect de brûlures.

Cependant, le nombre de jours de gelées est assez faible chaque année et le maximum enregistré fût de 4 jours au cours de la période 2002 - 2003 [8].

4.3.5. Vents

Le vent est un déplacement d'air provoqué par une différence de pression d'un lieu à un autre [112]. Il fait partie des facteurs les plus caractéristiques du climat. Il agit comme un agent de transport [113]. Les vents les plus redoutés pour les vergers de la Mitidja sont ceux qui soufflent en hiver de l'Ouest et du Nord - Ouest. Ils sont généralement modérés mais frappent parfois fortement à la fin de l'automne (Novembre) et en hiver. De plus, les vents desséchants (sirocco) du Sud peuvent également provoquer des dommages aux vergers lorsque ceux-ci sont insuffisamment protégés [80].

Tableau 1.2 : Caractéristiques des vents de la région de Mitidja pendant la période 1993 à 2013 [116].

	Vent dominant		Vent calme		Jours de vent sec
	Direction	Vitesse (%)	Vitesse (%)		
Janvier	Ouest à Sud-Ouest	16,1	40,2		-
Février	Sud-Ouest et Ouest	14,6	38,7		-
Mars	Ouest et Est	11,0	40,6		1
Avril	Ouest à Sud-Ouest	10,7	37,7		3 Sirocco (13 m / s)
Mai	Nord-Est à Est	13,6	25,0		-
Juin	Nord-Est à Est	15,6	34,9		1 Sirocco (18 m / s)
Juillet	Nord-Est à Est	17,8	32,7		-
Août	Nord-Est à Est	14,9	38,2		-
Septembre	Nord-Est à Est	12,7	38,2		-
Octobre	Ouest et Est	10,2	39,1		2 Sirocco (14 m / s)
Novembre	Sud-Ouest à Ouest	16,4	34,7		-
Décembre	Sud-Ouest à Ouest	17,4	38,3		-
Moyenne	Ouest et Est	10,2	40,2		

VAN-HARTEN [114] cité par LAAMARI [115] a expliqué que par un temps venteux, l'aphide se montre incapable de coupler ses ailes antérieures et postérieures et ne peut de ce fait s'envoler. De même, BONNEMAISON [111] a

montré que les vols des pucerons cessent totalement lorsque la vitesse du vent atteint 9 à 11 km / h. Les caractéristiques des vents soufflant sur la région de la Mitidja entre 1993 et 2013 sont présentées dans le Tableau 1.2. Pour la période allant de 1993 à 2013, les données fournies par le CMA [116] indiquent que les vents secs dominant durant la période Mars à Juin et en Octobre. Ils sont généralement de direction Ouest et Est mais sont cependant de vitesse faible.

CHAPITRE 2

LES PUCERONS DES AGRUMES

Les pucerons ou aphides constituent un groupe d'insectes phytophages extrêmement répandu et important dans le monde où on compte environ 4500 espèces [13 et 117]. Ils se sont diversifiés parallèlement à l'évolution des plantes à fleurs. Grâce à leur appareil buccal de type piqueur-suceur, ils se nourrissent de la sève phloémique des plantes. Lors de la piqûre, leur salive peut transmettre des virus à l'origine de maladies supplémentaires affaiblissant les plantes. Les aphides sont d'autant plus nuisibles que leurs cycles complexes et leur polymorphisme leurs permettent d'exploiter leurs plantes hôtes aux maximum, tout en répondant très rapidement aux modifications de leur environnement [13 et 14]. Les vergers agrumicoles algériens sont sujets à des attaques par plusieurs espèces de pucerons [118]. Des études menées depuis une décennie sur l'inventaire et les fluctuations des populations des pucerons dans plusieurs régions d'Algérie montrent que la situation est récurrente et nécessite une intervention réfléchie [8 ; 9 ; 119 ; 120 ; 121 et 122].

1. Systématique et caractéristiques morphologiques

1.1. Systématique

Les pucerons appartiennent à la super-famille des Aphidoidea (Hemiptera) qui comprend près de 4700 espèces réparties en dix familles [123 et 124]. Le fossile de puceron le plus ancien suggère que les Aphidoidea se sont diversifiés en parallèle avec les premières Angiospermes, il y a environ 140 millions d'années (Ma) mais il est probable que cette super-famille soit encore plus ancienne et qu'elle vivait en association avec les conifères il y a près de 300 Ma. Cependant, les premières Angiospermes pourraient remonter, d'après des travaux récents, à 200 -

245 Ma [125 et 126], ce qui peut aussi laisser penser à une association précoce des pucerons avec les premières plantes à fleurs plutôt qu'avec des conifères. La plupart des familles alors existantes se seraient éteintes lors de la transition Crétacé / Tertiaire. La majorité de la diversité actuelle se retrouve dans la famille des Aphididae qui aurait explosé en diversité au Miocène (5 - 26 Ma) [6 ; 127]. Leur aspect est très varié : la taille, la forme et de la couleur de leurs corps ainsi que des différents appendices varient d'une espèce à l'autre mais également au sein d'une même espèce en réponse à leur environnement biologique et abiotique. De plus, des morphes aptères, ailés, sexués ou vivipares sont produits au cours de leur cycle de vie. Ce polyphénisme rend la systématique des pucerons assez ardue, reposant sur des critères morphologiques parfois difficiles à appréhender. Malgré cette plasticité, les pucerons possèdent des caractères morphologiques propres, discriminant vis-à-vis des autres insectes, et leur anatomie est assez simple (Figure 2.1).

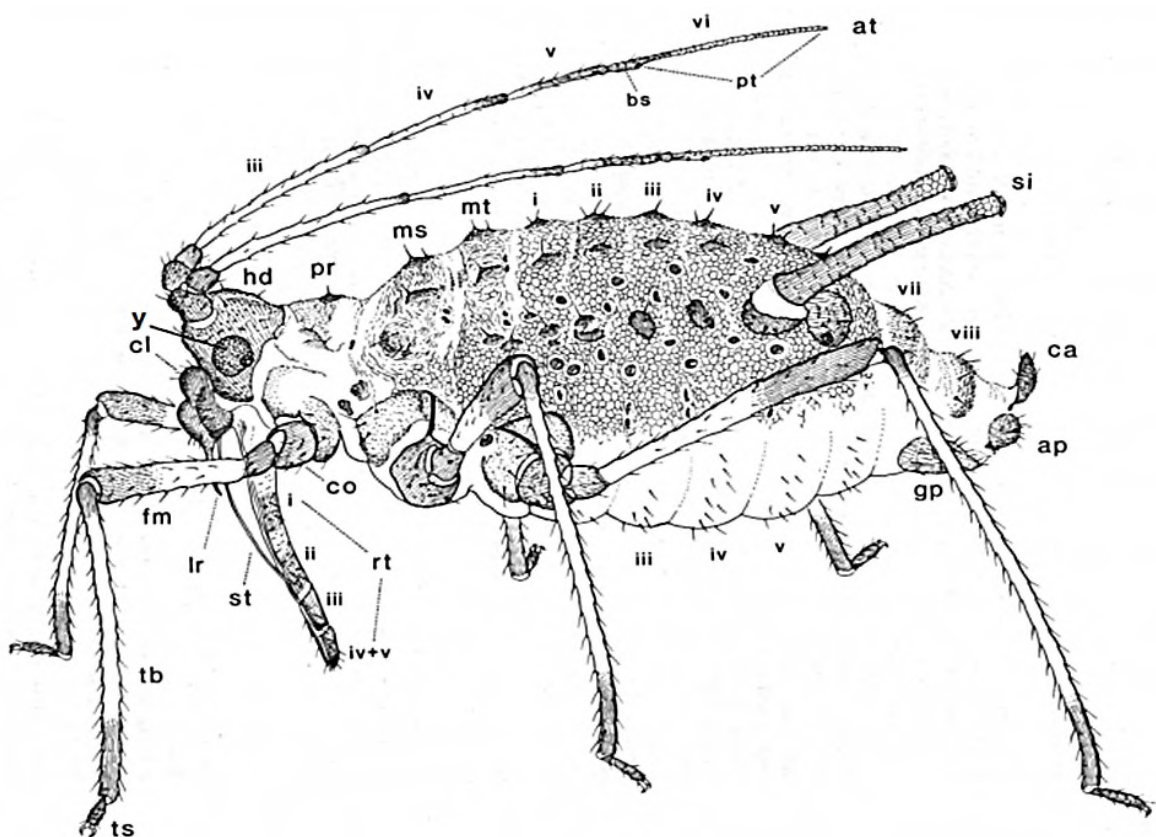


Figure 2.1 : Schéma de l'anatomie d'un puceron aptère [modifié d'après 128].

(hd : tête, at : antennes, y : yeux composés, rt : rostre, st : stylets, ms : mésothorax, mt : métathorax ; pr : prothorax, co : coxa, fm : fémur, tb : tibia, ts : tarse, si : cornicules, ca : cauda, ap : plaque anale, gp : plaque génitale, bs : base, cl : clypeus, lr : labre, pt : processus terminalis. Les chiffres romains indiquent la segmentation).

La première classification des insectes remonte au 18^{ème} siècle avec les travaux de BALACHOWSKY et MESNIL [129]. Elle est basée sur les caractères morphologiques de chaque espèce [130 ; 131]. Actuellement des remaniements internes à la classification, basés sur la phylogénie, utilisent des marqueurs génétiques afin de comparer l'enchaînement des séquences d'ADN de chaque espèce [130]. DIERL et RING [132] et ROBERT [133] présentent la taxonomie des aphides de la manière suivante :

Phylum : Arthropodes

Sous-Phylum : Antennates (= Mandibulates)

Rang : Pancrustacés

Super-Classe : Hexapodes ; Classe : Insectes ; Sous-classe : Ptérygotes

Infra-Classe : Néoptères

Rang : Exoptérygotes ; paurométaboles (Hétérométaboles)

Super-Ordre : Paranéoptères

Ordre : **Homoptères**. Les dernières études ont montré que les Homoptères seraient bien un groupe monophylétique [134] (les pucerons étaient auparavant un sous-ordre des Hémiptères).

Sous-Ordre : *Sternorrhyncha*

Super-Famille : *Aphidoidea* ; Famille : *Aphididae*

Sous-Familles : *Anoeciinae*, *Aphidinae*, *Drepanosiphinae*, *Hormaphidinae*, *Lachninae*, *Pemphiginae*, *Thelaxinae*

La famille des *Aphididae* subit fréquemment des remaniements touchant les 7 sous-familles précédemment citées. Les travaux d'ORTIZ-RIVAS *et al.* [130] s'appuient sur les classifications proposées par HEIE [6] et WOJCIECHOWSKI [135] et remettent en question la place de chacune de ces sous-familles (Figure 2.2).

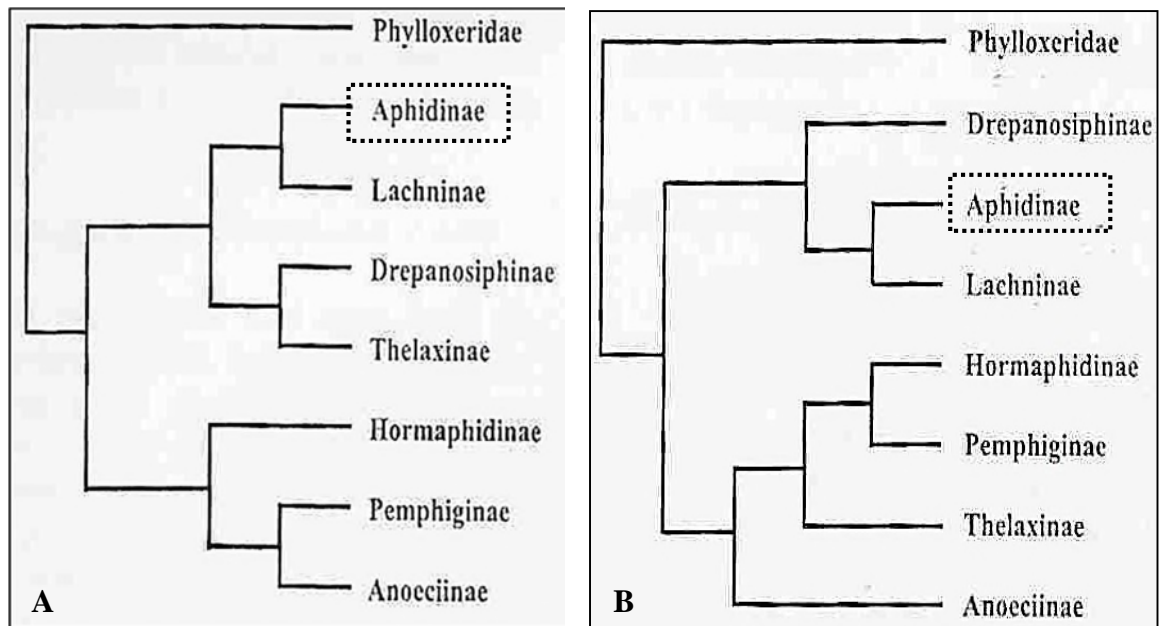


Figure 2.2 : Classification des *Aphididae* proposée par HEIE [6] (A) et WOJCIECHOWSKI [135] (B).

1.2. Caractéristiques morphologiques

1.2.1. Tête et système sensoriel

Les pucerons possèdent un rostre constitué par le système buccal, à la face inférieure de la tête (Figure 2.3). La tête porte généralement deux yeux composés volumineux et deux antennes [13 et 136]. Les yeux composés sont constitués de trois ommatidies qui sont plus développées au stade adulte. Les yeux augmentent en taille au cours du développement [137]. Les trois ocelles sont présents uniquement chez les individus ailés et chez les mâles intermédiaires : une est située entre les deux antennes et les deux autres au-dessus des seconds yeux composés. Les antennes ont généralement 6 articles chez les adultes (parfois 3, 4 ou 5) sur lesquels apparaissent des organes olfactifs appelés rhinaries ou sensoria (Figure 2.4). Le dernier article comporte une partie terminale souvent effilée nommée fouet ou flagelle. Le nombre et la localisation des rhinaries, la longueur des antennes et la longueur du fouet aident à la détermination des espèces, ainsi que la forme du front et des tubercules frontaux sur lesquels sont insérées les antennes [13].



Figure 2.3 : Tête d'un puceron [138]

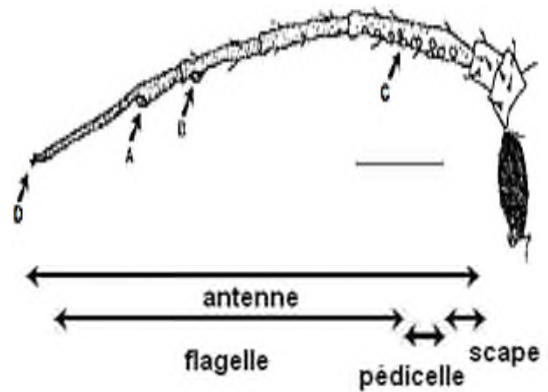


Figure 2.4 : Schéma d'une antenne de puceron en position de recherche [137].
(A et B : rhinaries primaires ; C : rhinaries secondaires ; D : processus terminal).

Les pièces buccales des aphides sont transformées en stylets adaptés au prélèvement d'une alimentation liquide non disponible en surface. Ainsi, mandibules et maxilles ont la forme de stylets accolés en faisceau sur leur longueur (Figures 2.5 et 2.6) qui coulissent les uns par rapport aux autres en délimitant les canaux salivaire et alimentaire.

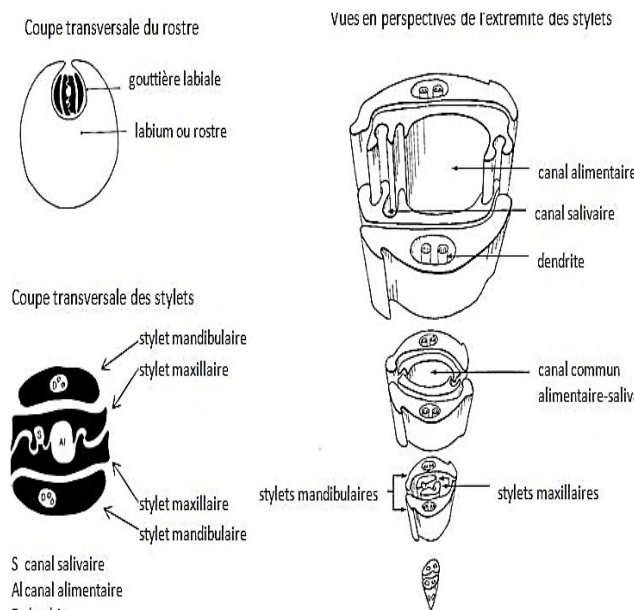


Figure 2.5 : Appareil buccal de type piqueurs-suceurs [139]

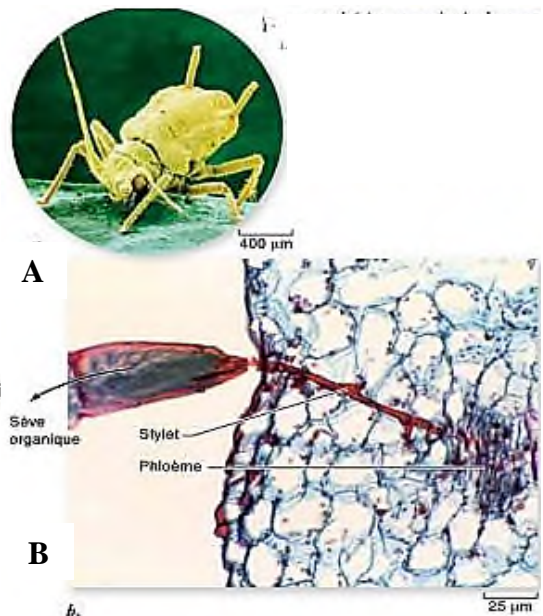


Figure 2.6 : Prélèvement de nourriture dans le phloème [140].
A : puceron se nourrissant du contenu du phloème ; B : extraction de la sève à l'aide du stylet.

Ils permettent aux pucerons d'effectuer des piqûres dans les plantes et d'atteindre les faisceaux cribro-vasculaires du phloème. Des récepteurs chimiques existent dans le canal alimentaire et sont les ultimes indicateurs de la qualité de la plante hôte [137 ; 140 et 141].

1.2.2. Le thorax

Comme chez tous les insectes, le thorax est divisé en trois parties : le prothorax qui très variable et porte une paire de pattes, le mésothorax qui porte la 2^{ème} paire de pattes et la 1^{ère} paire d'ailes alors que le métathorax porte la 3^{ème} paire de pattes et la 2^{ème} paire d'ailes (Figures 2.1 et 2.7). Les deux paires d'ailes sont membraneuses, inégales, hétéroptères et repliées en toit au repos. Cependant, chez la plupart des espèces, des pucerons coexistent des formes adultes ailées et des formes adultes aptères.

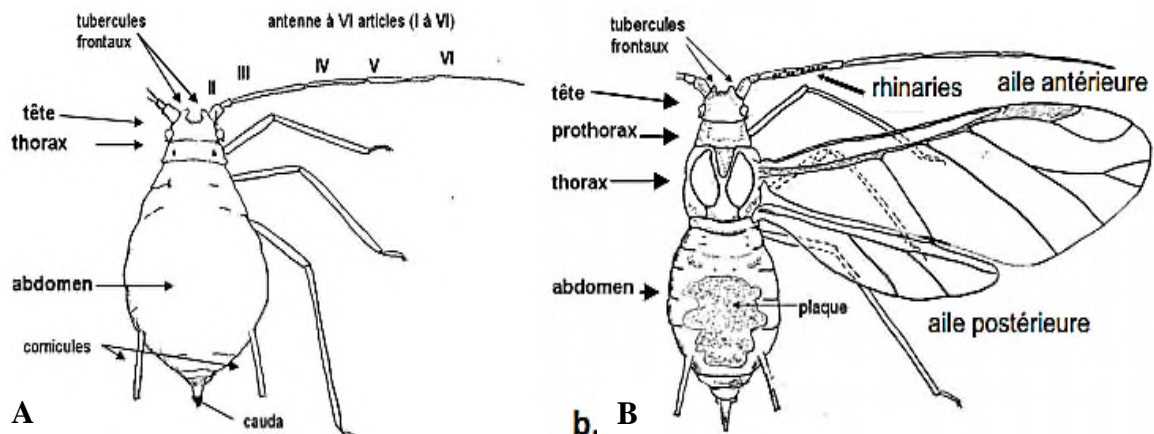


Figure 2.7 : Schéma de l'anatomie générale d'un puceron. [modifié d'après 140].
A : femelle vivipare aptère ; B : femelle vivipare ailée.

Chez certaines espèces, la nervation des ailes peut être caractéristique [142]. Les pattes sont de longueur variable avec un tarse bi-articulé à 2 articles inégaux [13].

1.2.3. L'abdomen

L'abdomen des aphides, comme chez la plupart des insectes, est segmenté, formé d'un ensemble de huit segments sans appendices locomoteurs et portant une paire d'orifices respiratoires, les stigmates [29 et 143]. Chaque segment est constitué d'un arc dorsal, le tergite et d'un arc ventral, le sternite. Les deux pleurites latéraux sont absents. La base de la face ventrale porte deux cornicules situés sur

le 5^{ème} segment et dont les sécrétions favorisent la rencontre des sexes [144]. Les cornicules sont des organes de défense spécifiques en forme de tube. À leur extrémité, se trouve un couvercle à charnière qui fonctionne par contraction musculaire. Lorsqu'un prédateur dérange un puceron, les cornicules peuvent produire une goutte de substance cireuse qui, en se solidifiant à l'air, sert à coller les pièces buccales de l'ennemi. Les cornicules peuvent également émettre des phéromones d'alarme pour avertir les autres pucerons d'un danger [145]. Le dernier segment abdominal se prolonge par une cauda plus ou moins conique et sous laquelle s'ouvrent l'anus et plus ventralement l'orifice génital [146] (Figure 2.7).

2. Biologie des pucerons

2.1. Cycle biologique des aphides

De façon générale, les colonies de pucerons possèdent un cycle biologique multivoltin comportant plus de deux générations par an. Dès lors, une nouvelle génération peut être issue de la précédente soit par parthénogénèse, soit par reproduction sexuée. Dans ce dernier cas, la génération parentale est dite amphisexuelle. Aussi, la grande majorité des espèces de pucerons ont un cycle hétérogonique comprenant successivement les deux types de reproduction [137]. Au printemps, les individus de la nouvelle génération sortent des œufs hivernants (qui ont été déposés à l'automne à la base des rameaux ou sur le tronc) et se développent sur les jeunes bourgeons, devenant plus tard des fondatrices. Ces dernières sont des femelles vivipares aptères qui peuvent donner naissance à 70 à 80 larves capables de se mouvoir et de s'alimenter dès leur "naissance". Ces dernières deviendront des femelles parthénogénétiques aptères appelées fondatrigènes ovipares (Figure 2.8).

Chaque femelle parthénogénétique porte plusieurs générations successives dans ses ovarioles, chacune à un stade de développement différent. Toute larve naissante est donc déjà "occupée" par les générations suivantes. On parle de «télescopage des générations» qui est très caractéristique des pucerons [137 ; 147 et 148].

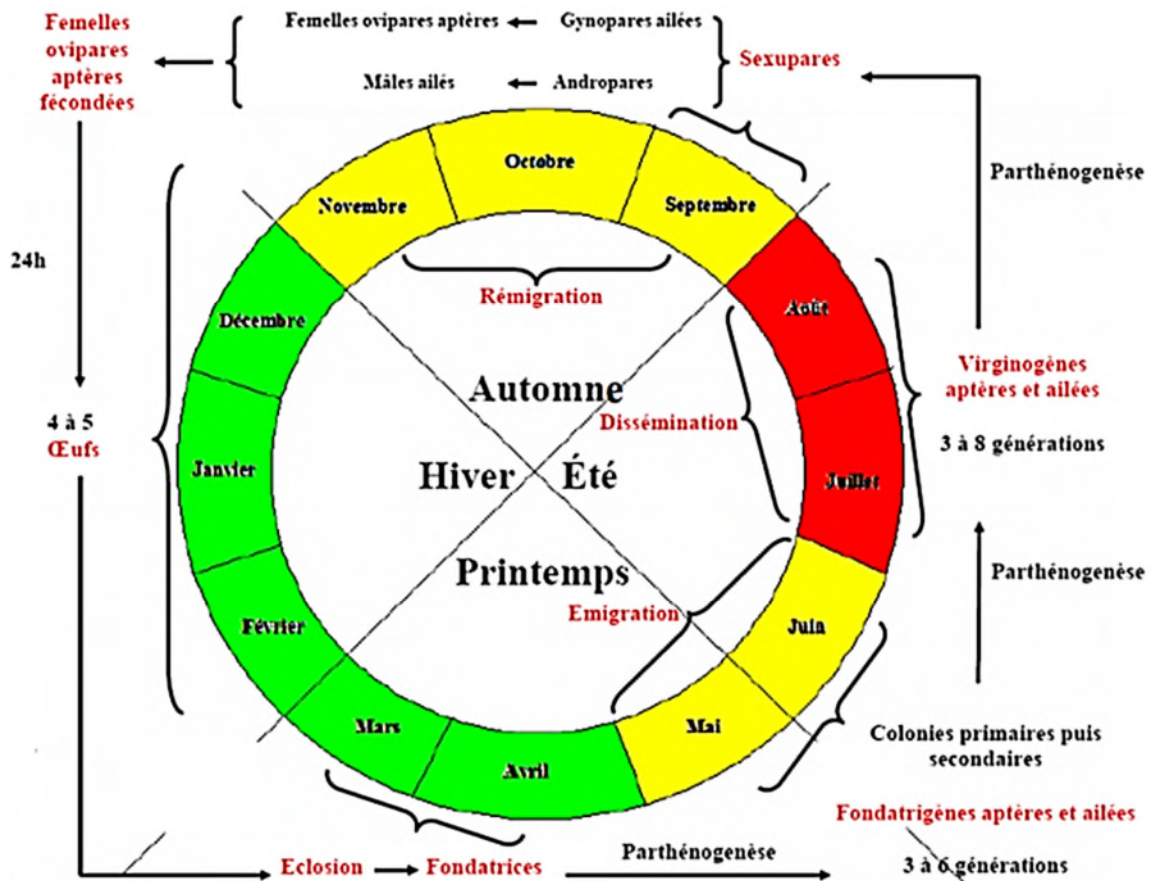


Figure 2.8 : Schéma synthétique du cycle de vie du puceron [149]

Au niveau de la reproduction asexuée, une femelle contient des embryons de première génération (les filles) qui contiennent eux-mêmes les embryons de seconde génération (les petites-filles). Cette phase correspond au développement exponentiel de la colonie qui aura un temps d'existence de 6 à 8 semaines de fondatrignes vivipares [147] en réponse à la courte période pendant laquelle la sève de la plante hôte est riche en azote [150]. Les générations télescopées permettent une adaptation rapide de la population grâce à un dialogue hormonal entre mère et petites-filles qui deviendront ailées dès que les conditions environnementales seront défavorables, leur permettant alors de chercher une nouvelle plante hôte au début de l'été. À partir de la troisième génération, des fondatrignes ailées apparaissent, ce qui annonce la migration. La proportion des formes ailées augmente rapidement au cours des générations suivantes, et ce de façon plus importante sur les feuilles âgées (la qualité nutritive de la plante hôte jouant un rôle) ainsi que sur les rameaux les mieux exposés (la quantité de lumière, la température ou l'effet trophique jouent aussi un rôle). Les fortes densités des

aphides entraînent un effet de groupe qui augmente aussi fortement le pourcentage des formes ailées.

Sur la nouvelle plante hôte, les formes ailées engendrent durant l'été plusieurs générations d'aptères et d'ailés parthénogénétiques, les virginogènes. Trois à huit générations virginogènes vivipares s'y succèdent avant l'apparition d'individus sexués à l'automne [147 et 148]. Par des femelles parthénogénétiques particulières apparaissent, les sexupares. La production des sexupares est principalement sous la dépendance de la photopériode. Les sexupares sont soit des gynopares ailées qui donnent exclusivement naissance à des femelles sexuées ovipares aptères, soit des andropares qui donneront naissance à des mâles ailés. Mâles et femelles peuvent s'accoupler plusieurs fois. Les femelles fécondées commencent à pondre 24 h après l'accouplement et pondent jusqu'à 8 œufs avec une moyenne de 4 à 5 œufs qui assureront l'hivernation de l'espèce.

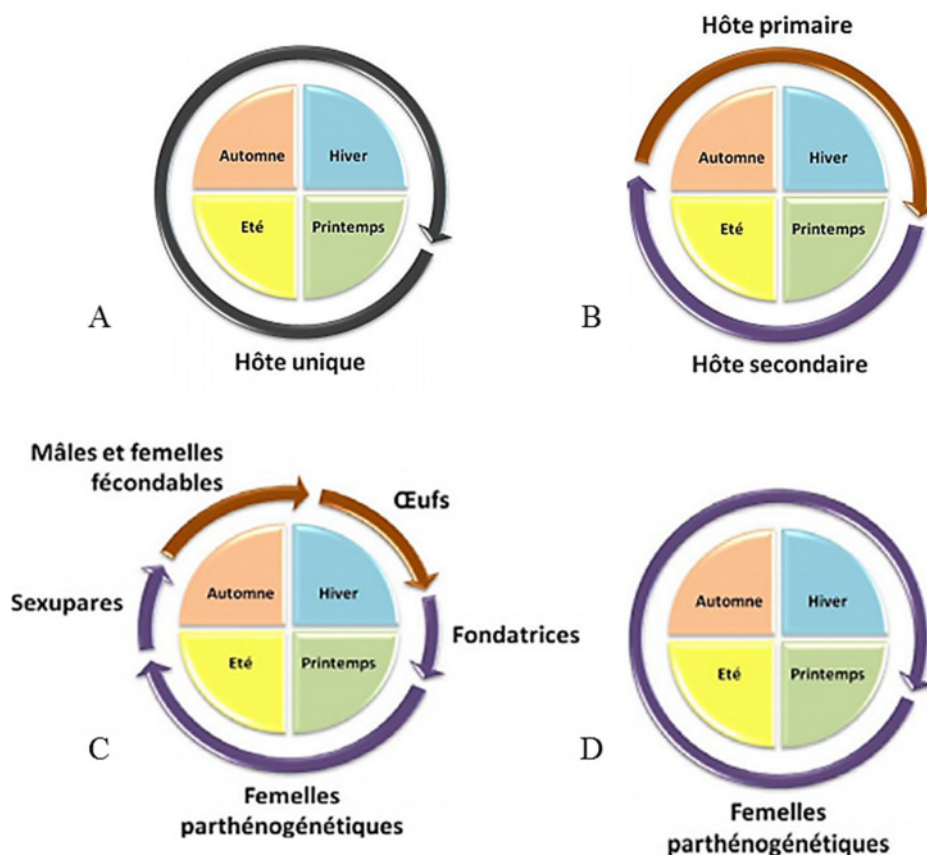


Figure 2.9 : Les différents cycles des pucerons [13].
A : monoécique ; B : hétéroécique, C : holocyclique et D : anholocyclique.

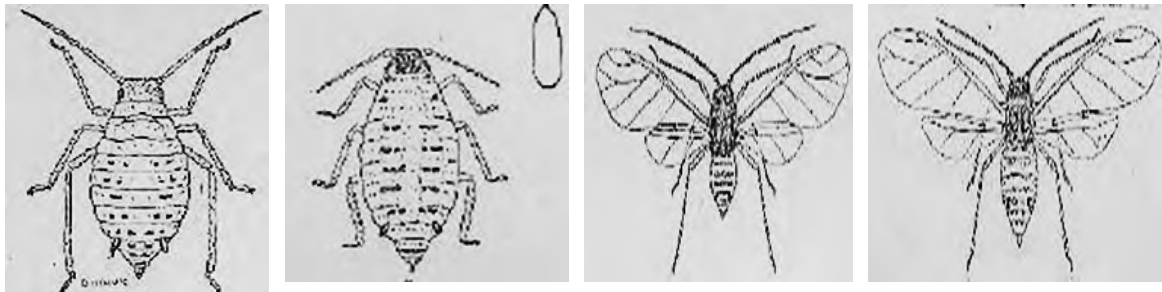
Toutes les espèces de pucerons ne présentent pas le même cycle. Ainsi, selon leur cycle, les pucerons peuvent être divisés en 4 groupes (Figure 2.9.) :

- Les espèces monoéciques (Figure 2.9 A) accomplissent la totalité de leur cycle sur les plantes d'une même espèce ou d'espèces très proches génétiquement [13].
- Les espèces hétéroéciques ou dioéciques (Figure 2.9 B) nécessitent deux plantes hôtes de familles botaniques différentes pour accomplir la totalité de leur cycle. Sur l'hôte primaire ont lieu la reproduction sexuée et le développement des colonies jusqu'au départ des fondatrices ailées. Sur un ou plusieurs hôte(s) secondaire(s) se développent les générations de virginogènes durant l'été [13].
- Les espèces holocycliques (Figure 2.9. C) sont des espèces qui ont gardé la possibilité d'effectuer un cycle biologique complet avec deux types de reproductions : sexuée (mâle + femelle) et asexuée (par parthénogenèse). [13 ; 149].
- Les espèces anholocycliques (Figure 2.9D) sont celles qui ont perdu totalement ou partiellement la possibilité de se reproduire par la voie sexuée et se multiplient toute l'année par parthénogenèse [149].

2.2. Polymorphisme et polyphénisme

Le polymorphisme signifie qu'il existe au moins deux phénotypes ou morphes dans une population de la même espèce. Le polyphénisme signifie qu'il existe au moins deux phénotypes ou morphes dans le même clone. Ces variations de phénotype sont plus fréquentes chez les pucerons que dans tout autre groupe d'insectes, plus particulièrement chez les pucerons qui ont une alternance de plantes hôtes [151]. Dans la reproduction parthénogénétique, les femelles peuvent avoir jusqu'à 8 phénotypes qui diffèrent par la morphologie, la couleur, la physiologie, la période de reproduction, le temps de développement, le nombre et la taille des descendants, la longévité, les préférences de la plante hôte principales et / ou d'autres espèces de la même famille botaniques [136 et 152]. Cette variation provient non seulement des différences génétiques mais aussi des variations de la plante hôte et / ou de l'environnement. En effet, les changements saisonniers et les conditions météorologiques peuvent influencer la disponibilité et la qualité de sève élaborée qui est la base de l'alimentation des pucerons. Dans cet esprit, il est

compréhensible qu'il y ait un compromis morphologique et comportemental induit par l'environnement qui permet aux pucerons d'accomplir leur cycle biologique sous différentes formes : aptère, ailée, sexuée, parthénogénétique (Figures 2.8 et 2.10) [152 et 153].



Virginipare
aptère

Femelle sexuée et
oeuf d'hiver

Virginipare ailé

Virginipare mâle
ailé

Figure 2.10 : Polymorphisme chez le puceron cendré du chou [138]

Les individus ailés ont un équipement sensoriel plus développé et plus coûteux en énergie. Leur temps de développement est donc plus lent et plus long avec une durée de vie réduite par rapport aux formes aptères (fondatrice) (Figure 2.8 et 10) qui n'ont pas à dépenser d'énergie dans la production d'ailes mais qui doivent tout de même exploiter rapidement la plante hôte pour assurer la production de la progéniture [140]. La reproduction sexuée permet non seulement de produire des œufs résistants aux conditions climatiques de l'hiver mais également de générer des populations avec de nouvelles combinaisons de génotypes sur lesquelles la sélection naturelle opère, en évitant ainsi l'accumulation de mutations délétères [154]. Par conséquent, les générations des pucerons évolués par polymorphisme et polyphénisme sont mieux adaptées aux conditions environnementales changeantes et plus performantes en termes de reproduction et de migration [152].

D'autres polyphénismes sont recensés chez les pucerons tels que la présence de larves soldats chez des espèces sociales organisées en castes. C'est le cas pour une cinquantaine d'espèces réparties dans deux familles taxonomiquement proches, les Pemphigidae et les Hormaphididae [151 et 152]. Ces espèces peuvent produire des larves soldats dont le développement s'arrête au dernier stade larvaire et dont les pattes antérieures et médianes sont renforcées en forme des pinces [153].

Il existe également un important polyphénisme de coloration chez les pucerons [151 et 152]. C'est le cas des variations de couleur intramorphique qui sont d'ordinaire induites par des facteurs environnementaux et sont réversibles. Parmi ces facteurs environnementaux, on retrouve les variations de température ou d'intensité lumineuse. Par exemple, la forme rouge du puceron *Sitobion avenae* Fabricius, 1775 (Puceron des épis des céréales) (Figure 2.11) produit une progéniture verte, ou de couleur intermédiaire, lorsqu'elle est soumise à de courtes périodes d'éclairage et à une faible intensité lumineuse [155]. La couleur des insectes est une caractéristique importante dans les relations prédateur – proie : chez le puceron du pois, notamment, il a été montré que les coccinelles consomment plutôt les pucerons roses alors que les guêpes parasitoïdes attaquent de préférence les pucerons verts [156]. Dans bien des cas, un même phénotype alternatif est exprimé comme polyphénisme contrôlé par l'environnement dans une certaine espèce et comme un polymorphisme génétiquement contrôlé dans une autre l'espèce étroitement liée [157].



variations de couleur intramorphique des aptères

morphe ailé

Figure 2.11 : Polymorphisme et polyphénisme chez le puceron des épis des céréales [140]

Un phénotype peut être déterminé par l'environnement ou par la variation d'un seul locus. Les mécanismes de variation de couleur chez les pucerons ont tout d'abord été étudiés par Müller [158, 59 et 160]. Sa conclusion générale était que les variations de couleur liées à la génétique reposaient sur une seule paire d'allèles, le rose dominant par exemple sur le vert chez le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* [158]. Il semblerait également que ce locus puisse être lié au chromosome X chez le puceron [160 et 161].

Enfin, il a été récemment montré que l'infection du puceron vert du pois par une bactérie endosymbiotique facultative (appartenant au genre *Rickettsia*) est susceptible d'intervenir sur la synthèse en provoquant des changements de coloration du rose au vert dans des populations naturelles [156]. Bien que ces

différents aspects de polyphénisme soient connus depuis longtemps chez les pucerons, de nombreuses études récentes cherchent à caractériser, notamment chez *A. pisum*, les bases moléculaires à l'origine de ces phénomènes grâce au récent séquençage de son génome [162].

3. Facteurs de développement

La plante hôte et les conditions environnementales, comme la température ou l'hygrométrie, peuvent jouer un rôle important sur la densité de pucerons dans une colonie. Pour une même espèce, la population peut ainsi varier d'une dizaine à plus d'une centaine d'individus [163].

3.1. Facteurs abiotiques

3.1.1. Température et humidité

D'après LAMY [164], les insectes étant des poïkilothermes, la température est pour eux un facteur écologique des plus importants. Les pucerons passent la période hivernale sous forme d'œufs capables de résister à des températures de l'ordre de -10 à -15°C. Leurs température minimale de développement est d'environ 4°C. En dessous de ce seuil, les pucerons ne sont plus capables de se multiplier plus [165]. Entre 4 et 22°C, ils se multiplient d'autant plus vite que la température s'élève. Au-delà de 22°C, qui est leur optimum thermique, leur développement ralentit à nouveau [13 ; 166 ; 167 et 168]. BONNEMAISON [111] a noté que les vols des pucerons sont très fréquents aux températures comprises entre 20 et 30°C. La température ambiante accélère le vieillissement d'une population de pucerons lorsqu'elle dépasse 25°C [169]. L'effet de l'humidité est peu connu mais une étude a montré qu'une humidité relative inférieure à 78 % est favorable au vol des formes ailées [170].

3.1.2. La pluviométrie

En fonction de leur durée et de leur intensité, les précipitations peuvent empêcher le vol des pucerons et peuvent aussi déloger les aptères des feuilles sur lesquelles ils se trouvent [171]. Les augmentations les plus rapides des populations de pucerons sont observées lorsque les précipitations sont faibles [168].

3.1.3. Vent et lumière

D'après FINK et VOLKL [172] et LABRIE [173], le vent est un élément qui influence l'envol et la dispersion des insectes, notamment les pucerons et leurs ennemis naturels. Par sa vitesse et sa direction, le vent détermine la distribution et l'aptitude de déplacement des pucerons, lesquels peuvent être transportés sur de longues distances pouvant atteindre 150 à 300 km [174]. La vitesse propre d'un puceron étant inférieure à 1 m / s, celui-ci n'aura que peu de possibilités de voler activement contre un courant aérien [174]. Concernant l'effet de la lumière, WYATT et BROWN [175] ont montré que le taux de croissance d'*Aphis gossypii* augmente avec l'intensité lumineuse et la photopériode. Une autre étude a mis en évidence que la durée d'ensoleillement favorise l'augmentation des pucerons ailés [176].

3.2. Facteurs biotiques

3.2.1. La plante hôte

Il a été mis en évidence que les pucerons se dispersent sur les jeunes feuilles des plantes adjacentes puis vers les vieilles feuilles au bas des plantes [177]. Cette infestation sur les jeunes feuilles pourrait être liée à une plus grande disponibilité de l'azote dans le phloème [178]. Dès l'insertion de leurs stylets dans les tissus végétaux, les pucerons effectuent des prélèvements de contenu tissulaire qui leur permettent d'identifier les propriétés physico-chimiques de la plante et d'évaluer ainsi sa compatibilité alimentaire [179]. L'activité des stylets durant la recherche du phloème (salivations extra- et intra- cellulaires, ponctions cellulaires) peut induire des réactions de la plante dans les quelques minutes suivant la piqûre. Les plantes ne se laissent pas attaquer par les pucerons sans réagir. Elles produisent en effet des composés secondaires comme l'acide salicylique et l'acide jasmonique qui contribuent à déclencher une réaction de défense face aux agressions des insectes. La zone touchée peut se nécroser pour stopper l'extension du puceron [180] ou bien les pucerons peuvent présenter des comportements alimentaires très perturbés, conduisant finalement à l'abandon de la plante après l'atteinte du phloème [181 et 182].

3.2.2. Les pucerons

Les aphides peuvent réguler eux-mêmes leurs populations par des mécanismes intraspécifiques [174]. En effet, sous l'action de l'effet de groupe et / ou d'une diminution de la qualité nutritionnelle de la sève, il apparaît des ailés dont le départ entraîne une régression naturelle des populations, du fait d'une production globale plus réduite de nouvelles larves. Sous l'effet direct de comportements agrégatifs intraspécifiques et sous l'effet indirect de la modification de la composition de la nourriture par les prélèvements de sève, il se produit une diminution du poids, ce qui entraîne une réduction de la fécondité des adultes [174]. Par ailleurs, la diminution de la taille des individus engendre l'apparition de pucerons plus pâles suite à l'augmentation de la densité de population [183].

3.2.3. Les ennemis naturels

Les auxiliaires (antagonistes ou ennemis naturels) [184] qui se nourrissent de pucerons sont nombreux. On distingue les insectes, les arachnides et les champignons entomopathogènes [185]. Les insectes entomophages sont regroupés en deux catégories en raison de leur mode alimentaire. Ils sont désignés de façon conventionnelle sous les termes de prédateurs poursuivant leur proie pour s'en alimenter (Coccinellidae, Cecidomyiidae, chrysopes) (Figure 2.12) [186] ou de parasitoïdes (Ichneumonidae, Braconidae) vivant aux dépens d'un seul hôte, dans ou sur lequel ils se développent causant sa mort parfois de façon rapide mais le plus souvent de façon différée [187]. Sur pommier par exemple, RABASSE [188] et RAT-MORRIS [189] ont signalé *Ephedrus persicae*, *E. plagiata* et *Aphidius matricariae* comme parasites du puceron *Disaphis plantaginea*.

Certains parasitoïdes comme *Diaeretiella rapae* possèdent l'avantage de pouvoir être transportés au stade œuf et au premier stade larvaire dans le corps des pucerons cendrés ailés parasités [190 cité par 191]. Une fois leurs imagos formés et envolés, beaucoup laissent une trace caractéristique appelée momie [192] (Voir tableau B ; appendice B et les espèces inventoriés au niveau des vergers d'étude appendice H).



Figure 2.12 : Cortège de prédateurs observés dans les colonies du puceron [193].

A et B : larve et adulte de syrphe, *Episyrphus balteatus* ; C : larve de cécidomyie, *Aphidoletes aphidimyza* ; D : larve de coccinelle, *Harmonia axyridis* ; E : coccinelle adulte, *Adalia bipunctata* ; F : cantharide adulte, *Rhagonycha fulva* ; G : staphylinde adulte, *Philonthus* sp. ; H et I : adulte et larve de chrysope, *Chrysoperla* sp. ; J et K : adulte et larve d'hémérobe, *Hemerobius* sp. ; L : anthocoride adulte, *Anthocoris nemoralis* ; M : miride adulte, *Deraeocoris ruber* ; N : forficule adulte, *Forficula auricularia* ; O : araignée crabe adulte, *Synaema globosum*.

3.3. Comportement chimique : les phéromones d'alarme et les phéromones sexuelles

La capacité à exprimer des phéromones d'alarme dépend du stade physiologique et de la densité du groupe. En effet, les pucerons isolés possèdent un seuil de détection plus bas que les individus vivant en groupes [194]. Dès qu'un puceron détecte une menace (prédateur, toxicité d'une plante...), il en informe ses congénères par des phéromones d'alarme. La molécule la plus connue est l'(E)- β -farnésène qui est sécrétée en cas d'attaque par toutes les espèces de pucerons connues [194]. Le message est capté par les antennes des individus. En général, une quantité de un ng de phéromone suffit à faire passer un message, la compréhension de l'information déclenchant la fuite par chute hors de la plante colonisée ou par changement de lieu sur la plante [195].

Seules les femelles émettent des phéromones sexuelles très spécifiques et seuls les mâles réagissent au message [196]. Le message d'attraction est probablement très complexe car il n'a pas encore été totalement caractérisé. Il a en effet été montré que les mâles mettent plus de temps pour atteindre une source de phéromones synthétiques qu'une source naturelle émise par des femelles [196].

3.4. Comportement social

3.4.1. Le mutualisme

Les interactions entre pucerons et fourmis sont sans doute anciennes [197]. Il est probable que toute trophobiose ait commencé sous la forme d'une relation prédateur / proie et que la fourmi ait été inhibée dans son élan de prédation par l'offrande d'une gouttelette de miellat [198]. Le mélézitose (trisaccharide) est considéré comme étant le sucre prépondérant dans les relations entre pucerons et fourmis [199]. Ce mutualisme permet aux pucerons d'augmenter leur taux de reproduction [200]. De plus, certaines populations de pucerons prospèrent lorsqu'elles sont protégées par les fourmis car ces dernières les protègent des prédateurs externes et des parasitoïdes [201]. Par ailleurs, en fonction de leur approvisionnement et de leur taux d'excrétion, les fourmis peuvent retarder le

développement de formes ailées de pucerons, changer la distribution des pucerons sur la plante et calmer l'activité des pucerons [202 et 203].

3.4.2. Les symbiontes

Les aphides se nourrissent exclusivement de sève élaborée qu'ils récupèrent dans le phloème de la plante hôte. Ce type de régime pose un certain nombre de problèmes à l'insecte. En effet, cette sève est très riche en sucres (tellement riche qu'à cette concentration, elle devrait être toxique) mais elle ne contient pas ou très peu d'acides aminés ou de lipides [195]. Pour disposer d'une meilleure alimentation, les aphides sont associés à des bactéries endosymbiotiques du genre *Buchnera* (*Buchnera aphidicola*). A partir du glucose et de l'aspartate de la sève phloémienne, ces bactéries synthétisent toutes les molécules que les pucerons n'ont pas la possibilité de synthétiser eux-mêmes comme des vitamines, des stéroïdes et des acides aminés [204 ; 205 et 206]. Les *Buchnera* et les pucerons entretiennent une relation symbiotique obligatoire. Ces bactéries sont localisées dans l'abdomen de leur hôte, plus précisément dans des groupes de cellules spécialisées appelées bactériocytes.

Dans certains cas, les bactéries manipulent la reproduction du puceron pour lui permettre de se propager [207] et peuvent même accroître la capacité du puceron à se défendre contre des parasitoïdes [208] et des champignons entomopathogènes [209]. Ces bactéries semblent améliorer les conditions physiques du puceron et peuvent lui permettre de mieux résister à un choc thermique [210 ; 211 ; 212 et 213]. Elles peuvent aussi influencer le cycle biologique du puceron en augmentant par exemple la fréquence de production d'individus ailés [214]. Ces symbiotes sont transmis soit de manière trans-ovarienne de la mère à la progéniture, à la génération paternelle lors d'une reproduction sexuée [215].

3.4.3. La compétition

De nombreux cas de compétition entre espèces de pucerons ont été signalés. Ainsi, il a été établi en conditions expérimentales contrôlées que sur des jeunes plantules de céréales, le puceron *Rhopalosiphum padi* peut éliminer peu à peu toutes les autres espèces présentes [216]. Les travaux de BENZIANE *et al.*

[217] ont montré qu'*Aphis gossypii* domine généralement *Aphis spiraecola* sur les plantes du genre *Citrus*. ADDICOTT [218] a également constaté une compétition entre *A. gossypii* et *Macrosiphoniella sanborni* sur l'épilobe, conduisant à la production d'insectes de plus petite taille et de moindre fécondité par suite d'une limitation des ressources [216].

4. Présentation des principaux aphides des agrumes

Selon BROUGHTON [219], 16 espèces de pucerons sont signalées sur les agrumes dans le monde dont 13 espèces en Amérique [220] (Figure 2.13 et appendice C) et 5 espèces en Tunisie [221]. En Algérie, les premiers travaux sur les aphides des agrumes remontent à ceux d'AROUN [29] qui a recensé 15 espèces de pucerons en Mitidja, réparties dans une seule sous-famille, celle des Aphidinae. A Tizi-Ouzou, KITOUS et LADDAOUI [222] ainsi qu'IKENI [223] ont recensé respectivement 34 et 22 espèces de pucerons. Parmi ces nombreuses espèces de pucerons, 5 sont fréquemment rencontrées sur les agrumes en Algérie et présentées dans les paragraphes suivants.

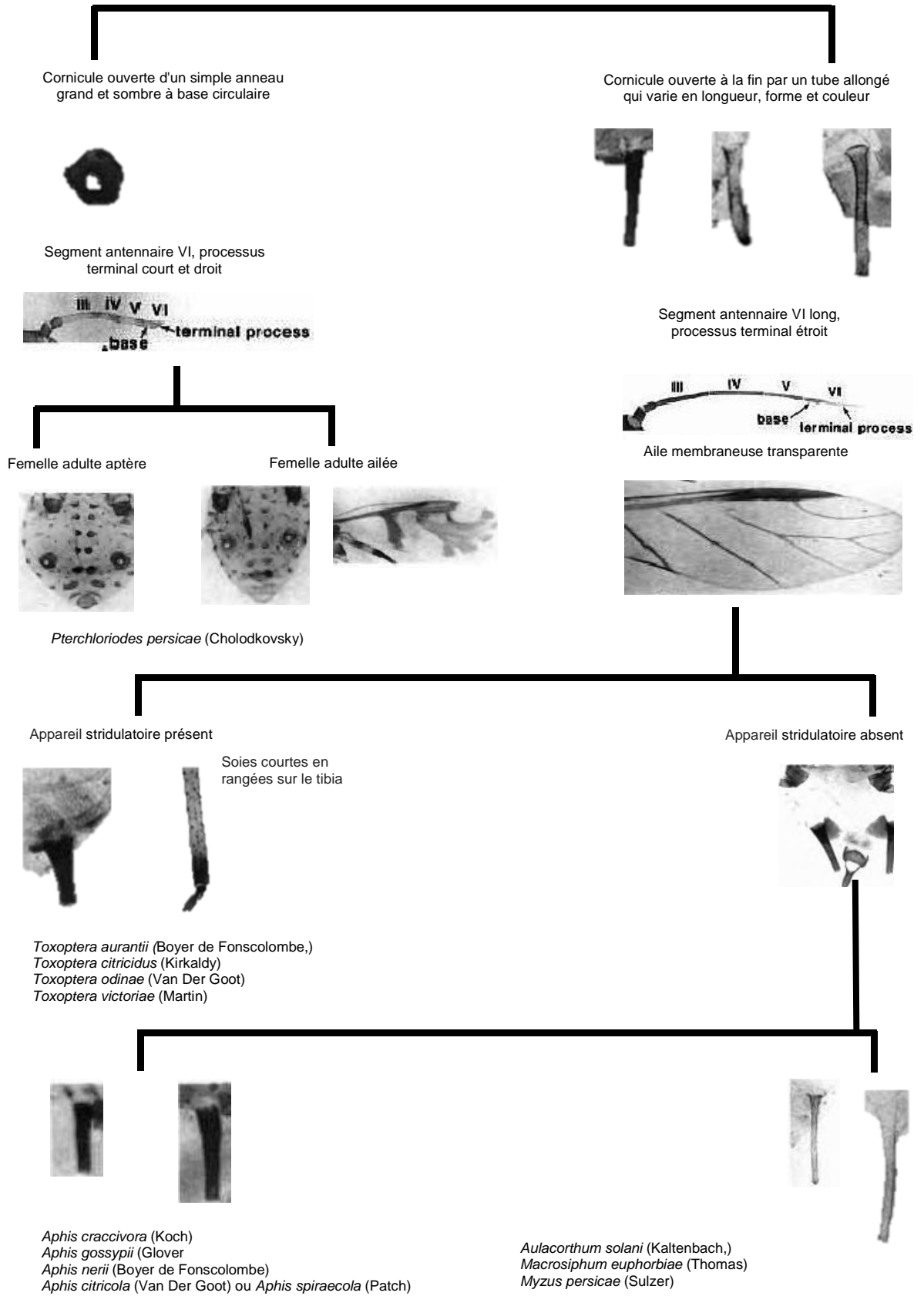


Figure 2. 13 : Clé illustrée de 12 espèces de pucerons ravageurs potentiels sur *Citrus* aux États-Unis. [220]

4.1. *Aphis spiraecola* Patch, 1914 ou *A. citricola* van der Goot, 1912

Les individus aptères d'*A. spiraecola* se caractérisent par une couleur jaune à vert pomme, une cauda noire et des cornicules noires d'une longueur moyenne de 1,2 à 2,2 mm. Les individus ailés ont en général une couleur beaucoup plus foncée avec le corps vert à vert jaunâtre, les antennes courtes (de la dimension du corps), l'abdomen verdâtre et les pattes toujours noires, des cornicules noires plus courtes que chez les aptères et une cauda longue aussi noire et constrictée que les cornicules [3 et 224] (Figure 2.14). Cette espèce peut être confondue avec *A. pomi* d'un point de vue morphologique [140].

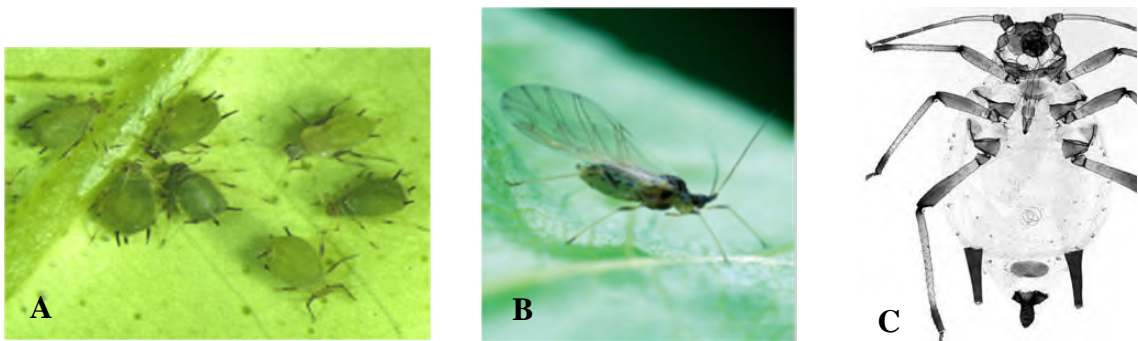


Figure 2.14 : *Aphis spiraecola* [225].
A : aptère ; B : ailé ; C : observation sous loupe.

Aphis spiraecola présente un cycle biologique typiquement anholocyclique (espèce qui a perdu totalement ou partiellement la possibilité de se reproduire par la voie sexuée et se multiplie toute l'année par parthénogenèse) et hétéroécique (espèce qui nécessite deux plantes hôtes de familles botaniques différentes pour accomplir tout son cycle) [149]. Il hiverne sous forme d'œufs sur les plantes hôtes primaires du genre *Citrus* et *Spirea* puis migre au printemps sur des plantes hôtes primaires et / ou secondaires appartenant aux genres *Citrus*, *Pyrus*, *Prunus*, *Malus* et sur quelques autres espèces arborescentes et herbacées [226]. Toute une génération peut se développer en une semaine avec des femelles parthénogénétiques produisant 60 jeunes larves de fondatrigenes. Il peut y avoir jusqu'à 25 générations par an de Février à Septembre, voire jusqu'à Décembre si les conditions climatiques sont favorables [219]. *A. spiraecola* est le ravageur le plus redouté des vergers d'agrumes. Il est vecteur de plusieurs virus comme le virus de la tristezza sur *Citrus* (CTV), celui de la mosaïque du concombre (CMV) ou le virus Y de la pomme de terre (PVY). [13]

4.2. *Aphis gossypii* Glover, 1877

L'adulte aptère, de couleur jaunâtre à vert sombre mesure de 1,2 à 2,2 mm. Les antennes sont jaune pâles, le prothorax porte des tubercules latéraux très développés, les cornicules sont très foncées et la cauda plus pâle. Par contre, l'adulte ailé a un corps généralement vert-bouteille, entre le jaune et le vert foncé, les antennes courtes par rapport au reste du corps, des tubercules antennaires réduits ou absents, un abdomen avec des sclérites marginaux, les cornicules noires plus courtes que chez les aptères et la cauda effilée portant 2 à 4 paires de soies latérales pigmentées avec une couleur plus claire que les cornicules (Figure 2.15) [13 et 165].



Figure 2.15 : *Aphis gossypii* [225].
A : aptère ; B : ailé ; C : observation sous loupe.

Les individus de morphe ailé sont généralement plus petits que les aptères [227] et sont le plus souvent noirs [228]. Ce sont les principaux ravageurs des plantes cultivées dans les familles des Cucurbitacées, Malvacées et Rutacées (dont les agrumes) [229]. Ces aphides sont polyphages lorsqu'ils sont installés sur une plante hôte puis leurs progénitures deviennent spécialistes. En effet, il a été montré que des individus prélevés sur du coton ou des agrumes ne se développent pas sur le concombre [230]. Cette espèce de puceron est vectrice, entre autres, du virus de la Tristeza des agrumes [220 et 231].

Le cycle de la plupart des espèces de pucerons est hétérogonique et anholocyclique [232]. Cependant, *A. gossypii* est une espèce plurivoltine : ses générations sont non seulement largement chevauchantes mais aussi emboîtées (les embryons contiennent des embryons) [233]. Leur potentiel biotique est plus élevé que les autres espèces de pucerons, notamment grâce à une fécondité élevée, une faible mortalité des stades pré-imaginaux et un temps de génération

court [234]. Les femelles vivipares produisent un total d'environ 70 à 80 progénitures à un taux de 4,3 par jour. La période de développement des stades immatures varie de 20,7 jours à 10°C à 3,8 jours à 30°C [235]. Ce potentiel biotique est influencé par la photopériode (optimale à 16 h), la température (optimale à 21 - 24°C) et la qualité nutritionnelle de la plante hôte [236 ; 237 ; 238 ; 239]. En dehors de ces intervalles, il y a arrêt ou forte perturbation du développement et de la reproduction. La durée de chaque stade diminue lorsque la température croît, alors que la fécondité augmente [240].

4.3. *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe, 1841

Toxoptera aurantii a un corps de couleur foncée, des antennes et des pattes de couleur alternativement claire et foncée (rosâtre et brunâtre le plus souvent) et l'adulte mesure 2 mm de long environ [241] (Figure 2.16).

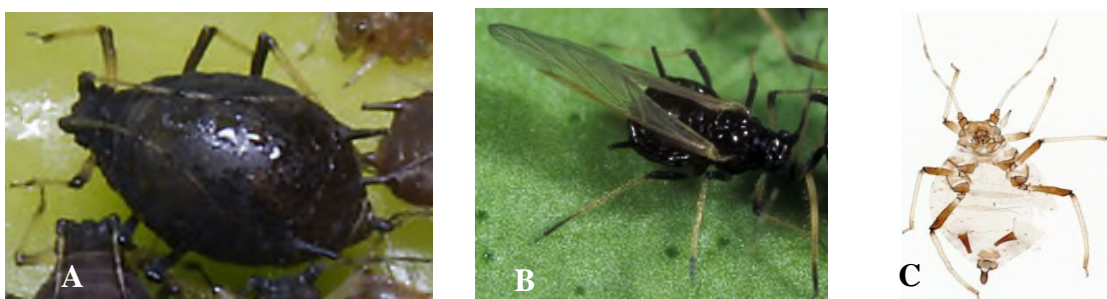


Figure 2.16 : *Toxoptera aurantii* [225].
A : aptère ; B : ailé ; C : observation sous loupe.

Sous le climat méditerranéen, *T. aurantii* n'attaque que les agrumes et évolue en anholocyclie [242 ; 243 ; 244 et 245].

4.4. *Toxoptera citricida* Kirkaldy, 1907

Le puceron brun des agrumes *T. citricida* a été observé pour la première fois par KIRKALDY en 1907 [246]. L'adulte de ce puceron est vigoureux, mesure 1,5 à 2,4 mm de long et présente une coloration luisante, marron-rougeâtre à noire. Les individus ailés peuvent être identifiés par leur segment antennaire totalement noir suivi d'un 4^{ème} segment pâle. Les siphoncules mesurent environ 1/6^{ème} de la longueur du corps et sont fortement sculptés. La partie caudale est arrondie en forme de bulbe à son extrémité (Figure 2.17) [86].



Figure 2.17 : *Toxoptera citricida* [225].
A : aptère ; B : ailé ; C : observation sous loupe.

4.5. *Myzus persicae* Sulzer, 1776

Les aptères de *Myzus persicae* sont généralement vert jaunâtre mais varient d'un vert jaunâtre blanchâtre ou jaune pâle à mi-vert, rose ou rouge. Ils sont souvent plus sombres dans des conditions froides. Les aptères présentent des tubercules frontaux convergents, assez longs et clairs. Leurs cornicules sont de longueur moyenne et légèrement renflés vers les extrémités foncées, avec une longueur de corps de 1,2 à 2,3 mm (Figure 2.18) [170].



Figure 2.18 : *Myzus persicae* [225].
A : aptère ; B : ailé ; C : observation sous loupe.

Les ailées sont vert clair avec une zone pigmentée solide sur le dos (vers le milieu de l'abdomen) échancrée latéralement et perforée à partir des segments 3 - 6, ainsi que d'autres barres sur des segments adjacents. Les tubercules frontaux sont proéminents et convergents, les antennes sont longues et pigmentées sauf à la base de l'article 3, les cornicules sont longues, sombres et renflées (sur les hôtes secondaires) et la cauda est en forme de doigt. Son hôte principal est le pêcher (*Prunus persica*) [247]. Les œufs sont pondus sur l'hôte principal et dès le printemps les colonies primaires recourbent les jeunes feuilles. Cependant, la plupart de la population hiverne sous forme d'aptères mobiles sur des plantes herbacées, plus

particulièrement des Brassicacées. *Myzus persicae* est une espèce holocyclique hétéroïque. Sa migration est signalée vers 40 hôtes secondaires de différentes familles de plantes [248]. Cette espèce est également vectrice de nombreux virus de plantes [10 et 249].

5. Dégâts causés par les pucerons et méthodes de lutte

Les attaques par les pucerons sont détectables par l'enroulement des feuilles sur elles-mêmes et la texture collante de celles-ci. Les pucerons génèrent des dégâts de manière directe et indirecte [117].

5.1. Les dégâts directs

Le puceron insère son rostre buccal dans les tissus végétaux jusqu'à atteindre le phloème. Au cours de ce transit, il réalise des prélèvements extracellulaires ainsi que des ponctions intracellulaires dans des tissus non nourriciers. Ces prélèvements s'accompagnent toujours d'une injection de salive toxique qui inhibe les mécanismes de défense de la plante et provoque des changements physiologiques profonds menant à la déformation des tissus végétaux et à l'enroulement des feuilles [247 ; 250 ; 251 ; 252 ; 253 et 254]. Cette déformation peut aller de la simple crispation des feuilles à leur rabougrissement jusqu'à leur chute prématurée, ce qui ralentit la croissance de la plante et l'affaiblit [117]. D'autres conséquences sont visibles comme un dessèchement des pousses ou un avortement des fleurs et des fruits [117 ; 256 et 257]. Ces dommages sont principalement dus à l'injection de salive qui contient de nombreuses enzymes telles que des oxydases, des peptidases et des cellulases [180]. La salive peut également contenir, en quantité variable selon les espèces, des dérivés de tryptophane et de l'acide indole-3-acétique (AIA) qui est une hormone de croissance végétale. L'AIA en plus forte concentration entraîne alors des perturbations dans le processus de multiplication cellulaire autour du point de piqûre [25] en formant des galles végétales (Figure 2.19) [258].



Figure 2.19 : Dégâts du puceron sur feuilles de clémentinier dans la région de Mitidja [crédit photographique : H. Mostefaoui].

5.2. Les dégâts indirects

Les dégâts indirects sont principalement dus à l'excrétion du miellat et à la transmission de virus pathogènes par les pucerons lors de la piqûre (Figure 2.20) [117 et 259].

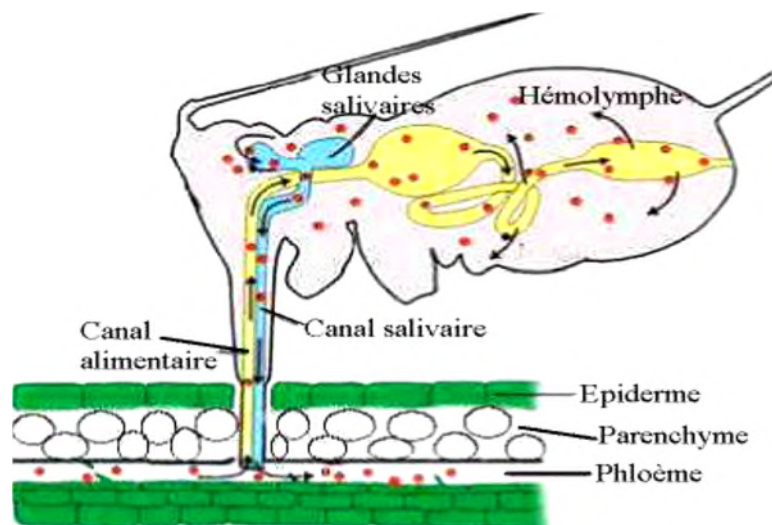


Figure 2. 20 : Physiologie d'alimentation des pucerons [260].

5.2.1. Rejet de miellat et apparition de fumagine

Les besoins nutritifs des aphides en matières azotées (hydrates de carbone et acides aminés) impliquent une absorption considérable de sève. De ce fait, les excédents aqueux encore très riches en hydrates de carbone sont excrétés et constituent le miellat [261]. De nombreux pucerons produisent périodiquement des

gouttelettes de miellat de 0,05 à 0,1 μL [199]. Lorsque la sécrétion du miellat est importante, elle peut recouvrir la zone d'infestation et entraîner le dessèchement de cette zone [256]. Ce miellat constitue un milieu très favorable sur lequel s'établissent des champignons saprophytes provoquant des fumagines qui entravent la respiration et la photosynthèse [117]. Ceci entraîne alors la déshydratation, le dessèchement et la chute prématurée des feuilles et par conséquent affecte la croissance de la plante ou souille les parties consommables (fruits), les rendant impropres à la commercialisation [117 ; 139 et 262].

5.2.2. Transmission de virus

Les pucerons sont également responsables de la transmission et de la dissémination d'au moins 275 virus phytopathogènes [117 ; 263 et 264]. Les virus causent de nombreuses maladies chez les plantes hôtes, notamment chez le genre *Citrus*. En effet, le virus de la *Tristeza closterovirus* infecte toutes les espèces, cultivars et hybrides d'agrumes (Figure 2.20) [139 et 265].

5.3. Méthodes de lutte

À l'heure actuelle, les infestations de pucerons sont généralement contrôlées à l'aide d'insecticides de synthèse tels que les néonicotinoïdes et les pyréthrianoïdes de synthèse [266]. Malgré les progrès réalisés, les insecticides restent responsables de nombreux problèmes tant pour l'environnement (persistance de métabolites à tous les échelons édaphiques) que pour la santé humaine (possibilité de résidus dans les eaux de distribution ainsi que dans les aliments). De plus, l'utilisation massive d'insecticides depuis plus d'une trentaine d'années est à la base de la sélection de populations d'insectes résistants [267].

Les scientifiques recherchent de nouvelles approches de lutte biologique utilisant des prédateurs ou des parasitoïdes des pucerons. Cependant, avec leur cycle de reproduction par parthénogenèse, les pucerons ont la capacité de diluer rapidement les attaques de leurs ennemis.

Une autre voie actuellement envisagée est la formulation de nouveaux insecticides appelés bioinsecticides. Ces insecticides sont conçus pour perturber certaines fonctions biochimiques essentielles à la survie de l'insecte ravageur visé.

En ciblant des protéines propres à un groupe d'insectes, ils garantissent un haut niveau de sélectivité et, par conséquent, ne présentent que peu ou pas de risque pour la santé humaine, les espèces non ciblées et l'environnement. La perturbation des voies biosynthétiques de l'hormone juvénile des phéromones sexuelle et / ou d'alarme ou des enzymes impliquées dans les dernières étapes de la biosynthèse des mono- et sesquiterpènes sont plus spécifiques et constituent par conséquent des cibles plus intéressantes [267]. Ceci aurait pour effet de perturber les mécanismes de défense, de reproduction ou encore le développement des pucerons [267].

CHAPITRE 3

INTERACTIONS PLANTES – INSECTES PHYTOPHAGES – AUXILIAIRES

Les interactions entre les plantes et les insectes phytophages reposent sur trois niveaux trophiques et sont régies par un grand nombre de stimuli chimiques impliquant les métabolites primaires et secondaires de défense des plantes hôtes [268], les phéromones d'agrégation sexuelles et d'alarme des ravageurs et de leurs auxiliaires parasitoïdes et prédateurs qui recherchent leurs proies pour se développer et survivre [269].

1. Le régime phytophage

Les stratégies d'acquisition et d'allocation des ressources alimentaires influencent de façon importante la fitness des insectes en jouant sur leur développement, leur fertilité, leur fécondité et leur comportement [266 et 270]. La majorité des espèces montre ainsi un degré important de spécificité dans le choix de la prise alimentaire en se développant sur des végétaux avec lesquels ils se sont adaptés, notamment en surmontant les défenses chimiques et physiques des plantes [266 et 271]. Sur les 25 taxons d'arthropodes terrestres, seulement 10 d'entre eux ont évolué vers la phytophagie partielle ou complète [271]. La proportion des différents acides aminés varie grandement entre les tissus des insectes et ceux des plantes alors que ces dernières sont plus pauvres en éléments azotés et en lipides. Cette différence entre les insectes et leur ressource alimentaire se reflète dans la faible biomasse assimilée et efficacement transformée en tissus de croissance. Malgré l'obstacle évident que représente la déficience en azote, les insectes ont développé une série de comportements et d'adaptations physiologiques pour augmenter au maximum l'assimilation de matières provenant des plantes [272]. La croissance et la fécondité des pucerons sont limitées par la

quantité et la qualité des acides aminés présents dans la sève, ce qui nécessite un prélèvement important de sève phloémique lors des infestations [273].

1.1. Besoins nutritifs des insectes

La généralisation des besoins en éléments nutritifs est complexe en raison de la présence d'éventuels symbiotes capables de produire des éléments essentiels. De plus, chez les hétérométaboles, les exigences nutritives sont quasiment identiques chez la larve et l'adulte, alors qu'elles s'avèrent souvent totalement différentes chez les holométaboles [266].

1.1.1. Les protéines et les acides aminés

Les protéines ingérées par les insectes sont hydrolysées en petits peptides et en acides aminés par des enzymes protéolytiques dans le tube digestif et puis dans les cellules. Les petits peptides et les acides aminés importants pour la formation de glucose et la production d'énergie (sous forme d'ATP) *via* le cycle de Krebs [274 et 275], sont généralement absorbés passivement à travers l'épithélium intestinal en présence de NaCl et de KCl qui stimulent la prise alimentaire de tyrosine et de méthionine [276]. Les acides aminés, après absorption, sont utilisés pour la synthèse des composés de structures (muscles, tégument...), des enzymes et des hormones qui participent à différentes voies métaboliques et contribuent également au maintien de la pression osmotique dans l'hémolymphe. La plupart des insectes (Diptères, Coléoptères, Lépidoptères, Hyménoptères) n'ont besoin dans leur alimentation que de 10 acides aminés essentiels parmi les 20 acides aminés couramment rencontrés alors que les autres peuvent être synthétisés par inter-conversion (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 : Besoins en acides aminés des insectes [266].

Acides aminés essentiels	Acides aminés synthétisés par les insectes
Arginine	Alanine
Histidine	Asparagine
Isoleucine	Acide aspartique
Leucine	Cystéine
Lysine	Acide glutamique
Méthionine	Glutamine
Phénylalanine	Glycine
Thréonine	Proline
Tryptophane	Sérine
Valine	Tyrosine

Les aphides peuvent survivre sur des plantes hôtes en présence de faibles quantités d'acides aminés (0,03 à 1 %). La leucine, la valine et la phénylalanine importantes pour les aphides peuvent être néosynthétisées à partir du saccharose grâce à l'activité symbiotique des bactéries du tube digestif comme *Buchnera aphidicola* et *Serratia symbiotica* [277 et 278]. Ces dernières sont capables de transformer les produits du catabolisme des aphides tels que l'urée et l'acide urique en composés azotés que les pucerons peuvent utiliser par la suite.

1.1.2. Les glucides

Les insectes sont capables d'utiliser une quarantaine de glucides différents sans spécificité marquée grâce à la présence des enzymes qui permettent leur hydrolyse en oses simples. Ces derniers sont absorbés à travers la paroi intestinale grâce à une diffusion facilitée par un transporteur de glucose. Les glucides présents dans les tissus végétaux comme le glucose, le maltose, le fructose et le saccharose sont généralement bien utilisés par la plupart des insectes à l'exception des pentoses qui ralentissent leur croissance [279]. En cas de l'absence d'enzymes, la dégradation des polymères peut être réalisée par des micro-organismes symbiotiques (bactéries ou protozoaires) dans le système digestif [280]. Une fois absorbés, les glucides sont catabolisés dans le cycle de Krebs *via* le pyruvate. Des

oxydations phosphorylantes conduiront ensuite à la production d'énergie disponible pour le vol et pour les différentes voies de biosynthèse (Figure 3.1).

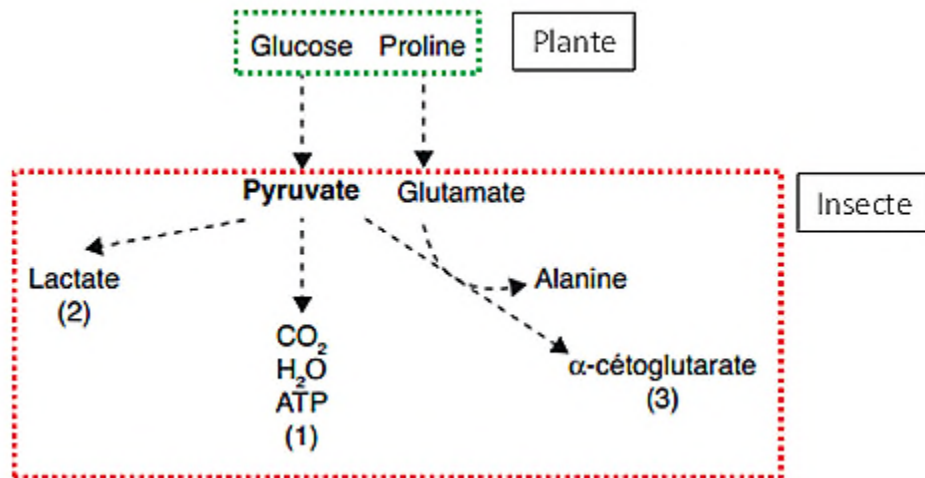


Figure 3.1 : Principaux devenir du pyruvate chez les insectes [modifié d'après NATION [281] et SAUVION *et al.* [266].

1 : En présence d'oxygène, le pyruvate est converti en acétylCoA et *via* le cycle de Krebs, il conduit à la formation de dioxyde de carbone, d'eau et de molécules d'ATP. 2 : Quand l'oxygène est limité, le pyruvate est catabolisé en lactate. 3 : Chez les insectes qui utilisent la proline comme source d'énergie pour le vol, le pyruvate peut être transaminé en α-cétoglutarate.

Les glucides sont stockés essentiellement sous deux formes. La première forme est le glycogène qui est stocké dans les muscles du vol, dans le corps gras et à la périphérie du tube digestif [281]. La seconde forme est le tréhalose qui est facilement convertible en glucose en fonction de la demande énergétique de l'organisme et joue également un rôle important dans la protection contre les stress [279]. Les besoins en glucides varient selon la nature chimique de ces derniers, l'espèce considérée, l'âge et le sexe de l'individu [283 et 284].

1.1.3. Les lipides

Les lipides regroupent les acides gras, mono-, di- et triglycérides, et les stérols. Les acides gras constituent une source énergétique essentielle pour le métabolisme des insectes. Ils sont convertis et stockés sous la forme de triglycérides dans les corps gras (50 % du poids sec du puceron) et sont mobilisés selon les besoins [285 et 286]. Les acides gras servent à la synthèse des phospholipides membranaires, des cires cuticulaires, de nombreuses phéromones et des composés de défense tels que les quinones ou les phénols [287]. Ils

contribuent également aux stratégies d'évitement des prédateurs et / ou à la sélection sexuelle.

Les insectes, selon leur alimentation et leur capacité de transformation, sont capables de réaliser des interconversions entre les différents stérols qui stimuleraient la phagostimulation en synergie avec le saccharose. La quantité de stérols est indispensable au développement de l'embryon. En absence de stérols, une diminution de la fécondité et de la fertilité peuvent être observées [288 ; 289]. Les phytophages utilisent les stérols présents dans leur alimentation sans les transformer ou bien en réalisant des réactions de déalkylation, de réductions et d'isomérisations pour obtenir le cholestérol qu'ils sont incapables de synthétiser *de novo*, ce qui donne des indications sur l'évolution de la phytophagie (Figure 3.2) [290].

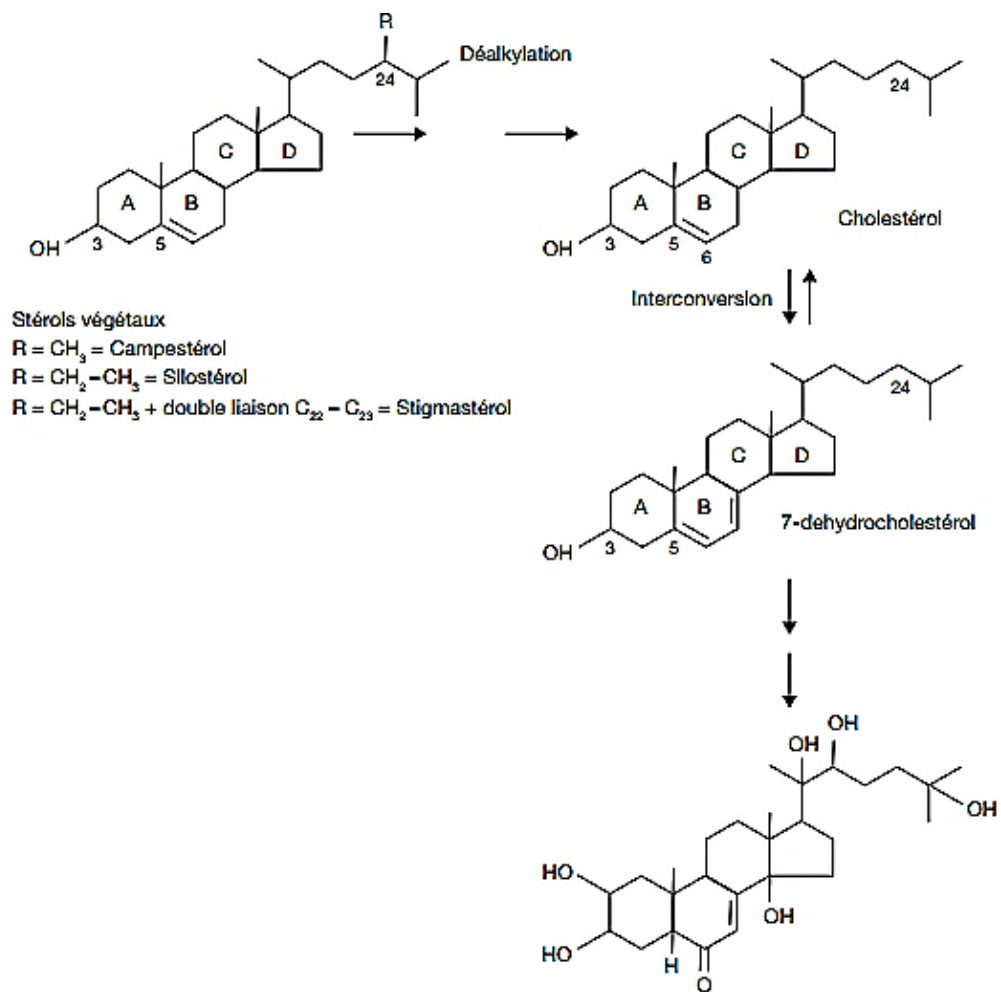


Figure 3.2 : Utilisation des phytostérols chez les insectes [290].

Les pucerons peuvent également éliminer des composés lipidiques directement dans les fèces sous forme d'esters ou de stérols glycosylés. Ces phytoecdystéroïdes peuvent parfois, selon les insectes, avoir des effets anti-appétants ou inhibiteurs de la croissance.

1. 2. Balance nutritionnelle et allocation des réserves énergétiques

Les insectes ingèrent plus d'une douzaine de nutriments présents en quantité et en ratios variables selon l'âge, le stade de développement et leur statut reproductif. Les insectes sont capables de réguler de manière spécifique leur prise alimentaire. Une balance est en effet requise entre les différents nutriments. Le ratio C/N modifie particulièrement leurs performances. Cette balance peut varier selon que l'insecte est généraliste ou spécialiste [291]. D'un point de vue physiologique, maintenir un tel équilibre nécessite de la part de l'insecte la capacité de percevoir la qualité nutritionnelle de sa source alimentaire *via* des récepteurs spécifiques à certains nutriments clés, et aussi la possibilité d'intégrer des informations internes sur son état nutritionnel («feedback» sur la concentration de l'hémolymphe en tréhalose par exemple) [281].

Le flux d'énergie au sein des organismes peut être évalué à différents niveaux. L'acquisition et l'allocation de l'énergie pour les fonctions de développement, de maintenance, de croissance et de reproduction dépendent de la disponibilité, de l'ingestion et de l'assimilation de la nourriture [292 et 293] (Figure 3.3). La maintenance rassemble les coûts énergétiques associés au métabolisme protéique afin notamment d'assurer le renouvellement ou turn-over des systèmes enzymatiques.

Les autres coûts, dits de production, regroupent la croissance, le développement et la reproduction. Le cadre général regroupant la dynamique de tous ces processus et des flux associés suit le principe de l'homéostasie qui s'applique à la masse structurelle de l'organisme et ses réserves tout au long de sa vie. La dynamique de l'allocation énergétique varie à l'échelle du corps de l'individu, d'un tissu à l'autre, et au niveau de l'individu, à l'échelle temporelle car la distribution des ressources évolue au cours du temps [293] (Figure 3.4).

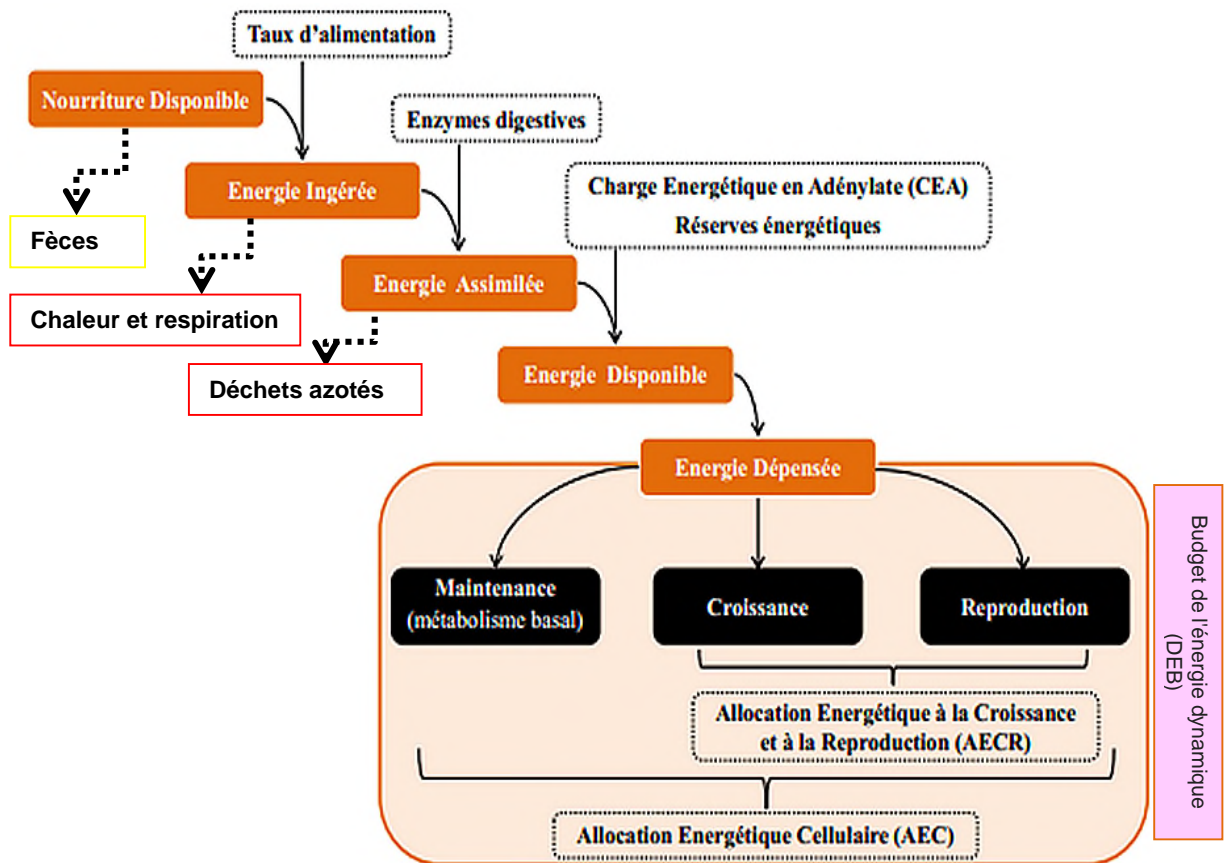


Figure 3.3 : Représentation du flux d'énergie au sein d'un organisme [modifié d'après 292 et 293]

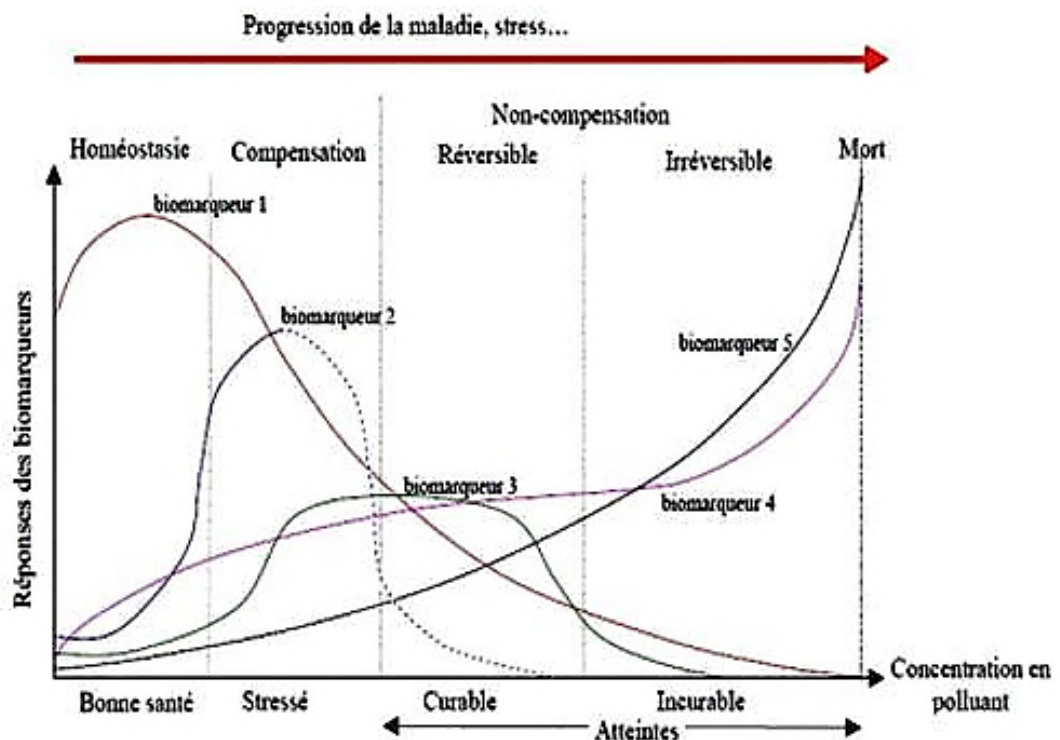


Figure 3.4 : Progression de l'état de santé d'un individu exposé à différentes contraintes environnementales [294].

Les phénomènes d'allocation énergétique présentent également des compromis ou trade-offs évolutifs. En effet, plus la quantité énergétique destinée à la reproduction et stockée sous la forme de réserves lipidiques et glucidiques pendant la phase larvaire est élevée, plus la quantité d'énergie disponible pour la croissance des tissus larvaires est faible. Ces différents traits d'histoire de vie suivent donc un modèle de densité -dépendance au sein duquel la quantité de ressources disponibles joue un rôle déterminant [295 et 296].

L'allocation énergétique à la croissance et à la reproduction (AECR), l'allocation énergétique cellulaire (AEC), la charge énergétique en adénylate (CEA) ainsi que les réserves énergétiques (glycogène, lipides et protéines) font partie des biomarqueurs énergétiques classiquement étudiés en écotoxicologie [297 et 298]. Ces éléments sont dépendants des processus d'acquisition de l'énergie, lesquels sont conditionnés en amont par la prise de nourriture et la dégradation de celle-ci. Ainsi, l'énergie brute sous forme d'aliments glucidiques, lipidiques et protéiques va être ingérée puis transformée en énergie assimilable sous forme d'oses, d'acides gras et d'acides aminés. Cette capacité digestive dépend notamment des activités enzymatiques digestives [299].

D'une manière générale, l'allocation énergétique chez les adultes est en permanence un compromis entre survie et reproduction [300]. Chez les insectes, il est ainsi possible d'opposer la production de « nombreux petits œufs » vs « peu de gros œufs » ou encore le caractère « généraliste » vs « spécialiste » ou enfin un comportement visant à optimiser la croissance au détriment de l'implication dans l'effort reproducteur [293]. Le lien entre les différents niveaux d'organisation biologique peut être réalisé en s'intéressant à la fonction de reproduction (Figure 3.5).

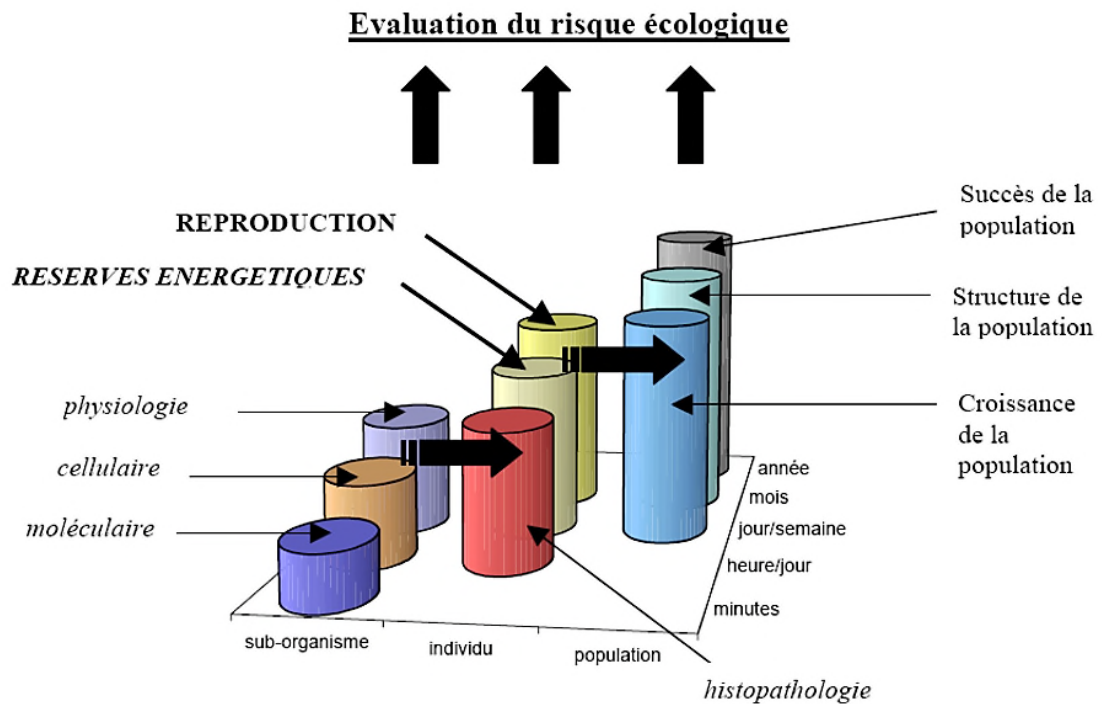


Figure 3.5 : Les différents niveaux d'évaluation du risque et leurs relations temporelles [301].

En effet, les perturbations au niveau individuel et infra-individuel ayant le plus de chance d'être liées à des effets aux niveaux d'intégration biologiques supérieures sont celles qui vont affecter directement ou non la « fitness » de l'individu et au-delà, le maintien de la population [302]. Parmi les éléments déterminant le succès reproducteur des organismes, on peut citer l'allocation énergétique nécessaire au maintien du métabolisme basal, à la croissance et à la reproduction. De manière indirecte, nous pouvons également évoquer l'ensemble des processus biochimiques et physiologiques impliqués dans le métabolisme énergétique.

1.3. Réserves énergétiques considérées comme biomarqueurs

Un biomarqueur n'a d'intérêt que s'il peut être précoce et prédictif d'un changement à l'échelle de la population [303]. Il apparaît donc indispensable de vérifier la relation entre les réponses des biomarqueurs et les conséquences à des niveaux d'organisation supérieurs. Les réponses des activités enzymatiques digestives pourraient aussi constituer un outil complémentaire aux biomarqueurs énergétiques. Différentes classifications de biomarqueurs ont été proposées dont deux sont présentées dans le Tableau 3.2 [304 ; 305 ; 306 et 307]. La première classification (en gris clair dans le tableau) a été proposée par NAS/NRC [308],

CAJARAVILLE *et al.* [309] et LAGADIC *et al.* [310] et la seconde (en gris foncé dans le tableau) a été proposée par DE LAFONTAINE *et al.* [305].

Tableau 3.2 : Présentation de deux classifications de biomarqueurs (BM) d'après GUERLET [306].

Catégorie de BM	Description	Exemples
BM d'exposition à un xénobiotique	Témoin de la pénétration du polluant dans l'organisme, souvent le résultat d'une interaction polluant / molécules biologiques dans les tissus ou fluides corporels.	Conjugaison au GSH, formation d'adduits à l'ADN, induction des MT
BM d'effet	Témoin de l'amplitude d'un effet, toxique ou non, sur une cible critique après entrée et distribution du xénobiotique dans l'organisme (= BM de stress général + BM spécifiques d'une classe de xénobiotiques).	Cassures à l'ADN, enzymes du stress oxydant, réponses lysosomales
BM de sensibilité	Témoin de variations génétiques de la réponse à la contamination par les polluants. Lorsque cette sensibilité est faible, après sélection par des molécules toxiques : BM de résistance.	Augmentation de la quantité de GST, baisse de sensibilité des AChE (résistance aux insecticides)
BM de défense	Réaction de défense d'un organisme exposé à un contaminant.	Induction des MT ou de l'activité EROD
BM de dommages	Altération directe causée à l'organisme par les contaminants toxiques.	Cassures à l'ADN, produits de la LPO, niveaux de VG

AChE : acétylcholinestérases ; BM : biomarqueur ; EROD : activité 7-éthoxyrésorufine O-dééthylase ; GSH : glutathion ; GST : glutathion S-transférases ; LPO : lipoperoxydation ; MT : métallothionéines ; VG : protéines de type vitellogénine.

L'utilisation simultanée des biomarqueurs spécifiques mesurés à plusieurs niveaux d'organisation biologique, moléculaire, cellulaire, tissulaire et physiologique peut apporter des informations pertinentes en condition de stress sur le mode d'action et les effets des xénobiotiques présents dans le milieu. De plus, les biomarqueurs ne concernent qu'un certain nombre d'individus appartenant à une ou plusieurs espèce(s) sentinelle(s). Ils ne peuvent ainsi présenter une signification écologique que lorsqu'ils sont associés à des études concernant les populations et les communautés. Finalement, seule une approche globale intégrant des analyses chimiques et biologiques (bioindicateurs et biomarqueurs) permet d'évaluer la qualité d'un écosystème et les risques qu'il encourt (Figures 3.6 et 3.7) [311].

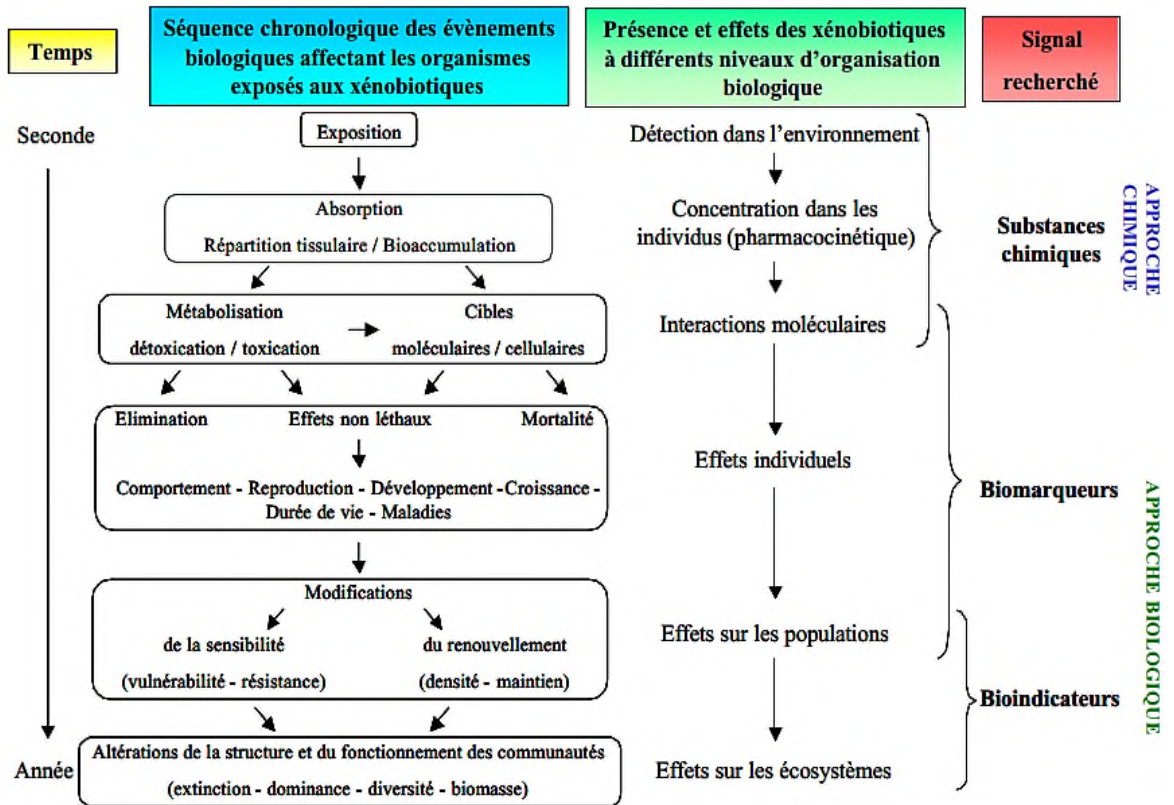


Figure 3.6 : Evaluation de la qualité de l'environnement par une approche globale chimique et biologique [311].

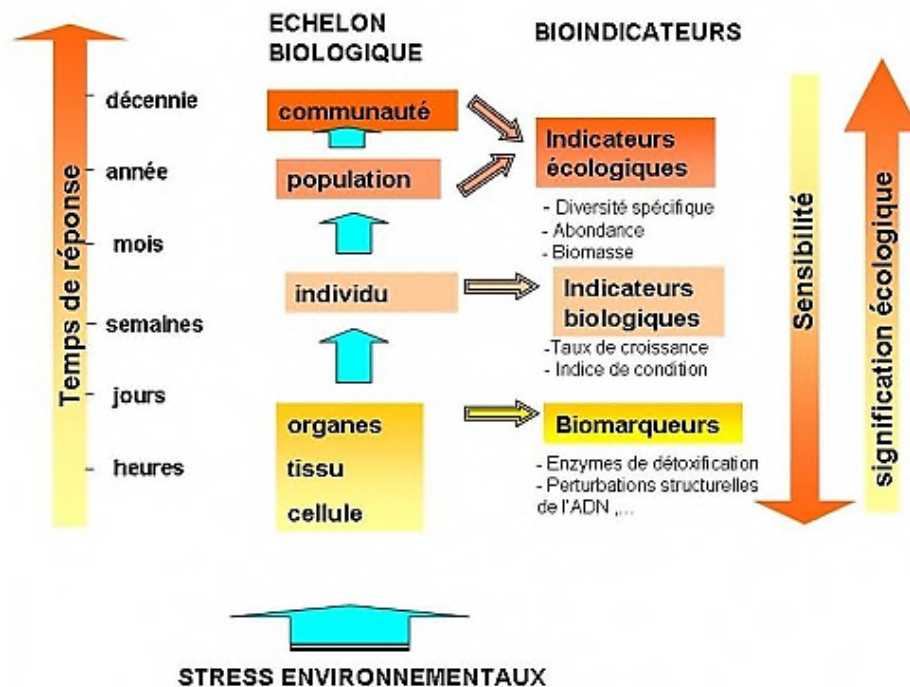


Figure 3.7 : Diagramme illustrant les différentes approches liées à l'évaluation de la qualité environnementale [313].

En effet, l'exposition à des stress peut entraîner un déséquilibre de la balance énergétique de l'individu se traduisant par une hausse des dépenses énergétiques pour assurer la survie de l'organisme, au dépend de l'énergie destinée à la croissance et à la reproduction [312]. Plusieurs paramètres en lien avec le métabolisme énergétique et caractéristiques d'un niveau d'organisation biologique peuvent être étudiés et être mis en relation avec des critères macroscopiques représentatifs du maintien (taux de survie), de la croissance (indices de condition) ou de la reproduction (nombre d'embryons) [302].

D'une façon générale, des processus impliqués dans la tolérance ou la résistance au stress entrent en compte quant à la gestion des ressources énergétiques [314 et 315]. Il a par ailleurs été montré chez de nombreuses espèces d'insectes que les réserves nutritionnelles stockées durant la phase larvaire peuvent être directement réallouées à d'autres fonctions au stade adulte [316]. Ainsi, l'énergie contribuant initialement à la maturation des larves peut en partie être réallouée à la reproduction des adultes [293]. Enfin, certains auteurs pensent que les compromis sont visibles uniquement lorsque les conditions environnementales sont défavorables. En effet, les individus peuvent investir l'énergie de façon maximale dans tous les traits lorsque les conditions sont favorables [316].

Les biomarqueurs peuvent être cependant très sensibles aux facteurs environnementaux abiotiques et biotiques, la présence de micro-habitats ou de relations de compétition ou de prédation au sein des communautés. Ainsi la réponse de chaque niveau d'organisation aux stress s'inscrit sur une échelle de temps : de la réaction enzymatique instantanée à la modification irréversible de l'écosystème [317 ; 318 et 320].

1.4. Choix et stratégies d'approches et d'acceptation d'une plante hôte

Les insectes sont soit polyphages et ont donc la capacité de s'alimenter sur une grande diversité de plantes de différents ordres (voire classes), soit oligophages et s'alimentent sur une plus faible diversité de végétaux [321]. La sélection et la reconnaissance de la plante hôte sont basées sur trois caractéristiques visuelles qui influencent le comportement des insectes : la qualité spectrale (les couleurs), les dimensions (la taille) et l'allure (la forme) [322]. L'image sensorielle formée par

l'intégration des signaux (Tableau 3.3) peut être comparée avec une image interne stockée et fixée génétiquement mais modifiable selon l'expérience de l'insecte phytophage [321]. Si la correspondance est suffisamment bonne, l'insecte reconnaît et accepte la plante comme hôte par un stimulus chimique et physique [323 et 324].

Tableau 3.3 : Synthèse des différentes modalités sensorielles impliquées dans les comportements de recherche de la plante hôte [329].

Sensorielle	Acoustique	Visuelle	Mécanique (perception de flux d'air)	Olfactive
Distance d'action	Longue ou courte	Longue ou courte	Longue pour l'anémotactisme, courte pour la température et l'hygrométrie	Longue et courte selon la volatilité des molécules
Type de signal	Vibrations de la feuille, stridulations	Contraste, forme ou silhouette, couleur, polarisation de la lumière, photopériode	Mouvements de l'air, température, hygrométrie	Molécules
Organes impliqués	Organes tympaniques, organe de Johnson	Yeux, ocelles	Mécanorécepteurs (incluant hygro, thermo) dont organe de Johnson	Chimiorécepteurs des antennes
Mode d'action	Orientant ou enclencheur	Orientant et régulateur	Orientant ou enclencheur	Orientant ou enclencheur
Fiabilité de l'information	Souvent bonne	De bonne à faible	Faible	Très bonne à excellente
Sensibilité à la confusion ou au camouflage	Faible	Faible pour la confusion	Sujette aux perturbations aérodynamiques	Sujette à masquage, confusion olfactive et évidemment aux perturbations aérodynamiques
Objectif de la recherche	Cible précise	Zone de présence à cible précise	Zone de présence	Zone de présence et cible précise
Amélioration des performances par apprentissage	Non démontrée	Oui	Non démontrée	Oui
Exemples	Cicadelles, cigales, drosophiles, parasitoïdes	Mouche des fruits, abeilles	Blattes, doryphores, Lépidoptères	Très nombreux insectes

Les ravageurs auraient d'avantage de difficultés à localiser des plantes hôtes et les quitteraient plus rapidement lorsque celles-ci sont en polyculture plutôt qu'en monoculture. Les mécanismes impliqués ne sont pas précisément identifiés mais divers stimuli sont mis en jeu. Chez les pucerons, le choix de la plante hôte est un processus par étape qui se base sur quatre types de stimuli : visuels, olfactifs, tactiles et gustatifs [254]. Le puceron ailé, grâce à ses antennes, atterrit tout d'abord sur une plante en réponse à une synergie entre la couleur [325] et les composés volatils émis par la plante [326]. C'est par l'intermédiaire de petits orifices, les rhinaries, que les composés volatils sont captés par les pucerons [327]. Les rhinaries primaires se retrouvent chez les individus ailés et aptères et à tous les stades alors que les rhinaries secondaires sont plus rares sur les virginipares aptères [328].

Une fois en contact avec la plante, plusieurs indices sont évalués en parcourant la surface. Les cires épicuticulaires, les exsudats de trichomes [330], la texture du substrat [331], sa topologie [332] ainsi que la couleur [333] peuvent influencer le comportement du puceron avant la pénétration du stylet.

Le mouvement des antennes permet non seulement de détecter les composés volatils présents dans la couche limite [334 et 335] mais aussi d'apporter des informations gustatives sur le substrat par contact des processus terminaux [336]. Les piqûres de gustation sont une réponse réflexe du puceron après le contact des tarsi sur une surface solide [330] même en présence d'éléments répulsifs [337]. L'acceptation finale s'établit enfin par l'analyse gustative du contenu de la plante par plusieurs piqûres de gustation allant de l'épiderme jusqu'au parenchyme [254]. Si la prospection est interrompue à quelque niveau qu'il soit, la procédure doit être recommencée à zéro [338]. Chacune des étapes du cycle de recherche et d'acceptation de la plante hôte représente un niveau possible d'intervention (Figure 3.8).

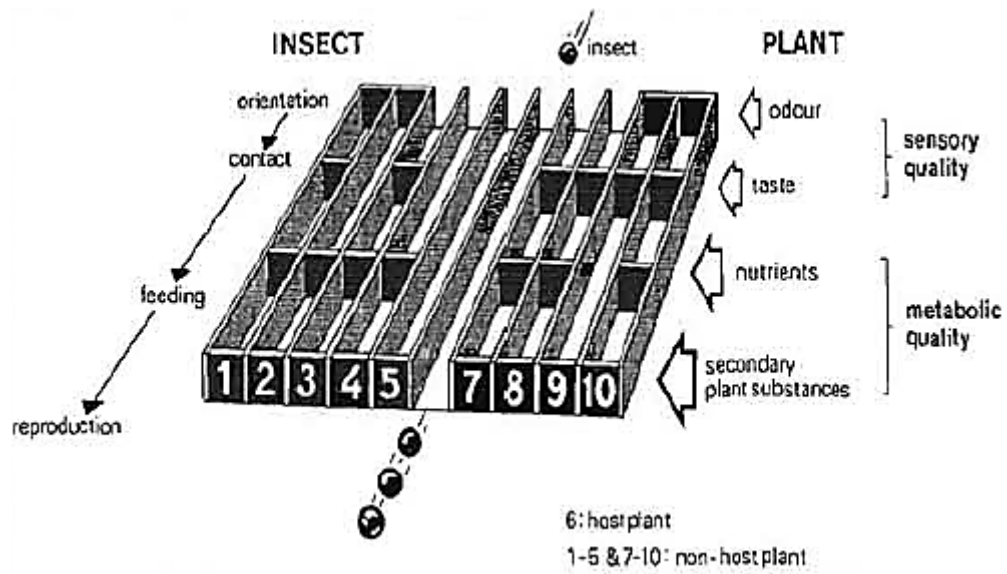


Figure 3.8 : Illustration de la procédure de recherche de choix et d'acceptation d'une plante hôte par un insecte [338].

Sur une plante acceptable, les stimuli positifs (facteurs chimiques et physiques stimulants) domineraient les stimuli négatifs (barrières physiques, facteurs chimiques et physiques répulsifs) alors que sur une plante faiblement acceptable ou rejetée par l'insecte, les stimuli négatifs auraient plus d'importance [339 et 340].

1.5. Utilisation et rôle de l'information chimique

1.5.1. Information chimique émise par la plante

Les composés volatils organiques (COV) sont le fruit de différentes voies métaboliques des plantes. Celles-ci sont constitutives et / ou induites par des mécanismes de défense contre des stress abiotiques ou biotiques dont la défense contre les herbivores et les pathogènes et la communication de plante à plante [341 : 342 et 343]. Leur importance dans la défense contre les insectes herbivores est reconnue depuis près de 40 ans et la compréhension des mécanismes induits pourrait permettre d'améliorer la gestion des ravageurs [344]. De récentes études sur le comportement des arthropodes face à des COV issus des plantes se concentrent principalement sur les composés induits suite à une attaque d'herbivores et leur influence en tant que kairomones sur les auxiliaires (Figure 3.9) [345 ; 346 et 347].

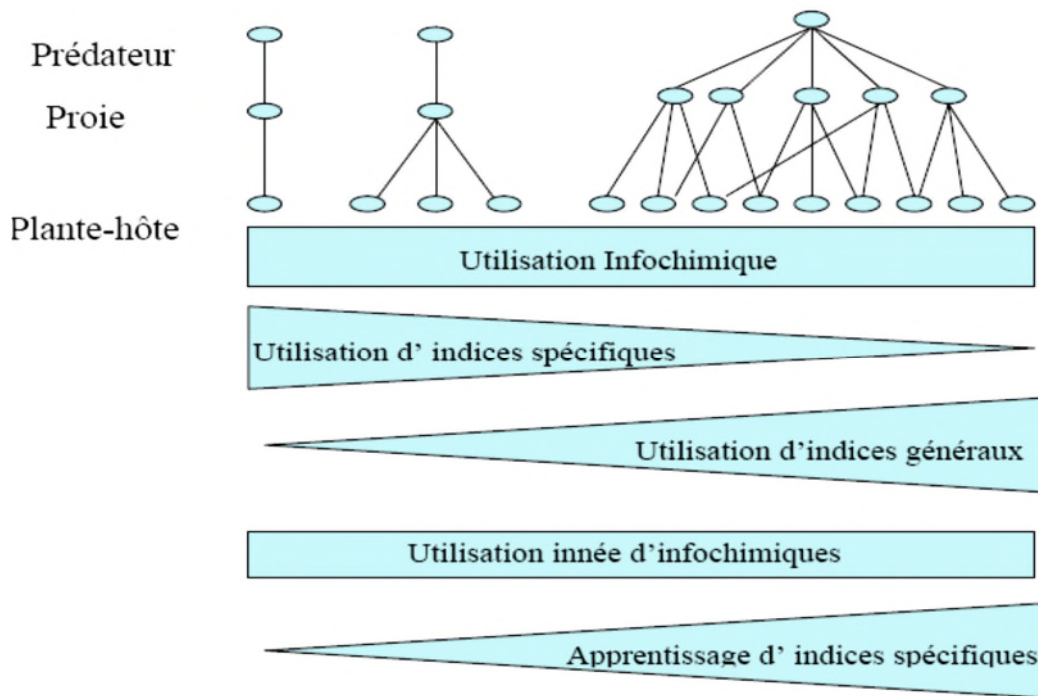


Figure 3.9 : Utilisation des informations chimiques par les insectes spécialistes et les insectes généralistes [348].

Les COV utilisés par les ravageurs pour trouver leur plante hôte ont été en revanche moins étudiés. Les études menées sur le sujet ont identifié des COV attractifs [344], répulsifs ou perturbateurs [338 et 349]. Des essais de diffusion de molécules au champ ont montré pour certains COV une augmentation du piégeage de pucerons alors que d'autres ont plutôt provoqué une diminution de colonisation [350]. Plus généralement, VISSER [351] a avancé que la réponse comportementale des insectes face aux COV serait le résultat non seulement de la capacité de détecter des composés spécifiques à une famille botanique ou une espèce mais aussi de la capacité d'interpréter les proportions des divers COV. Plusieurs études supportent l'hypothèse de VISSER [351] dans le cas du puceron [254 et 352].

1.5.2. Information chimique émise par l'insecte

Outre la détection de la nourriture et du site d'oviposition, les interactions entre insectes passent souvent par l'établissement d'un système de communication chimique entre individus qui participe à la dynamique des systèmes écologiques, à leur structuration [532] et dans l'appréhension du danger comme la reconnaissance d'un prédateur ou d'une substance toxique [354 et 355]. La signature chimique d'un individu (son odeur) comprend une base génétique, des composantes acquises au

cours de sa vie et l'alimentation. Elle est régulée également par des hormones, des ecdystéroïdes et des neurotransmetteurs qui sont tous fondés sur l'information et supposent la sollicitation d'une machinerie sensorielle omniprésente [356]. Libérés dans l'environnement, les composés sémiocchimiques sont exploités par les ravageurs et les insectes auxiliaires. Parmi ces molécules, on distingue deux groupes : les substances allélochimiques et les phéromones (Figure 3.10) [357].

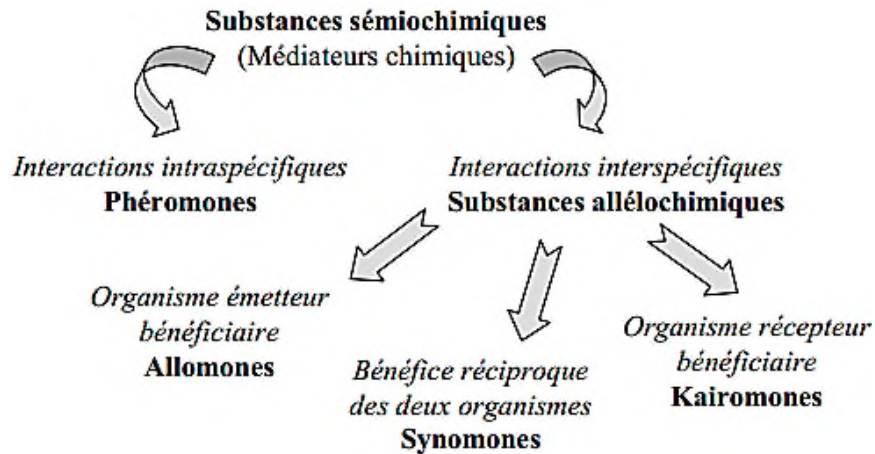


Figure 3.10 : Schéma représentant les différentes catégories de médiateurs chimiques [358]

Les substances allélochimiques sont définies comme étant des métabolites secondaires (kairomones, allomones et synomones) émis par un individu d'une espèce et capables d'affecter la santé, la croissance, le comportement et / ou la biologie d'un individu d'une autre espèce [359 et 360]. Les phéromones se définissent comme étant des substances sécrétées par un individu et captées par un autre individu de la même espèce. Il en résulte une réaction intraspécifique [357]. Les composés sémiocchimiques permettent aux auxiliaires de localiser une source de nourriture, des hôtes ou des proies [361 et 362]. Au niveau des relations tritrophiques (Figure 3.11), ces odeurs induisent différentes réponses comme l'attraction, la répulsion, l'arrêt ou la stimulation de certains comportements chez les auxiliaires. Les prédateurs et les parasitoïdes réagissent non seulement aux sémiocchimiques émis par les plantes attaquées mais aussi à ceux libérés par les ravageurs [362].

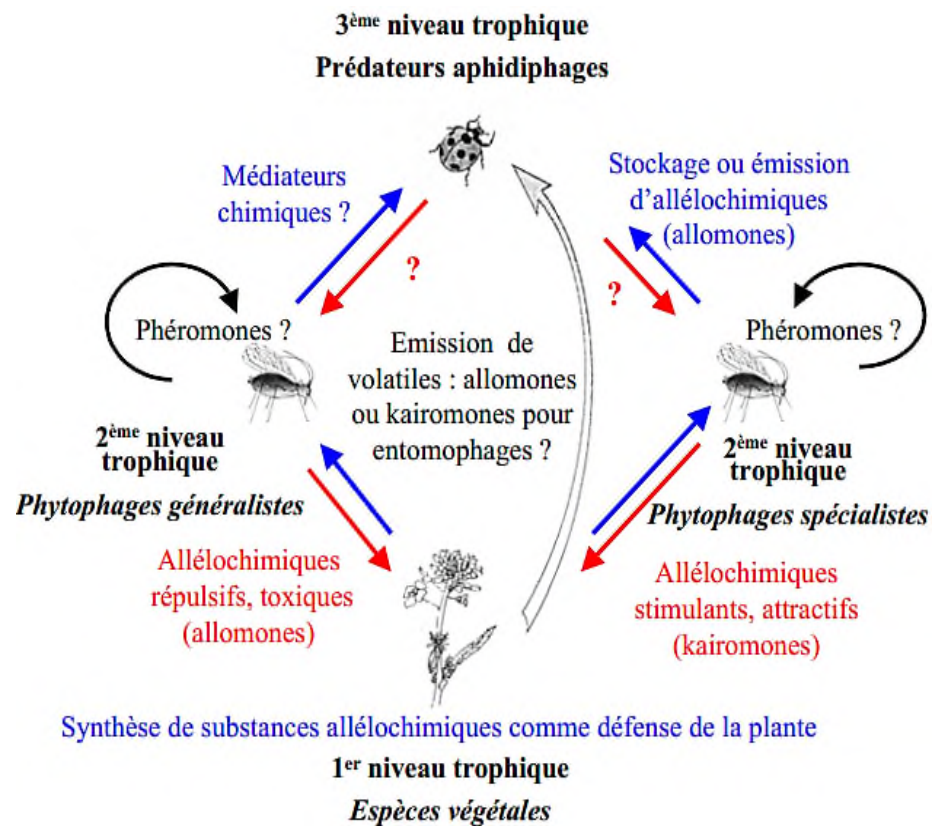


Figure 3.11 : Présentation des relations plantes tritrophiques et interventions des molécules informatives en tant que médiateurs chimiques [358]

Le miellat, composé riche en sucres et en acides aminés secrété par les pucerons [363 ; 364 ; 365 et 366], joue un rôle crucial dans les relations tritrophiques comme une kairomone volatile et/ou de contact utilisée spécifiquement par les prédateurs et les parasitoïdes afin de localiser leurs proies ou hôtes [367] et également comme un complément nutritionnel essentiel en sucres et en acides aminés pour les insectes auxiliaires (Figure 3.12) [262].

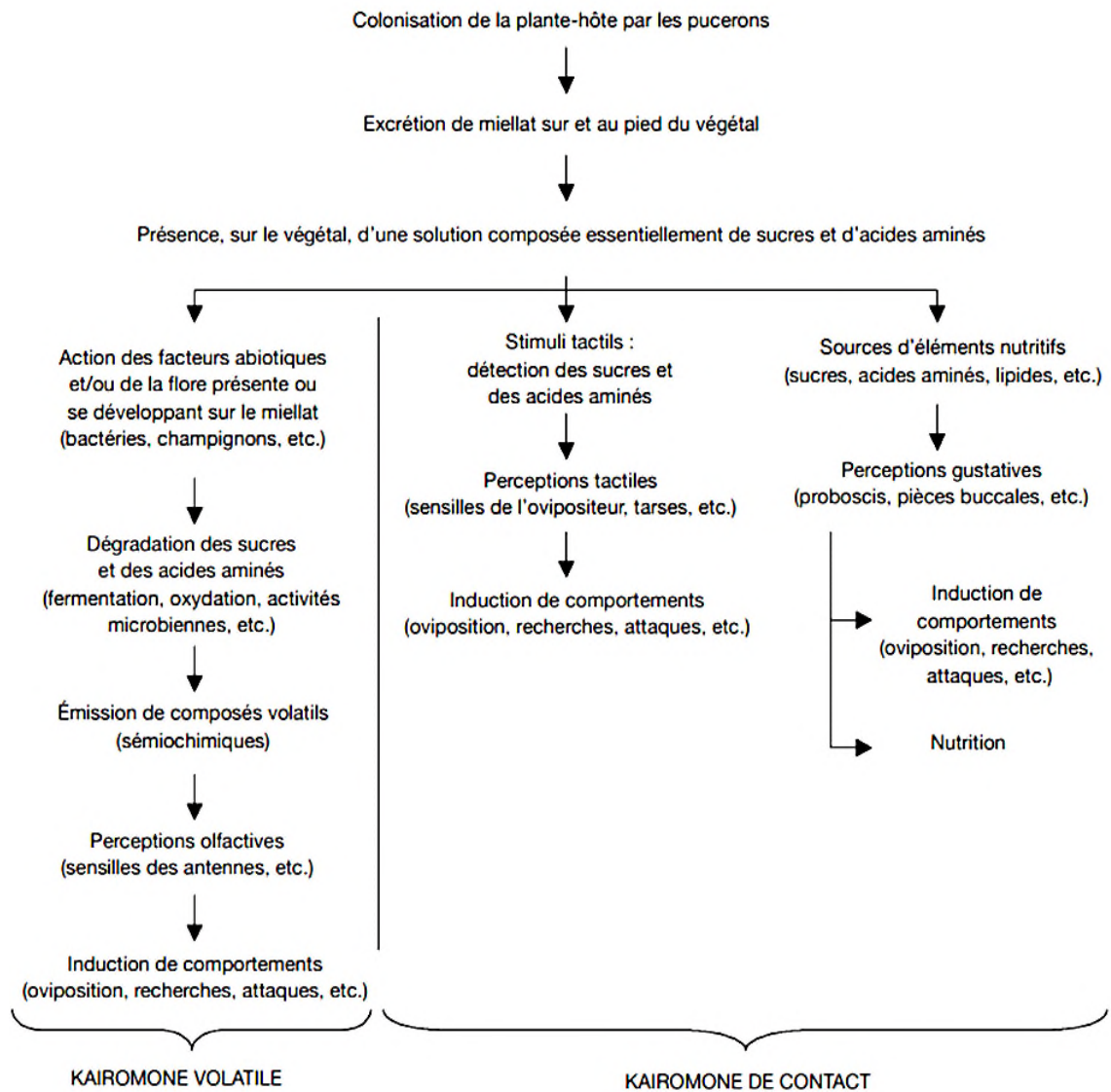


Figure 3.12 : Principaux «modes d'action» joués par le miellat à l'égard des insectes auxiliaires [360].

2. Résistance des plantes aux phytophages affectant le processus de colonisation

La résistance d'une plante à un insecte peut être vue de plusieurs manières qui sont l'antibiose, la tolérance et la non-préférence [368]. L'antibiose fait référence aux effets négatifs que la plante peut exercer sur l'insecte par ses caractéristiques mécaniques (épines, dureté du feuillage...), phénologiques et chimiques [369 et 370]. Certains effets sont directement mesurables tels que la réduction de fécondité, de taille, de masse ou de longévité ou encore l'augmentation du taux de mortalité ou du temps de développement des larves [283]. La tolérance, pour sa part, fait référence à la capacité de la plante à supporter les attaques de l'insecte [266 et 370]. La non-préférence, renommée antixénose par KOGAN et ORTMAN [371],

correspond à une altération du comportement de l'insecte conduisant à une faible ou non reconnaissance de la plante comme hôte [372]. Elle est causée par différents caractères morphologiques, physiologiques et / ou phénologiques qui repoussent l'insecte ou dissuadent le comportement de nutrition ou d'oviposition/parturition [372 et 373]. Les défenses de nature physique et en particulier les épines sont surtout efficaces vis-à-vis des phytophages de grande taille tels que les vertébrés mais n'ont apparemment qu'une efficacité limitée vis-à-vis de phytophages de taille plus restreinte comme les insectes.

2.1. Systèmes de défense directe ou constitutive

La réponse des plantes induite par les phytophages implique l'activation de voies métaboliques permettant des changements physiologiques (Figure 3.13) [374]. Des systèmes de défenses sont mis en place au moment ou peu après le début de l'attaque. GREEN et RYAN [375] ont mis en évidence ce phénomène en montrant que la consommation des feuilles de tomate ou de pomme de terre par les larves du doryphore *Leptinotarsa decemlineata* induit une rapide accumulation d'inhibiteurs de protéases dans les feuilles de ces plantes. Ces protéines permettent de retarder la croissance des phytophages [376 et 377] et de manière plus générale, d'améliorer la résistance de la plante vis-à-vis du ravageur [378 et 379]. Les insectes phytophages ne déclenchant pas de réponse chez les plantes attaquées font figures d'exceptions [380].

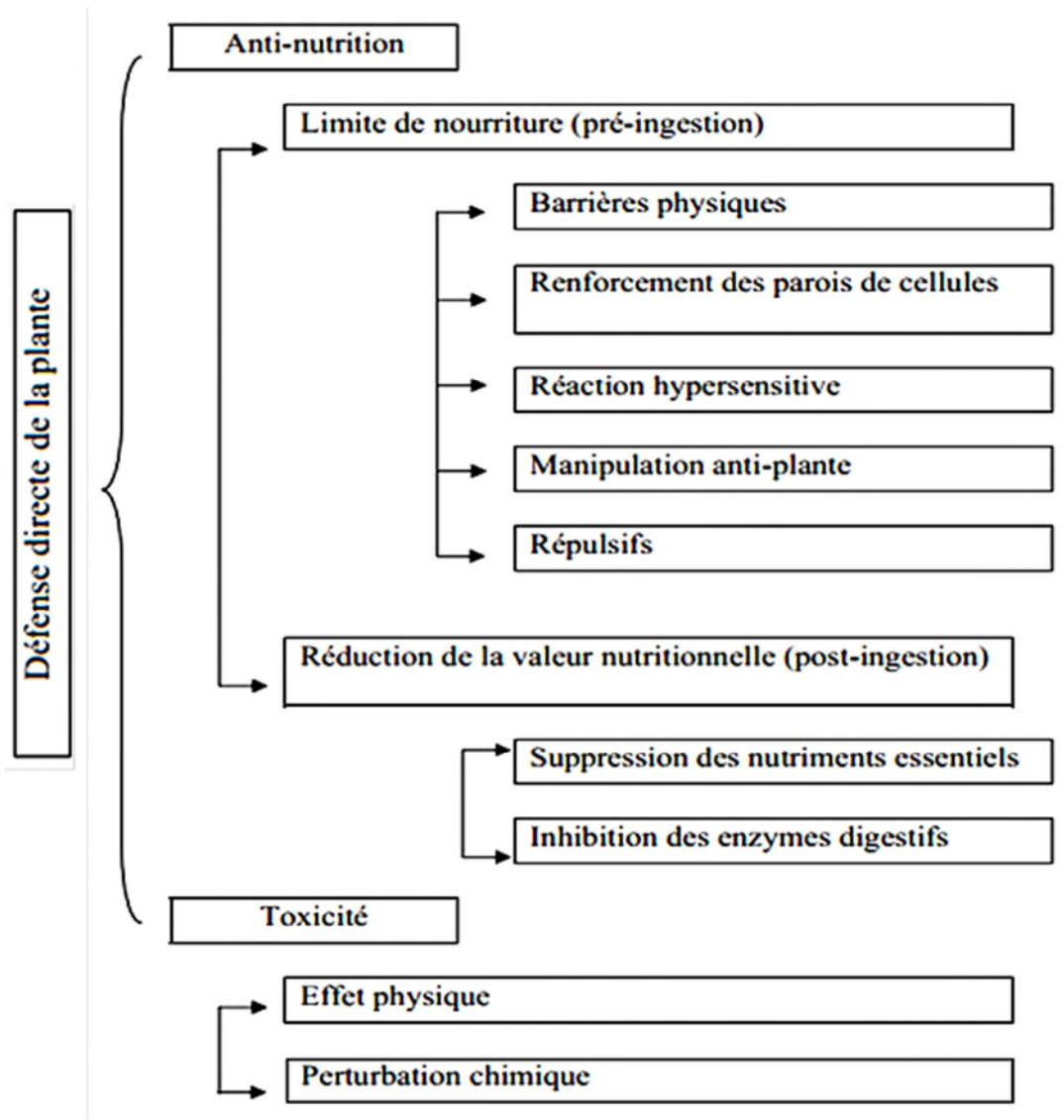


Figure 3.13 : Catégories de la défense directe de la plante contre les insectes herbivores [381].

2.2. Systèmes de défense indirecte ou induite

Les défenses induites peuvent également s'exprimer de façon indirecte par le biais de l'attraction des ennemis naturels des phytophages (Figure 3.14). En effet, dans de nombreuses associations entre plantes et phytophages, il a été montré que l'attaque des herbivores induisait l'émission par les plantes d'un panel de COV attractifs vis-à-vis des prédateurs ou des parasitoïdes des insectes phytophages [382].

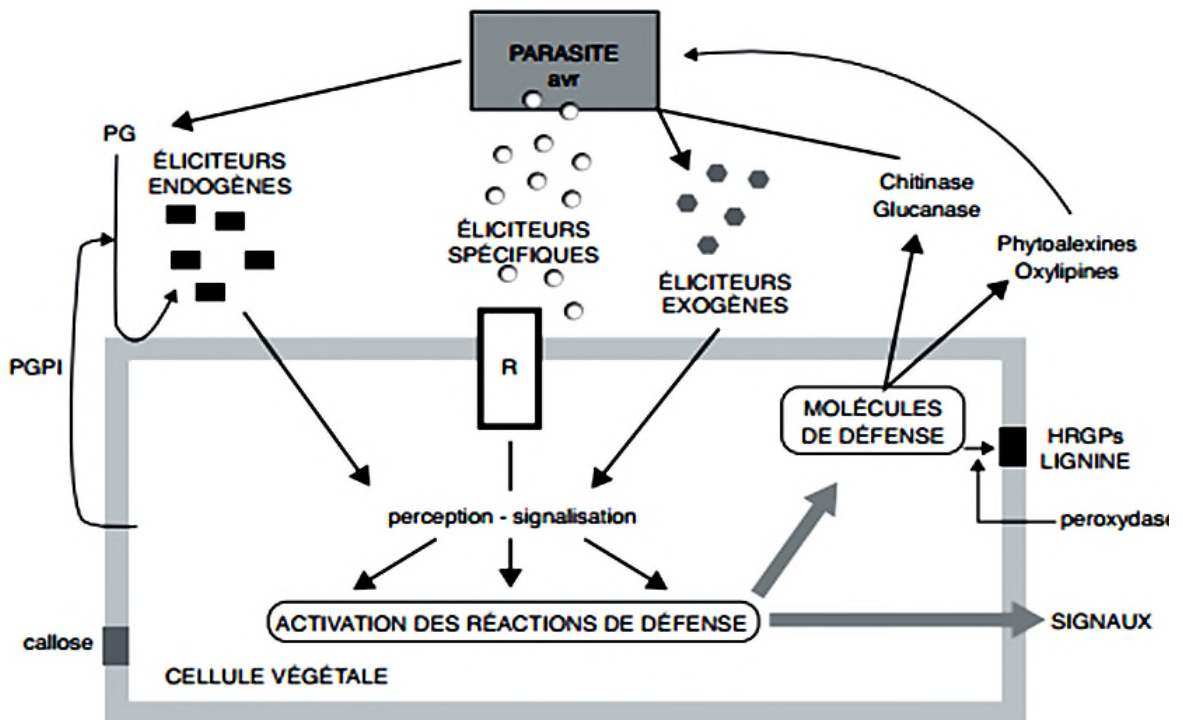


Figure 3.14 : Les éliciteurs des réactions de défense des plantes [266 et 383]. Les éliciteurs spécifiques, produits des gènes *avr*, interagissent avec les protéines R de la plante pour déclencher une RH. Les éliciteurs généraux endogènes sont relargués par la plante et résultent soit du métabolisme secondaire (oxylipines), soit de l'action de polygalacturonases microbiennes (PG) qui peuvent être inactivées par des inhibiteurs depolygalacturonases (PGPI). Les éliciteurs exogènes sont excrétés par le parasite. L'ensemble de ces éliciteurs active des voies de signalisation pour induire la synthèse de signaux et de molécules de défense : phytoalexines, lignine, subérine, callose, oxylipines, PR-protéines (chitinase, glucanases, peroxydases...), HRGPs (hydroxyproline-rich glycoproteins).

Cette émission de COV est systémique : la production de substances défensives va augmenter non seulement au niveau du site d'attaque mais également dans toute la plante. Les feuilles non attaquées émettent donc à leur tour des substances attractives pour les ennemis naturels spécifiques de leurs insectes bioagresseurs [384]. Par ailleurs, dans certains systèmes tritrophiques plantes – herbivores - parasitoïdes, l'attraction de parasitoïdes par les plantes attaquées se traduit par un gain de fitness immédiat pour la plante [385 et 386].

2.3. Rôle des métabolites secondaires

D'une manière générale, la plupart des composés secondaires (Figure 3.15) agissent sur le comportement d'un grand nombre d'insectes phytophages par des processus de répulsion ou d'anti-appétence et vont ainsi limiter les phénomènes de colonisation de ces plantes par les insectes [387].

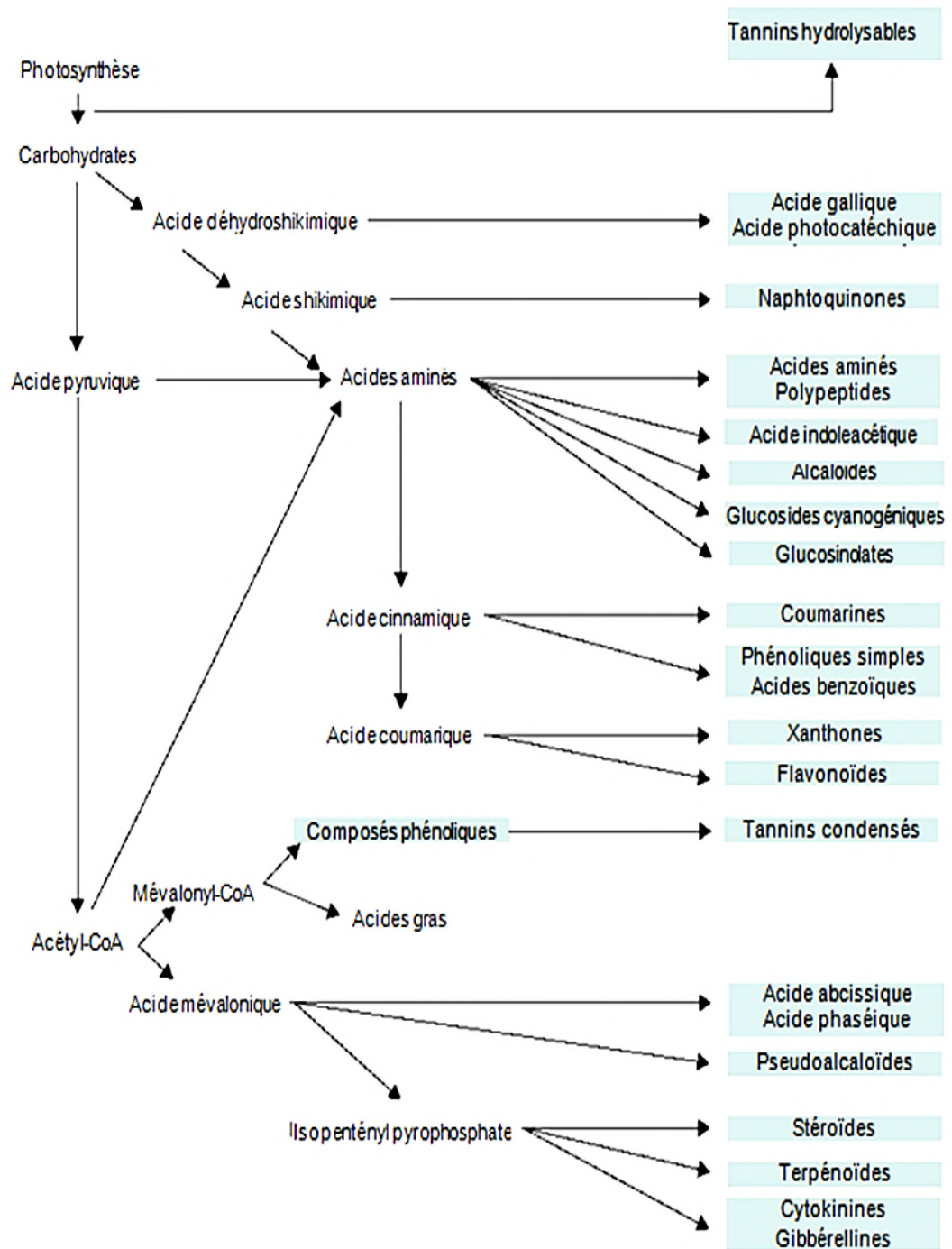


Figure 3.15 : Voies principales de synthèse des composés secondaires chez les plantes supérieures [403].

L'intensité de l'augmentation des métabolites secondaires végétaux n'est pas toujours identique dans les différents tissus de la plante [380]. En effet, selon la théorie de l'«Optimal Défense» [388 ; 389 et 390], la concentration des composés secondaires est plus forte au niveau des parties importantes en termes de fitness pour la plante et au niveau des zones présentant de fortes probabilités d'attaques.

Les tannins sont des composés phénoliques qui sont présents dans les végétaux sous forme de polymères ayant des structures plus ou moins complexes [391]. Ils peuvent avoir des effets positifs, négatifs ou neutres sur les herbivores. Pour les insectes affectés négativement, les mécanismes d'action des tannins aboutissent à une réduction de la disponibilité de l'azote nutritionnel [392] et une réduction de la nourriture consommée [393]. De plus, les tannins peuvent exercer un effet toxique direct pour certaines espèces [394].

Les principaux COV sont des allélochimiques libérés en réponse aux attaques des herbivores. Ce sont des monoterpènes, des aldéhydes, de l'éthylène, des alcaloïdes, des flavonoïdes, des terpènes lactones et des phénols [395]. Ces substances sont produites et stockées dans les parois des cellules des feuilles, les vacuoles, des cires ou encore des cellules spécialisées comme les trichomes [396]. Les alcaloïdes sont souvent toxiques et servent principalement d'inhibiteurs de croissance et de phagodissuadants [397]. Les saponines, qui sont fréquentes chez les plantes notamment au niveau des graines et des racines, exercent dans certains cas des effets toxiques contre les insectes [398].

Deux classes de protéines sont courantes dans le règne végétal pour lutter contre les herbivores : les inhibiteurs de protéases digestives (Figures 3.16, 3.17 et 3.18) et les lectines [273 ; 399 et 400]. Beaucoup de plantes répondent à l'attaque des herbivores en activant des gènes de défense dont les produits réduisent la qualité nutritionnelle des protéines ingérées et inhibent les protéases digestives de l'insecte [401]. Lorsque les larves de premier stade se nourrissent de feuilles dans lesquelles les protéines solubles représentent 1 % de la matière fraîche, on observe une mortalité de plus de 60 % des larves après 7 jours et les larves survivantes présentent un retard de croissance de l'ordre de 70 % [402].

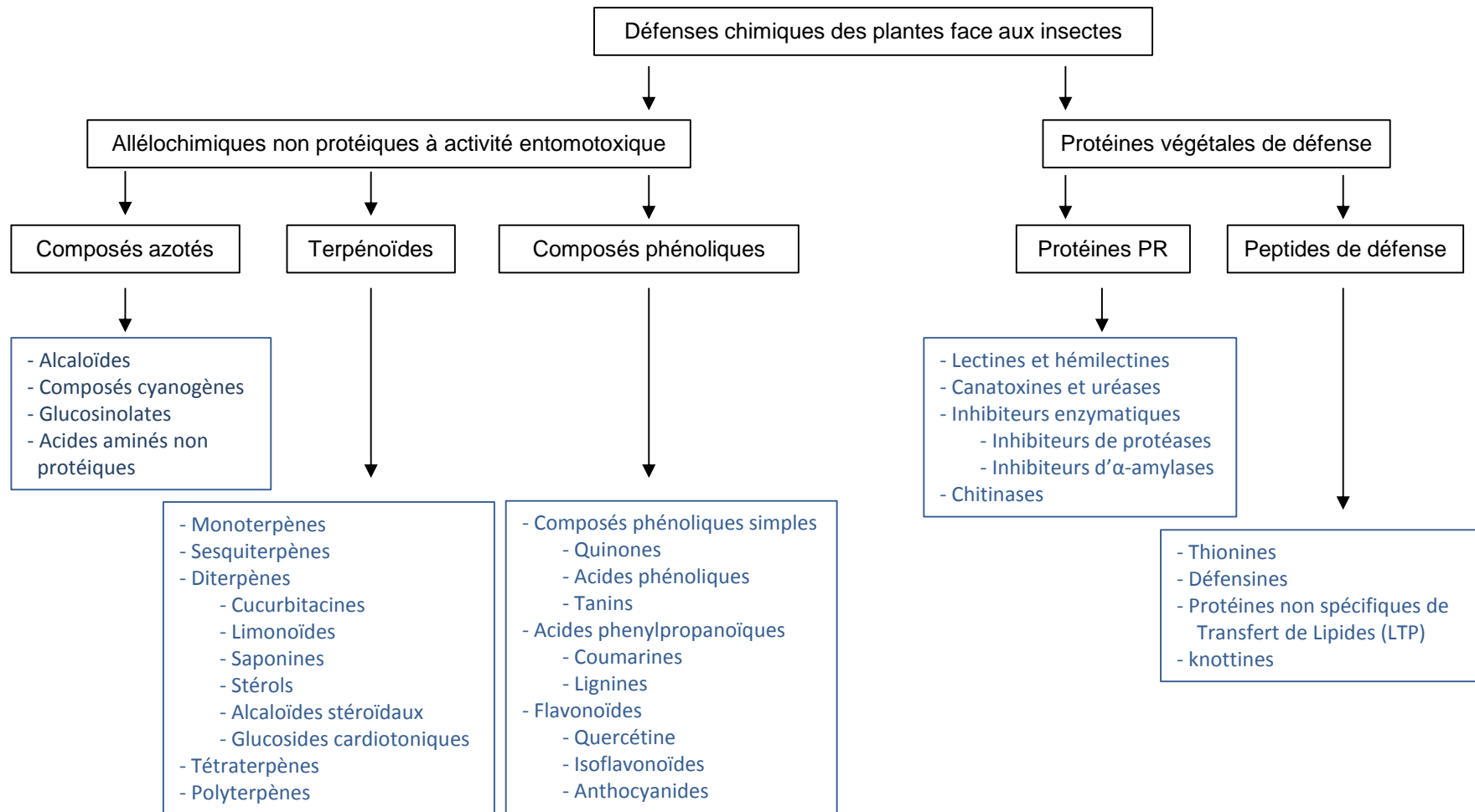


Figure 3.16 : Les métabolites secondaires produits par les plantes suite à des agressions biotique et / ou abiotiques [400].

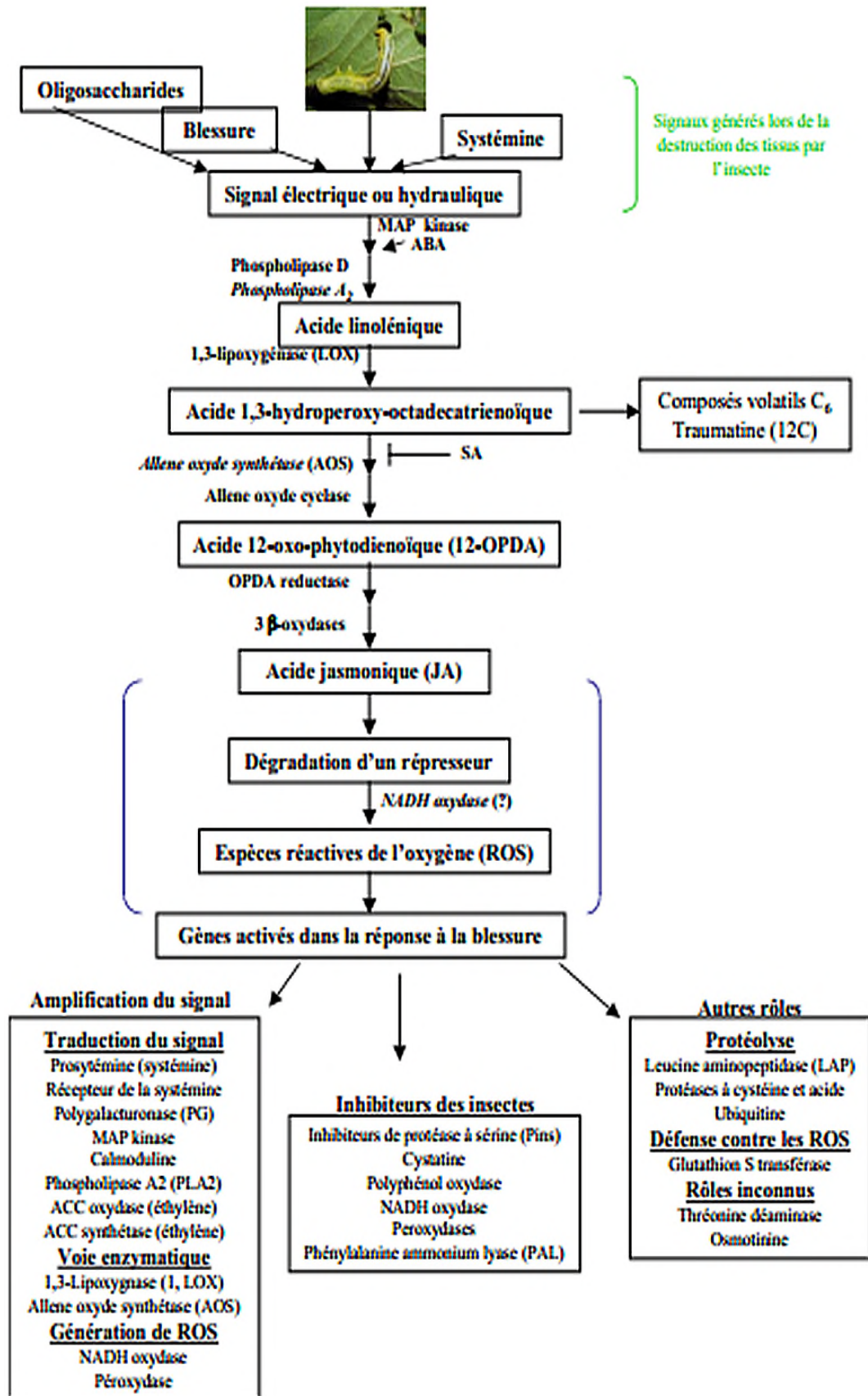


Figure 3.17 : Modèle des voies de transduction en réponse à la blessure [404].

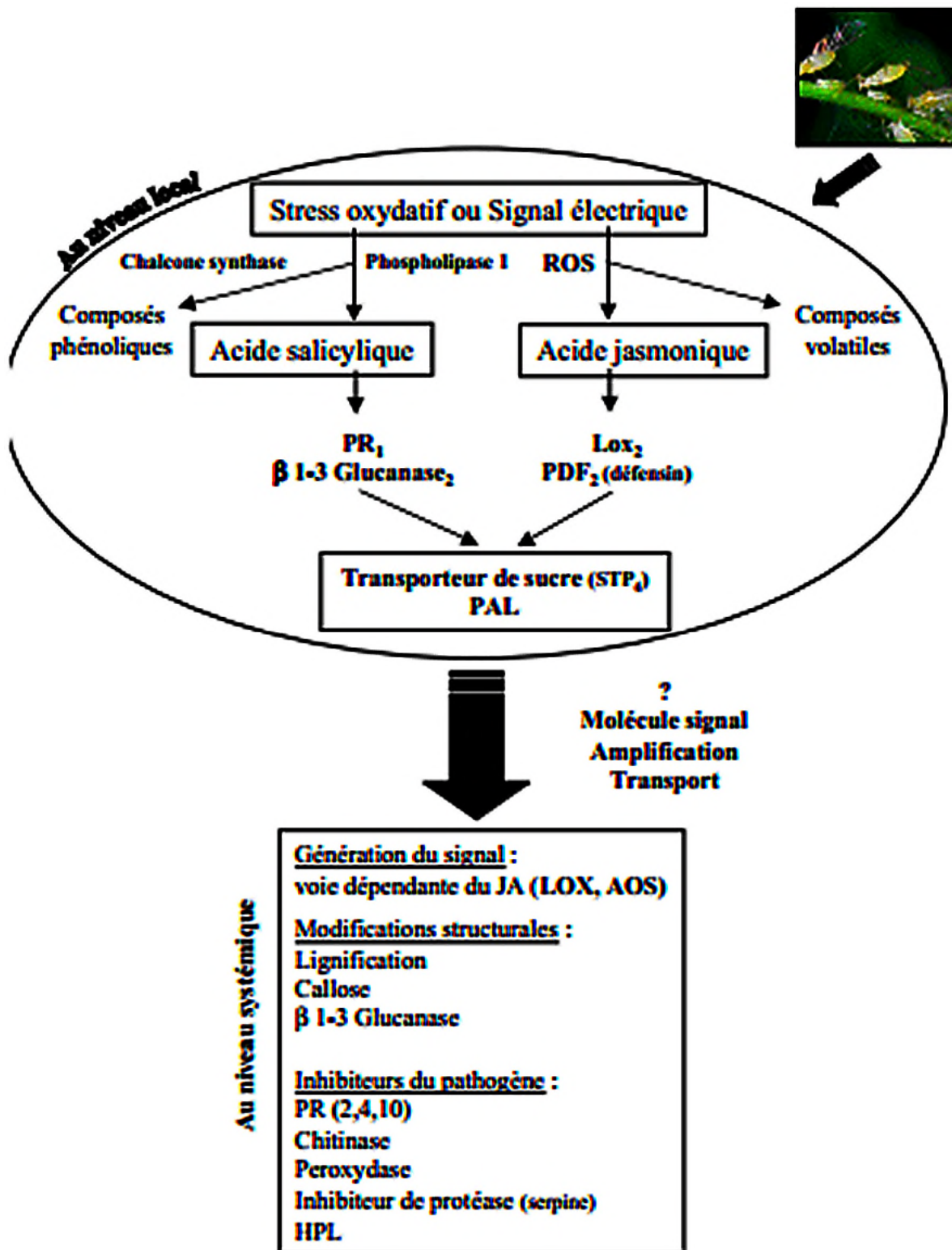


Figure 3.18 : Modèle de la réponse des plantes à la présence de pucerons [404].

2.4. Réponse adaptative des insectes face à la résistance des plantes

Les produits synthétisés par la plante comme des composés chimiques de défense agissent soit en repoussant les insectes phytophages, soit par le biais de processus écophysologiques affectant leur développement, leur croissance et leur survie [369]. Dans certaines interactions, l'insecte exploite les propriétés toxiques des métabolites secondaires de la plante dans sa défense contre ses ennemis par séquestration ou par transformation [405]. A titre d'exemple, certains lépidoptères vivant sur des plantes toxiques, intègrent les toxines de la plante dans la biosynthèse de leurs propres composants défensifs [406]. Les insectes phytophages généralistes évitent certaines plantes ou les consomment mais dans ce cas, leur fitness en pâtit et ils représentent alors des hôtes/proies de moins bonne qualité pour leurs ennemis naturels [407].

3. La compétition interspécifique

Un des effets de la sélection naturelle est la coévolution entre plusieurs espèces d'une chaîne trophique [185 et 408]. En effet, les relations trophiques entre espèces comptent parmi les facteurs sélectifs les plus intenses.

3.1. Interactions insectes / insectes

Le terme de compétition interspécifique est employé lorsqu'une espèce engendre des effets négatifs sur une autre espèce [409]. Lorsque cette compétition s'effectue entre individus appartenant à la même guilda, la notion de compétition intraguilda sera préférée. Une guilda est définie comme étant l'ensemble des espèces exploitant la même ressource alimentaire sans tenir compte de son mode de nutrition, de son écologie ou de sa position taxonomique [410]. La compétition intraguilda peut être indirecte lorsque plusieurs individus se nourrissent de la même ressource alimentaire et que celle-ci est présente en trop faible quantité. Cette interaction est alors appelée compétition d'exploitation. La compétition intraguilda peut également se dérouler de façon directe lorsque les individus d'une même guilda se blessent l'un l'autre, même lorsque leur ressource alimentaire est suffisante. Elle est alors appelée compétition d'interférence [411].

3.2. Interaction de l'hôte avec des prédateurs

3.2.1. Définition de la prédation

Un prédateur est un individu d'une espèce tuant, dans un but alimentaire, un individu d'une autre espèce généralement plus petite, la proie. Certains prédateurs sont des spécialistes et comptent une seule espèce de proie. D'autres, comme les coccinelles, sont des généralistes qui se nourrissent de nombreuses espèces d'hémiptères, de coléoptères, d'hyménoptères, de diptères ou de larves de lépidoptères [412]. Lorsqu'un prédateur intervient dans l'interaction hôte - parasitoïde, alors il devient également le prédateur du parasitoïde. Le prédateur peut se nourrir de proies parasitées par un parasitoïde. Les conséquences sur le parasitoïde sont alors importantes car il entre en compétition avec le prédateur. Sa valeur adaptative dépendra donc non seulement de l'interaction avec son hôte mais aussi de ses capacités compétitives vis-à-vis du prédateur.

3.2.2. Prédateur et compétiteur : la prédation intragilde

La compétition interspécifique est une interaction entre espèces partageant une ressource commune. De nombreux compétiteurs sont souvent engagés dans des relations prédateurs - proies. Ce mélange entre compétition et prédation est appelé la prédation intragilde [413]. La ressource partagée est dite proie extragilde, la proie intragilde étant celle qui est consommée par le prédateur intragilde. La prédation intragilde peut être bidirectionnelle (les deux membres de la guilda peuvent être des prédateurs intragilde) ou unidirectionnelle (la proie intragilde ne peut être prédateur intragilde) [414] (Figure 3.19).

La prédation intragilde peut être vue comme une force déstabilisante pour les communautés. Théoriquement, il est difficile d'atteindre un équilibre stable entre les trois espèces mises en jeu [415]. Pour atteindre cet équilibre, la proie intragilde doit être un compétiteur efficace dans l'exploitation de la ressource partagée. Si la proie intragilde est moins compétitive que le prédateur, alors la combinaison de la compétition et de la prédation conduit à l'exclusion de cette espèce qualifiée d'intermédiaire.

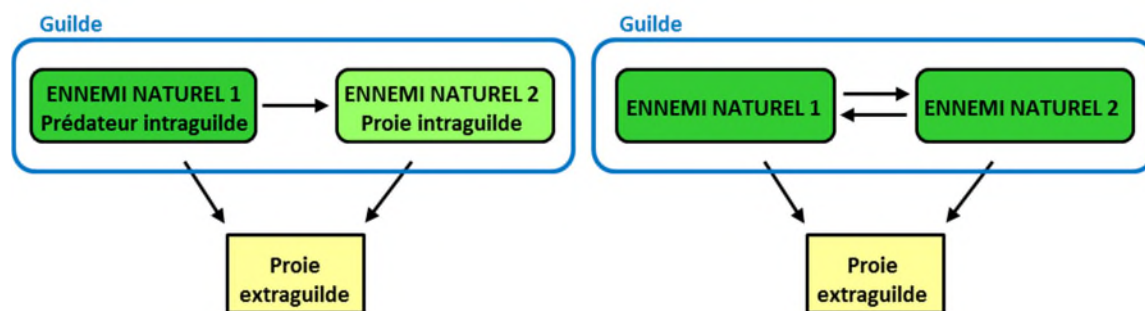


Figure 3.19 : Schémas simplifiés de prédation intraguilde unidirectionnelle (à gauche) et bidirectionnelle (à droite). Les flèches représentent les relations de prédation ou de parasitisme.

En revanche, si la proie intraguilde est plus compétitive que son prédateur pour l'exploitation de la ressource commune, alors les trois espèces peuvent coexister. Les proies intraguildes étant à la fois compétitrices, prédatrices et proies, leur valeur sélective n'est pas seulement le fruit de certains facteurs pouvant affecter la stabilité du système. La structure de l'habitat peut réduire les rencontres entre les acteurs. Certaines proies profitent par exemple de refuges fournis par l'environnement pour limiter les rencontres avec les prédateurs. Ces refuges réduisent la force des interactions intraguildes et facilitent la coexistence des espèces [416].

La présence d'une seconde ressource (proie ou hôte) peut également modifier les interactions intraguildes. Si le prédateur ou la proie intraguilde peut exploiter cette ressource alternative, alors les pressions associées à la prédation intraguilde seront moins importantes [417].

La prédation intraguilde est très répandue notamment au sein des communautés de parasitoïdes [418]. A l'exception des interactions parasitoïdes - parasitoïde, la prédation intraguilde est souvent unidirectionnelle. Le prédateur consomme le parasitoïde (proie intraguilde) qui se développe dans son hôte (la proie extraguilde). La prédation intraguilde est ainsi particulièrement étudiée dans le cadre de luttes biologiques contre des ravageurs [414 et 419].

La consommation du parasitoïde par le prédateur peut avoir un effet important sur l'abondance du ravageur. Si le prédateur consomme exclusivement des proies parasitées, alors, à l'échelle d'une génération, le niveau de contrôle de la population de ravageurs reste similaire à celui atteint avec le parasitoïde seul. A

plus long terme, les populations de parasitoïdes sont réduites, car consommées, entraînant une diminution de la prédation, et une augmentation du nombre de ravageurs [420]. Par contre, si le prédateur consomme les deux types de proies (parasitées et non parasitées), ou seulement les proies non parasitées, le niveau de contrôle des ravageurs devient supérieur à celui atteint avec le parasitoïde seul.

3.2.3. La prédation intraguilde en lutte biologique

La prédation intraguilde est un élément important à considérer en lutte biologique car elle peut avoir des impacts considérables sur la pratique [414]. Elle peut générer une multitude d'effets indirects sur les espèces qui l'accompagnent, ce qui peut être tributaire du succès ou de l'échec d'un programme de lutte biologique [421]. Trois principaux scénarios sont à considérer lorsque des agents sont relâchés dans le cadre d'un programme de lutte biologique [410] : i) les agents relâchés peuvent s'attaquer entre eux [422] ; ii) l'agent relâché peut s'attaquer aux ennemis naturels indigènes [423] ; iii) les ennemis naturels indigènes peuvent s'attaquer à l'agent relâché [414 et 424]. La prédation intraguilde est souvent perçue comme un élément négatif à la lutte biologique [425] mais elle peut parfois s'avérer utile [422 et 426]. En effet, dans un bon programme de lutte biologique, il est préférable que l'interaction entre l'agent de contrôle et la proie se poursuive au fil des ans et qu'un équilibre s'établisse entre les deux. Si l'agent de contrôle est la proie intraguilde d'un prédateur intraguilde, ce prédateur peut favoriser la stabilisation de la population de l'agent de contrôle. Ainsi, en contrôlant à la fois le ravageur et l'agent de contrôle, cette interaction peut être à l'origine de la réussite d'un programme de lutte biologique [422].

Toutefois, il est très complexe de définir dans quelles conditions cette interaction a un effet stabilisateur sur la structure des communautés [426]. Le cas du puceron du coton est un bon exemple pour rappeler l'importance de considérer la prédation intraguilde en lutte biologique. En 1993, un programme de lutte biologique a été mis sur pied en vue de contrôler le puceron *Aphis gossypii* communément appelé le puceron du coton. C'est la chrysope prédatrice *Chrysoperla carnea* qui a été relâchée massivement dans les champs de coton américain afin de contrôler le ravageur. Cependant, malgré des expériences en laboratoire prometteuses, le programme a eu un très faible impact sur les

populations de pucerons [427]. Cet échec a été attribué aux prédateurs indigènes des pucerons, comme les punaises et les coccinelles, qui s'attaquaient à l'espèce prédatrice introduite *Chrysoperla carnea*. L'interaction entre ces espèces est de type prédation intragilde puisqu'elles ont toutes comme proie le puceron du coton, en plus de s'attaquer entre elles. Dans ce cas-ci, la prédation intragilde a empêché l'ennemi naturel de contrôler le ravageur.

CHAPITRE 4

OBJECTIFS ET DEMARCHE EXPERIMENTALE

1. Contexte et objectifs

Comme présenté dans les chapitres précédents de l'Introduction, les aphides constituent un danger permanent pour le développement de l'agrumiculture dans les différentes régions du pays [8 ; 9 et 119]. Dans les vergers et les pépinières, le mécanisme de sélection des plantes hôtes par les pucerons est mal connu. Les relations alimentaires entre les plantes hôtes et les insectes phytophages peuvent parfois induire des dommages importants au point d'affecter le succès reproducteur d'une plante ou la dynamique des populations végétales. Pour faire face à cette pression, les végétaux ont développé de nombreuses stratégies de défense contre cette phytophagie. Cependant, à leur tour, les insectes phytophages sont parvenus à s'adapter à ces innovations afin de pouvoir continuer à exploiter leur habitat. Contrairement aux écosystèmes naturels, les parcelles cultivées constituent pour les pucerons un espace de vie particulier caractérisé par un petit nombre d'espèces végétales dont la disponibilité est limitée à la durée de la culture. Les pratiques culturales et les traitements constituent donc également des contraintes pour les pucerons qui doivent s'y adapter. Les deux « groupes » (plantes hôtes et insectes phytophages) se livrent donc à une perpétuelle confrontation pour atteindre l'équilibre dynamique dont la rupture peut entraîner soit la prolifération des insectes au détriment de la plante soit la mise en place de défenses efficaces pour cette dernière [428].

Le contrôle des pucerons des agrumes est difficile avec un seuil d'intervention très faible correspondant à la présence d'œufs ou de fondatrices. Avant de bâtir un programme de lutte contre les ravageurs, il est important de connaître la dispersion spatiale et temporelle des insectes dans une région [429 ;

430 cités par 431] et de se pencher sur les relations entre plantes hôtes, insectes ravageurs et auxiliaires. Il est en effet primordial de cerner les exigences d'installation primaire et les facteurs du succès reproducteur des pucerons sous l'incidence de la variation des métabolites du clémentinier durant les trois poussées de sève et en relation avec l'abondance des auxiliaires aphidiphages.

Les connaissances sur la biologie et l'écologie des pucerons d'agrumes présentent encore des lacunes qu'il convient de combler en vue d'améliorer la compréhension des mécanismes impliqués dans la dynamique spatio-temporelle des populations des aphides sur agrumes. Ainsi, certaines imprécisions existent encore sur les traits d'histoire de vie d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii*, c'est-à-dire l'ensemble des caractères morphologiques, comportementaux (alimentation, reproduction) et démographiques (survie, durée de développement, fécondité).

Par ailleurs, l'impact des plantes hôtes en relation avec leur stade phénologique, leur qualité nutritive et leurs défenses (physiques et chimiques) sur les performances des pucerons et leurs ennemis spécifiques n'a pas été, à notre connaissance, particulièrement étudiée à ce jour. Nous nous sommes donc proposés dans ce travail de comprendre pourquoi deux espèces aphidiennes, *A. spiraecola* et *A. gossypii*, sont particulièrement problématiques sur les clémentiniers en Mididja centrale.

Les objectifs de cette thèse s'articulent en deux axes complémentaires visant à optimiser la lutte contre les pucerons en vergers d'agrumes.

Axe 1 :

Cette première partie des travaux a pour but d'améliorer l'état des connaissances liées à la biologie d'*Aphis spiraecola* et d'*Aphis gossypii* et de contribuer à la compréhension des mécanismes impliqués dans la dynamique temporelle des populations de ces pucerons dans les vergers de clémentiniers de la Mitidja. Cette partie vise donc à répondre à différentes questions :

- 1) Quels sont les facteurs (constituants phytochimiques et/ou auxiliaires) qui influencent la dynamique temporelle d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* dans les vergers de clémentiniers de la Mitidja centrale ?

- 2) Les constituants phytochimiques des feuilles de clémentinier ont-ils une influence sur les traits de vie biochimiques des pucerons, c'est-à-dire sur les réserves énergétiques glucidiques et lipidiques de ces derniers ?
- 3) Les réserves énergétiques sont-elles variables quantitativement et/ou temporellement entre les deux espèces de pucerons ?
- 4) Comment les pucerons peuvent surmonter les éventuels mécanismes de défenses mis en place par le clémentinier ?

Axe 2 :

La seconde partie de ce travail repose pour l'essentiel sur la diversité du complexe auxiliaire, ceci à des fins de lutte biologique ou intégrée. Nous nous sommes intéressés en particulier à deux aspects :

- 1) La richesse des taxons présents, leur distribution et leur abondance en Mitidja centrale au cours de la saison.
- 2) La diversité des principaux groupes trophiques associés au complexe aphides – agrumes en Mitidja centrale.

2. Démarche expérimentale

2.1. Présentation des vergers d'étude

Cinq vergers ont été sélectionnés dans ce travail et ont été choisis en fonction de plusieurs critères :

- une facilité d'accès pour pouvoir réaliser régulièrement les prélèvements.
- une diversité floristique, laquelle laissant en effet supposer une diversité faunistique et plus particulièrement une probabilité de trouver de nouvelles espèces d'insectes dont l'apparition pourrait coïncider avec l'intensification de l'agrumiculture au niveau de la Mitidja.
- une différence écologique entre les vergers afin de pouvoir comparer plusieurs la diversité faunistique sur plusieurs zones de la Mitidja au cours d'une même période expérimentale.

Le verger d'Oued El-Alleug (EURLFSP, les Cinq Palmiers) est localisé dans la Mitidja centrale à 10 km au Nord-Est de Blida, à une latitude de 36° 33' 19" N, une longitude de 2° 47' 25" E et une altitude de 14,76 m. Il est considéré comme

une ferme à vocation agrumicole occupant une superficie totale de 185,44 ha composée de 75 parcelles d'agrumes dont 170,26 ha irrigués. Les activités anthropiques au sein du verger durant la période expérimentale sont indiquées dans l'appendice E. Les principaux agrumes cultivés sur l'ensemble du verger sont majoritairement des clémentiniers avec 126,67 ha plantés depuis 1920. On trouve en superficie plus faible des mandariniers (plantés en 1942) et différentes variétés d'orangers, certaines plantées en 1942 et d'autres plantées plus récemment en 1987 (Tableau 4.1).

Tableau 4.1 : Principales cultures et superficies de la ferme d'étude « l'EURLFSP Les Cinq Palmiers » d'Oued El-Alleug.

Culture en place	Superficie et date de plantation	Nombre d'arbres
Clémentinier	126,67 ha (1920)	36 380
Oranger var. Portugaise	11,50 ha (1942)	2 748
Mandarinier	10,90 ha (1942)	521
Oranger var. Double fine	7,71 ha (1942)	2 237
Oranger var. Washington Navel	7,47 ha (1987).	3 755

Le verger de Boufarik est localisé à la station régionale de la protection des végétaux (S.R.P.V) de Boufarik qui se situe au centre de la plaine de la Mitidja à 7 km au Nord-Ouest de la ville de Boufarik, avec une altitude moyenne de 20 m au niveau de la mer. Cette station est une station expérimentale d'observation où aucune pratique culturale ni intrant chimique d'ordre fertilisant ou phytosanitaire n'est apporté. Une des fonctions de cette station est de déclencher une alerte en cas d'infestation ou d'apparition de symptômes de maladie sur les plantes. Un autre des fonctions est d'identifier les phytopathogènes ou ravageurs responsables des dégâts occasionnés dans les parcelles à partir d'échantillons ramenés par des exploitants agricoles.

Le verger d'El-Affroun fait partie de la ferme « Domaine Chouhada » créé en 1970 et située à environ 3 km au Nord-Ouest d'El-Affroun (Wilaya de Blida) à proximité de la route nationale n°14 allant vers Oran. Ce site occupe une superficie

de 23 ha. Différentes espèces sont cultivées dont les plus importantes en superficie sont représentées par les orangers (var. Thomson) et les clémentiniers (Tableau 4.2). Le reste du domaine est occupé par des abricotiers, des parcelles de blé et des solanacées sous serre (piments et tomates).

Tableau 4.2. Cultures et superficies de la ferme d'étude « Domaine Chouhaha ».

Culture en place	Superficie et année de plantation	Nombre d'arbres
Oranger (var. Thomson)	8 ha (1950)	3000
Clémentinier	6 ha (1950).	2000
Abricotier	3 ha (2000)	1000
Piment et tomate sous serre	3 ha (2011-2012)	
Blé	3 ha (2011-2012)	

Le verger de Chiffa (parcelle N 13) appartient à un exploitant privé. Il est situé à environ 10 km à l'Ouest de Blida, à 1 km à l'Ouest du chef-lieu de Chiffa et de coordonnées géographiques 36°28'0' N et 2°43'60' E. La parcelle d'étude est relativement peu entretenue : seuls un discage et un labour ont été réalisés pendant les mois d'Avril et Mai de l'année d'étude et une taille a été pratiquée en Janvier. Aucun traitement phytosanitaire ou épandage d'engrais n'a été effectué. Par ailleurs, cette parcelle est caractérisée par des irrigations irrégulières pendant toute l'année.

Le verger du « Domaine Zouaoui » âgé de 40 ans, est situé à Oued Alleug et s'étale sur une superficie de 2 ha comprenant des orangers et des clémentiniers. Plusieurs travaux culturaux ont été effectués durant toute la période de notre étude et sont mentionnés dans l'appendice F.

L'essentiel de nos observations a été basé sur des prélèvements foliaires effectués chaque quinzaine, durant une année d'étude donnée. Le premier aspect a concerné l'étude des interactions entre l'effet des composés phytochimiques du clémentinier et l'évolution des deux aphides (*A. spiraecola* et *A. gossypii*) dans le verger d'Oued El-Alleug en 2010. Le second aspect a concerné l'étude des

fluctuations aphidiennes et celles de leurs aphidiphages en relation avec les paramètres climatiques, durant trois années consécutives : en 2010, 2011 et 2012.

Les quatre autres vergers (Boufarik, Chiffa, El Affroun et Domaine Zouaoui à Oued El Alleug) ont fait l'objet de captures par piégeage de l'entomofaune en verger de clémentiniers pour l'étude de la diversité et la succession temporelle du cortège auxiliaire de la région mitidjéenne centrale au cours de l'année 2012-2013.

2.2. Caractérisation de l'entomofaune

Dans une première phase de ce travail, les deux espèces d'aphides ont fait l'objet d'un dénombrement des individus selon leur développement tout au long de la saison en stades larvaires L1+L2, L3+L4 et en stades adultes aptères et ailés. L'étude de cette dynamique permet de mettre en évidence si les deux espèces d'aphides ont un développement similaire ou non en termes de durée des stades et de densité des populations.

Dans une seconde phase, les espèces auxiliaires ont été étudiées en tenant compte des stades de développement (œufs, larve et adulte) des prédateurs aphidiphages d'une part et de l'effectif des aphides momifiés d'autre part. Le suivi des populations d'auxiliaires permet de déterminer s'il y a une corrélation entre ces populations (d'un point de vue global ou seulement certaines espèces) et le développement des aphides.

Enfin, les réserves énergétiques glucidiques et lipidiques des femelles adultes aptères ont été quantifiées au cours de la saison. Ce stade a été privilégié car ces femelles jouent un rôle primordial dans la reproduction et donc la colonisation de la plante hôte.

2.3. Caractérisation phytochimique du clémentinier en réponse à l'infestation par les pucerons

L'état de santé du clémentinier en réponse à l'infestation aphidienne, a été suivi au niveau des feuilles qui sont le siège de l'activité de photosynthèse et donc de la capacité de développement et de défense de l'arbre. Les biomarqueurs sélectionnés pour cette étude (et comparés entre feuilles attaquées et non

attaquées) ont été la teneur en glucides solubles (produits de la photosynthèse), en acides aminés libres totaux, en proline libre, en callose et en tannins condensés

Nous avons ici quantifié la callose, un polysaccharide pariétal pouvant s'accumuler en réponse à l'attaque par des agents biotiques. En effet, les défenses du clémentinier face aux aphides peuvent se faire à deux niveaux : au niveau de la paroi, qui peut être une barrière physique contre les piqûres, et au niveau intracellulaire. Il est connu que les piqûres des aphides libèrent des enzymes de dégradation des parois végétales, notamment des cellulases. Cependant, le clivage partiel de cellulose ou d'autres polysaccharides en oligosaccharides peut se révéler être un signal pour induire des défenses de la plante. Au niveau de la paroi, ceci peut se traduire par l'épaississement de la paroi (barrière physique à l'infestation) ou un réajustement des proportions des différents polysaccharides.

L'évaluation des défenses intracellulaires a porté quant à elle sur plusieurs biomarqueurs :

- La proline libre qui est connue surtout pour son rôle dans le maintien de l'osmolarité intracellulaire en réponse à la déshydratation ou à des sols riches en sels. Il a également été montré que cet acide aminé peut piéger des radicaux libres générés par différents stress abiotiques ou biotiques.
- Les tannins condensés, qui sont des métabolites secondaires toxiques pour de nombreux microorganismes pathogènes et insectes phytophages. Leur teneur dans les feuilles de clémentinier est donc une information nécessaire pour établir si la plante est capable de se défendre efficacement.

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont été analysés d'une part par « catégorie » (populations d'aphides, feuilles de clémentinier, faune auxiliaire) et d'autre part, en croisant les données afin d'établir les relations entre chacune de ces catégories au cours de la saison.

CHAPITRE 5

MATERIELS ET METHODES

1. Caractéristiques des vergers d'étude

Les cinq vergers d'étude sont localisés dans la région centrale de la plaine de la Mitidja (figure 5.1).

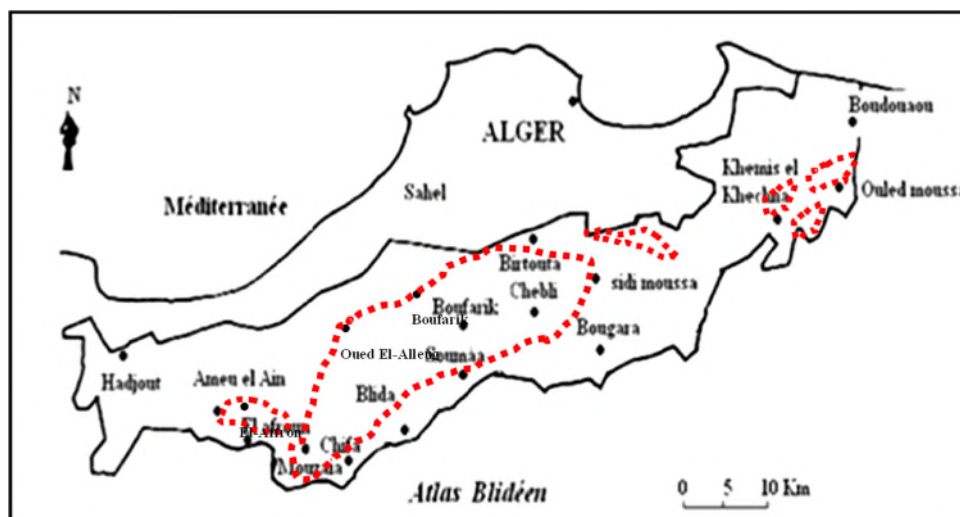


Figure 5.1 : Localisation des vergers d'étude dans la région de Mitidja.

Les vergers sont présents à l'intérieur des zones délimitées par les pointillés rouges qui représente la répartition des agrumes au niveau de Mitidja

1.1. Verger d'Oued El-Alleug

La parcelle d'étude située au niveau du verger d'Oued El Alleug (parcelle N°31) (Figure 5.2) est entourée de haies de *Taxodium distichum* utilisées comme brise-vent. Elle est composée de 228 arbres au total, distants de 6 m les uns des autres et de 1,69 ha de superficie plantés en 1936.

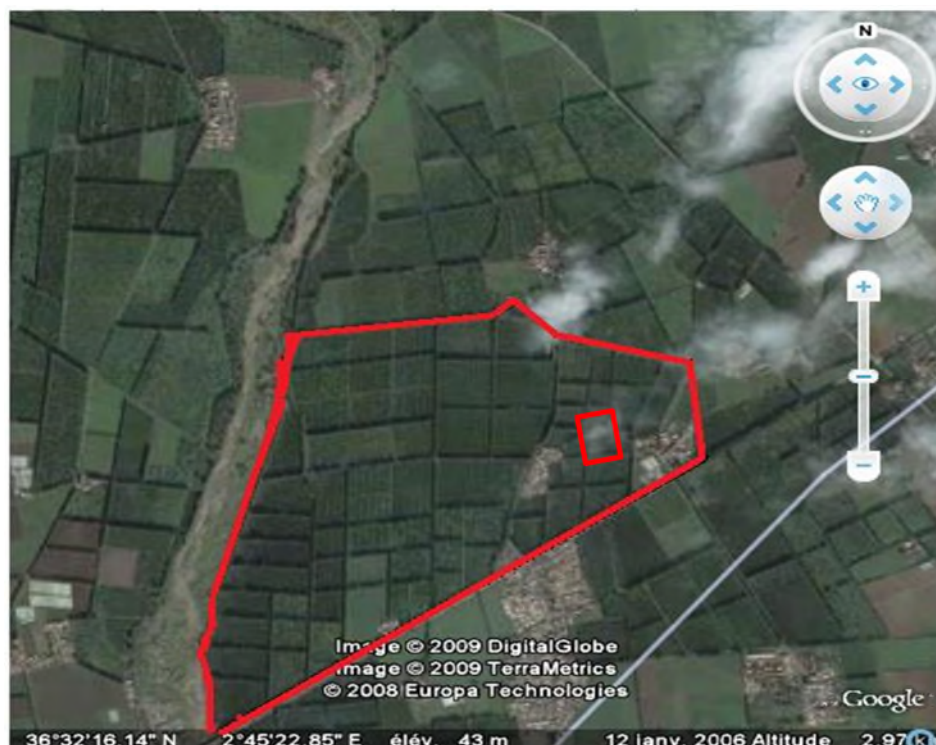


Figure 5.2 : Plan parcellaire de l'EURL FSPP Cinq Palmiers Oued El Alleug, Blida.

En ligne rouge sont les limites géographiques de la ferme agricole. Le verger d'étude correspond au rectangle rouge sur la carte.

Nous avons établi durant les années d'étude de 2009 à 2012, le diagramme ombrothermique selon les valeurs des quantités de pluie ainsi que les températures moyennes corrigées (Figure 5.3).

En 2010, la période froide et humide s'est étalée du début Octobre à fin Avril avec les plus basses températures enregistrées en Janvier et Février. La saison chaude et sèche a duré de Mai à Septembre avec les températures les plus élevées entre Juin et Août (T_{max} : 34,5 à 36°C et T_{min} : 17 à 23°C) avec une pluviométrie annuelle enregistrée de 756 mm. En 2011, la période sèche s'est étalée de mi-Mai à fin Octobre avec une T_{max} de 35,95°C en Juillet alors que les périodes humides ont duré six mois avec une T_{min} de 6,69°C enregistrée en Février. Durant l'année 2012, la période humide s'est étalée de Novembre à Mai avec d'importantes quantités de pluies de 170,4 mm enregistrées en Mai et une période d'absence de pluies a été mise en évidence de mi-Mai à mi-October.

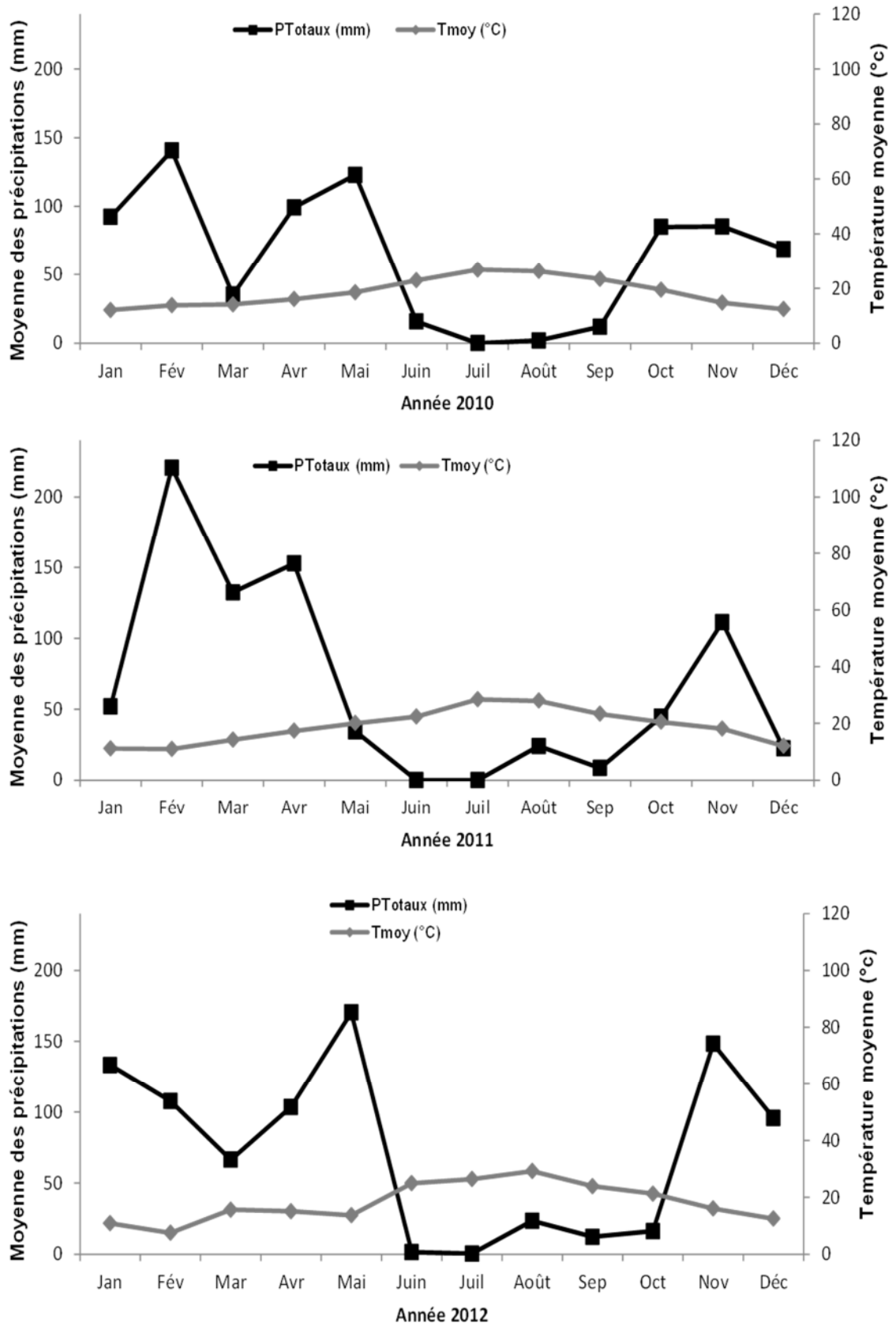


Figure 5.3 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausse de la région d'Oued El-Alleug durant les années 2010, 2011, 2012.

1.2. Verger de Boufarik

Le verger, d'une superficie de 1,64 ha, est entouré d'un brise-vent et contient 285 arbres. Une partie correspond à des arbres plantés en 2010 (pommiers, poiriers, abricotiers, néfliers, grenadiers, pêchers, figuiers, oliviers et quelques cognassiers) et l'autre partie est constituée de mandariniers et de clémentiniers plantés en 1974 (Figure 5.4). L'espace entre les lignes de plantation est de 6 m et les arbres sont séparés de 5 m les uns des autres.

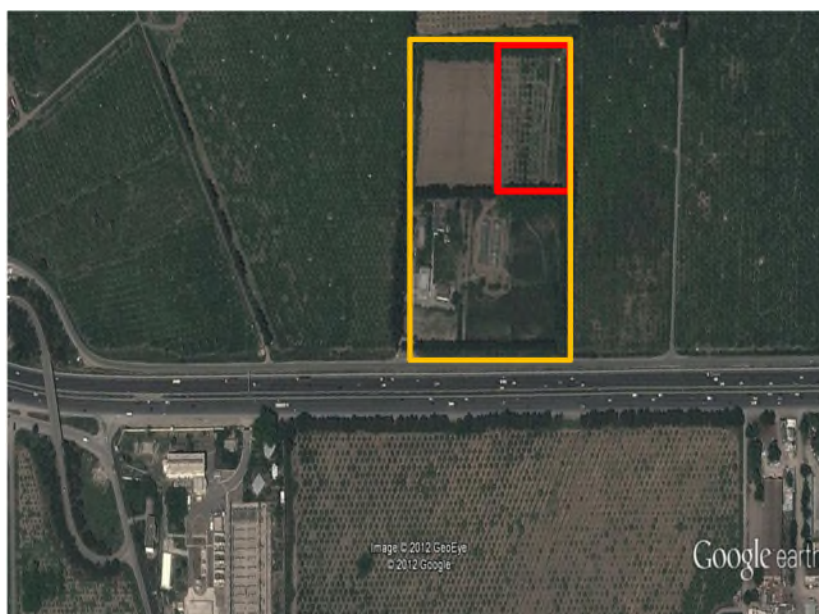


Figure 5.4 : Localisation du verger de clémentiniers étudié dans région de BOUFARIK [Google Maps, 2012].

Le rectangle jaune représente les limites géographiques de la ferme agricole et le rouge correspond au verger d'étude

Les conditions climatiques qui règnent dans la région BOUFARIK en 2012 ont été obtenues auprès de la station météorologique d'ITAF (BOUFARIK). Par ailleurs, pour la région de Mitidja, la valeur la plus faible est enregistrée au mois de Février (2.6°C). Par contre le mois le plus chaud est noté pour le mois de Aout avec une température mensuelle moyenne de 38.2 °c. Nous constatons que le total des précipitations annuelles ne diffère pas trop entre les autres verges avec une moyenne annuelle de 114,775 mm. Le mois le plus pluvieux est Février avec une valeur moyenne de 284,1mm.

1.3. Verger d'El-Affroun

Le verger d'El Affroun est limité au Nord-Est par l'oued Djer, au Sud par la route nationale n°14 et à l'Ouest par le Domaine étatique n°4 (Figure 5.5).



Figure 5.5 : Situation du verger de clémentinier étudié dans la région d'El-Affroun [source : Google Maps, 2012].
La parcelle d'étude correspond au rectangle rouge.

Les données climatiques (température, pluviométrie, vent et humidité relative de l'air) de 2011 à 2012 de la région d'El-Affroun ont été obtenues auprès de la station météorologique de Dar El Beida (Alger). Le mois de Février a été le plus pluvieux avec une valeur moyenne de 284 mm de pluies enregistrées et par une valeur la plus faible de T_{\min} de 2,6°C. Le mois le plus chaud correspond au mois d'Août avec une T_{\max} de 38,2°C et des précipitations presque nulles. La saison froide et humide s'étale d'Octobre à Avril et la saison chaude et sèche de Mai à Septembre.

1.4. Verger de Chiffa

D'une superficie de 2 ha, il est constitué de 600 arbres plantés en Mai 2003 et distants de 6 m les uns des autres (Figure 5.6). Avant cette date, la zone était occupée par des céréales et des fourrages. Le verger est entouré par d'autres parcelles agrumicoles (orangers) et fruitières (pêchers). Il est délimité à l'Est et au Sud par des oliviers et à l'Ouest par du *Casuarina*.



Figure 5.6 : Localisation du verger situé près de Chiffa [source : Google Earth, 2012].

Les rectangles jaune et rouge correspondent respectivement au verger de Chiffa et à la parcelle d'étude.

En 2012, les moyennes des minimas du mois le plus froid de 5,5°C et les moyennes des maximas du mois le plus chaud de 32,5 °C ont été enregistrées respectivement aux mois de Février et de Juillet. Les périodes automnale et hiverno-printanières sont caractérisées par des quantités de pluie cumulée importantes. Le mois de Février a été particulièrement pluvieux avec 221,1 mm.

1.5. Verger du Domaine Zouaoui à Oued Alleug

Ce verger est entouré par des brise-vents constitués de *Casuarina* (Figure 5.7). Les arbres de la parcelle sont espacés les uns des autres de 6 m.



Figure 5.7 : Verger d'étude dans la commune d'Oued El-Alleug situé près des agglomérations de Diar El Bahri.
La parcelle d'étude correspond au carré rouge.

La synthèse sur le climat a été réalisée avec les données relevées au niveau de l'ITAF de Boufarik de 2012 - 2013. Le mois le plus chaud c'est le mois d'Aout, et le mois le plus froid c'est bien février marquée par une pluviométrie de 251,1 mm.

2. Méthodologies d'échantillonnage

2.1. Echantillonnage des insectes et des feuilles de clémentinier dans le verger d'Oued El Alleug

Les prélèvements ont été effectués de Février 2010 à mi-Mai 2011 et entre Octobre 2011 et Août 2012, à raison d'un prélèvement par semaine afin de couvrir les trois poussées de sève. La parcelle expérimentale a été découpée selon la méthode des transects en 3 blocs de 9 à 10 arbres, les blocs étant distants les uns des autres de 24 m [432]. La technique de dénombrement a été effectuée sur 100 feuilles au total obtenues par le biais du choix aléatoire (Figure 5.8). Les feuilles ont été ensuite disposées dans des sachets en papier qui ont été stockés à 4°C afin de ralentir le développement des insectes jusqu'aux dénombrements.

Durant toute la période de travail, nous avons dénombré les auxiliaires aphidiphages présents sur les feuilles du clémentinier. C'est un moyen de contrôle généralement non destructif qui permet de suivre l'évolution des différentes populations [433 et 434]. Les deux espèces de pucerons (*A. spiraecola* et *A.*

gossypii), leurs cortèges aphidiphages et les aphides momifiés ont été dénombrés et classés selon leur stade du cycle de développement [435].

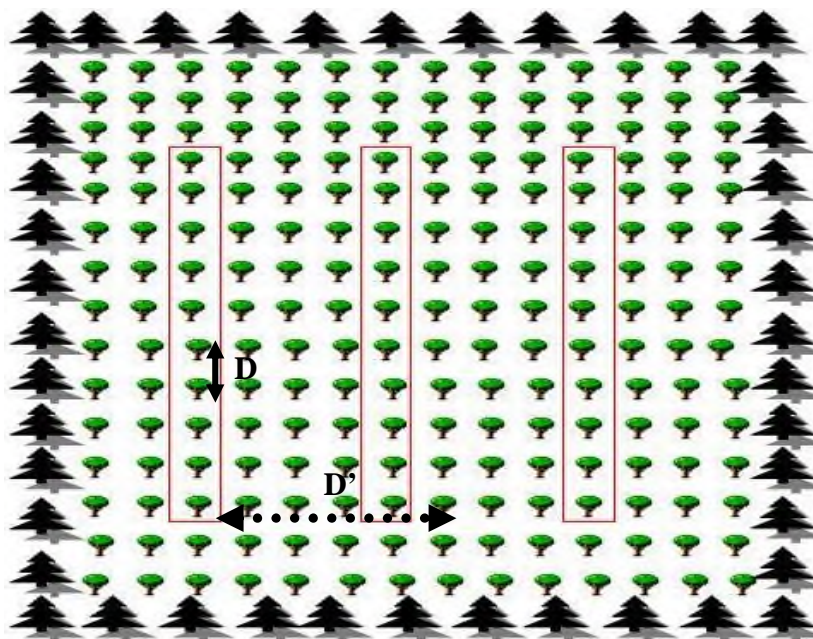




Figure 5.8 : Dispositif expérimental de la parcelle étudiée.
 *Taxodium distichum*,  : clémentinier, D : distance entre chaque arbre échantillonné (= 6 m),
 D' : distance entre chaque ligne d'arbre échantillonnée (= 24 m).

La séparation selon les ordres et le dénombrement des insectes récoltés sur le terrain ont été effectués à l'aide d'une loupe binoculaire. Les insectes de grande taille ont été fixés dans des boîtes de collection à l'aide d'épingles entomologiques et les plus petits ont été conservés dans de l'alcool à 70°.

2.2. Méthode de capture de l'entomofaune

2.2.1. Au niveau des vergers de Boufarik, Oued El Alleug et El Affroun

Le comptage régulier des captures renseigne sur la présence et l'évolution des populations d'insectes suivis [436]. L'entomofaune a été récoltée selon 3 méthodes : des récipients jaunes remplis d'eau additionnée de mouillant de type produit à vaisselle, des plaques jaunes engluées accrochées au centre des canopées et des pots Barber enterrés (Figure 5.9). Les pièges colorés sont connus depuis 1966 pour l'échantillonnage des insectes ailés. La couleur préférentielle pour la plupart des insectes est le jaune citron et l'abondance de récoltes que l'on peut effectuer avec de tels pièges est remarquable. D'après ROTH [437] et

ROBERT et ROUZ-JOUAN [171], l'installation des pièges permet de suivre l'activité de vol des différentes espèces et de savoir précisément quelles sont les périodes de l'année pendant lesquelles cette activité aura lieu. Le plan d'eau et la couleur attirent ainsi de nombreux Homoptères, Diptères et Hyménoptères qui s'y noient. Globalement, 5 pièges de chaque type (soit 15 pièges) ont été installés au niveau d'arbres sélectionnés au hasard selon une ligne en diagonale [408].

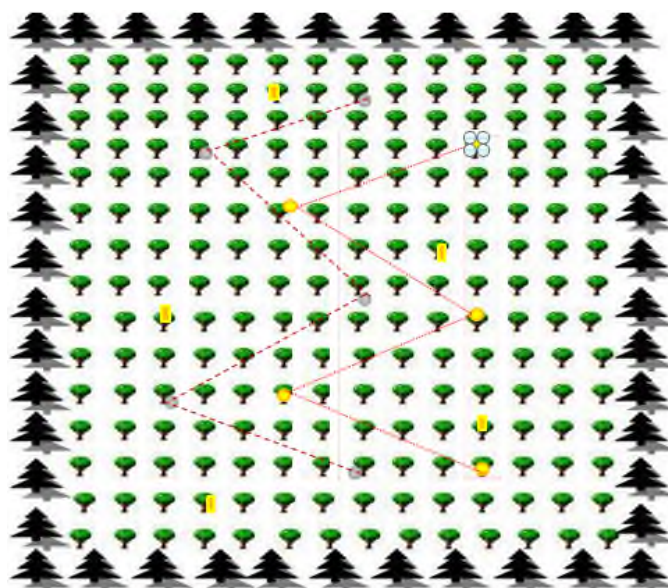







Figure 5.9 : Méthode de disposition et d'échantillonnage sur terrain.

 : *Taxodium distichum*,  : clémentinier,  : réceptif jaune,  : plaques jaunes,  : pots Barber.

L'eau des pièges a été renouvelée après chaque prélèvement et à chaque sortie, nous avons changé aléatoirement la place des pièges dans un but de couvrir toute la surface du verger. Les collectes ont été effectuées toutes les 2 semaines à l'aide d'un pinceau fin et les spécimens ont ensuite été mis dans des tubes à essai contenant de l'alcool à 70 % (sur lesquels ont été notés la date et le lieu de capture) pour leur conservation en vue d'une détermination ultérieure.

2.2.2. Au niveau du verger de Chiffa

L'échantillonnage des entomophages a été réalisé à raison de 2 récoltes par mois de la période automnale jusqu'à la période printanière (Figure 5.10). L'échantillonnage a débuté au mois d'Octobre de l'année 2012 et s'est achevé

début Juin en 2013. Nous avons également réalisé des observations hebdomadaires afin d'optimiser les captures des différentes espèces d'auxiliaires dans le verger.

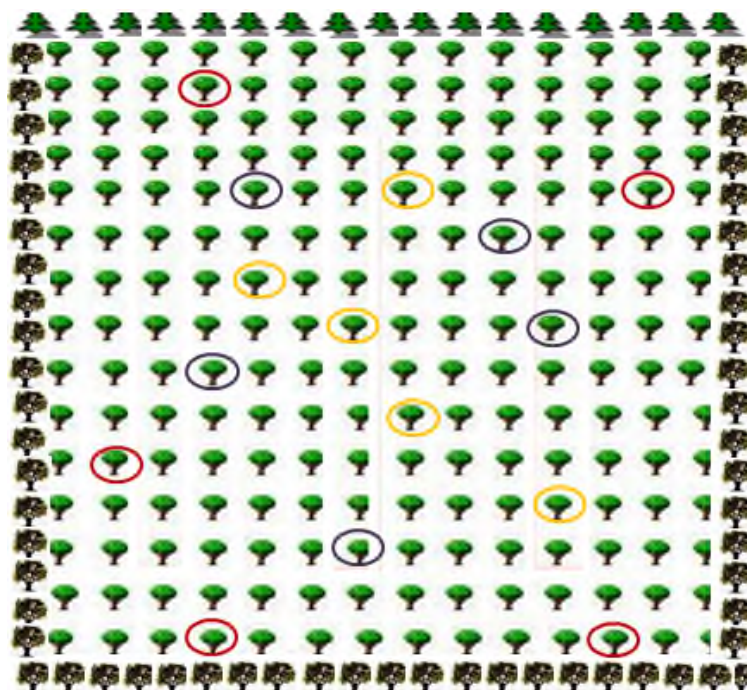








Figure 5.10 : Plan d'échantillonnage dans la parcelle de clémentinier.

 : *Casuarina*,  : clémentinier,  : olivier,  : arbres échantillonnés au hasard à la périphérie,  : arbres échantillonnés au hasard au centre,  : arbre fixe.

D'abord, nous avons effectué un échantillonnage aléatoire, en adoptant deux techniques, où nous choisissons 5 arbres au niveau du centre du verger et 5 autres arbres au niveau de la périphérie du même verger. Les échantillonnages ont été réalisés par la technique du frappe à l'aide du parapluie japonais à raison de 5 mn par arbre et par la technique de l'observation directe de 4 branches différentes de l'arbre échantillonné, selon les 4 directions cardinales et à hauteur d'homme. Cependant, le parapluie japonais a posé quelques difficultés d'utilisation du fait que certains insectes comme les coccinelles ont un grand pouvoir de dispersion et s'envolent rapidement.

Ensuite, nous avons réalisé un échantillonnage spécifique sur 5 arbres fixes et numérotés au centre de la parcelle pour entrevoir la distribution spatiale des espèces rencontrées ainsi que les répartitions préférentielles des assemblages qui

s'y établissent au cours du temps. Les mêmes arbres ont été visités à chaque sortie. Les spécimens récoltés à travers les deux techniques d'échantillonnage ont été mis dans des sachets en papier, des boîtes de Pétri et dans des tubes à essai avec de l'éthanol préalablement dilué pour être identifiés ultérieurement. Pour les premiers passages, nous avons eu recours à des prélèvements intensifs des espèces non identifiées sur place pour aisément les reconnaître par la suite.

2.2.3. Au niveau des vergers de Domaine Zouaoui et Oued El Alleug

La période d'échantillonnage s'est étendue de début Juin 2012 jusqu'à début Juin 2013. Nous avons réalisé 2 sorties par mois pour les deux stations en choisissant 10 arbres au hasard afin d'estimer les prédateurs à l'aide des dénombrements d'abondances des espèces.

2.3. Identification des taxons au laboratoire

L'identification des captures a été réalisée jusqu'au niveau du genre et de l'espèce pour la majorité des familles avec l'aide de diverses clés taxonomiques de PERRIER [438 et 439], BALACHOWSKY [440], VALLARDI [441], BORRER et WHITE [442], STANEK [443], PIHAN [444], CHINERY [445], ZHRADNIK [446], ZIMMER [447], NOYES et VALENTINE [448], NOYES [449] et CHOUNARD *et al.* [450]. Les Coccinellidae ont été identifiés plus précisément à l'aide des clés de CHAZEAU *et al.* [451] et GOURREAU [452] et sur la base des travaux réalisés par MAGRO *et al.* [453].

3. Dosages biochimiques chez les pucerons

Les femelles aptères adultes des deux espèces de pucerons ont été conditionnées par 10 dans des tubes afin d'être analysées en terme de biomarqueurs énergétiques.

3.1. Quantification des réserves lipidiques

L'extraction et la quantification des réserves lipidiques ont été réalisées selon la méthode de VAN BRUMMELEN et SUIJFZAND [454]. Les femelles aptères adultes (10 par tube) ont été mélangées avec 400 μ L d'une solution de chloroforme,

méthanol et eau (1:2:0,8) puis les tubes ont été centrifugés pendant 5 min à 14 000 tours. min^{-1} à 4°C. Les culots ont ensuite été séchés sur du sulfate de sodium, rincés 3 fois avec du chloroforme (avec évaporation sous flux d'azote) puis chauffés à 100°C pendant 10 min avec 300 μL d'acide sulfurique concentré. Après refroidissement, le contenu des tubes a été mélangé avec 2,5 mL d'une solution de vanilline à 0,198 % (p/v) dans de l'acide phosphorique à 66,8 % (v/v). Après une incubation de 10 min à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 540 nm au spectrophotomètre (Jenway – 6405UV/Vis) et les résultats ont été exprimés en $\mu\text{g. g}^{-1}$ MF à partir d'une gamme standard de cholestérol.

3.2. Quantification des réserves glucidiques

L'extraction et la quantification des réserves glucidiques ont été réalisées selon la méthode de WIN DECOEN [455]. Les femelles aptères adultes (10 par tube) ont été mélangées vigoureusement pendant 30 s avec 200 μL d'eau puis 100 μL d'acide trichloroacétique (TCA) à 15 % (p/v). Les tubes ont ensuite été centrifugés pendant 10 min à 3 000 tours. min^{-1} à 4°C. Les surnageants ont été conservés et les culots ont été vigoureusement mélangés avec 200 μL de TCA à 5 % (p/v). Après centrifugation pendant 10 min à 3000 rpm et à 4°C, les surnageants ont été ajoutés à ceux issus de la première centrifugation pour constituer l'extrait à quantifier. Deux cent cinquante μL de surnageant ont ensuite été mélangés avec 250 μL de phénol à 5 % (p/v) et 1 mL d'acide sulfurique concentré. Les échantillons ont ensuite été déposés sur microplaque à raison de 300 μL par échantillon puis laissés 30 min à température ambiante avant de lire leur absorbance au spectrophotomètre (Jenway – 6405UV/Vis) à 490 nm. Les résultats ont été exprimés en $\mu\text{g. g}^{-1}$ MF à partir d'une gamme standard de glucose.

4. Dosages biochimiques dans les feuilles de clémentinier

Les feuilles de clémentinier infestées et non infestées par les pucerons ont été séchées à l'étuve à 70°C pendant 24 h puis à 100°C pendant 24 h. Elles ont ensuite été broyées grossièrement avec un mixeur puis réduites en poudre fine et homogène à l'aide d'un broyeur (Retsch ZM 200, Allemagne) muni d'un tamis de porosité 0,05 mm. Tous les dosages concernant les feuilles de clémentinier ont été

réalisés au Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles de l'Université de Limoges (France).

4.1. Quantification des glucides solubles totaux

Cent mg de matière sèche (MS) ont été broyés au mortier avec 1,5 mL de tampon phosphate de potassium à 0,1 M (pH 7,5) puis le mélange a été centrifugé à 10 000 g et à 4°C pendant 15 min [456]. Deux cents μL de surnageant ont été mélangés avec 1 mL d'acide sulfurique (12,5 N) contenant 0,1 % (p/v) d'antrone et 0,1 % (p/v) de thio-urée puis incubés pendant 10 min à 95°C. Après refroidissement, l'absorbance a été lue à 625 nm au spectrophotomètre (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japon). La teneur en glucides solubles totaux a été exprimée en $\mu\text{mol. g}^{-1}$ MS à partir d'une gamme étalon de glucose.

4.2. Quantification de la callose

Quinze mg de MS réduite en poudre ont été mélangés avec 2 mL d'éthanol à 96 % et 75 mg de polyvinyle polypyrrolidone puis mis en agitation pendant 1 h à température ambiante. Après une centrifugation de 15 min à 12 000 rpm, le surnageant est éliminé et le culot est mélangé avec 1,5 mL de soude 1 N puis incubé 15 min au bain-marie à 80°C. Après une centrifugation de 15 min à 12 000 rpm, le surnageant est récupéré pour le dosage. Un volume de 150 μL de surnageant est mélangé avec 300 μL de NaOH 1 N, 600 μL de bleu d'aniline à 0,1 % (p/v), 315 μL d'HCl à 1 N et 885 μL de tampon glycine 1 M ajusté à pH 9,5 avec de la soude 1 N. Pour chaque échantillon, un dosage est réalisé en parallèle sans bleu d'aniline (remplacé par de l'eau) pour soustraire le bruit de fond (fluorescence artéfactuelle). Après une incubation de 20 min à 50°C au bain-marie, les échantillons sont laissés 30 min à température ambiante puis la callose est mesurée au spectrofluorimètre (Kontron SFM 25) avec une longueur d'onde d'excitation de 395 nm et une longueur d'onde d'émission de 485 nm. La teneur en callose a été exprimée en $\mu\text{g. g}^{-1}$ MS à partir d'une gamme étalon de 1,3- β -glucane (Megazyme / Libios) préalablement dissout à 80°C dans de la soude 1 N.

4.3. Quantification de la proline libre

Cent mg de MS ont été broyés au mortier avec 1 mL d'acide 5-sulfosalicylique à 5 % (p/v) puis le mélange a été centrifugé à 10 000 g et à 4°C pendant 15 min afin d'éliminer le culot. Deux cents μL de surnageant ont ensuite été mélangés avec 800 μL d'acide acétique à 60 % (v/v) contenant 1 % (p/v) de ninhydrine [457] puis incubés pendant 20 min à 95°C. Après refroidissement, 1 mL de toluène a été ajouté et le contenu des tubes a été vigoureusement mélangé pendant 15 s avant d'être laissé à l'obscurité pendant 4h à température ambiante. La phase supérieure a été prélevée pour être mesurée au spectrophotomètre à 520 nm (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japon). La teneur en proline a été exprimée en $\mu\text{mol. g}^{-1}$ MS à partir d'une gamme étalon de proline.

4.4. Quantification des acides aminés libres totaux

Le surnageant utilisé pour ce dosage est le même que celui servant à doser la proline libre. Un volume de 200 μL a été mélangé avec 100 μL de tampon citrate 0,2 M à pH 4,6 et 200 μL de réactif à la ninhydrine. Le réactif est composé d'acide ascorbique à 0,003 % (p/v) et de ninhydrine à 0,96 % (p/v) dans de l'éthylène glycol monométhyl éther [456]. Après une incubation de 20 min à 95°C et un refroidissement à température ambiante, 600 μL d'éthanol à 60 % ont été rajoutés. La densité optique a été mesurée à 570 nm au spectrophotomètre (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japon). La teneur en acides aminés a été exprimée en $\mu\text{mol. g}^{-1}$ MS à partir d'une gamme étalon de leucine.

4.5. Quantification des tannins condensés

La teneur en tannins a été mesurée selon la méthode de DALZELL et KERVEN [458]. Cent mg de MS ont été mélangés avec 5 mL d'une solution d'acétone à 70 % (v/v) contenant 0,1 % (p/v) de métabisulphite de sodium. Le mélange a été placé sous ultrasons pendant 2 fois 10 min puis centrifugé à 3000 g et à 4°C pendant 12 min. Le surnageant a été conservé à 4°C et le culot a été de nouveau mélangé avec 2,5 mL de la solution acétone / métabisulphite de sodium, placé sous ultrasons et centrifugé comme indiqué précédemment. Le surnageant a été ajouté au surnageant issu de la première centrifugation et constitue l'échantillon

pour le dosage des tannins. Le dosage a été réalisé en mélangeant 250 µL d'échantillon avec 1,25 mL d'une solution de butanol (95 % v/v) et d'acide chlorhydrique concentré (5% v/v). Le mélange est incubé pendant 1 h à 95°C, refroidi dans un bac d'eau froide puis mesuré au spectrophotomètre à 550 nm (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japon). La teneur en tannins condensés a été exprimée en µmol. g⁻¹ MS à partir d'une gamme étalon de cyanidine (Extrasynthese, France).

5. Exploitations des données

Pour interpréter la structure et la composition de l'arthropodofaune échantillonnée, différents indices écologiques ont été pris en considération et calculés à l'aide du logiciel PAST (version 3.08) [459] pour interpréter la structure de l'entomofaune issue de nos vergers d'étude. Les taxons les plus représentés ont été rassemblés en groupes fonctionnels selon leur préférence alimentaire tels les aphidiphage, les coccidiphages, les acariphages, les polyphages, les formicidae, les araignées et les prédateurs généralistes.

5.1. Indices écologiques

- **Abondance relative**

Cette fréquence (F) représente le pourcentage des individus de l'espèce (ni) par rapport au total des individus N de toutes les espèces confondues [460]. Elle renseigne donc sur l'importance de chaque espèce. La formule de calcul est la suivante : **F (%) = ni × 100 / N** avec ni = nombre des individus d'une espèce donnée et N = nombre total des individus toutes les espèces.

- **Constance**

La constance (C) est pourcentage du nombre de relevés contenant l'espèce étudiée par rapport au nombre total de relevés [461]. La constance est calculée avec la formule suivante : **C (%) = Pi × 100 / P** avec Pi = nombre de relevés contenant l'espèce étudiée et P = nombre total de relevés effectués.

On considère qu'une espèce est :

- Accidentelle si C < 24 %. Dans ce cas l'espèce arrive par accident ou par hasard et n'a aucun rôle dans le peuplement.

- Accessoire si $25 \% \leq C \leq 49 \%$. Celle-ci n'appartient pas au peuplement mais sert à son fonctionnement.
- Régulière si $50 \% \leq C \leq 74 \%$.
- Constante si $75 \% \leq C \leq 99 \%$.
- Omniprésente si $C = 100 \%$.

Les espèces constantes et omniprésentes sont les plus dominantes car elles disposent de davantage de nourriture et sont d'étendue plus vaste [461].

- **Richesse spécifique**

La richesse spécifique (S) est égale au nombre total d'espèces présentes et elle est obtenue à partir de l'ensemble des relevées [462 et 463].

- **Indice de diversité de Shannon**

L'indice de diversité de Shannon (H') permet d'évaluer la diversité d'un peuplement dans un biotope. Il est calculé de la manière suivante :

$H' = - \sum p_i \times \log_2 p_i$ avec p_i = fréquence relative des espèces [464].

- **Indice de diversité de Simpson**

L'indice de Simpson rend compte À LA FOIS de la richesse et de l'équitabilité des espèces en un seul nombre. Il est calculé de la manière suivante : $D = \sum n(n-1) / N(N-1)$ avec n : est le nombre total d'organismes appartenant à une espèce en particulier ; N : est le nombre total d'organismes de toutes les espèces.

Cet indice aura une valeur de 0 pour indiquer le maximum de diversité, et une valeur de 1 pour indiquer le minimum de diversité. Dans le but d'obtenir des valeurs « plus intuitives », on peut préférer l'indice de diversité de Simpson représenté par $1-D$, le maximum de diversité étant représenté par la valeur 1, et le minimum de diversité par la valeur 0 (Schlaepfer, Bütler, 2002). Il faut noter que cet indice de diversité donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares. Le fait d'ajouter des espèces rares à un échantillon, ne modifie pratiquement pas la valeur de l'indice de diversité.

5.2. Tests statistiques

- **Test de corrélation croisée (Cross correlation)**

Ce test a été utilisé pour comparer les moyennes de différents paramètres au cours de la saison et estimer s'il existe ou non des décalages (lag) de réponse entre les paramètres. Les décalages sont exprimés en semaines avec une probabilité associée. Ce test permet par exemple de voir s'il y a une corrélation entre la production de métabolites par les feuilles de clémentinier et les réserves énergétiques des pucerons se nourrissant de ces feuilles.

- **Test de Wilcoxon**

Ce test a été utilisé pour comparer les valeurs moyennes des différents paramètres mesurés quantitativement au niveau des pucerons, de la faune auxiliaire et des feuilles de clémentinier.

- **Corrélations-régressions**

Afin de prévoir l'abondance de pucerons à partir de combinaisons linéaires des variables quantitatives, des analyses ont été effectuées en utilisant une régression multiple standard. En raison du décalage entre plusieurs paramètres, toutes les variations hebdomadaires ont été synchronisées. Lorsque 2 variables quantitatives varient conjointement, on doit mesurer la significativité du coefficient de corrélation. En conditions paramétriques, il s'agit du coefficient r de Pearson et en conditions non paramétriques, du coefficient ρ de Spearman. L'équation de la droite de régression est calculée lorsque les distributions sont en accord avec la normalité et que le coefficient de Pearson est significatif.

Pour enlever l'effet d'une variable quantitative C corrélée à une variable d'intérêt V , on calcule l'équation de la droite de régression ($y = ax + b$) puis les résidus de cette régression. Ces résidus sont calculés en retranchant les valeurs réelles (V_i) de la variable d'intérêt aux valeurs prédites par l'équation de la droite :
 Résidu (i) = $V_i - (a \times C_i + b)$.

- **Barycentre**

L'ordre d'arrivée écologique des espèces a été calculé en se basant sur les barycentres. Les barycentres ou abondances maximales des variations temporelles

des espèces et / ou des familles ont été calculés selon DJAZOULI *et al.* [465] avec la formule suivante : $B = \sum (RG_i \times AB_i) / \sum AB_i$ avec RG_i = rang du mois i de l'année et AB_i = abondance de l'espèce au mois i .

- **Comparaison rang - fréquence**

Pour comparer les groupes fonctionnels, nous avons eu recours aux diagrammes rang - fréquence pour expliquer les structures des communautés. L'analyse des pentes des droites de tendance de MOTOMURA [466] correspondant à chaque assemblage de poussée de sève permet d'obtenir également les probabilités associées aux différences de diversités des communautés.

- **Analyse multivariées**

L'AFC est une analyse multivariable qui permet de procéder à une interprétation d'observations ne comportant à priori aucune distinction, ni entre variables ni entre individus [467]. Elle a pour but de révéler les interrelations entre caractères et de proposer une structure de la population. Dans cette analyse, les espèces sont groupées selon leur groupe fonctionnel. L'AFC est suivie d'une classification hiérarchique ascendante (CAH). Brièvement, les scores obtenus pour les 3 premiers axes sont utilisés pour calculer les distances euclidiennes entre les taxa. Cette méthode de classification est destinée à produire des groupements décrits par un certain nombre de variables ou caractères c'est-à-dire qu'elle permet d'examiner les différences de composition des échantillons [468]. Elle procède à la construction des assemblages (paquets) par agglomération successive des objets deux à deux, qui fournissent une hiérarchie de partition des objets. L'analyse factorielle des correspondances et la classification hiérarchique ascendante ont été réalisées sur la base d'une matrice de données avec les poussées de sève / mois en colonnes et les espèces (codifiées) en lignes. La matrice ainsi que les logarithmes des abondances des taxons sont analysés par la suite en utilisant le logiciel Past (version 3.08).

- **Similarités des groupes**

Nous avons testé les similarités globales entre les sites par une ANOSIM (Analysis Of SIMilarity), un test non paramétrique de différence significative basée sur une mesure de distance [469]. L'indice de Bray-Curtis a été ici choisi comme mesure de similarité et les valeurs de p ont été déduites de 10000 permutations.

- **Similarités des groupes**

La contribution de chaque espèce d'insecte aux différences observées d'assemblages a été calculée par le programme SIMPER (SIMilarity PERcentage), utilisant à nouveau l'indice de Bray-Curtis [469].

CHAPITRE 6

RÉSULTATS

Les résultats sont présentés en 3 parties :

- i) Les **relations entre support nourricier et pucerons**. Nous nous sommes intéressés à mettre en évidence l'effet des constituants alimentaires et non alimentaires de la pousse de sève de la plante hôte (le clémentinier) sur la dynamique des populations des espèces aphidiennes (*Aphis spiraeicola* et *Aphis gossypii*) à travers l'analyse des remaniements des réserves énergétiques chez ces deux espèces.
- ii) L'effet des **paramètres biotiques et abiotiques sur les pucerons du clémentinier**. Cette partie s'est focalisée sur l'étude de l'influence des paramètres climatiques et celle des ennemis naturels des pucerons sur la dynamique des populations des deux espèces d'aphides étudiés.
- iii) La **structuration des communautés bénéfiques**. Nous nous sommes penchés sur la diversité des groupes trophiques prédateurs et parasitoïdes associés et circulants dans des vergers d'agrumes de la Mitidja centrale.

1. Relations entre support nourricier et pucerons

Les résultats des échantillonnages des 32 sorties effectuées en 2010 (portant sur les pucerons et leurs supports foliaires) ont été exploités afin de mettre en évidence les différentes variations temporelles quantitatives et qualitatives.

1.1. Variation temporelle de métabolites foliaires du clémentinier

1.1.1. Fluctuation temporelle des métabolites des feuilles non attaquées

L'évolution des teneurs en constituants alimentaires, métabolites de stress et principes actifs des feuilles non attaquées (prises comme témoins) est présentée selon les trois périodes de poussée de sève (Figure 6.1). La première période de poussée (PSI) a été déterminée d'après nos observations du 11 Mars au 21 Juin en 2010 et se caractérise par l'apparition des premières pousses suivie par la floraison puis la nouaison. Les seconde et troisième poussées de sève (PSII et PSIII) sont marquées par des poussées moins importantes que les précédentes et sont suivies par une période de grossissement et de maturation des fruits durant la période qui s'étale du 4 Juillet au 23 Octobre 2010.

Les teneurs en glucides solubles varient au cours de l'année et présentent un pic plus important au cours de la PSI (Figure 6.1). Par la suite, la teneur en glucides oscille et a tendance à augmenter en fin de PSIII. Les acides aminés présentent une courbe presque stable durant la PSI avec un léger pic début Mai. Durant la PSII, on remarque un pic étalé entre le 21 Juin et le 4 Juillet et un autre pic (un peu plus faible) apparaît pendant la PSIII entre le 23 et le 31 Août. L'amidon et la callose suivent une évolution similaire pendant les deux premières poussées de sève puis un pic assez important est observé pendant la PSIII. Pour la proline, on peut observer 3 pics situés mi-Avril, mi-Juillet et dans une moindre mesure entre mi et fin Octobre. Pour les tanins condensés, 4 pics sont visibles : les deux premiers pendant la PSI (23 Mars et du 2 au 10 Mai), le troisième pendant la PSII (vers le 30 Juin) et le quatrième pendant la PSIII (23 Septembre).

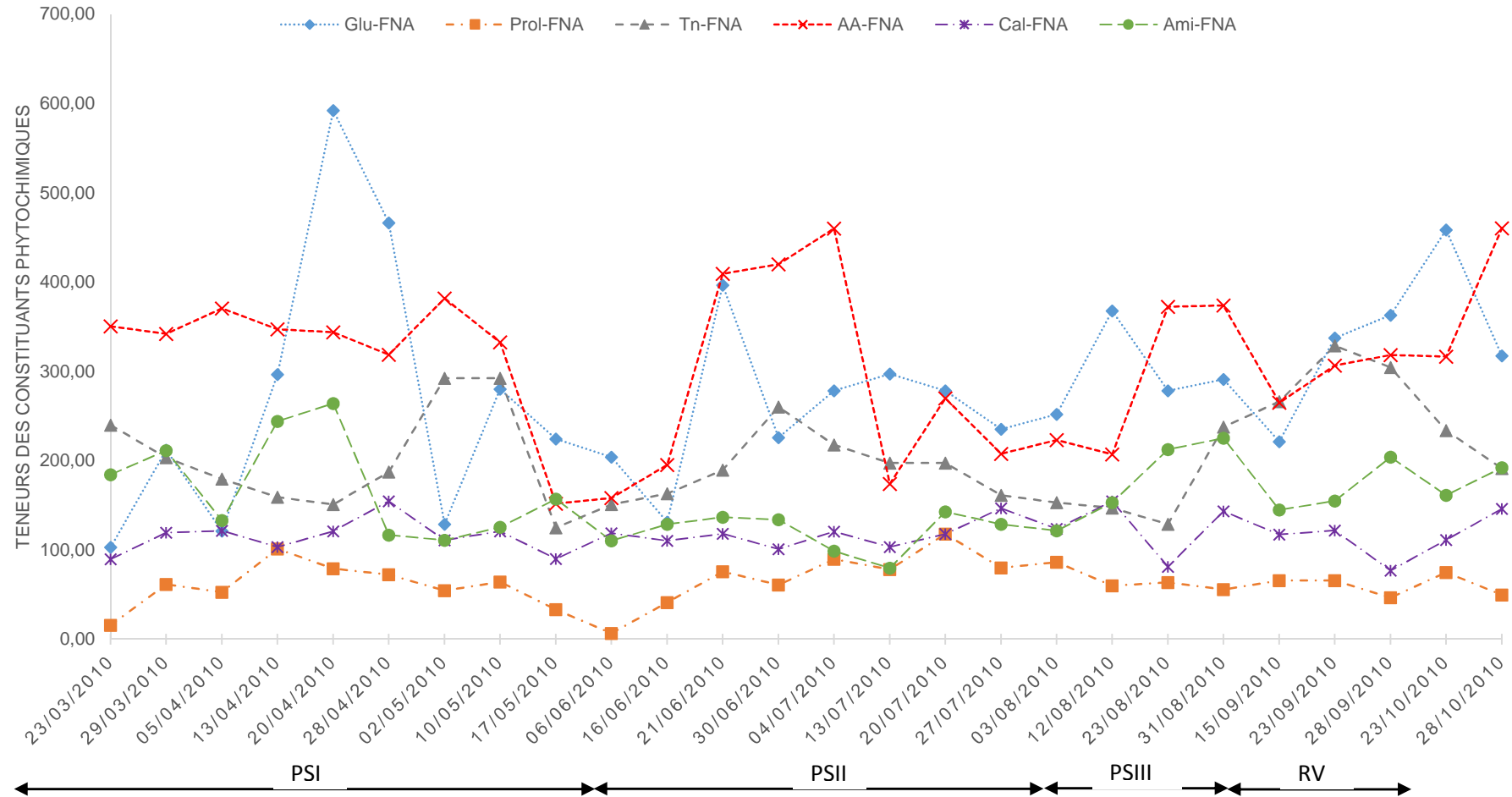


Figure 6.1 : Variation temporelle des constituants phytochimiques des feuilles non attaquées de clémentinier.

FNA : feuilles non attaquées ; Glu : glucides solubles ; AA : acides aminés libres ; Ami : Amidon (X10) ; Cal : callose (X10) ; Prol : proline ; Tn : tannins condensés ; PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif. Les teneurs en Glu, Ami, Prol et Tn sont exprimées en $\mu\text{mol. g}^{-1}$ MS et les teneurs en Cal sont exprimés en $\mu\text{g. g}^{-1}$ MS.

Les résultats du test de corrélation croisée entre la teneur de chaque constituant foliaire par rapport à la teneur en glucides solubles sont présentés dans le tableau 6.1. Des décalages ont été observés lors de la PSI ainsi qu'au cours des poussées suivantes PSII et PSIII qui ont été regroupées pour l'analyse.

Tableau 6.1 : Test de corrélation croisée et décalage temporel des constituants phytochimiques des feuilles non attaquées (FNA) du clémentinier en 2010 par rapport aux glucides foliaires.

	PSI			PSII + PSIII		
	Lag	P	Corrélation	Lag	P	Corrélation
AA / Glu	0	0,71	0,12	-1	$6,78 \times 10^{-3***}$	0,73
Ami / Glu	- 1	$4,15 \times 10^{-2**}$	0,57	+ 1	$4,66 \times 10^{-2**}$	0,54
Cal / Glu	0	$5,65 \times 10^{-2**}$	0,52	- 1	$5,18 \times 10^{-2*}$	- 0,55
Prol / Glu	- 1	$4,11 \times 10^{-2**}$	0,65	+ 1	$3,4 \times 10^{-2**}$	- 0,49
Tn / Glu	+2	$1,15 \times 10^{-3***}$	0,89	- 2	$1,5 \times 10^{-2**}$	0,65

Les astérisques correspondent à des différences hautement significatives à 1 % (**) ou très hautement significatives à 1 ‰ (***)

Glu : glucides solubles ; AA : acides aminés libres ; Ami : Amidon ; Cal : callose ; Prol : proline ; Tn : tannins condensés. PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; Lag = + 1 signifie un retard d'une semaine dans l'accumulation des différents constituants foliaires par rapport aux Glu ; P : probabilité associée au décalage.

Concernant les constituants alimentaires, les teneurs en acides aminés sont corrélées positivement à celles des glucides solubles durant les trois poussées de sève mais sans décalage pendant la PSI. Le flux de sève pendant cette poussée régule le développement des feuilles et des fleurs, ce qui se traduit par une forte activité d'absorption au niveau racinaire et une forte stimulation de la synthèse chlorophyllienne au niveau des feuilles. Pour les PSII et PSIII, les acides aminés présentent une avance d'accumulation par rapport aux glucides foliaires avec un pic le 4 Juillet durant cette période. Dans la mesure où cette période correspond au grossissement du fruit, il est possible que des demandes azotées soient d'abord transférées des feuilles vers les fruits et que le remplissage du fruit en glucides intervienne dans un second temps.

La teneur en amidon est corrélée positivement à celle des glucides solubles avec une différence hautement significative aussi bien pour la PSI que pour PSII +

PSIII. Pendant la PSI, le décalage négatif (Lag - 1) indique un retard d'une semaine du pic de production de glucides solubles par rapport à celui de l'amidon. Ce décalage intervient vers la fin de la PSI (aux alentours du 10 Mai) et peut s'interpréter par le fait qu'à cette période, les feuilles vont bientôt entamer leur repos estival (Figure 6.1) et commencent donc à constituer des réserves en prévision du stress hydrique de l'été. Pendant les PSII et III, le décalage est inversé (Lag = + 1), traduisant une avance de la production de glucides solubles sur celle d'amidon, notamment entre fin Août et fin Octobre. Cette période est marquée par un changement de coloration des fruits et un grossissement de ces derniers, ce qui implique une forte production de glucides solubles à exporter des feuilles vers les fruits. Les feuilles augmentent donc leurs réserves d'amidon seulement lorsque les teneurs en glucides produites sont suffisantes pour alimenter à la fois la feuille et les organes puits que sont les fruits.

Des décalages temporels significatifs sont apparents entre la production de proline, de tannins et de callose et la production de glucides pendant les trois poussées de sève. La seule exception observée est une absence de décalage entre les productions de callose et de glucides durant la PSI (Lag 0) (Figure 6.1 et Tableau 6.1). Pendant la PSII et PSIII, le décalage traduit une avance d'une semaine (Lag - 1) de la callose qui correspond à la toute fin de la PSIII. A cette période, les températures sont moins élevées et il a été montré que la callose peut s'accumuler en réponse à des températures plus basses.

La proline est un acide aminé souvent considéré comme un biomarqueur de stress [470]. La comparaison des courbes entre proline et glucides (Figure 6.1) et le test de corrélation croisée durant la PSI montrent un retard significatif d'une semaine du pic de glucides par rapport à la proline pendant la PSI vers mi-Avril alors qu'un décalage inverse est observé pendant la période PSII + PSIII (décalage vers mi-Juillet). Pour la PSI, le pic précoce de proline peut être lié à un stress de début de printemps non identifié et pourrait permettre aux feuilles de se protéger en attendant l'optimum de la production de glucides. Le pic de mi-Juillet peut être expliqué par une faible pluviométrie (6,4 mm) et des températures élevées en Juillet avec 33,2°C qui accentuent le stress hydrique, lequel n'est pas comblé avec les

irrigations effectuées à cette période en 2010 (27 Juin, 8, 17 et 25 Juillet puis 10 Août).

La comparaison des valeurs moyennes des glucides solubles avec les tanins par le test de corrélation croisée a révélé une avance de deux semaines (Lag + 2) des glucides durant la PSI et, à l'inverse, un retard de 2 semaines (Lag - 2) des glucides pendant la période suivante (PSII + III). Les tannins n'étant pas des métabolites liés directement à la croissance végétative et au développement floral, il paraît assez logique pendant la PSI de les voir augmenter bien après le pic de production de glucides. Par contre, leur avance sur les pics de glucides en Juin et Septembre peut s'expliquer par une utilisation des glucides pour produire des tannins servant au renforcement des parois et aux défenses contre de potentiels agresseurs, lesquels sont peut-être plus propices à des stress environnementaux à ces périodes.

1.1.2. Variation quantitative des métabolites entre les feuilles attaquées et non attaquées

Nous avons comparé durant l'année d'étude (2010), les variations quantitatives des constituants foliaires du clémentinier (glucides totaux, acides aminés, amidon, callose, proline et tannins condensés) des deux catégories de feuilles (attaquées et non attaquées) par des tests de corrélation croisée (cross correlation) et de Wilcoxon. Le test de Wilcoxon indique que les teneurs moyennes en glucides solubles, callose, proline et tannins dans les feuilles non attaquées sont significativement plus élevées que dans les feuilles attaquées même si les valeurs moyennes sont parfois très proches (Tableau 6.2). A l'opposé, les feuilles attaquées présentent une teneur plus élevée en acides aminés totaux que les feuilles non attaquées (387 $\mu\text{mol. g}^{-1}$ MS contre 310). Une augmentation pour les feuilles attaquées a également été observée pour l'amidon mais ici, la différence n'est pas significative.

Tableau 6.2 : Taux moyens des constituants phytochimiques des feuilles attaquées (FA) et non attaquées (FNA) du clémentinier au cours de l'année 2010.

	Lag	P	Teneur moyenne		Test de Wilcoxon
			FNA	FA	
Glu (FA / FNA)	0	$1.93 \times 10^{-5***}$	283,26	255,24	$8.64 \times 10^{-2**}$
AA (FA / FNA)	+1	$1,31 \times 10^{-2*}$	310,9	387,4	$2,61 \times 10^{-3***}$
Ami (FA / FNA)	+ 1	$2,39 \times 10^{-2*}$	15,69	16,69	0,35
Cal (FA / FNA)	+ 2	$4,42 \times 10^{-2**}$	304,94	182,62	$2,34 \times 10^{-5***}$
Prol (FA / FNA)	+ 1	$1.92 \times 10^{-5***}$	63,75	50,86	$1,8 \times 10^{-2**}$
Tn (FA / FNA)	0	$4.00 \times 10^{-7***}$	206,3	195,9	$1,4 \times 10^{-2**}$

Les astérisques correspondent à des différences hautement significatives à 1 % (**) ou très hautement significatives à 1 ‰ (***).

FNA : feuilles non attaquées ; FA : feuilles attaquées ; Glu : glucides solubles ; Ami : acides aminés libres ; Cal : callose ; Prol : proline ; Tn : tannins condensés. Lag (en semaine) = + 1 signifie un retard d'une semaine du constituant des FA par rapport à celui des FNA. P correspond à la probabilité associée au Lag. Les teneurs en Glu, Ami, Prol et Tn sont exprimées en $\mu\text{mol. g}^{-1}$ MS et les teneurs en Cal sont exprimés en $\mu\text{g. g}^{-1}$ MS.

En ce qui concerne des décalages possibles de pics de production entre les feuilles attaquées et non attaquées au cours des périodes de poussés de sève, le test de corrélation croisée montre une absence de décalage pour la teneur en glucides solubles et en tannins (Lag 0) (Tableau 6.2, Figures 6.2a et 6.3c). En revanche, les feuilles attaquées présentent un retard d'une semaine des pics de production d'acides aminés, l'amidon et de proline par rapport à ceux des feuilles non attaquées et un retard de deux semaines pour la callose (Tableau 6.2, Figures 6.2b, 6.3a et 6.3b). Une fois attaquées, les feuilles mettent en place des défenses avec dans un premier temps la production de métabolites secondaires à activité entomotoxique et dans un second temps, un renforcement des structures physiques avec par exemple un dépôt de callose comme barrière à la pénétration au niveau pariétal. Ceci laisse supposer que les réponses ne sont pas précoces et qu'elles se font en deux temps avec d'abord une hausse de production de proline et des autres acides aminés ainsi qu'une reconstitution de réserves en amidon puis ensuite une accumulation de callose.

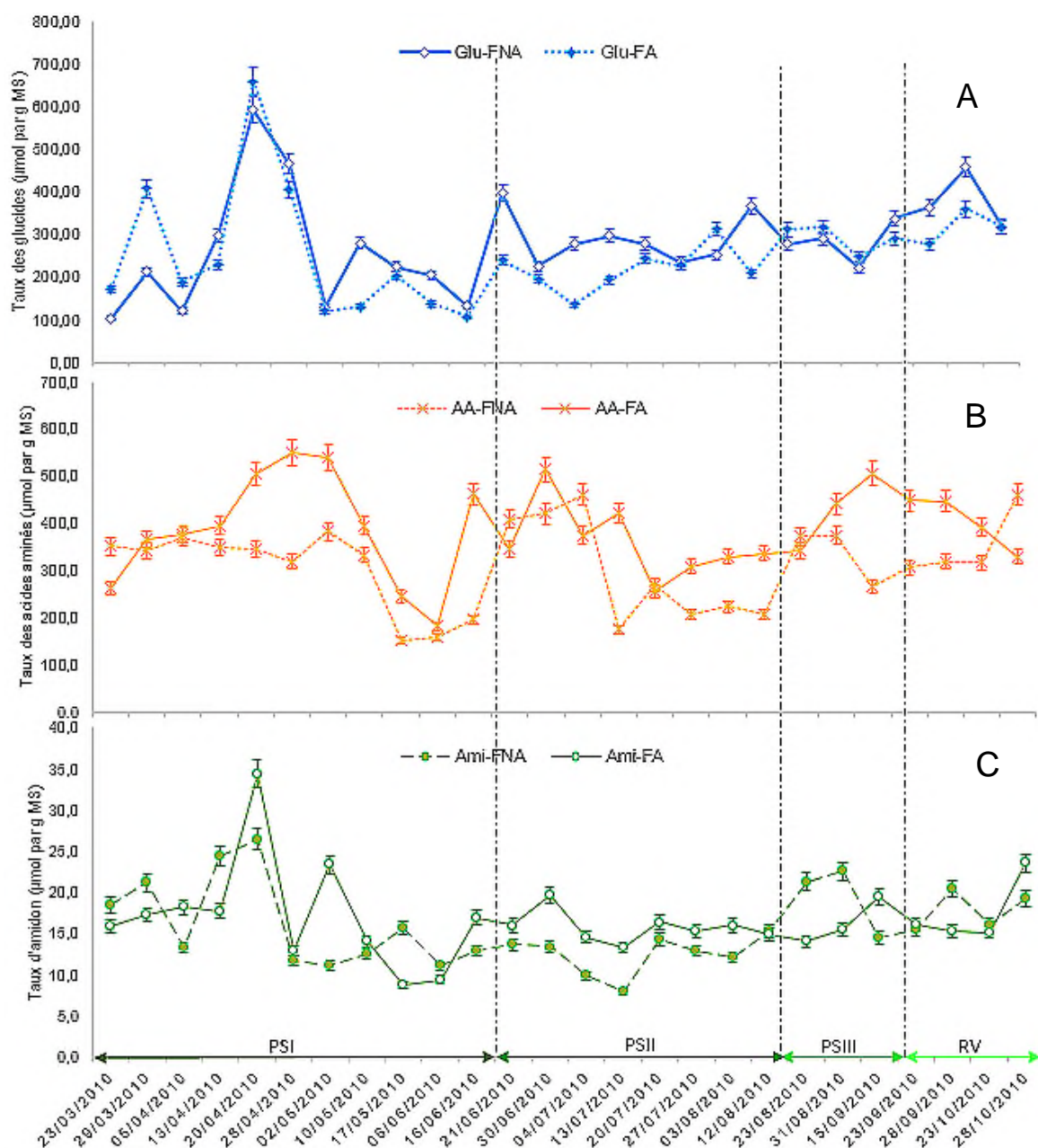


Figure 6.2 : Variation temporelle des teneurs en constituants alimentaires des feuilles du clémentinier en 2010.

A : glucides totaux (Glu) ; B : acides aminés (Aa) ; C : amidon (Ami) ; FNA : feuilles non attaquées ; FA : feuilles attaquées ; PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif.

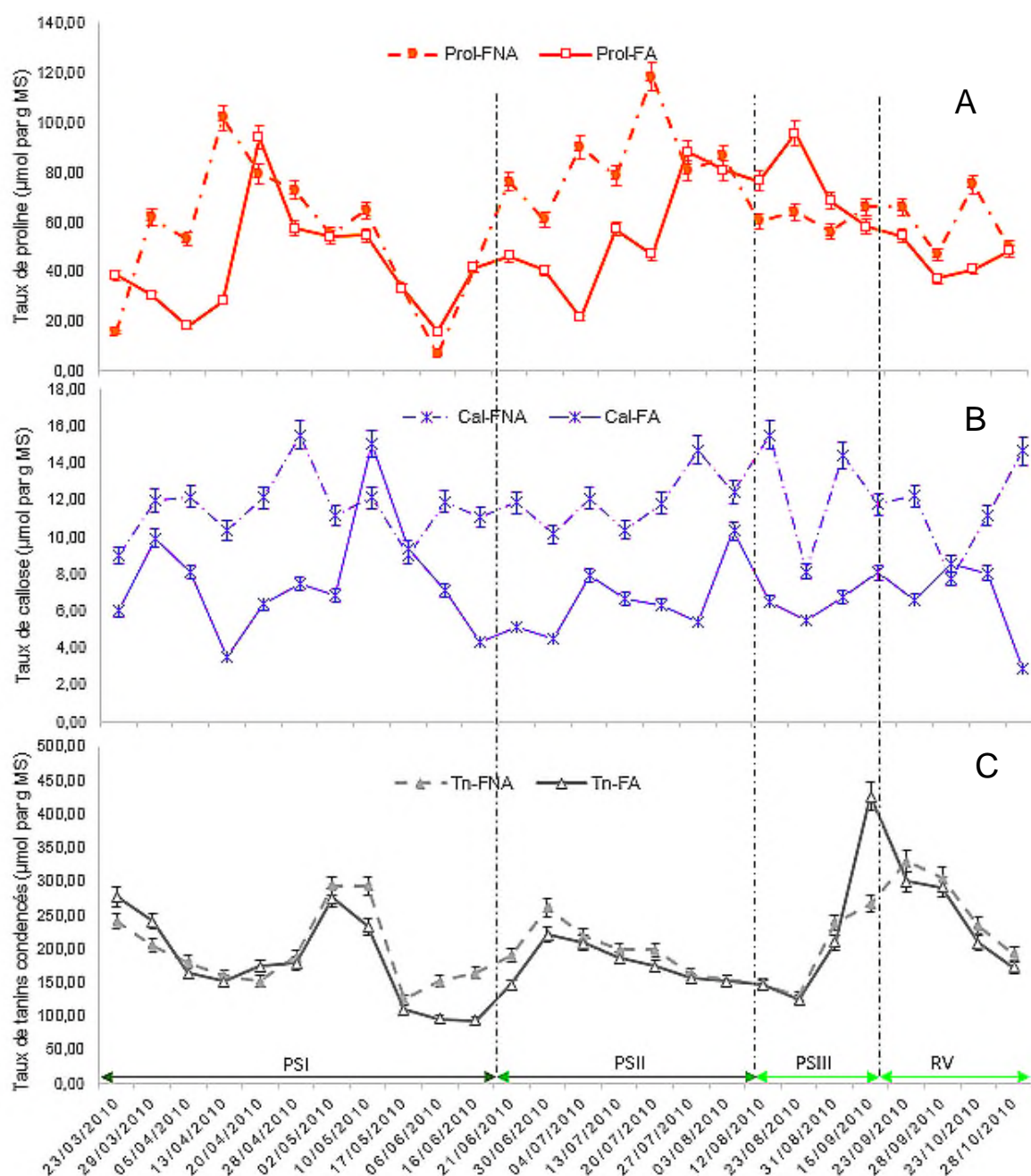


Figure 6.3 : Variation temporelle des teneurs en constituants non alimentaires des feuilles du clémentinier en 2010.

A : proline (Prol) ; B : callose (Cal) ; C : tanins condensés (Tn). FNA : feuilles non attaquées ; FA : feuilles attaquées ; PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif.

1.2. Effets de l'allocation des réserves énergétiques sur la dynamique aphidiennes

1.2.1. Variation temporelle des réserves énergétiques aphidiennes

Les réserves énergétiques ont été mesurées à partir du broyat de 10 femelles récoltées de Mars à Octobre 2010 en calculant le pourcentage de réserves lipidiques (Lip) et glucidiques (Glu) par rapport à la matière fraîche. Les résultats ont montré que les réserves énergétiques des aphides sont constituées majoritairement (99 %) de réserves lipidiques et que les deux espèces d'aphides présentaient la même proportion entre réserves lipidiques et glucidiques (Figures 6.4 et 6.5). Les réserves énergétiques lipidiques et glucidiques des populations des deux espèces d'aphides évoluent au cours de la saison de manière très hautement significative. Le test de Kruskal Wallis donne en effet des probabilités de $6,17 \times 10^{-10}$ pour *Aphis spiraecola* et de $2,87 \times 10^{-9}$ pour *A. gossypii* (Tableau 6.3).

Tableau 6.3 : Evolution des réserves lipidiques et glucidiques des deux espèces aphidiennes sur *Citrus clementina* en 2010.

	<i>Aphis spiraecola</i>		<i>Aphis gossypii</i>	
	Glu	Lip	Glu	Lip
Test de Kruskal Wallis	$6,17 \times 10^{-10***}$		$2,87 \times 10^{-9}$	

Les courbes montrent une même cinétique d'accumulation des réserves en glucides et lipides caractérisée par l'augmentation des lipides lorsque les glucides diminuent et réciproquement (Figures 6.4 et 6.5). Trois phases temporelles se dégagent avec des teneurs décroissantes au cours de la saison : une phase durant la PSI (du 20 Avril à la mi-Juin) puis deux phases entre mi-septembre et la fin de nos échantillonnages.

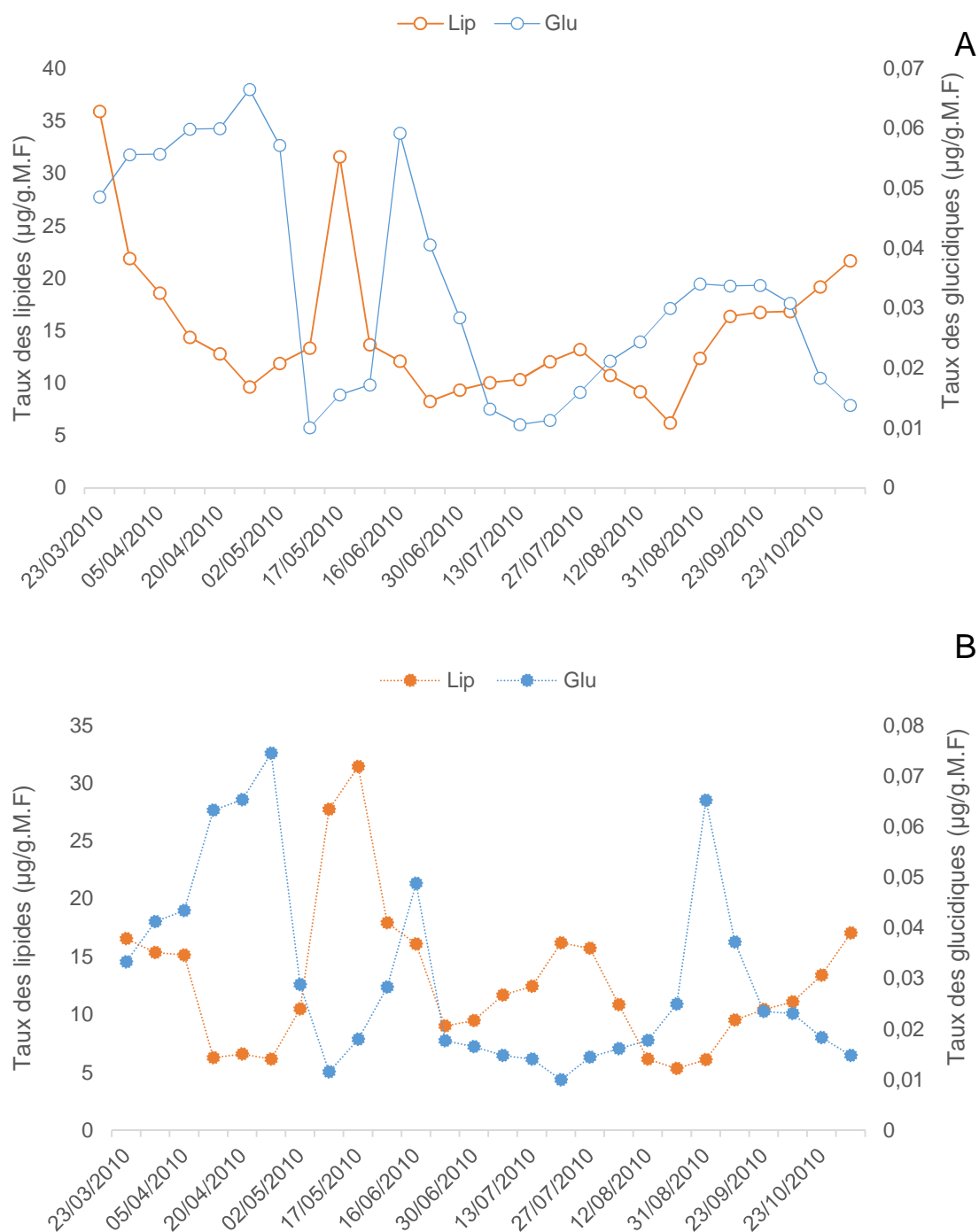


Figure 6.4 : Evolution des réserves lipidiques et glucidiques des deux espèces aphidiennes sur *Citrus clementina* en 2010.

A : *Aphis spiraecola* (A.spir) ; B : *Aphis gossypii* (A.gos). Lip : réserves lipidiques ; Glu : réserves glucidiques.

Pendant la PSII, les teneurs en réserves lipidiques et glucidiques évoluent différemment chez les deux espèces de pucerons. En effet, au début de cette période, les taux de lipides et de glucides diminuent chez *A. spiraecola* alors qu'ils augmentent chez *A. gossypii*. Ensuite, durant les mois d'Août et de Septembre, les taux de glucides sont nettement plus importants chez *A. spiraecola* alors que les taux de lipides sont plus élevés chez *A. gossypii*. Cependant, durant la période qui s'étale de fin Août à fin Septembre (PSIII), les taux de glucides et de lipides augmentent parallèlement chez les deux espèces, puis on assiste à une augmentation des réserves lipidiques alors que les réserves en glucides chutent vers la fin de cette poussée. Ceci peut s'expliquer soit par un gain d'énergie alloué à la croissance des larves, soit par une accumulation de ces réserves au profit des femelles aptères qui vont hiverner au niveau de la plante hôte.

La comparaison des teneurs globales des réserves énergétiques des deux espèces d'aphides pour chaque période de poussée de sève est présentée sur la figure 6.5. Les différences temporelles d'accumulation des réserves entre les deux espèces ont été analysées en parallèle par un test de corrélation croisée (Tableau 6.4).

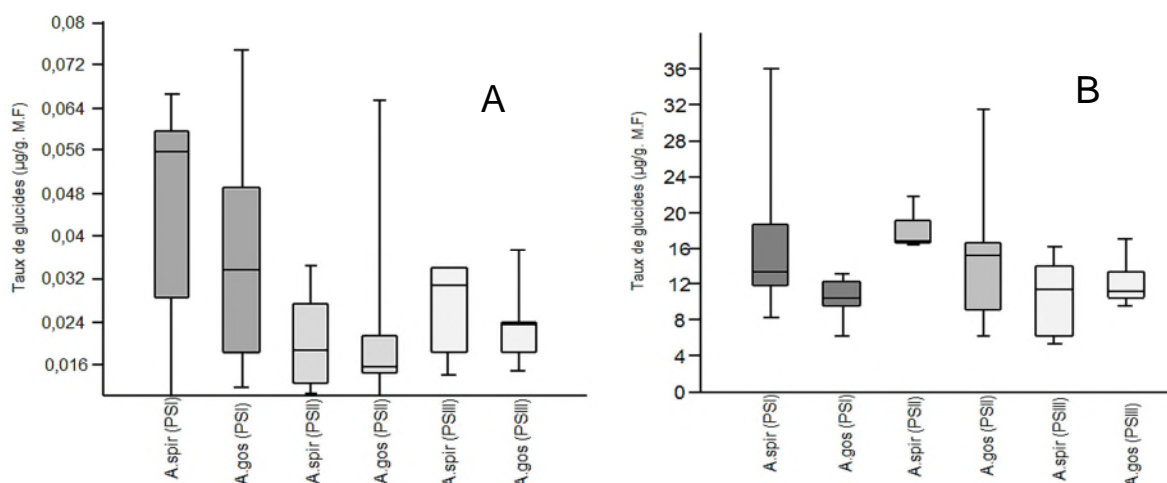


Figure 6.5 : Evaluation quantitative des réserves énergétiques glucidiques et lipidiques des deux espèces aphidiennes sur *Citrus clementina* en fonction de la poussée de sève.

A : réserves énergétiques glucidiques ; B : réserves énergétiques lipidiques. A.spir : *Aphis spiraecola* ; A.gos : *Aphis gossypii* ; PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève.

Tableau 6.4 : Analyse de la variation temporelle des réserves énergétiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* sur le clémentinier en 2010.

		PSI	PSII	PSIII
Glu (A.spir / A.gos)	Lag	0	0	-1
	P	$5,93 \times 10^{-4***}$	$1,5 \times 10^{-2**}$	$5,83 \times 10^{-2**}$
	R	0,81	0,79	0,92
	Test Wilcoxon	n.s.	n.s.	n.s.
Lip (A.spir / A.gos)	Lag	0	0	0
	P	$4,42 \times 10^{-2**}$	$3,14 \times 10^{-3***}$	$5,23 \times 10^{-4***}$
	R	0,55	0,91	0,99
	Test Wilcoxon	n.s.	n.s.	$4,31 \times 10^{-2**}$

Les astérisques correspondent à des différences hautement significatives à 1 % (***) ou très hautement significatives à 1 % (**). Les différences non significatives ($P > 0,05$) sont représentées par l'abréviation n.s.

Glu-Lip (A.spir) : réserves glucidiques et lipidiques d'*A. spiraecola* ; Glu-Lip (A.gos) : réserves glucidiques et lipidiques d'*A. gossypii* ; PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève.

Les taux de glucides mesurés pendant la PSI chez les deux espèces de pucerons sont importants (Figure 6.5) mais ne diffèrent pas significativement et aucun décalage entre les deux espèces n'a été observé (Lag 0 ; $P = 5,93 \times 10^{-4}$) (Tableau 6.4) Durant les PSII et PSIII, les teneurs en glucides sont moins importantes et elles sont plus faibles chez *A. gossypii* que chez *A. spiraecola*. Cependant, cette différence n'est pas significative, ce qui laisse supposer que les deux pucerons accumulent leurs réserves énergétiques glucidiques de la même manière sur les feuilles de clémentinier.

Pour la PSIII, nous pouvons néanmoins observer un retard significatif d'accumulation dans les réserves glucidiques chez *A. gossypii* par rapport à *A. spiraecola* (Lag = - 1 ; $P = 5,83 \times 10^{-2}$), suggérant qu'*A. gossypii* s'adapterait moins rapidement aux variations métaboliques des feuilles de clémentinier. Seules les réserves en lipides quantifiées durant la PSII et la PSIII diffèrent significativement ($P = 4,31 \times 10^{-2}$) entre les espèces d'aphides : elles sont plus importantes chez *A. spiraecola* pendant la PSII alors qu'elles sont plus élevées chez *A. gossypii* pendant la PSIII.

1.2.2. Effets des métabolites foliaires sur le remaniement des réserves énergétiques aphidiennes

Les différentes corrélations entre les réserves énergétiques des pucerons et les constituants foliaires sont illustrées dans les figures 6.6 à 6.9. Les teneurs en réserves glucidiques des aphides sont corrélées positivement avec celles des acides aminés et de l'amidon pour *A. spiraecola* ($p < 0,1 \%$) et avec celles des glucides foliaires, des acides aminés et de l'amidon pour *A. gossypii* (de façon marginale avec l'amidon car $p = 0,07$). Par contre, aucune autre corrélation n'a été observée entre les réserves glucidiques des aphides et les autres constituants foliaires.

En ce qui concerne les réserves lipidiques des aphides, leur taux est corrélé négativement avec celui de la proline des feuilles de clémentinier. Par ailleurs, des corrélations significatives et négatives ont été obtenues entre une grande partie des constituants foliaires (glucides solubles, acides aminés, amidon et proline) et les réserves lipidiques d'*A. gossypii*. Par contre la teneur en callose est corrélée positivement avec les réserves lipidiques de cet aphide. Les diverses corrélations négatives observées chez *A. gossypii* pourraient expliquer sa plus grande sensibilité par rapport à *A. spiraecola* face à la variation des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier.

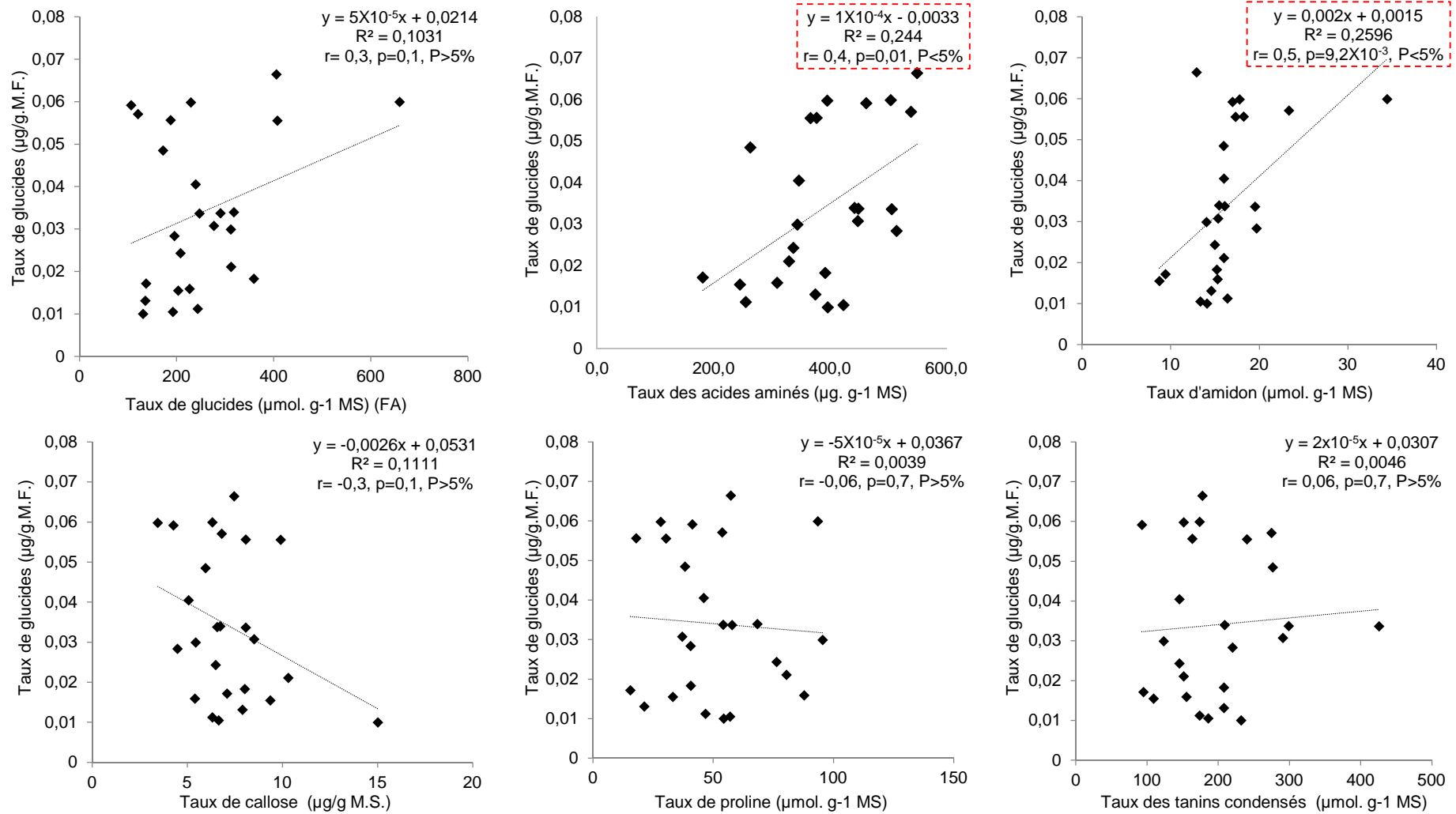


Figure 6.6 : Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques glucidiques d'*Aphis spiraecola*

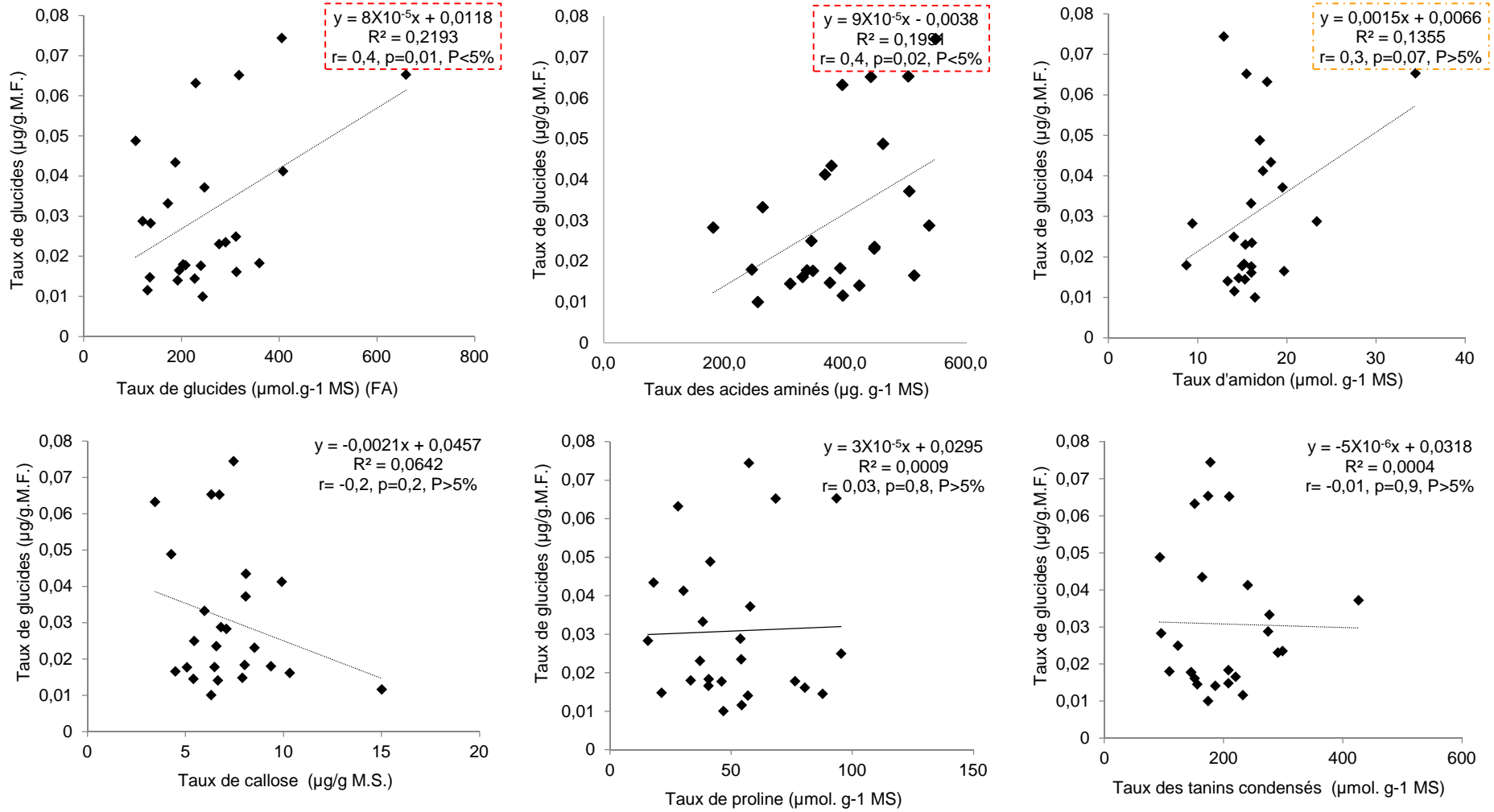


Figure 6.7 : Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques glucidiques d'*Aphis gossypii*

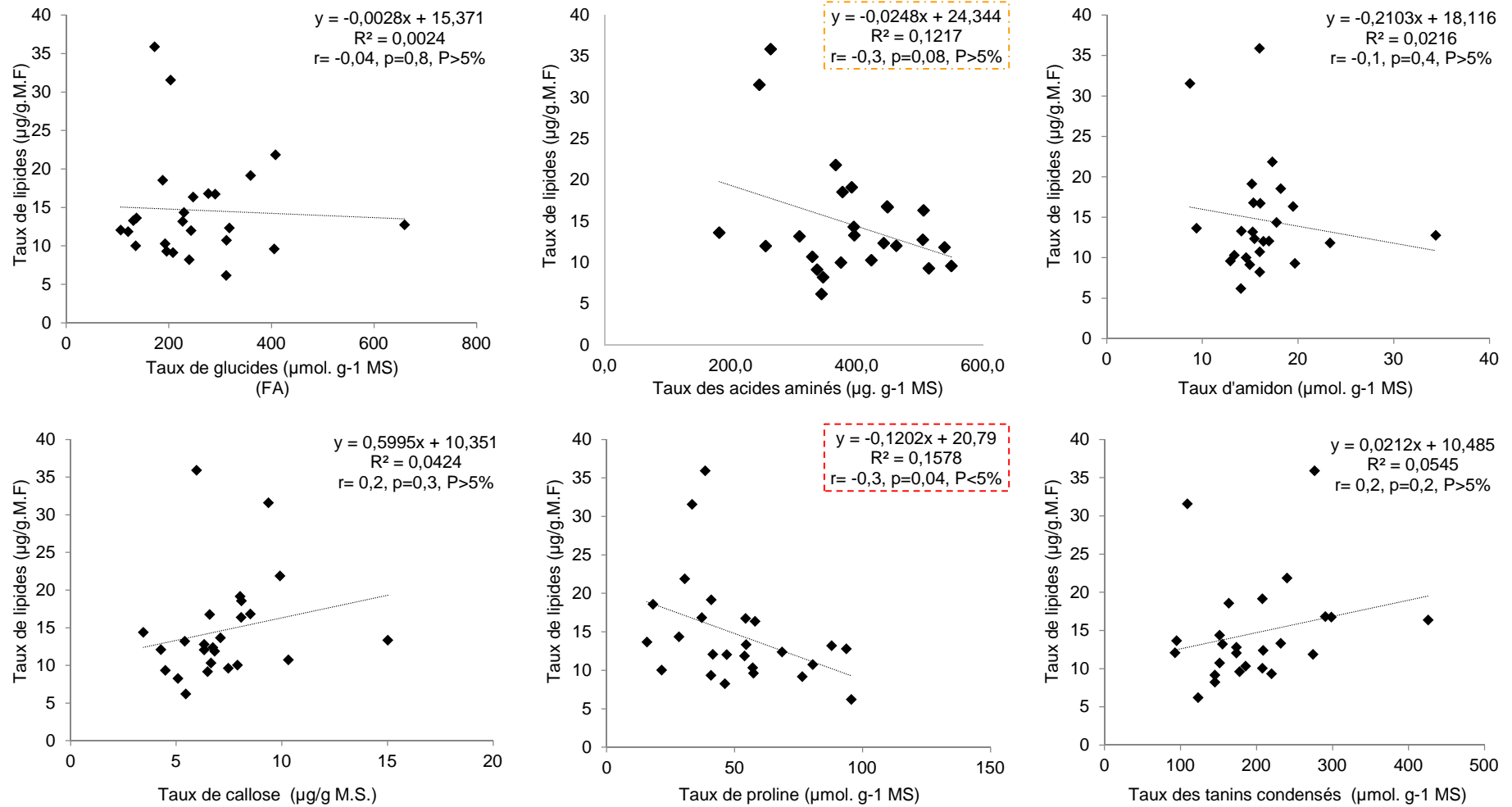


Figure 6.8 : Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques lipidiques d'*Aphis spiraecola*

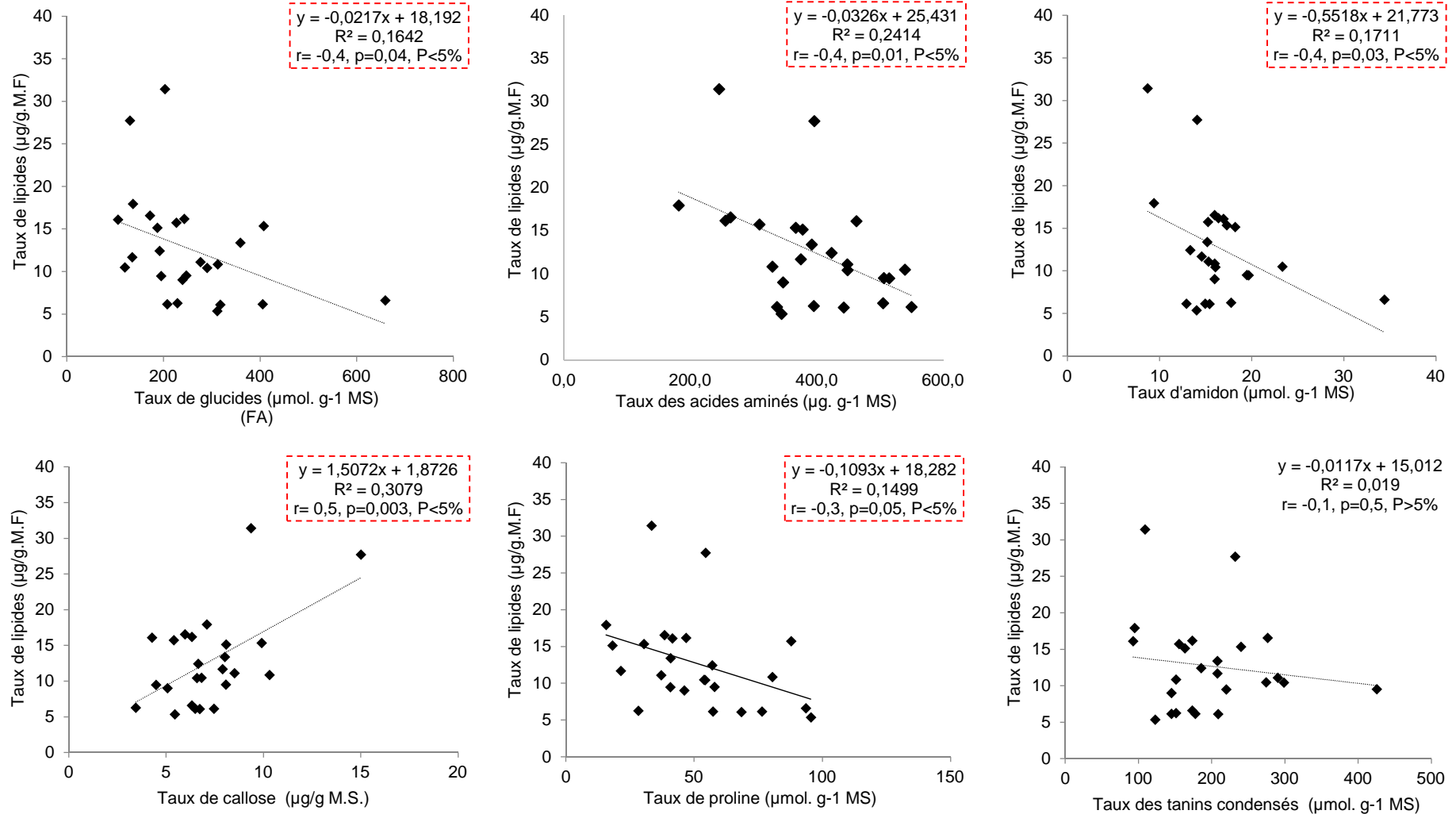


Figure 6.9 : Corrélations entre les teneurs des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier et les biomarqueurs énergétiques lipidiques d'*Aphis gossypii*

Nous avons cherché à savoir si les réserves énergétiques aphidiennes pendant l'infestation étaient influencées par les variations des constituants alimentaires (glucides solubles et acides aminés) et non alimentaires (proline, tannins et callose) des feuilles du clémentinier au cours des différentes poussées de sève. Une comparaison des décalages temporels au sein de chaque poussée de sève a donc été établie à l'aide du test de corrélation croisée (Tableau 6.5).

Pendant la PSI, l'accumulation des réserves en glucides d'*A. spiraecola* est retardée d'une semaine par rapport à la production des glucides foliaires mais elle se fait *a contrario* en avance d'une semaine par rapport à celles de la proline et des tannins (Tableau 6.5a). De plus, aucun décalage n'a été observé entre les pics d'accumulation d'acides aminés, d'amidon et de callose par rapport aux réserves glucidiques d'*A. spiraecola*. Chez *A. gossypii*, au cours de la PSI, les pics d'acides aminés, de proline et de tannins sont en retard d'1 à 2 semaine(s) sur le pic de réserves glucidiques du puceron tandis qu'aucun décalage n'a été observé pour la callose et les glucides foliaires.

L'accumulation simultanée des glucides foliaires et des réserves glucidiques d'*A. gossypii* d'une part, et l'accumulation simultanée des acides aminés foliaires et des réserves glucidiques d'*A. spiraecola* d'autre part, signifient que les 2 espèces d'aphides se maintiennent ensemble sur le clémentinier durant la PSI.

La callose n'a pas d'incidence sur le maintien des populations d'aphides car il n'y a pas de décalage temporel avec l'accumulation des réserves glucidiques de chaque espèce. Néanmoins, les corrélations négatives obtenues signifient que les réserves en glucides des aphides sont inversement proportionnelles aux teneurs en callose. Des corrélations négatives ont été également observées en ce qui concerne les tannins, et ce pour les deux espèces de pucerons.

Tableau 6.5 : Effet de la variation temporelle des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier sur les réserves énergétiques glucidiques et lipidiques des aphides.

a) Réserves glucidiques

	PSI			PSII + PSIII				PSI			PSII + PSIII		
	Lag	P	R	Lag	P	R		Lag	P	R	Lag	P	R
Glu (A.spir) / Glu	+ 1	7,77×10 ^{-2**}	0,61	+ 2	4,68×10 ^{-2**}	0,55	Glu (A.gos) / Glu	0	2,54×10 ^{-2**}	0,69	+ 1	3,7×10 ^{-2**}	0,60
Glu (A.spir) / AA	0	3,7×10 ^{-2**}	0,66	0	2,9×10 ^{-3***}	0,61	Glu (A.gos) / AA	- 1	1, 1×10 ^{-3***}	0,86	- 1	2, 3×10 ^{-2**}	0,60
Glu (A.spir) / Ami	0	6,9×10 ^{-2**}	0,51	- 1	5,7×10 ^{-2**}	0,58	Glu (A.gos) / Ami	- 1	2,4×10 ^{-2**}	0,66	- 1	1×10 ^{-3***}	0,8
Glu (A.spir) / Cal	0	3×10 ^{-2**}	-0,63	+ 2	4,8×10 ^{-2**}	-0,95	Glu (A.gos) / Cal	0	0,11	-0,4	0	0,8	-0,005
Glu (A.spir) / Prol	- 1	1,2×10 ^{-2**}	0,81	+ 1	2,8×10 ^{-2**}	0,62	Glu (A.gos) / Prol	- 1	4,5×10 ^{-2**}	0,61	+ 1	4,9×10 ^{-2**}	0,57
Glu (A.spir) / Tn	- 1	2,14×10 ^{-2**}	-0,74	- 2	3,39×10 ^{-2**}	0,51	Glu (A.gos) / Tn	- 2	4,04×10 ^{-3**}	-0,87	- 1	4,04 ×10 ^{-3**}	0,64

b) Réserves lipidiques

	PSI			PSII + PSIII				PSI			PSII + PSIII		
	Lag	P	R	Lag	P	R		Lag	P	R	Lag	P	R
Lip (A.spir) / Glu	0	0,7	-0,12	0	0,5	-0,22	Lip (A.gos) / Glu	0	0,2	-0,38	0	0,5	-0,2
Lip (A.spir) / AA	0	3,2×10 ^{-2**}	-0,64	1	2,3 ×10 ^{-2**}	0,67	Lip (A.gos) / AA	0	4,6×10 ^{-2**}	-0,60	- 1	3,4×10 ^{-3***}	-0,58
Lip (A.spir) / Ami	+ 2	3,8×10 ^{-2**}	0,96	0	3,9×10 ^{-2**}	0,62	Lip (A.gos) / Ami	0	5×10 ^{-2**}	-0,55	0	0,3	0,4
Lip (A.spir) / Cal	+ 1	2,4×10 ^{-3**}	0,78	0	0,10	0,38	Lip (A.gos) / Cal	0	1×10 ^{-2**}	0,66	0	0,06	0,68
Lip (A.spir) / Prol	- 1	6×10 ^{-2**}	-0,5	0	8×10 ^{-3**}	-0,74	Lip (A.gos) / Prol	- 1	1,2×10 ^{-2**}	-0,71	+ 1	1×10 ^{-2**}	-0,67
Lip (A.spir) / Tn	+ 1	5×10 ^{-2**}	0,5	0	1,6×10 ^{-2**}	0,64	Lip (A.gos) / Tn	- 1	9×10 ^{-3**}	-0,71	+ 1	0,07	0,65

Les astérisques correspondent à des différences hautement significatives à 1 % (**). Glu (A.spir) et Glu (A. gos) : réserves glucidiques d'*Aphis spiraecola* et d'*Aphis gossypii* ; Lip (A.spir) et Lip (A.gos) : réserves lipidiques d'*Aphis spiraecola* et d'*Aphis gossypii* ; Glu : glucides totaux ; AA : acides aminés totaux, Ami : amidon ; Cal : callose ; Prol ; proline ; Tn : tannins condensés ; PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève.

En ce qui concerne les réserves lipidiques des pucerons, les résultats montrent pour les deux espèces que l'accumulation des lipides au cours de la PSI précède d'une semaine l'accumulation de proline et est par contre simultanée par rapport aux glucides et acides aminés foliaires (Tableau 6.5b). Dans les trois cas (proline, acides aminés et glucides foliaires), la corrélation est inversement proportionnelle entre ces constituants foliaires et les réserves en lipides des pucerons. Pour *A. spiraecola*, l'accumulation des lipides est observée 1 à 2 semaine(s) après celle de l'amidon, de la callose et des tannins. Chez *A. gossypii*, les réserves lipidiques s'accumulent 1 semaine avant les tannins.

Pour les poussées de sève suivantes, les résultats montrent un retard d'1 à 2 semaine(s) des réserves glucidiques des pucerons par rapport aux taux de glucides et de proline foliaires et au contraire une avance par rapport aux taux d'acides aminés, d'amidon et de tannins foliaires. Le décalage avec la callose est différent selon les espèces d'aphides mais dans les deux cas, la corrélation est inversement proportionnelle entre la teneur en callose et celle des réserves glucidiques des pucerons. Pour les réserves lipidiques pendant PSII et PSIII, aucun décalage n'a été observé pour *A. spiraecola* par rapport aux constituants foliaires. Il en va de même chez *A. gossypii* par rapport aux teneurs en glucides, acides aminés, amidon et callose foliaires. Par contre, les résultats indiquent un retard d'une semaine entre les réserves lipidiques d'*A. gossypii* et les teneurs en proline et tannins des feuilles de clémentinier. Pour les deux espèces d'aphides, les résultats indiquent que les teneurs en lipides sont inversement proportionnelles à celle des glucides foliaires.

Nous avons réalisé par la suite des tests de régression linéaire multiple pour déterminer quels sont les constituants foliaires qui peuvent réguler l'abondance de chaque espèce d'aphide (N= 25) (Tableau 6.6). Pour chacune des deux espèces de pucerons, les décalages temporels (Lag) ont été corrigés de manière à avoir des valeurs synchrones des abondances aphidiennes d'une part et des teneurs en constituants phytochimiques d'autre part.

Tableau 6.6 : Régressions multiples des interactions entre les abondances aphidiennes et les teneurs en constituants foliaires des feuilles infestées.

	<i>Aphis spiraecola</i>		<i>Aphis gossypii</i>	
	Coefficient	P	Coefficient	P
Constante	- 452,7	0,047	- 161,7	0,267
Glucides solubles	1,383	0,011	0,464	0,171
Acides aminés libres	1,187	0,040	0,696	0,066
Proline libre	- 3,380	0,186	- 3,437	0,048
Tanins condensés	0,240	0,757	0,480	0,314

L'analyse a été effectuée après correction des décalages. n = 26.

Les résultats n'ont pas montré de variations dans la teneur en lipides du fait que leurs fluctuations présentent un retard de deux semaines par rapport à l'abondance des adultes aptères. Nos résultats montrent que la concentration foliaire en glucides solubles et en acides aminés a un effet positif sur l'abondance d'*A. spiraecola*, ce qui n'est pas le cas pour *A. gossypii* (la probabilité étant cependant marginale pour les acides aminés avec $P = 0,066$). De plus, la concentration en proline des feuilles de clémentinier a un effet négatif sur l'abondance d'*A. gossypii*.

2. Relations entre pucerons et paramètres abiotiques et biotiques

2.1. Dynamique des populations aphidiennes en relation avec les variations climatiques

Les données liées à l'abondance des deux espèces d'aphides durant les trois années d'étude (2010, 2011 et 2012) nous ont permis de mettre en évidence les différentes variations temporelles quantitatives et qualitatives.

2.1.1. Structuration et fluctuations temporelles des populations d'aphides

Durant les trois années d'étude, l'évolution des populations aphidiennes étudiées se caractérise globalement par des fluctuations importantes des effectifs des stades larvaires, des adultes aptères et des formes ailées (Figure 6.10). Afin de comprendre le mode de reproduction des pucerons *Aphis spiraecola* et *A. gossypii* en tenant compte séparément des formes biologiques, des corrélations de Pearson (intensité de la liaison entre différentes formes biologiques) ont été réalisées (Tableau 6.7). Les résultats montrent que l'effectif des adultes aptères en 2010 et 2011 était beaucoup plus important que celui enregistré en 2012, notamment pour *A. spiraecola* dont le pic à 1200 individus en 2010 a chuté à 700 en 2012.

Par ailleurs, nous avons montré des corrélations interstades positives et significatives (Tableau 6.7), ce qui explique le chevauchement observé entre les différents stades biologiques des deux aphides. Ceci est lié aux deux modes de reproduction (sexuée et asexuée) qui peuvent coexister à un même moment : suite à la formation des individus ailés, une nouvelle génération peut en effet être issue de la précédente soit par parthénogénèse, soit par reproduction sexuée.

Durant les trois années d'études, nous avons remarqué des différences annuelles entre les populations aphidiennes mais aussi entre les structurations des abondances des effectifs sous les différentes formes biologiques des deux aphides (Figures 6.11 à 6.13).

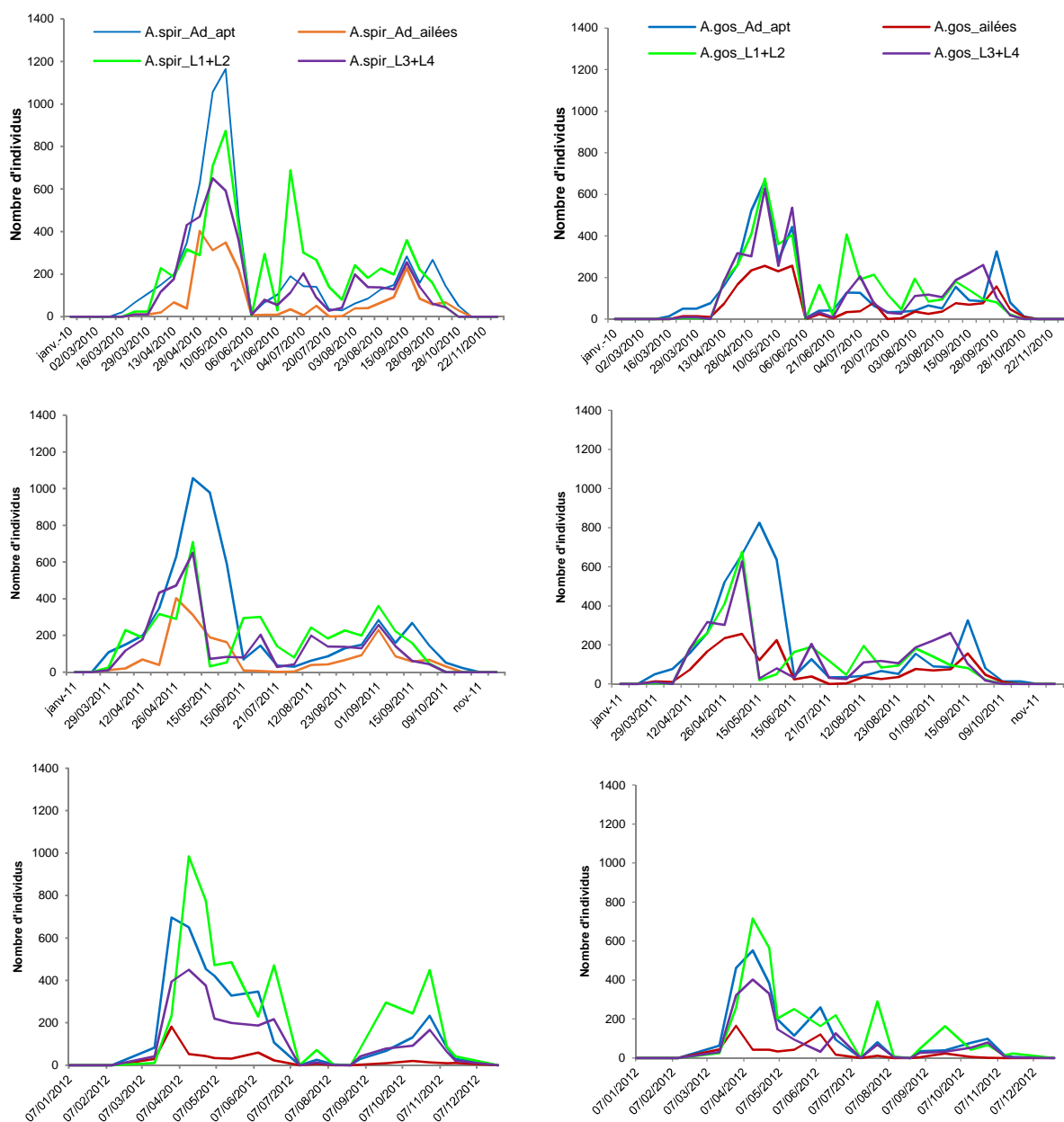


Figure 6.10 : Dynamiques annuelles des abondances des populations et des différentes formes biologiques d'*A. spiraeicola* et *A. gossypii*.

L₁+L₂, L₃+L₄, Ad_{apt} et Ad_{ailées} sont les formes biologiques larvaires, adultes aptères et adultes ailées des deux pucerons *A. spiraeicola* (*A.spir*) et *A. gossypii* (*A.gos*).

Tableau 6.7 : Corrélations de Pearson entre les abondances annuelles des différentes formes biologiques d'*A. spiraecola* et *A. gossypii*

a) *A. spiraecola*

	A.spir_Ad_apt	A.spir_Ad_ailées	A.spir_L1+L2	A.spir_L3+L4
2010				
A.spir_Ad_apt		2,03×10 ^{-12**}	1,71×10 ^{-09**}	4,09×10 ^{-15**}
A.spir_Ad_ailées	0,88951		5,24×10 ^{-06**}	5,52×10 ^{-11**}
A.spir_L1+L2	0,82661	0,69436		1,61×10 ^{-09**}
A.spir_L3+L4	0,92631	0,86246	0,82732	
2011				
A.spir_Ad_apt		3,39 ×10 ^{-7**}	9 ×10 ^{-4**}	2,72×10 ^{-4**}
A.spir_Ad_ailées	0,81773		3,655×10 ^{-4**}	2,60 ×10 ^{-5**}
A.spir_L1+L2	0,50178	0,54931		2,12 ×10 ^{-9**}
A.spir_L3+L4	0,65632	0,72687	0,8841	
2012				
A.spir_Ad_apt		6,43 ×10 ^{-11**}	5,24 ×10 ^{-5**}	2,23 ×10 ^{-11**}
A.spir_Ad_ailées	0,81622		0,1434	1,74×10 ^{-4**}
A.spir_L1+L2	0,7656	0,33049		1,73 ×10 ^{-7**}
A.spir_L3+L4	0,95386	0,72973	0,8777	

b) *Aphis gossypii*

	A. gos_Ad_apt	A. gos_ailées	A. gos_L1+L2	A. gos_L3+L4
2010				
A. gos_Ad_apt		9.14×10 ^{-17**}	9.10×10 ^{-11**}	4.59×10 ^{-12**}
A. gos_ailées	0.94231		1.42×10 ^{-09**}	3.92×10 ^{-12**}
A. gos_L1+L2	0.85779	0.82883		9.83×10 ^{-12**}
A. gos_L3+L4	0.88341	0.88463	0.87739	
2011				
A. gos_Ad_apt		1.18 ×10 ^{-8**}	10.926 ×10 ^{3**}	10.668 ×10 ^{3**}
A. gos_ailées	0.86516		7.13 ×10 ^{-5**}	2.19 ×10 ^{-5**}
A. gos_L1+L2	0.49067	0.69893		1.88 ×10 ^{-11**}
A. gos_L3+L4	0.49206	0.73131	0.92315	
2012				
A. gos_Ad_apt		2.54 ×10 ^{-4**}	4,83 ×10 ^{-7**}	1,1 ×10 ^{-10**}
A. gos_ailées	0.71712		0,07	1,1 ×10 ^{-2**}
A. gos_L1+L2	0.86285	0.39597		2.27×10 ^{-8**}
A. gos_L3+L4	0.94522	0.54031	0.90226	

Les astérisques correspondent à des différences hautement significatives à 1 % (**). Les astérisques correspondent à des différences significatives à 1 % (*). L1+L2, L3+L4, Ad_apt et Ad_ailées sont les formes biologiques larvaires, adultes aptères et adultes ailées des deux pucerons *A. spiraecola* (A.spir) et *A. gossypii* (A.gos).

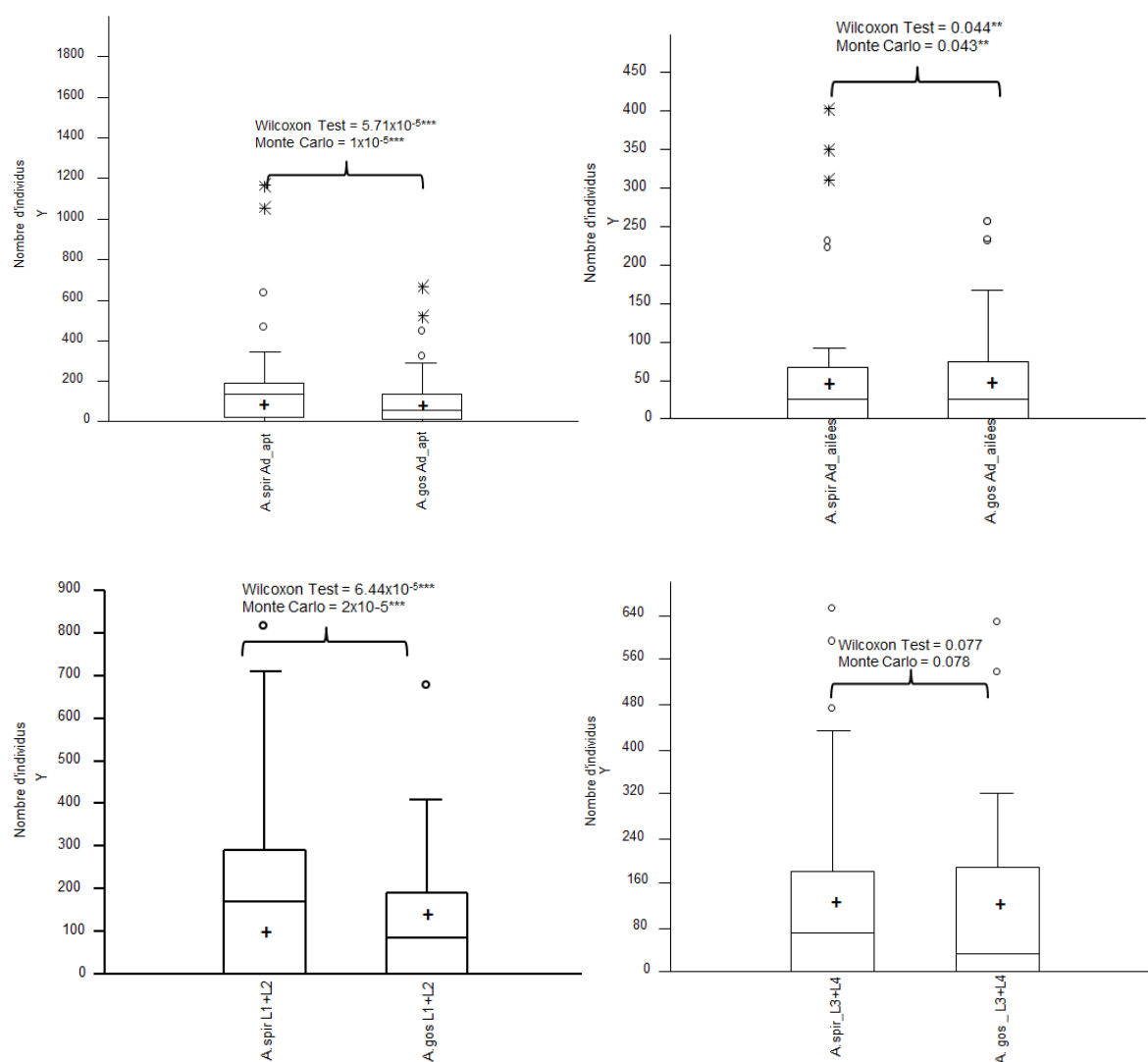


Figure 6.11 : Structurations annuelles comparées des abondances des formes biologiques aphidiennes en 2010.

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 ‰ (***) ; L₁+L₂, L₃+L₄, Ad_apt et Ad_ailées sont les formes biologiques larvaires, adultes aptères et adultes ailées des deux pucerons *A. spiraeicola* (A.spir) et *A. gossypii* (A.gos).

(Les ronds, croix, étoiles ce sont des valeurs exceptionnelles)

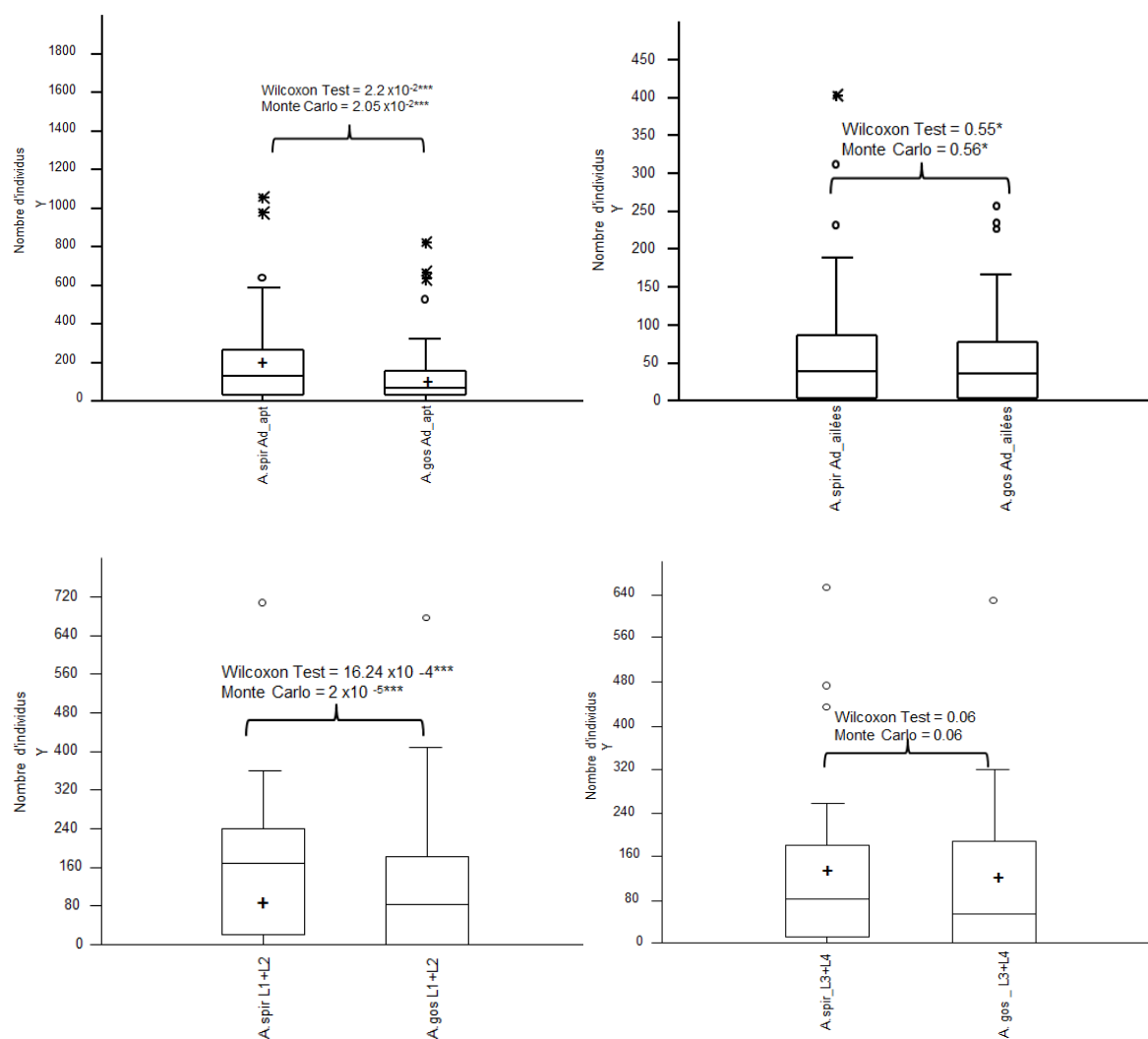


Figure 6.12 : Structurations annuelles comparées des abondances des formes biologiques aphidiennes en 2011.

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 % (***) ; L₁+L₂, L₃+L₄, Ad_apt et Ad_ailées sont les formes biologiques larvaires, adultes aptères et adultes ailées des deux pucerons *A. spiracola* (A.spir) et *A. gossypii* (A.gos)

(Les ronds, croix, étoiles ce sont des valeurs exceptionnelles)

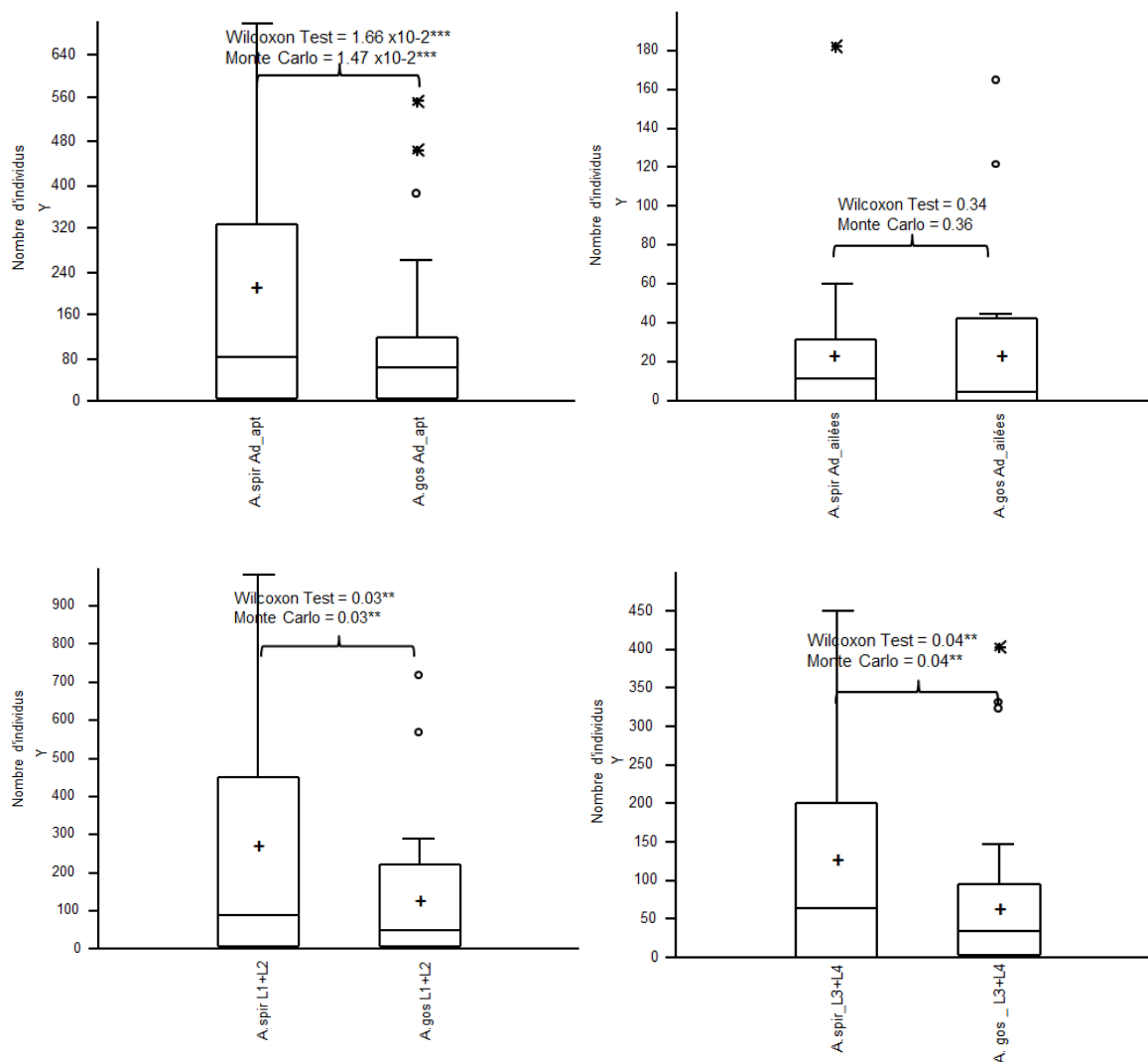


Figure 6.13 : Structurations annuelles comparées des abondances des formes biologiques aphidiennes en 2012.

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 % (***) ; L₁+L₂, L₃+L₄, Ad_apt et Ad_ailées sont les formes biologiques larvaires, adultes aptères et adultes ailées des deux pucerons *A. spiraeicola* (*A. spir*) et *A. gossypii* (*A. gos*).

(Les ronds, croix, étoiles ce sont des valeurs exceptionnelles)

Tableau 6.8 : Décalage temporel entre les abondances annuelles des différentes formes biologiques des deux espèces d'aphides en 2010, 2011 et 2012.

Année		Adulte aptère		Adulte ailé		Larves L ₁ +L ₂		Larves L ₃ +L ₄	
		Aspir	Agos	Aspir	Agos	Aspir	Agos	Aspir	Ago
2010	N	6266	3911	2261	1973	6512	4358	4547	3872
	Moyenne	232,1	144,8	83,7	73,1	241,2	161,4	168,4	143,4
	Median	143	77	39	36	222	120	117	106
	Barycentre	5,71	5,74	6,01	5,90	6,10	5,89	5,79	6,03
	Lag	0		0		0		0	
	P		1,2×10 ^{-7***}		7,7×10 ^{-8***}		2,7×10 ^{-7***}		4,98×10 ^{-9***}
2011	N	5685	4356	1930	1702	4289	3020	3471	2966
	Moyenne	218,6	167,5	74,2	65,4	164,9	115,2	133,5	114,1
	Median	136	71,5	36	39	170,5	83	81	56
	Barycentre	5,71	5,63	6,08	5,92	6,40	6,02	5,94	6,26
	Lag	0		0		0		0	
	P		5,71×10 ^{-5***}		3,81×10 ^{-7***}		8,91×10 ^{-9***}		1,15×10 ^{-12***}
2012	N	3690	2479	526	553	4933	3058	2565	1762
	Moyenne	175,7	118,1	25,0	26,3	234,9	145,6	122,1	83,9
	Median	83	63	11	5	88	48	63	32
	Barycentre	5,20	4,93	4,82	4,64	5,88	5,24	5,39	4,90
	Lag	0		0		0		0	
	P		1,55×10 ^{-11***}		1,16×10 ^{-9***}		8,42×10 ^{-8***}		4,1×10 ^{-11***}

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 % (***)

Aspir : *Aphis spiraecola* ; Agos : *Aphis gossypii* ; N : abondance totale ; Barycentre : abondance maximale ; Lag : décalage en semaines ; P : probabilité associée au Lag.

Pour les aptères d'*Aphis spiraecola*, nous avons obtenu des valeurs médianes annuelles de 143, 136 et 83 pour 2010, 2011 et 2012, respectivement, et des moyennes annuelles effectives de 232,1, 218,6 et 175,7 pour ces 3 mêmes années. Pour les aptères d'*Aphis gossypii*, les valeurs médianes sont de 77, 71,5 et 63 et les moyennes effectives sont de 144,8, 167,5 et 118,1. Par contre, les valeurs moyennes et médianes sont faibles pour les formes ailées par rapport aux autres formes biologiques des deux aphides dans la même année d'étude. Pour les stades larvaires (L₃+L₄) entre mi-Mai et début Juin puis entre fin Juillet et début Août, les effectifs semblent identiques mais faibles pour les deux espèces d'aphides.

Les abondances moyennes en 2010 des ailées sont de 83,7 pour *A. spiraecola* et 73,1 pour *A. gossypii* et pour les stades larvaires (L₁+L₂) de 241,2 pour *A. spiraecola* et 161,4 pour *A. gossypii*. Les abondances moyennes pour les stades larvaires (L₃+L₄) sont de 168,4 pour *A. spiraecola* et 143,4 pour *A. gossypii*. Les valeurs des médianes des ailées d'*A. spiraecola* et d'*A. gossypii* sont de 39 et 36 respectivement, de 222 et 120 pour les stades larvaires (L₁+L₂) d'*A. spiraecola* et d'*A. gossypii* et de 117 et 106 pour les stades larvaires (L₃+L₄) des mêmes deux espèces d'aphides (Figures 6.8 et 6.12, Tableau 6.8). De manière générale, l'évolution des populations aphidiennes sous différentes formes biologiques montre un chevauchement entre les stades larvaires, les adultes aptères et les ailés. Cependant, leur abondance diffère avec une prolifération plus importante d'*A. spiraecola*.

A partir de ces valeurs, une comparaison entre les abondances d'effectifs d'*Aphis spiraecola* et *A. gossypii* a été réalisée par des tests non paramétriques de comparaison de médianes (Monte Carlo et Wilcoxon). Ces tests tiennent compte des distributions des différentes formes biologiques des deux espèces de pucerons comparées deux à deux avant et après chaque sortie. Ces tests montrent des différences hautement significatives ($P < 1\%$) entre les abondances d'*Aphis spiraecola* pour les formes aptères, larvaire et ailées ($P < 5\%$ ou $P = 5\%$) (Figures 6.12 à 6.14, Tableau 6.8).

Nous avons également déterminé l'abondance maximale traduite par les barycentres de chaque espèce d'aphide entre fin Avril et fin Juin (Tableau 6.8). En 2010, les populations des deux espèces aphidiennes ont été observées simultanément sur le feuillage du clémentinier où elles évoluent entre la troisième semaine de Mai et début Juin. En 2011, les aptères d'*A. gossypii* sont apparus en premier, suivis par les aptères d'*A. spiraecola* vers la troisième semaine de Mai. Ces aptères donnent naissance par parthénogénèse à des jeunes larves L1 puis L2 qui se développent en larves L3 puis L4 entre fin Mai et mi-Juin. En 2012, nous avons pu remarquer une précocité dans la colonisation des jeunes pousses par les aphides. Ce sont d'abord les formes ailées des deux pucerons qui ont été rencontrées durant la troisième semaine d'Avril, puis les aptères d'*A. gossypii* fin Avril suivis par les aptères d'*A. spiraecola* début Mai. Enfin, les autres formes

biologiques se sont développées à leur tour de fin Avril à début Mai pour *A. gossypii* et durant la deuxième moitié de Mai pour *A. spiraecola*. Néanmoins, si les populations d'*A. gossypii* s'installent en premier, l'analyse des successions des stades biologiques entre les deux espèces n'a pas montré de décalage temporel avec des différences significatives quel que soit le stade (Lag 0 ; $P < 1\%$).

2.1.2. Effet des précipitations et des températures sur les fluctuations annuelles aphidiennes

De 2010 à 2012, la dynamique d'activité des pucerons sur le clémentinier au niveau de la Mitidja centrale se caractérise par une même tendance évolutive répartie sur deux périodes distinctes. En général, la première période (plus importante) s'étale entre fin Mars - début Avril jusqu'à la moitié du mois de Juin et coïncide avec la PSI (Figure 6.15). Durant les trois années d'étude (2010, 2011 et 2012), au cours de la PSI, les pics d'abondance des deux pucerons ont été enregistrés en Mai avec des valeurs minimales des températures de 13, 11,4 et 9°C et des valeurs maximales de 31,4, 35 et 32,7°C. Les précipitations à ces périodes étaient de 24, 130 et 16 mm.

La seconde période englobe les poussées estivale et automnale (PSII et PSIII). Cette période est caractérisée par des populations moins denses avec un pic d'abondance observé entre Septembre et Novembre pour les 3 années. Il semblerait que les températures minimales et maximales ont joué défavorablement sur les populations des aphides. Nous avons en effet enregistré entre Août et Octobre de ces 3 années, des valeurs minimales moyennes de 18,2, 16,3 et 8,3°C et des températures maximales moyennes très élevées de 39,8, 37 et 36,8°C. Une température relativement fraîche en Mai par rapport au seuil requis de 15°C chez les pucerons pour leurs activités physiologiques puis l'accélération croissante de l'écart thermique se sont traduites par une activité importante des pucerons durant la période Mai-Juin et le mois de Juillet. Le déclin d'activité des aphides serait dû à l'effet combiné des paramètres climatiques. Une exception été observée toutefois en 2011 où les quantités de pluie enregistrées en Mai (120 mm) et Juin (220 mm) pourraient être à l'origine d'une diminution très sensible des populations de fin Mai à début Juillet.

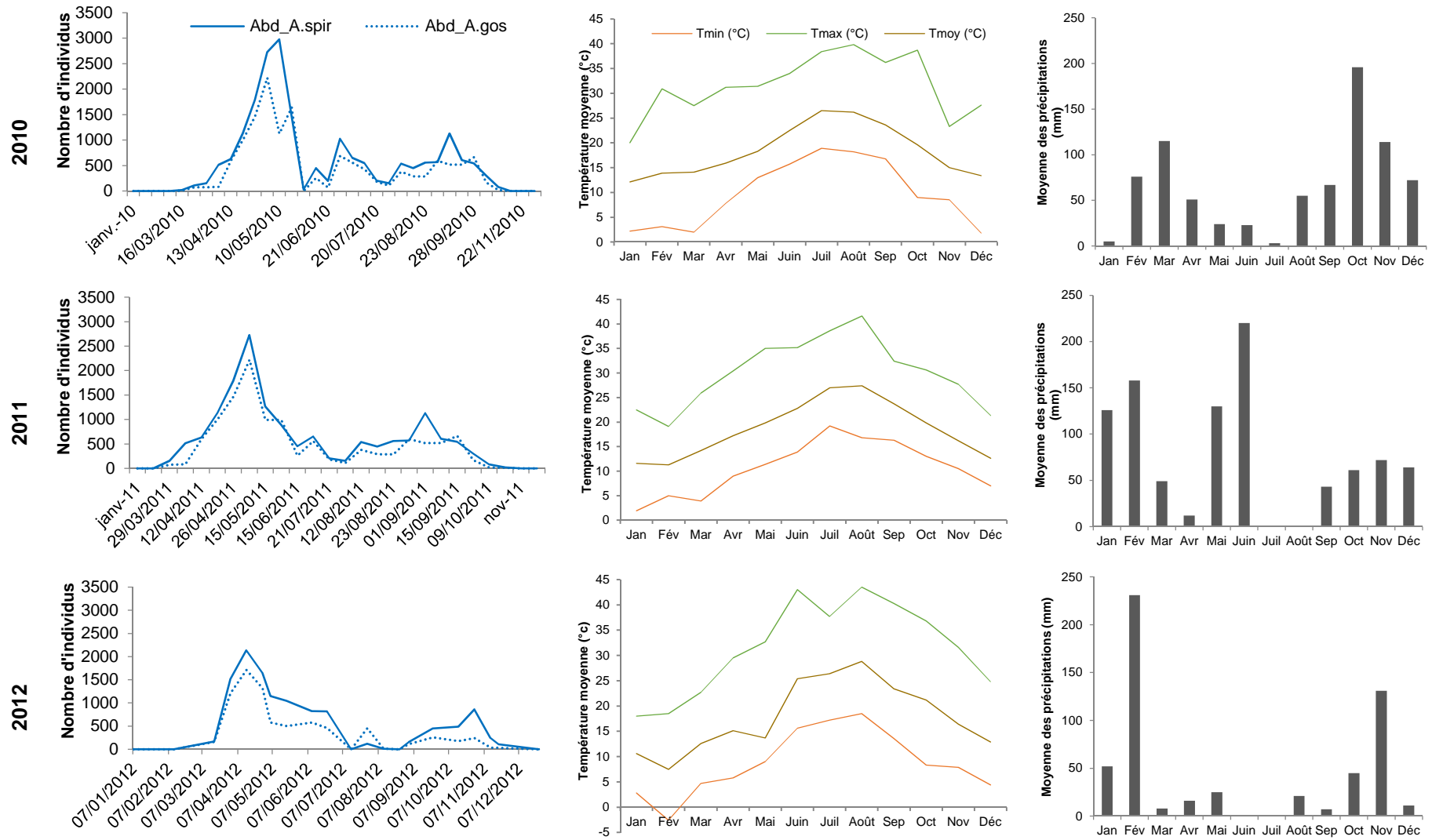


Figure 6.14 : Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2010, 2011 et 2012.

Abd_A.spir et Abd_A.gos : abondance des populations d'*Aphis spiraeicola* et *Aphis gossypii*.

2010

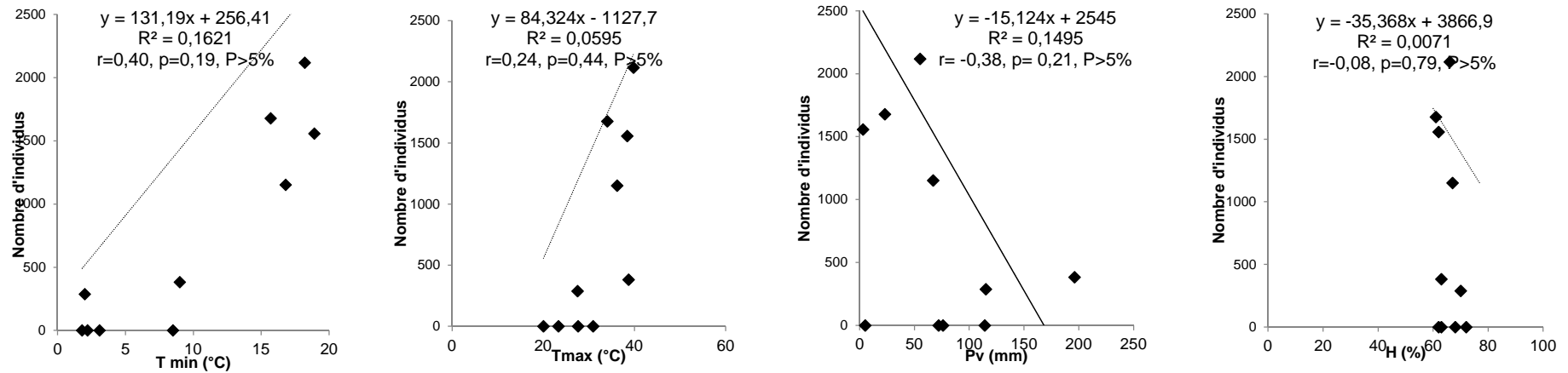
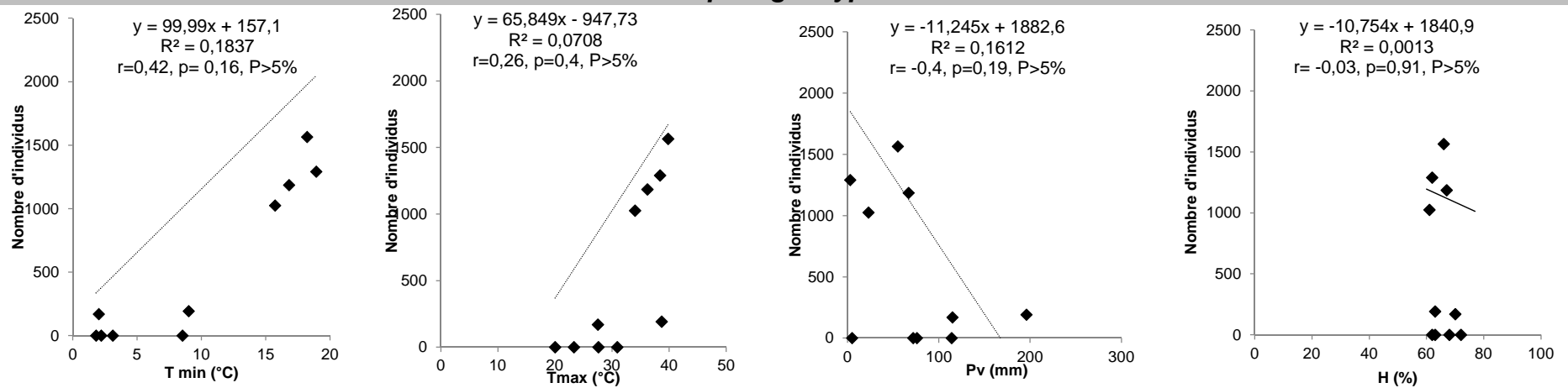
Aphis spiraecola*Aphis gossypii*

Figure 6.15 : Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2010.

2011

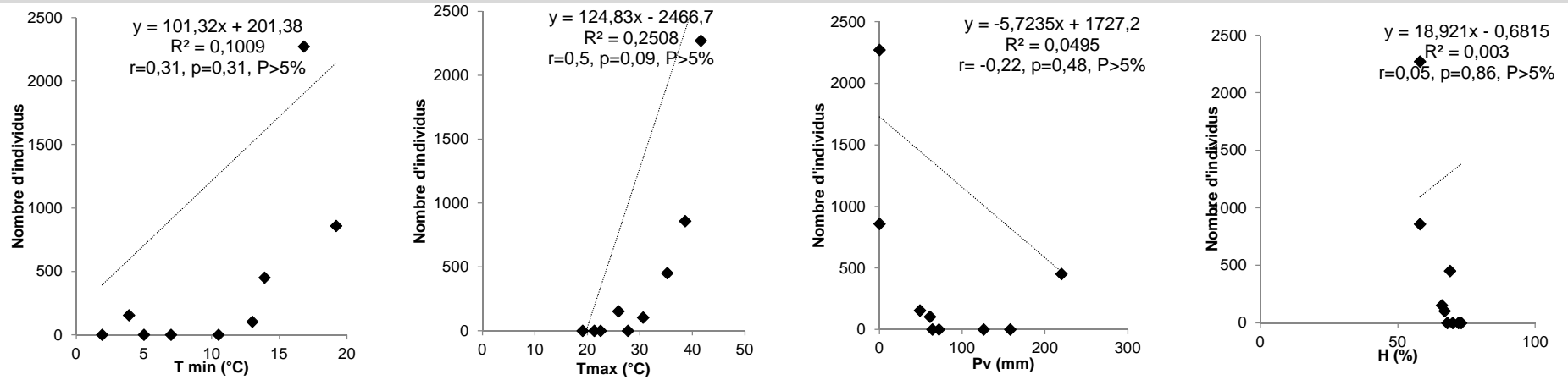
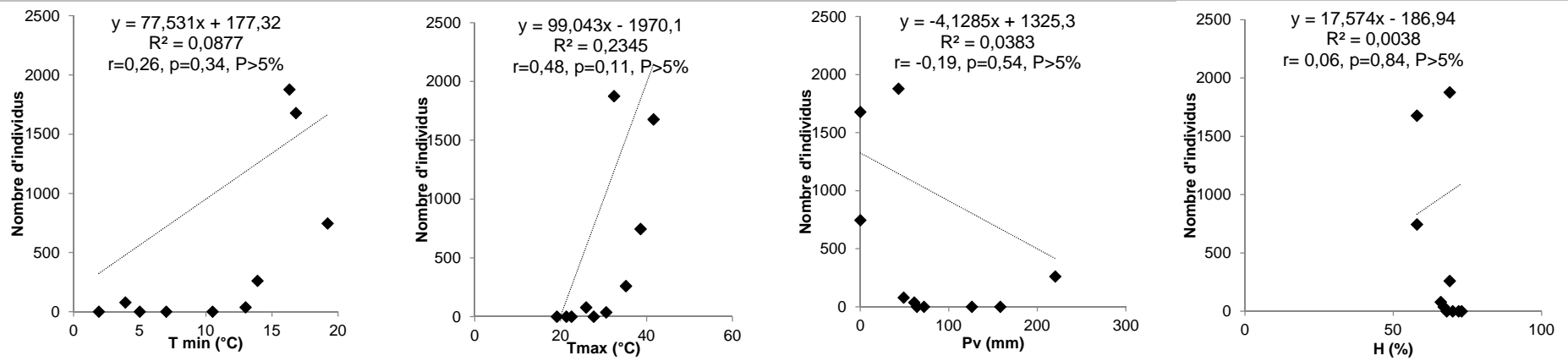
Aphis spiraecola*Aphis gossypii*

Figure 6.16 : Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2011.

2012

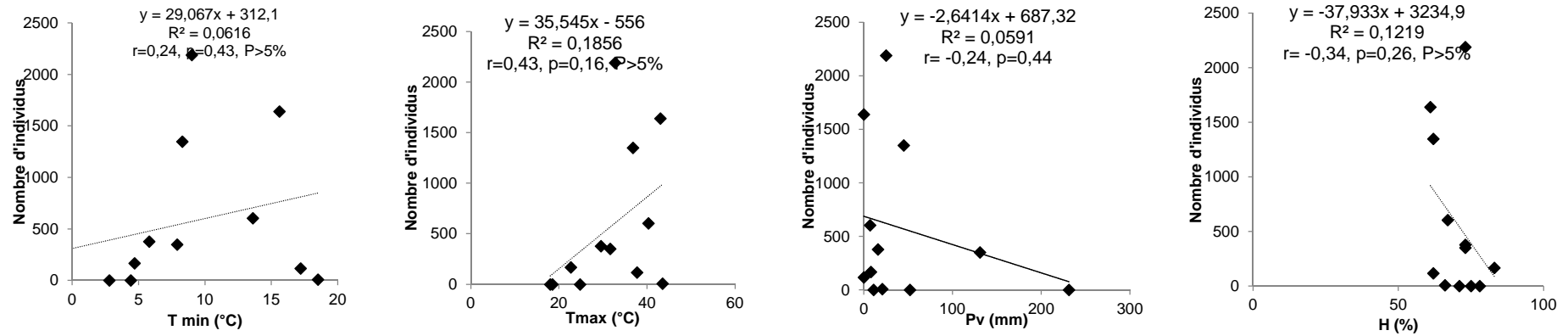
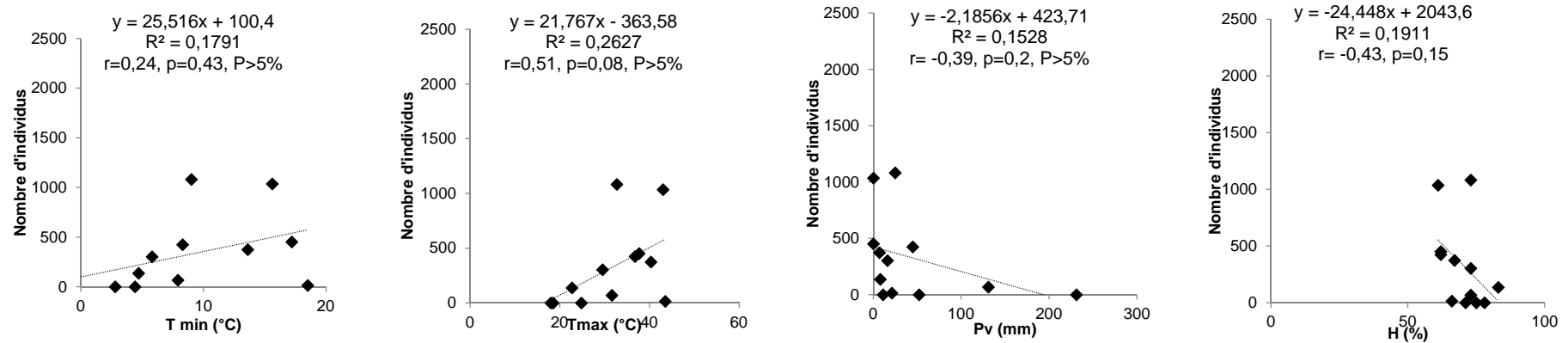
Aphis spiraecola*Aphis gossypii*

Figure 6.17 : Effet des paramètres climatiques sur les variations d'abondances aphidiennes en 2012.

Par ailleurs, plus les quantités de pluie sont faibles, plus les effectifs des pucerons sont importants sur les jeunes pousses en Avril et Mai. Inversement, les précipitations enregistrées en Octobre 2010 et 2011 et en Novembre 2012 ont engendré une diminution des abondances aphidiennes, voire l'absence totale d'aptères des deux espèces. La diminution des effectifs constatée en Août semble être surtout causée par l'augmentation excessive des températures moyennes.

Les données des abondances aphidiennes et celles des précipitations, températures et d'humidité relative ont été recoupées pour établir des régressions et entrevoir les corrélations possibles et leur niveau de probabilité associée (Figures 6.15, 6.16 et 6.17). Les différences obtenues pour chaque cas de figure ne sont pas significatives ($p > 5 \%$). Cependant, certaines corrélations avec des coefficients supérieurs à 0,40 et avec une homogénéité interannuelle pour les deux espèces aphidiennes nous ont semblé pertinentes à considérer.

En 2010, les abondances des deux populations de pucerons étaient corrélées positivement avec les températures minimales ($r = 0,40$ et $0,42$) et corrélées négativement avec les quantités de pluie ($r = - 0,38$ et $- 0,40$). On peut remarquer que les abondances sont nulles ou très faibles en dessous d'une température minimale de 10°C et peuvent par contre atteindre des effectifs compris entre 1000 et 2000 individus dans un intervalle de températures minimales situé entre 15 et 20°C . Des abondances élevées sont également enregistrées lorsque les précipitations ne dépassent pas 60 mm (Figure 6.16).

En 2011 et 2012, nous avons trouvé un effet prépondérant des températures maximales ($0,43 < r < 0,51$) sur les effectifs des populations avec des abondances en aphides restreintes entre 400 et 1000 individus pour un intervalle thermique de 23 à 37°C (Figure 6.16). Les abondances de l'espèce *A. gossypii* semblent inversement corrélées ($r = - 0,43$) avec l'humidité relative de l'air enregistrée en 2012 (Figure 6.17). En effet, les effectifs ne dépassent pas les 1000 individus pour un taux d'humidité de l'air compris entre 60 et 80 %.

2.2. Coïncidence spatiotemporelles aphides-auxiliaires (cécidomyies, coccinelles, parasitoïdes chrysopes)

Dans un écosystème s'imbriquent des multitudes de chaînes alimentaires et il est pratiquement impossible de les isoler. Dans ce réseau trophique, le puceron fait l'objet d'une prédation par divers groupes d'insectes. A travers cette comparaison, nous avons exploité directement les valeurs des dénombrements des espèces étudiées dans les vergers de clémentiniers en Mitidja.

2.2.1. Fluctuations annuelles des cortèges aphidiphages

Parmi les aphidiphages rencontrés sur le clémentinier entre 2010 et 2012 à « l'EURLFSP Les Cinq Palmiers » d'Oued El-Alleug, nous avons observé majoritairement des Chrysopidae (œufs, larves et adultes), des Coccinellidae (larves et adultes) et des larves de Cecidomyidae tandis que les autres catégories de prédateurs tels que les syrphes ont été peu rencontrées. Les abondances moyennes mensuelles des cécidomyies, des Coccinellidae, des Chrysopidae et des pucerons parasités sont présentées dans le tableau 6.9 et la figure 6.18.

Tableau 6.9 : Comparaison des effectifs en 2010/2011/2012 des aphidiphages étudiées sur *Citrus clementina*.

		N	Moyenne	Median	Wilcoxon Test	Lag (semaine)	Probabilité associée
puc_par	2010		39,16	0	$4,3 \times 10^{-2**}$	0	$7 \times 10^{-4***}$
	2011		49,66	0	$4,3 \times 10^{-2**}$	0	$9,1 \times 10^{-3***}$
	2012		2,83	0	0,108ns	0	
Coc	2010		17,25	0,5	$2,7 \times 10^{-2**}$	0	$3,83 \times 10^{-8***}$
	2011		14	0,5	0,228	0	$3,52 \times 10^{-3***}$
	2012		7,41	6,5	$1,7 \times 10^{-2**}$	0	
Cec	2010	12	26,33	0	$4,3 \times 10^{-2**}$	0	$1,48 \times 10^{-3***}$
	2011		24,5	0	$4,3 \times 10^{-2**}$	0	$2,33 \times 10^{-1**}$
	2012		5,83	0,5	$2,7 \times 10^{-2**}$	0	
Chry	2010		2	0	0,179	0	$6,29 \times 10^{-1**}$
	2011		7,75	0	0,108	0	
	2012		6,25	0	$6,7 \times 10^{-2*}$	0	$3,81 \times 10^{-2**}$

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 % (***)
Puc_Par : Puceron Parasité, Coc : Coccinellidae, Cec : Cecidomyidae, Chry : Chrysopidae

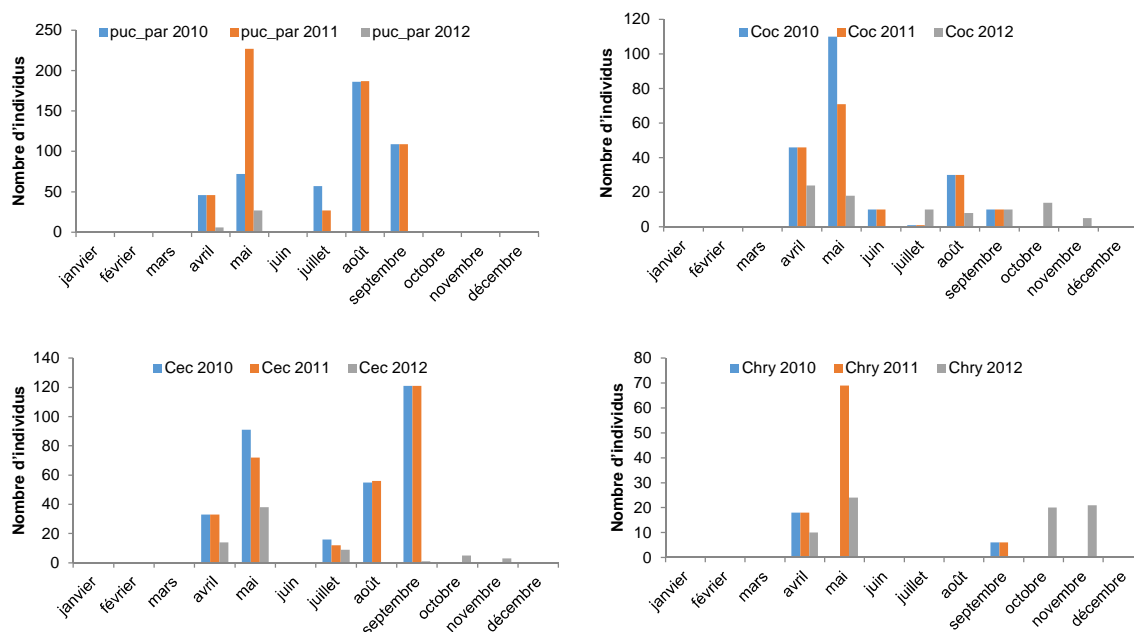


Figure 6.18 : Fluctuations annuelles des prédateurs aphidiphages en 2010, 2011 et 2012 sur le clémentinier en Mitidja centrale.

Puc_Par : Puceron Parasité, Coc : Coccinellidae, Cec : Cecidomyidae, Chry : Chrysopidae, ■: 2010, ■: 2011, ■: 2012

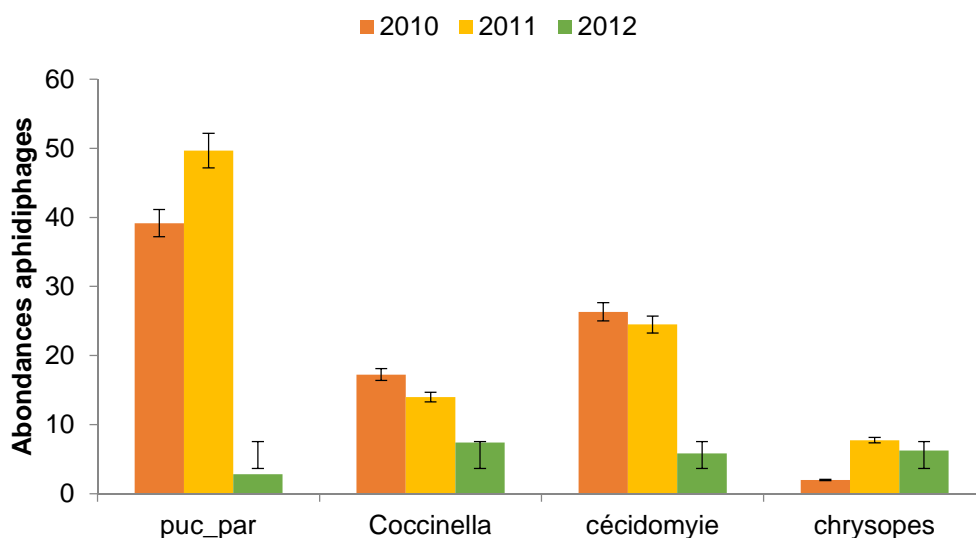


Figure 6.19 : Fluctuations annuelles globales des prédateurs aphidiphages en 2010, 2011 et 2012 sur le clémentinier en Mitidja centrale.

Les fluctuations annuelles des cortèges aphidiphages agrumicoles varient continuellement en fonction des années et également en fonction des mois (Figure 6.19). Les moyennes des abondances des aphidiphages montrent l'absence de décalage temporel annuel (Lag 0) entre les années comparées (2010/2011 et 2011/2012). L'apparition des espèces aphidiphages se fait donc simultanément et le test de Wilcoxon montre qu'il existe une variation au niveau de l'abondance d'une

année à l'autre (Tableau 6.9, Figures 6.18 et 6.19). Les effectifs augmentent au fil des mois en fonction des conditions climatiques clémentes et des ressources alimentaires. L'absence de fleurs dans les vergers suite aux pratiques anthropiques limite les lieux de refuges pour les adultes de Chrysopidae et Cecidomyidae.

2.2.2. Comparaison de la variation temporelle des aphides et leurs cortèges aphidiphages sur le clémentinier

Pour vérifier la coïncidence temporelle entre les populations d'aphides et leurs aphidiphages, nous avons calculé l'abondance globale entre les deux espèces étudiées de pucerons et l'ensemble des aphidiphages (Tableau 6.10). La dynamique globale d'activité des pucerons sur le clémentinier dans la Mitidja se caractérise par un même type de tendance évolutive (augmentation abondance) qui se situe au mois de Mai durant les trois années d'études.

Tableau 6.10 : Comparaison de la variation temporelle des effectifs aptères d'*Aphis spiraecola*, *Aphis gossypii* et leurs cortèges aphidiphages sur le clémentinier en Mitidja centrale.

année		aphides	Puc_Par	Coc	Cec	Chry
2010	Barycentre	5,89	7,25	5,46	7,05	5,25
	Lag		- 3	0	0	+ 1
	p		0,04**	1,09X10 ⁻⁶	8,4X10 ⁻³	0,01**
2011	Barycentre	5,99	6,68	6,57	8,18	6,06
	Lag		- 1	0	0	0
	p		1,8X10 ^{-3***}	2,05X10 ^{-6***}	6,5X10 ^{-6***}	0,01**
2012	Barycentre	5,12	4,94	7,79	6,72	8,88
	lag		0	0	- 1	- 3
	p		5,2X10 ^{-4***}	0,01**	1,8X10 ^{-4***}	0,03**

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 % (***) .

Puc_Par : Puceron Parasité ; Coc : Coccinellidae, Cec : Cecidomyidae, Chry : Chrysopidae

Durant l'année 2010, nous avons observé une absence de décalage (Lag 0) entre l'activité des pucerons et celle des Coccinellidae et Cecidomyidae et un décalage significatif d'un mois (Lag = + 1 ; p = 0,01) des pucerons avec l'activité maximale des *Chrysopidae* au début du mois de Mai. La pression des parasitoïdes,

quant à elle, a été décalée de 3 mois (Lag = - 3), ce qui coïncide avec le début du mois de Juillet. En 2011, une activité des parasitoïdes en retard (Lag = - 1) par rapport aux Coccinellidae, Chrysopidae et Cecidomyidae a été observée puis la situation s'est inversée en 2012. En effet, ce sont les Cecidomyidae et Chrysopidae qui ont été détectées avec un retard d'un mois (Lag = - 1) pour les Cecidomyidae et de 3 mois (Lag = - 3) pour les Chrysopidae.

La variation temporelle des abondances des différents stades biologiques d'*Aphis spiraecola* et *A. gossypii* par rapport à leurs prédateurs rencontrés durant la période d'étude (2010 à 2012) est présentée dans le tableau 6.11. Les corrélations notées entre les stades biologiques des deux espèces aphidiennes avec les stades larvaires des coccinelles et des cécidomyies sont très hautement significatives ($P < 1 \text{ ‰}$) durant les années 2010 et 2012. Ces mêmes corrélations sont plus élevées en 2011 pour tous les stades biologiques des deux pucerons avec de valeurs supérieures à 0,5 (toutes situées entre 0,7 et 0,8). Ceci explique l'absence de décalage dans le tableau précédent.

Tableau 6.11 : Corrélations (R de Pearson) entre les différents stades biologiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec leurs aphidiphages se développant sur *Citrus clementina* en 2010, 2011 et 2012.

	Puc_par		Coc_AdIts		Coc_L		Cec_L		Chry_oeufs		Chry_L		Chry_adIts		
	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	
2010	A.spir_Ad_apt	0,36	0,24	0,95	7,7×10 ⁻⁷ ***	0,95	7,9×10 ⁻⁷ ***	0,66	1,7×10 ⁻² ***	0,32	0,30	0,28	0,38	0,32	0,30
	A.spir_Ad_ailées	0,48	0,10	0,90	5,60×10 ⁻⁵ ***	0,94	4,9×10 ⁻⁶ ***	0,76	3,4×10 ⁻³ ***	0,39	0,21	0,43	0,16	0,39	0,21
	A.spir_L1+L2	0,53	0,07	0,78	2,5×10 ⁻³ ***	0,88	1,5×10 ⁻⁴ ***	0,66	1,8×10 ⁻² ***	0,24	0,45	0,24	0,45	0,24	0,45
	A.spir_L3+L4	0,51	0,08	0,88	1,1×10 ⁻⁴ ***	0,94	3,3×10 ⁻⁶ ***	0,66	1,8×10 ⁻² ***	0,49	0,10	0,37	0,24	0,49	0,10
	A.gos_Ad_apt	0,41	0,17	0,90	4,46×10 ⁻⁵ ***	0,92	1,46×10 ⁻⁵ ***	0,68	1,4×10 ⁻² ***	0,49	0,10	0,43	0,16	0,49	0,10
	A.gos_ailées	0,46	0,12	0,90	4,70×10 ⁻⁵ ***	0,93	1,06×10 ⁻⁵ ***	0,74	5,6×10 ⁻³ ***	0,43	0,16	0,44	0,15	0,43	0,16
	A.gos_L1+L2	0,47	0,11	0,8	6,3464×10 ⁻⁴ ***	0,91	3,85×10 ⁻⁵ ***	0,58	4,5×10 ⁻² ***	0,34	0,28	0,20	0,53	0,34	0,28
	A.gos_L3+L4	0,57	4×10 ⁻² ***	0,87	1,8×10 ⁻³ ***	0,94	3,92×10 ⁻⁶ ***	0,78	2,6×10 ⁻³ ***	0,34	0,28	0,38	0,22	0,34	0,28
2011	A.spir_Ad_apt	0,79	2,2×10 ⁻³ ***	0,94	6,83×10 ⁻⁶ ***	0,86	3,8×10 ⁻³ ***	0,65	2×10 ⁻² ***	0,92	2,20×10 ⁻⁵ ***	0,93	1,25×10 ⁻⁵ ***	0,88	1,4×10 ⁻⁴ ***
	A.spir_Ad_ailées	0,79	2,2×10 ⁻³ ***	0,77	3,1×10 ⁻³ ***	0,88	1,4×10 ⁻³ ***	0,80	1,8×10 ⁻³ ***	0,74	5,7×10 ⁻³ ***	0,77	3,2×10 ⁻³ ***	0,83	8,4×10 ⁻⁴ ***
	A.spir_L1+L2	0,77	3,1×10 ⁻³ ***	0,47	0,12	0,87	2×10 ⁻³ ***	0,77	3,4×10 ⁻³ ***	0,43	0,16	0,45	0,13	0,62	3,2×10 ⁻² ***
	A.spir_L3+L4	0,69	1,3×10 ⁻² ***	0,60	3,8×10 ⁻² ***	0,93	1,57×10 ⁻⁵ ***	0,64	2,5×10 ⁻² ***	0,55	6×10 ⁻² ***	0,53	7,8×10 ⁻² ***	0,82	1×10 ⁻³ ***
	A.gos_Ad_apt	0,79	2,2×10 ⁻³ ***	0,95	1,95×10 ⁻⁶ ***	0,85	4×10 ⁻³ ***	0,62	3×10 ⁻² ***	0,94	7,610 ⁻⁶ ***	0,94	6,16×10 ⁻⁶ ***	0,89	1,2×10 ⁻⁴ ***
	A.gos_ailées	0,77	3,5×10 ⁻³ ***	0,81	1,5×10 ⁻³ ***	0,89	1,1×10 ⁻³ ***	0,75	4,5×10 ⁻³ ***	0,77	3,1×10 ⁻³ ***	0,79	2×10 ⁻³ ***	0,87	2,4×10 ⁻⁴ ***
	A.gos_L1+L2	0,76	3,8×10 ⁻³ ***	0,65	2,1×10 ⁻² ***	0,95	1,88×10 ⁻⁶ ***	0,63	2,9×10 ⁻² ***	0,61	3,5×10 ⁻² ***	0,58	4,5×10 ⁻² ***	0,80	1,7×10 ⁻³ ***
	A.gos_L3+L4	0,80	1,8×10 ⁻³ ***	0,62	3,1×10 ⁻² ***	0,90	8,27×10 ⁻⁵ ***	0,80	1,6×10 ⁻³ ***	0,58	4,7×10 ⁻² ***	0,60	3,7×10 ⁻² ***	0,75	5,3×10 ⁻³ ***
2012	A.spir_Ad_apt	0,50	9,6×10 ⁻² ***	0,66	1,8×10 ⁻² ***	0,28	0,38	0,53	7,3×10 ⁻² ***	0,53	7,5×10 ⁻² ***	-0,06	0,86	0,05	0,88
	A.spir_Ad_ailées	0,16	0,62	0,18	0,56	-0,11	0,73	0,13	0,67	0,14	0,67	-0,12	0,71	-0,05	0,86
	A.spir_L1+L2	0,49	0,10	0,80	1,6×10 ⁻³ ***	0,50	0,09	0,57	5,4×10 ⁻² ***	0,56	5,6×10 ⁻² ***	0,04	0,90	0,17	0,60
	A.spir_L3+L4	0,41	0,19	0,69	1,2×10 ⁻² ***	0,27	0,38	0,45	0,14	0,46	0,13	-0,05	0,88	0,05	0,86
	A.gos_Ad_apt	0,29	0,36	0,73	7,3×10 ⁻³ ***	0,16	0,62	0,35	0,26	0,32	0,30	-0,15	0,63	-0,03	0,91
	A.gos_ailées	0,17	0,59	0,10	0,75	-0,18	0,57	0,12	0,71	0,07	0,84	-0,29	0,36	-0,19	0,56
	A.gos_L1+L2	0,37	0,23	0,89	9,71×10 ⁻⁵ ***	0,28	0,37	0,47	0,12	0,40	0,19	-0,22	0,48	-0,13	0,69
	A.gos_L3+L4	0,32	0,3	0,80	1,7×10 ⁻³ ***	0,23	0,47	0,40	0,19	0,37	0,23	-0,14	0,67	-0,02	0,95

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 ‰ (***).

Puc_Par : Puceron Parasité, Coc_Ad : adulte de coccinelle; Coc_Lv : larves de coccinelle; Cec_Lv : larves de cécidomyie ; Chry_Lv : larve de chrysope; Chry_ad : adulte de chrysope

3. Composition de l'arthropodofaune auxiliaire associée au clémentinier dans la Mitidja centrale

Cette partie est focalisée sur la diversité et la succession temporelle des communautés auxiliaires associées au clémentinier dans la Mitidja centrale. L'écosystème dépend des contributions conjuguées de chacun des organismes qu'il abrite et la modification d'une quelconque espèce (modification d'effectif ou disparition par exemple) peut donc entraver le fonctionnement de l'ensemble de l'écosystème. Dans le cas des vergers de la Mitidja, les populations d'aphides interagissent non seulement avec les variations climatiques et le statut sanitaire et physiologique des clémentiniers mais aussi avec les différentes populations d'auxiliaires. Il est connu qu'un écosystème doté d'une biodiversité élevée résiste mieux aux changements de l'environnement [471 ; 472 ; 473 et 474]. Afin de comprendre comment les populations d'auxiliaires pourraient réguler la dynamique des populations d'aphides, il est donc nécessaire de les caractériser.

3.1. Aspects qualitatif et quantitatif de l'arthropodofaune bénéfique

3.1.1. Analyse de l'inventaire quantitatif

Les données présentées concernent essentiellement le complexe entomologique présent dans les conditions habituelles de la pratique agrumicole. Les espèces dénombrées dans les vergers d'étude à savoir, verger 1 de Oued El Alleug, verger 2 de Boufarik, verger 3 Chifa et verger 4 El Affroun durant l'année d'observation (de Juin 2012 à Juin 2013) sont regroupées par ordres puis classées dans une liste systématique. Les tableaux 6.12 à 6.16 présentent les taxons des auxiliaires répertoriés à l'issue des captures globales dans les quatre vergers sélectionnés pour l'homogénéité de leurs paramètres stationnels. Pour rappel, les différents arthropodes ont été capturés chaque quinzaine entre Juin 2012 et Juin 2013 par piégeage à l'aide de bacs jaunes à eau, de pots « Barber », de plaques jaunes engluées et par frappage.

Tableau 6.12 : Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Araneae) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.

Ordre	Famille	Espèce	Régime alimentaire	Statut trophique	Nt	Brc	F%	C%	Statut écologique
Araneae	Amaurobiidae	<i>Amaurobiidae sp</i> (Thorell, 1870)	polyphage	CIII	4	8,5	16,6	20	Accidentelle
	Clubionidae	<i>Clubiona genevensis</i> (Wagner, 1887)	polyphage	CIII	7	9,5	33,3	25	Accessoire
	Gnaphosidae	<i>Gnaphosidae sp1</i> (Pocock, 1898)	polyphage	CIII	7	5	41,6	25	Accessoire
		<i>Gnaphosidae sp2</i> (Pocock, 1898)	polyphage	CIII	4	7,7	16,6	15	Accidentelle
	Heteropodidae	<i>Heteropodidae sp</i> (Latreille, 1804)	polyphage	CIII	9	8,2	25	25	Accessoire
	Oonopidae	<i>Oonopidae sp</i> (Simon, 1890)	polyphage	CIII	3	5	16,6	15	Accidentelle
	Uloboridae	<i>Uloboridae sp</i> (Thorell, 1869)	polyphage	CIII	6	6	33,3	20	Accidentelle
	Pholcidae	<i>Pholcidae sp</i> (C.L.Cock, 1850)	polyphage	CIII	3	6,5	25	15	Accidentelle
	Salticidae	<i>Salticidae sp1</i> (Blackwall, 1841)	polyphage	CIII	28	6	58,3	50	Régulière
		<i>Salticidae sp2</i> (Blackwall, 1841)	polyphage	CIII	23	7,1	25	15	Accidentelle
	Thomisidae	<i>Thomisidae sp</i> (Sundevall, 1833)	polyphage	CIII	4	12	33,3	20	Accidentelle
Titanoecidae	<i>Titanoecidae sp</i> (Lenthinen, 1967)	polyphage	CIII	1	7	8,3	5	Accidentelle	

N : abondance totale, Brc : barycentre (abondance maximale), F% : fréquence, C% : constance.

Tableau 6.13 : Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Coleoptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.

Ordre	Famille	Espèce	Régime alimentaire	Statut trophique	N	Brc	F%	C%	Statut écologique
Coleoptera	Cantharidae	<i>Cantharis fusca</i> (Linnaeus, 1758)	polyphage	CII	7	5	8,3	5	Accidentelle
		<i>Adonia (Hippodamia) variegata</i> (Goeze, 1777)	aphidiphage	CII	30	5,2	41,6	35	Accessoire
		<i>Brumus quadrimaculatus</i> (Linnaeus, 1758)	aphidiphage	CII	2	12	8,3	5	Accidentelle
		<i>Chilocorus bipunctatus</i> (Linné, 1758)	aphidiphage coccidiphage	CII	13	7	25	25	Accessoire
		<i>Chilocorus bipustulatus</i> (Linné, 1758)	aphidiphage coccidiphage	CII	10	6,5	50	40	Accessoire
		<i>Clitostethus arcuatus</i> (Rossi, 1794)	aleurodiphage	CII	26	7,7	41,6	30	Accessoire
		<i>Coccinella algerica</i> (kovar, 1977)	aphidiphage	CII	4	5	8,3	5	Accidentelle
		<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> (Mulsant, 1853)	coccidiphage	CII	1	6	8,3	5	Accidentelle
		<i>Nephus peyerimhoffi</i> (Sicard, 1923)	coccidiphage	CII	1	7	8,3	5	Accidentelle
		<i>Pharoscymnus setulosus</i> (Chevrolat, 1861)	coccidiphage	CII	37	4,9	58,3	60	Régulière
		<i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758)	aphidiphage	CII	1	6	8,3	5	Accidentelle
		<i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850)	coccidiphage	CII	70	7,3	33,3	35	Accessoire
		<i>Rhyzobius lophantae</i> (Blaisdell, 1892)	coccidiphage	CII	5	4,6	25	10	Accidentelle
		<i>Scymnus mediterraneus</i> (Lablokoff-Khnzorian, 1972)	aphidiphage	CII	9	5,6	25	20	Accidentelle
		<i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777)	aphidiphage	CII	34	6,4	50	45	Accessoire
		<i>Stethorus punctillum</i> (Weise, 1891)	acariphage	CII	15	7,9	33,3	25	Accessoire
		Staphylinidae	<i>Tachyporus obtusus</i> (Linnaeus, 1767)	aphidiphage	CII	3	6	25	15

N : abondance totale, Brc : barycentre (abondance maximale), F% : fréquence, C% : constance.

Tableau 6.14 : Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Dermaptera, Diptera et Hemiptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.

Ordre	Famille	Espèce	Régime alimentaire	Statut trophique	N	Brc	F%	C%	Statut écologique
Dermaptera	Forficulidae	<i>Forficula auricularia</i> (Linné, 1758)	polyphage	CII	7	5	8,3	5	Accidentelle
Diptera	Cecidomyiidae	<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani, 1847)	aphidiphage	CII	591	4,6	41,6	40	Accessoire
	Syrphidae	<i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776)	aphidiphage	CII	38	3,2	25	25	Accessoire
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Acrosternum fieberi</i>	polyphage	CII	1	12	8,3	5	Accidentelle
		<i>Pentatomidae sp</i> (Leach, 1815)	polyphage	CII	2	11	8,3	5	Accidentelle

N : abondance totale, Brc : barycentre (abondance maximale), F% : fréquence, C% : constance.

Tableau 6.15 : Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Hymenoptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.

Ordre	Famille	Espèce	Régime alimentaire	Statut trophique	N	Brc	F%	C%	Statut écologique	
Hymenoptera	Aphelinidae	<i>Aphelinus mali</i> (Haldeman, 1851)	aphidiphage	CII	7	4,5	33,3	10	Accidentelle	
		<i>Aphytis chrysomphali</i> (Mercet, 1912)	coccidiphage	CII	29	7,5	25	15	Accidentelle	
		<i>Aphytis hispanicus</i> (Mercet, 1912)	coccidiphage	CII	18	8	16,6	15	Accidentelle	
		<i>Aphytis melinus</i> (DeBach, 1959)	coccidiphage	CII	79	7,5	8,3	40	Accessoire	
		<i>Cales noacki</i> (Howard, 1907)	aleurodiphage	CII	716	6,8	41,6	35	Accessoire	
		<i>Encarsia sp</i>	aleurodiphage	CII	30	6,8	16,6	25	Accessoire	
		<i>Eretmocerus sp</i>	coccidiphage	CII	15	7,4	16,6	10	Accidentelle	
	Encyrtidae	<i>Metaphycus flavus</i> (Howard, 1881)	coccidiphage	CII	226	7,9	16,6	15	Accidentelle	
		<i>Metaphycus helvolus</i> (Compere, 1926)	coccidiphage	CII	27	7,8	16,6	15	Accidentelle	
		<i>Microterys cneus</i> (Trjapitzin et Sugonjaev, 1976)	coccidiphage	CII	6	8,5	8,3	5	Accidentelle	
		<i>Syrphophagus aphidivorus</i> (Mayr, 1876)	hyperparasitoide	CIII	7	4,5	8,3	5	Accidentelle	
	Formicidae	<i>Camponotus sp</i> (Mayer, 1861)	polyphage	CIII	21	6	8,3	5	Accidentelle	
		<i>Messor barbarus</i> (Linnaeus, 1767)	polyphage	CIII	2	6	8,3	5	Accidentelle	
		<i>Tapinoma nigerimum</i> (Forster, 1850)	polyphage	CIII	30	5	16,6	10	Accidentelle	
	Mymaridae	<i>Alaptus sp</i>			CII	1	5	8,3	5	Accidentelle
		<i>Anagrus atomus</i> (Linnaeus, 1767)	parasites de cicadelles		CII	21	5,4	33,3	30	Accessoire
		<i>Gonatocerus sp</i>			CII	1	7	8,3	5	Accidentelle
	Pteromalidae	<i>Pachyneuron aphidis</i> (Bouché, 1834)	aphidiphage		CIII	10	8,3	8,3	10	Accidentelle

N : abondance totale, Brc : barycentre (abondance maximale), F% : fréquence, C% : constance.

Tableau 6.16 : Paramètres écologiques de l'arthropodofaune auxiliaire (espèces de l'ordre des Mantodea et Neuroptera) agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.

Ordre	Famille	Espèce	Régime alimentaire	Statut trophique	N	Brc	F%	C%	Statut écologique
Mantodea	Mantidae	<i>Sphodromantis viridis</i> (Forskal, 1775)	polyphage	CII	4	6	8,3	5	Accidentelle
Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836)	aphidiphages polyphage	CII	499	4,8	100	100	Omniprésente
	Coniopterygidae	<i>Semidalis aleyrodiformis</i> (Stephens, 1836)	polyphage (acariphage)	CII	21	6,3	41,6	30	Accessoire

N : abondance totale, Brc : barycentre (abondance maximale), F% : fréquence, C% : constance.

L'inventaire de l'arthropodofaune auxiliaires agrumicole montre une diversité d'espèces très riche dans les verges d'études dans la Mitidja centrale en 2012-2013. Les données montrent un nombre important d'arthropodes entomophages qui sont pour la plupart des prédateurs Chrysopidae, Coccinellidae, Aphelinidae et Coniopterygidae, ces derniers s'avérant d'une grande importance dans la lutte biologique. Lors de nos relevés, nous avons pu observer la présence des parasites de cicadelles (Mymaridae) ayant une activité prédatrice sur les cicadelles.

3.1.1.1. Richesse et abondance des taxons

Au total, 2776 individus appartenant à 55 espèces réparties dans 25 familles et 8 ordres ont été inventoriés (Tableau 6.17). Pour avoir une idée globale sur l'importance des principaux ordres d'insectes dénombrés, nous avons précisé le nombre d'espèces par ordre dans les vergers étudiés de la région de la Mitidja centrale (Tableau 6.17, Figures 6.20 et 6.21:).

Tableau 6.17 : Insectes inventoriés par ordre au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Ordre	Richesse	Abondances	Fréquence (%)
Araneae	12	99	3,57
Coleoptera	17	268	9,66
Dermaptera	1	7	0,25
Diptera	2	629	22,69
Hemiptera	2	3	0,10
Hymenoptera	18	1246	44,94
Mantodea	1	4	0,14
Neuroptera	2	520	18,75
Total	55	2772	100

Sur le plan qualitatif, l'ordre des Hymenoptera est le plus représenté avec 18 espèces (33 %), suivi par l'ordre des Coleoptera avec 17 espèces (31 %) et celui des Aranea comptant 12 espèces au total (22 %). Les autres ordres d'insectes (Diptera, Hemiptera, Neuroptera, Dermaptera et Mantodea) sont peu représentés avec une à deux espèce(s) rencontrée(s), soit une richesse relative de 2 à 4 %. Il

est à noter que notre inventaire n'est peut-être pas exhaustif étant donné que certains taxons peuvent échapper à l'échantillonnage.

Sur le plan quantitatif, les Hymenoptera, Diptera, Neuroptera et Coleoptera sont les plus abondants avec des effectifs de 1246, 629, 520 et 268 individus, respectivement, soit une abondance relative allant par ordre décroissant de 45, 23, 19 et 10 % par rapport aux Aranea (3 %).

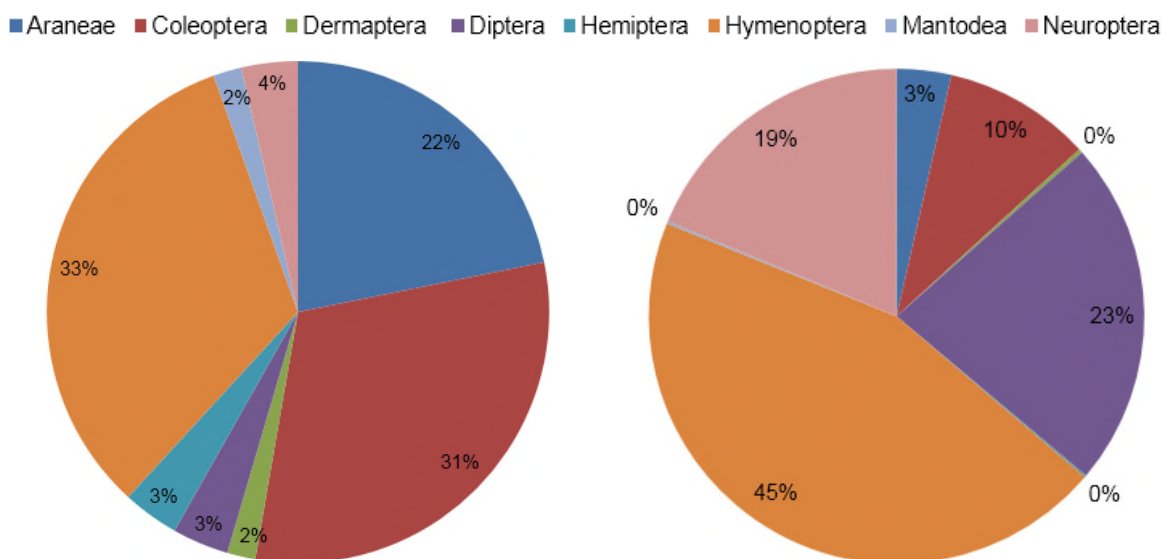


Figure 6.20 : Pourcentage du nombre d'espèces d'insectes inventoriés par ordre au niveau des vergers d'étude.

Figure 6.21 : Pourcentage d'abondance d'insectes inventoriés par ordre au niveau des vergers d'étude.

La diversification des familles est à l'origine de la richesse de cet inventaire, notamment en nombre d'espèces par famille où on remarque par ordre décroissant : Aphelinidae (32,25 %), Cecidomyiidae (21,32 %), Chrysopidae (18 %), Encyrtidae (9,59 %) et Coccinellidae (9,30 %) (Tableau 6.18, Figures 6.22 et 6.23). Les plus faibles pourcentages correspondent aux Formicidae (1,91 %), Salticidae (1,83 %) et Syrphidae (1,37 %).

Tableau 6.18 : Insectes inventoriés par famille au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Famille	Richesse	Abondance	Fréquence (%)
Amaurobiidae	1	4	0,14
Clubionidae	1	7	0,25
Gnaphosidae	2	7	0,25
Heteropodidae	1	9	0,32
Oonopidae	1	3	0,10
Uloboridae	1	6	0,21
Pholcidae	1	3	0,10
Salticidae	2	51	1,8
Thomisidae	1	4	0,14
Titanoecidae	1	1	0,03
Cantharidae	1	7	0,25
Coccinellidae	15	258	9,30
Staphylinidae	1	3	0,10
Forficulidae	1	7	0,25
Cecidomyiidae	1	591	21,32
Syrphidae	1	38	1,37
Pentatomidae	2	3	0,10
Aphelinidae	7	894	32,25
Encyrtidae	4	266	9,59
Formicidae	3	53	1,91
Mymaridae	3	23	0,82
Pteromalidae	1	10	0,36
Mantidae	1	4	0,14
Chrysopidae	1	499	18
Coniopterygidae	1	21	0,75
Total	55	2772	100

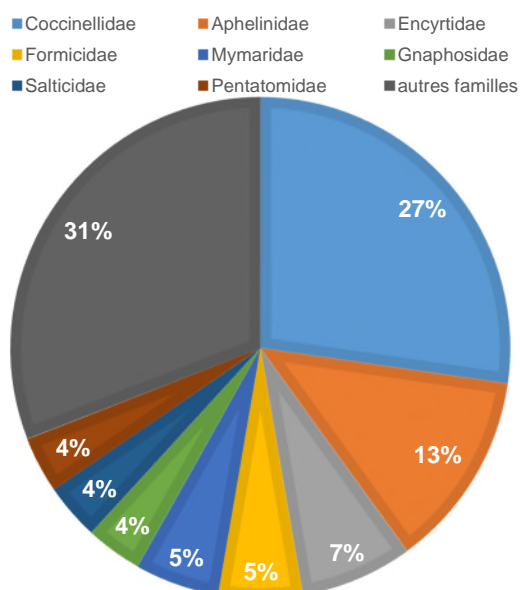


Figure 6.22 : Répartition du nombre d'insectes inventoriés par famille au niveau des vergers d'étude.

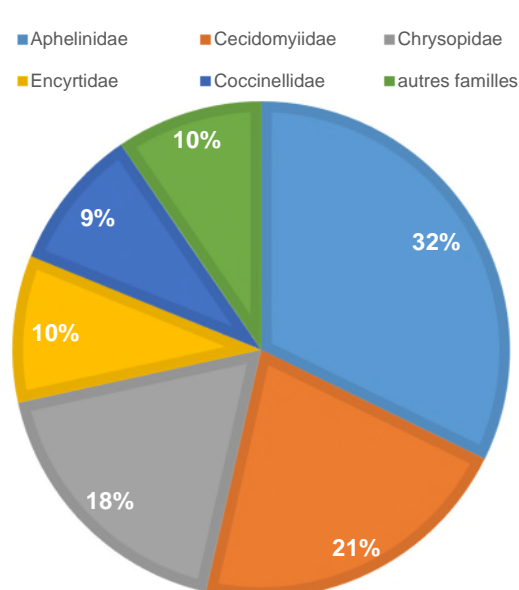


Figure 6.23 : Répartition de l'abondance des insectes inventoriés par famille au niveau des vergers.

Cependant, d'un point de vue de la richesse relative, on trouve par ordre décroissant les Coccinellidae (27,27 %), les Aphelinidae (12,72 %), les Encyrtidae (7,27 %), les Formicidae et les Mymaridae (5,45 %). En comparaison, les effectifs des individus par famille correspondent par ordre décroissant à ceux des Aphelinidae (32,25 %), Cecidomyiidae (21,32 %), Chrysopidae (18 %), Encyrtidae (9,59 %) et Coccinellidae (9,30 %). Les familles présentant les plus faibles abondances sont les Formicidae (1,91 %), Salticidae (1,83 %) et Syrphidae (1,37 %).

3.1.2. Analyse de l'inventaire qualitatif (trophique et écologique)

3.1.2.1. Statut alimentaire

Les régimes alimentaires des insectes sont d'une extrême diversité ce qui pose un certain nombre de problèmes adaptatifs. Comme il n'existe pas de spécialisation trophique absolue dans la nature, la répartition prend en considération le type de régime alimentaire des adultes. Par ailleurs, il est important de signaler la possibilité dans certains groupes d'observer le passage d'un régime alimentaire à l'autre. La répartition du régime alimentaire de l'ensemble de l'arthropodofaune auxiliaire recensée a été établie en fonction de

différentes catégories trophiques selon nos observations personnelles et la bibliographie consultée. Nous avons pu distinguer ainsi 5 grands ensembles parmi les 55 espèces identifiées. Notre inventaire a révélé une dominance des aphidiphages prédateurs et parasitoïdes représentés par 13 espèces (38,24 %) réparties en 7 familles et 4 ordres (Tableau 6.19).

Tableau 6.19 : Composition des communautés fonctionnelles de l'athropodofaune auxiliaire rencontrée sur agrumes dans la Mitidja centrale en fonction de leur régime alimentaire.

Statut alimentaire	Ordre	Famille	Espèce	Abondance totale	Abondance relative (%)
Généraliste	6	17	20	690	21,09
Aphidiphage	4	7	13	1251	38,24
Coccidiphage	2	3	14	522	15,95
Aleurodiphage	2	2	3	772	23,60
Acariphage	2	2	2	36	1,10

Dans le groupe des prédateurs, la première catégorie des aphidiphages correspond aux Coleoptera et plus particulièrement à deux familles : les Coccinellidae et les Staphylinidae. La famille des Coccinellidae est la plus riche en représentants prédateurs : *Hippodamia variegata*, *Brumus quadrimaculatus*, *Chilocorus bipunctatus* et *C. bipustulatus*, *Coccinella algerica*, *Psyllobora vigintidupunctata*, *Scymnus mediterraneus* et *S. subvillosus*. La famille des Staphilinidae compte une seule espèce inventoriée : *Tachyporus obtusus*.

La seconde catégorie d'espèces prédatrices des aphides est composée de Diptères appartenant respectivement à la famille des Cecidomyiidae avec *Aphidoletes aphidimyza*, et à la famille des Syrphidae représentée par *Episyrphus balteatus*. L'ordre des Neuroptera comprend une seule espèce appartenant à la famille des Chrysopidae : *Chrysoperla carnea*. Cette espèce a été retrouvée non seulement à travers les observations visuelles du feuillage du clémentinier sous forme d'œufs et de larves au sein des colonies aphidiennes, mais aussi dans la plupart des captures réalisées par les plaques jaunes engluées et les bassines à

eau. Dans le groupe des parasitoïdes, nous avons trouvé 3 espèces d'Hymenoptera : un parasitoïde primaire, *Aphelinus mali* de la famille des Aphelinidae, et deux espèces de parasitoïdes secondaires, *Syrphophagus aphidivorus* et *Pachyneuron aphidis*, appartenant respectivement aux familles des Encyrtidae et des Pteromalidae.

Les aleurodiphages viennent ensuite et sont représentés avec un pourcentage de 23,6 % avec 3 espèces dont une espèce prédatrice dans les Coccinellidae (*Clitostethus arcuatus*) et 2 autres parasitoïdes dans les Aphelinidae (*Encarsia sp* et *Eretmocerus sp*).

Le groupe des généralistes ou polyphages représenté essentiellement par des araignées, des fourmis et un hyperparasitoïde, est composée au total de 20 espèces (21,09 %) réparties dans l'ordre des Aranea et qui regroupent à elles seules 10 familles dont les plus importantes en effectifs sont les Salticidae et les Gnaphosidae (voir Tableau 6.12). On trouve ensuite des Hymenoptera Formicidae (*Tapinoma nigerimum*, *Messor barbarus* et *Camponotus sp*), des Coleoptera Cantharidae (*Cantharis fusca*), des Dermaptera Forficulidae (*Forficula auricularia*), des Mantodea Mantidae (*Sphodromantis viridis*) et deux espèces d'Hemiptera Pentatomidae dont *Acrosternum fieberi*.

Les coccidiphages regroupent 14 espèces (15,95 %) réparties en 2 catégories : les prédateurs dans l'ordre des Coleoptera et les parasitoïdes dans l'ordre des Hymenoptera. La catégorie des prédateurs strictement coccidiphages comprend des Coccinellidae : *Cryptolemus montrouzieri*, *Nephus peyerimhoffi*, *Pharoscyrnus setulosus* et *Ryzobius lophantae*. La catégorie des parasitoïdes regroupe des Aphelinidae : *Ahytis chrysomphali*, *A. melinus*, *A. hispanicus*, *Metaphycus flavus*, *M. helvolus* et *Microterys cneus*.

Enfin, les acariphages (1,10 %) et les Mymaridae parasitoïdes d'œufs des cicadellides sont les moins représentés dans notre échantillonnage.

3.1.2.2. Statut trophique

Les agrumes dans la région de Mitidja sont attaqués par plusieurs insectes (certains étant spécifiques des agrumes) appartenant à des familles différentes

avec entre autres les aphides, les cochenilles et les aleurodes comme consommateurs primaires. Le tableau 6.20 présente le statut trophique des consommateurs secondaires et tertiaires inventoriés dans nos verges d'études.

Tableau 6.20 : Composition des communautés fonctionnelles de l'athropodofaune auxiliaire rencontrée sur agrumes dans la Mitidja centrale on fonction de leurs statut trophique.

Statut trophique	Ordre	Famille	Espèce	Abondance totale	Abondance relative (%)
Consommateurs secondaires (CII)	7	14	38	2631	94,80
Consommateurs tertiaires (CIII)	2	13	17	145	5,20

Les consommateurs secondaires comprennent au total 38 espèces distribuées dans 7 ordres et 14 familles dont les plus importantes concernent les Coccinellidae et les Aphelinidae avec une abondance totale de 2631 individus. Les consommateurs tertiaires ne représentent que 5,20 % de tous les taxons bénéfiques inventoriés. Ce niveau trophique totalise un ensemble de 145 individus répartis en 14 espèces appartenant à 13 familles et 2 ordres. Parmi les consommateurs tertiaires, on retrouve surtout des Hyménoptères polyphages, Formicidae ainsi que des Aranea, et chez les spécialistes deux espèces d'Hyménoptères hyperparasitoïdes ont été recensées : *Syrphophagus aphidivorus* (Encyrtidae) et *Pachyneuron* (Pteromalidae).

3.1.3. Analyse écologique du peuplement d'insectes récoltés dans les vergers agrumicoles dans la région de la Mitidja centrale

Différents coefficients classiques ont été utilisés pour quantifier l'importance écologique d'une espèce par rapport aux autres.

3.1.3.1. Evaluation de la biodiversité globale

L'écosystème dépend des contributions conjuguées de chacun des organismes qu'il abrite. La perte d'une espèce peut entraver son fonctionnement.

Les indices de biodiversité globale de l'écosystème agrumicole en 2012-2013 présentent une richesse globale de l'arthropodofaune bénéfique de 55 espèces au sein de la Mitidja centrale (Tableau 6.21). L'équitabilité est de 0,61 et l'indice Simpson a une valeur de 0,846. Ces valeurs nous renseignent sur l'état d'un peuplement perturbé ou récemment installé qui se traduit par une diversité peu stable dans nos vergers agrumicoles.

Tableau 6.21 : Évaluation des indices écologiques de la biodiversité agrumicole dans les vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Indice de biodiversité	N
Richesse globale (S)	55
Abondance totale	2776
Indice de Shannon (H)	2,461
Indice de Simpson	0,846
Équitabilité	0,614

Dans la mesure où l'indice de Simpson présente une valeur élevée, nous pouvons supposer que notre région présente un peuplement perturbé par les pratiques culturales et les conditions climatiques (en plus de la pollution atmosphérique qui ne cesse d'augmenter suite aux changements qui orientent de plus en plus le secteur agricole vers un secteur industriel).

3.1.3.2. Constance des espèces

Pour quantifier l'importance écologique d'une espèce auxiliaire par rapport aux autres, nous avons calculé précédemment les fréquences et constances des taxons inventoriés (Tableaux 6.12 à 6.16). Les taxons auxiliaires respectifs ont été répartis ensuite selon leur constance par groupe trophique et écologique (Tableau 6.22). Nous avons indiqué dans chaque cas de figure les pourcentages par rapport à la population globale. Les résultats obtenus mettent en évidence un total de 35 espèces accidentelles contre un total de 17 espèces accessoires, 2 espèces régulières et une espèce omniprésente (Tableaux 6.12 à 6.16 et 6.22). Les espèces accessoires sont plus abondantes et totalisent une abondance relative de 61,94 %

devant celle des espèces accidentelles avec seulement 17,85 %. Les espèces régulières sont les moins abondantes avec 2,3 %.

Tableau 6.22 : Paramètres écologiques des communautés fonctionnelles rencontrées sur les agrumes dans la Mitidja centrale.

		Omniprésente	Régulière	Accessoire	Accidentelle
Richesse	Totale	1	2	17	35
	Relative (%)	1,81	3,63	30,9	63,63
Abondance	Totale	499	65	1717	495
	Relative (%)	18	2,3	61,94	17,85
Statut alimentaire (%)	Généralistes	4,54	4,54	18,18	72,72
	Aphidiphages	-	50	50	-
	Coccidiphages	7,14	28,57	64,2	-
	Aleurodiphages	-	100	-	-
	Acariphages	-	-	100	-
Statut trophique (%)	Consommateurs secondaires (CII)	2,7	2,7	38,88	55,55
	Consommateurs tertiaires (CIII)	-	5,26	15,78	78,94

De plus, si on raisonne en termes de niveau trophique, on peut remarquer que les consommateurs du second et troisième niveau sont de loin plus apparentés aux espèces accidentelles (55,55 % et 78,94 %) que les espèces accessoires (38,88 % et 15,78 %) (Tableau 6.22). Par ailleurs, sur le plan fonctionnel, les généralistes sont également pour la plupart des espèces accidentelles. A travers les relevés de l'arthropodofaune agrumicole, les aleurodiphages sont des espèces régulières et les acariphages sont des espèces accessoires. Les aphidiphages sont représentés équitablement par des espèces accessoires et régulières contrairement aux coccidiphages qui sont surtout accessoires.

3.1.3.2. Analyse de la fréquence d'abondance et d'occurrence des insectes recensés dans les vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale

Sur l'ensemble de 20 sorties, nous avons noté un effectif total de 2776 d'individus. L'évolution des moyennes des abondances respectives des différentes espèces auxiliaires à travers toute la période d'étude en 2012-2013 a été analysée à travers une analyse multivariée du type « sériation » dans PAST version 3.08 (Hammer *et al.*, 2001). Les fréquences d'occurrence maximale des différentes espèces sont

présentées dans la figure 6.24. Les espèces possédant la fréquence d'abondance la plus importante sont *Chrysoperla carnea* (100%), *Pharoscymnus setulosus* (58%), *Chilocorus bipustulatus* (50 %), *Scymnus subvillosus* (50%) et, avec une fréquence similaire de 41 %, *Gnaphosidae sp1*, *Hippodamia variegata*, *Clitostethus arcuatus*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Cales noacki* et *Semidalis aleyrodiformis*. Plusieurs espèces présentent une fréquence un peu moins élevée de l'ordre de 33 % : *Clubiona genevensis*, *Uloboridae sp.*, *Thomisidae sp.*, *Rodolia cardinalis*, *Stethorus punctillum*, *Aphelinus mali*, *Anagrus atomus*.

D'autres espèces présentent une fréquence encore moins élevée aux environ de 25 % : *Heteropodidae sp.*, *Pholcidae sp.*, *Salticidae sp2*, *Chilocorus bipunctatus*, *Rhyzobius lophantae*, *Scymnus mediterraneus*, *Tachyporus obtusus*, *Episyrphus balteatus* et *Aphytis chrysomphali*. Enfin, plus de la moitié des espèces ont une fréquence faible comprise entre 8 et 16 % : *Amaurobiidae sp.*, *Gnaphosidae sp2*, *Oonopidae sp.*, *Aphytis hispanicus*, *Encarsia sp.*, *Eretmocerus sp.*, *Metaphycus flavus*, *Metaphycus helvolus*, *Tapinoma nigerimum*, *Titanoecidae sp.*, *Cantharis fusca*, *Brumus quadrimaculatus*, *Coccinella algerica*, *Cryptolaemus montrouzieri*, *Nephus peyerimhoffi*, *Psyllobora vigintiduopunctata*, *Forficula auricularia*, *Acrosternum fieberi*, *Aphytis melinus*, *Microterys cneus*, *Syrphophagus aphidivorus*, *Camponotus sp.*, *Messor barbarus*, *Alaptus sp.*, *Gonatocerus sp.*, *Pachyneuron aphidis* et *Sphodromantis viridis*.

3.2. Distribution temporelle de l'arthropodofaune agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.

3.2.1. Diversités temporelles

Dans un premier temps, nous avons construit une courbe de l'évolution temporelle comparée des richesses spécifiques et des diversités (indice de Shannon) de la communauté de l'arthropodofaune globale durant la période annuelle 2012-2013 dans l'ensemble de vergers (Figure 6.25). L'indice de Shannon donne une idée sur la diversité des peuplements en tenant compte non seulement du nombre d'espèces mais aussi du nombre d'individus des différentes populations que regroupe le peuplement. La richesse spécifique donne quant à elle le nombre d'espèces rencontrées. La figure 6.26 montre que la richesse spécifique présente 3 pics : vers la mi-Août (18 espèces inventoriées), entre fin Novembre et fin Décembre (une quinzaine d'espèces) puis en Mai de l'année suivante (25 espèces). L'indice de diversité de Shannon va dans le même sens et présente les valeurs les plus élevées aux mêmes périodes que les pics de richesse spécifique.

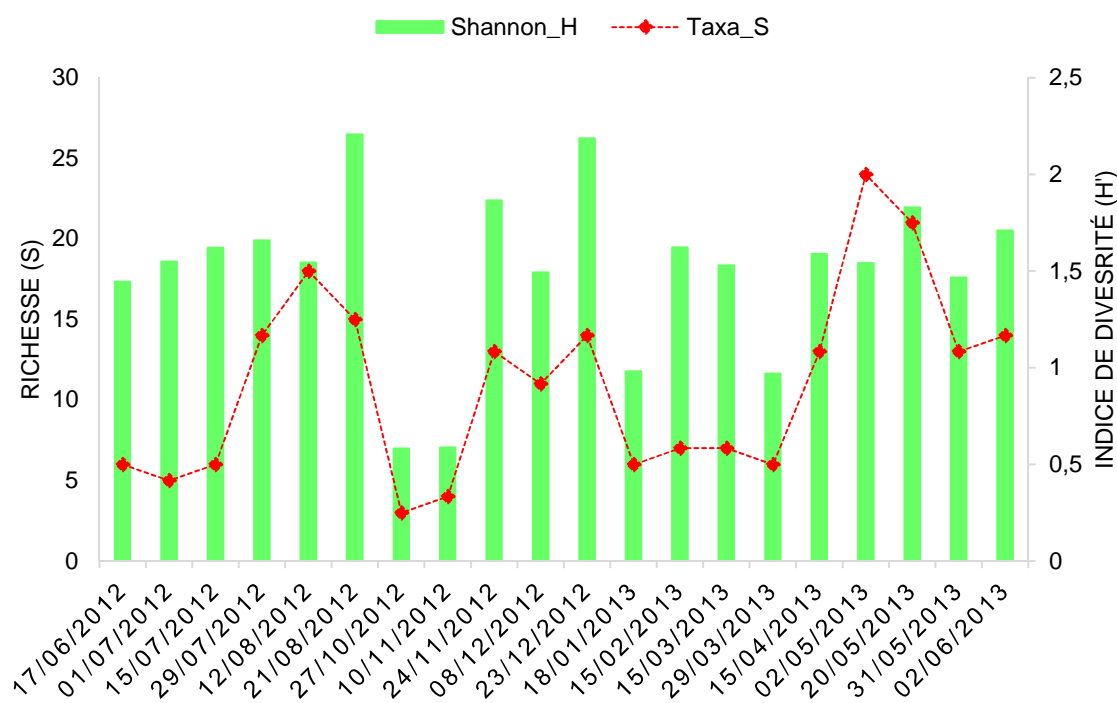


Figure 6.25 : Evolution des communautés auxiliaires en vergers d'agrumes en 2012-2013.

3.2.2. Distribution temporelle des abondances

La figure 6.26 présente la biocénose des vergers agrumicoles entre Juin 2012 et Juin 2013. Les résultats montrent que la saison printanière est la plus riche et la plus fréquentée avec 28 espèces répertoriées, soit environ 50 % du total des espèces d'insectes inventoriés dans les vergers durant l'étude. La répartition maximale des espèces est observée en Mai et Juin et dans une moindre mesure en Avril. L'abondance des insectes suit presque le même schéma en saison estivale avec 40 % des insectes inventoriés et une faible répartition partir du mois de Juillet suivie d'un creux marqué à partir de Septembre.

L'examen de la distribution temporelle des abondances des différents groupes fonctionnels fait ressortit 6 groupes distincts qui se chevauchent dans le temps. Ces 6 groupes correspondent aux généralistes ou polyphages, aux aphidiphages, aux coccidiphages, aux aleurodiphages, aux acariphages et aux parasitoïdes de cicadelles (Figure 6.26). Le groupe le plus important est représenté par les polyphages qui sont actifs à partir de la deuxième décennie d'Avril, notamment pour certaines espèces précoces (*Chrysoperla carnea*). Les autres espèces apparaissent à partir de Mai. Leur importance augmente au fil des mois en fonction des conditions climatiques clémentes pour atteindre de très fortes pullulations en Juin, Juillet et Août.

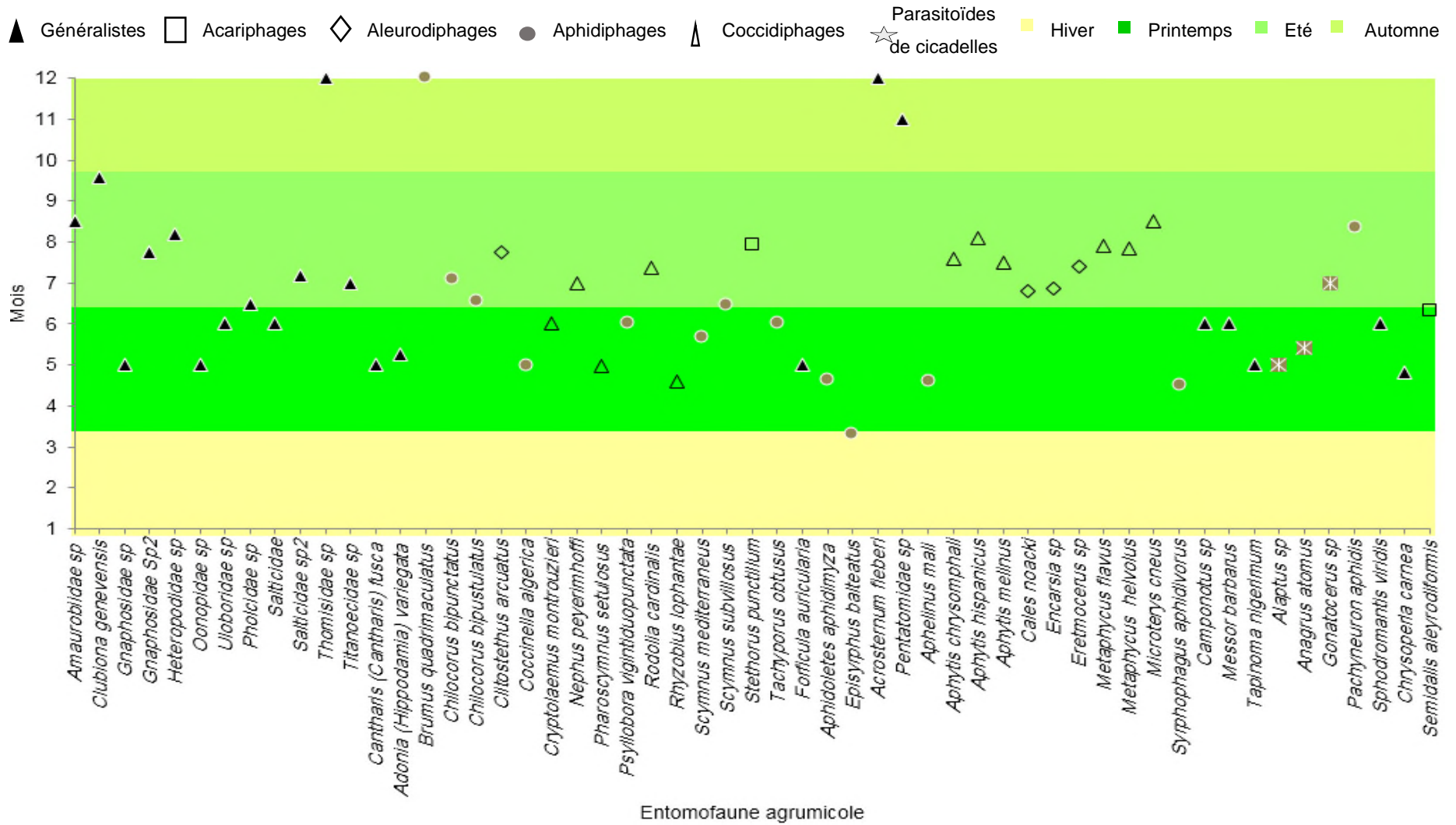


Figure 6.26 : Barycentre des communautés trophiques saisonnières en vergers d'agrumes en 2012-2013 dans la Mitidja centrale

3.2.3. Activité temporelle des coccinelles

L'activité des coccinelles a été étudiée car ce groupe présente la plus grande richesse en espèces dans nos relevés (15 espèces répertoriées) et il est très représenté dans toute la communauté de l'entomofaune bénéfique. Les pourcentages d'activité mensuelle des espèces ont été calculés d'Octobre à Juin selon la formule suivante (adaptée de Magro et Hemptinne, 1999) :

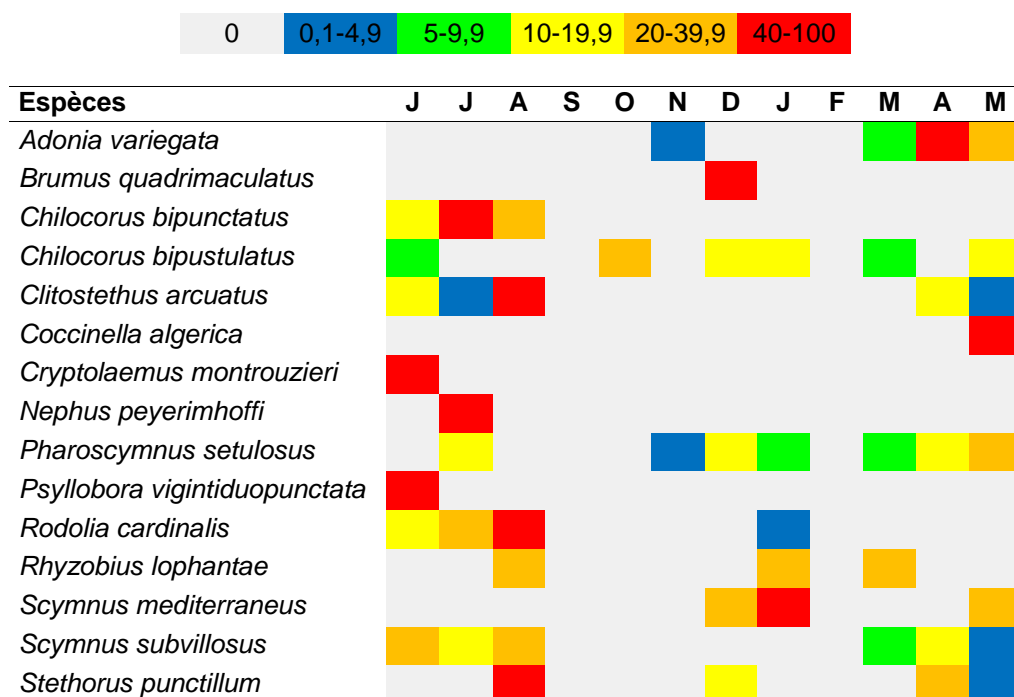
$$A \% = \frac{Mv(ij)}{T Mv(i)} * 100$$

Avec : **Mv (ij)** : moyenne de captures de l'espèce i durant le mois j.

T Mv(i) : somme des captures moyennes totales de l'espèce i durant toute l'année.

Les résultats sont présentés dans le tableau 6.23 et montrent que ces prédateurs sont davantage présents durant la période printanière et estivale. On peut remarquer en effet que la plupart des espèces ont un pourcentage d'activité maximale entre Avril et Août.

Tableau 6.23 : Activité (%) des Coccinellidae entomophages entre Juin 2012 à Mai 2013.



Pour *Adonia variegata*, la période d'activité est courte et repose essentiellement sur les mois d'Avril et Mai. D'autres espèces ont également une période d'activité très courte concentrée sur un seul mois comme *Coccinella algerica* en Mai, *Cryptolaemus montrouzieri* et *Psyllobora vigintiduopunctata* en Juin ou *Nephus peyerimhoffi* en Août.

En parallèle, d'autres espèces comme *Chilocorus bipustulatus* et *Pharoscygnus setulosus* sont davantage représentées temporellement mais avec une faible moyenne d'activité qui ne dépasse jamais 40 %.

Le tableau 6.23 montre la rupture des coccinelles prédatrices (*Brumus quadrimaculatus*, *Coccinella algerica*, *Cryptolaemus montrouzieri*, *Nephus peyerimhoffi* et *Psyllobora vigintiduopunctata*) suite à des activités anthropiques. En effet, la destruction massive des mauvaises herbes représente une réduction des lieux de refuges pour ces coccinelles. De plus ces dernières ont pu être perturbées suite à l'application de produits phytosanitaires (Bifentherine à 100 g. L⁻¹ en Mai, Détaméthrine à 125 mL. ha⁻¹ en Juillet et Ultracidine à 400 g. L⁻¹ en Août).

3.3. Analyse des assemblages trophiques

3.3.1. Analyse globale saisonnière des communautés

Nous avons analysé la distribution et la composition des communautés sur la base d'une matrice globale établie à partir des données d'abondance temporelle des taxons bénéfiques répertoriés de 2012 à 2013 dans les vergers étudiés de la Mitidja centrale. La matrice analysée représente au total 20 relevés et 55 espèces d'arthropodes. Sur la base de cette matrice, nous avons réalisé une D'après la droite de troncature choisie, le dendrogramme de la figure 6.27 met en évidence 4 assemblages saisonniers distincts.

L'assemblage hivernal se distingue par une communauté essentiellement composée d'espèces d'araignées prédatrices et dans une moindre mesure d'espèces de Coccinellidae. Chez ce groupe de prédateurs, on peut retrouver des taxons hivernants comme pour les aphidiphages *Brumus quadripustulatus* et

Scymnus mediterraneus, des acariphages comme *Sthetorus punctillum* et le coccidiphage *Rhizobius lophantae*.

Le pool printanier rassemble principalement des aphidiphages spécialistes et des polyphages parmi les Mantidae, Formicidae et des Aranea

L'assemblage estival regroupe des taxons prédateurs et parasitoïdes spécifiques aux espèces d'homoptères habituellement rencontrées sur les agrumes. Dans les vergers étudiés, les principales espèces sont les aleurodes et les cochenilles en plus des aphides rencontrés au moment des périodes de poussée de sève. En 2012-2013, les principaux aphidiphages rencontrés ont été *Pachyneuron aphidis* (parasitoïde secondaire), *Aphelinus mali* (parmi les parasitoïdes) et *Scymnus subvillosus* (parmi les prédateurs) alors que les autres protagonistes capturés étaient des représentants entomofauniques spécifiques aux aleurodes des agrumes (*Clitostethus arcuatus*, *Eretmocerus sp.*, *Encarsia sp.* et *Cales noacki*) et aux cochenilles des agrumes (*Aphytis sp.*, *Metaphycus microterys* et *Rodolia cardinalis*) (Figure 6.27).

L'assemblage automnal regroupe des polyphages parmi les Aranea, Chrysopidae et Coniopterygidae ainsi que des coccidiphages et des parasitoïdes d'œufs de cicadelles.

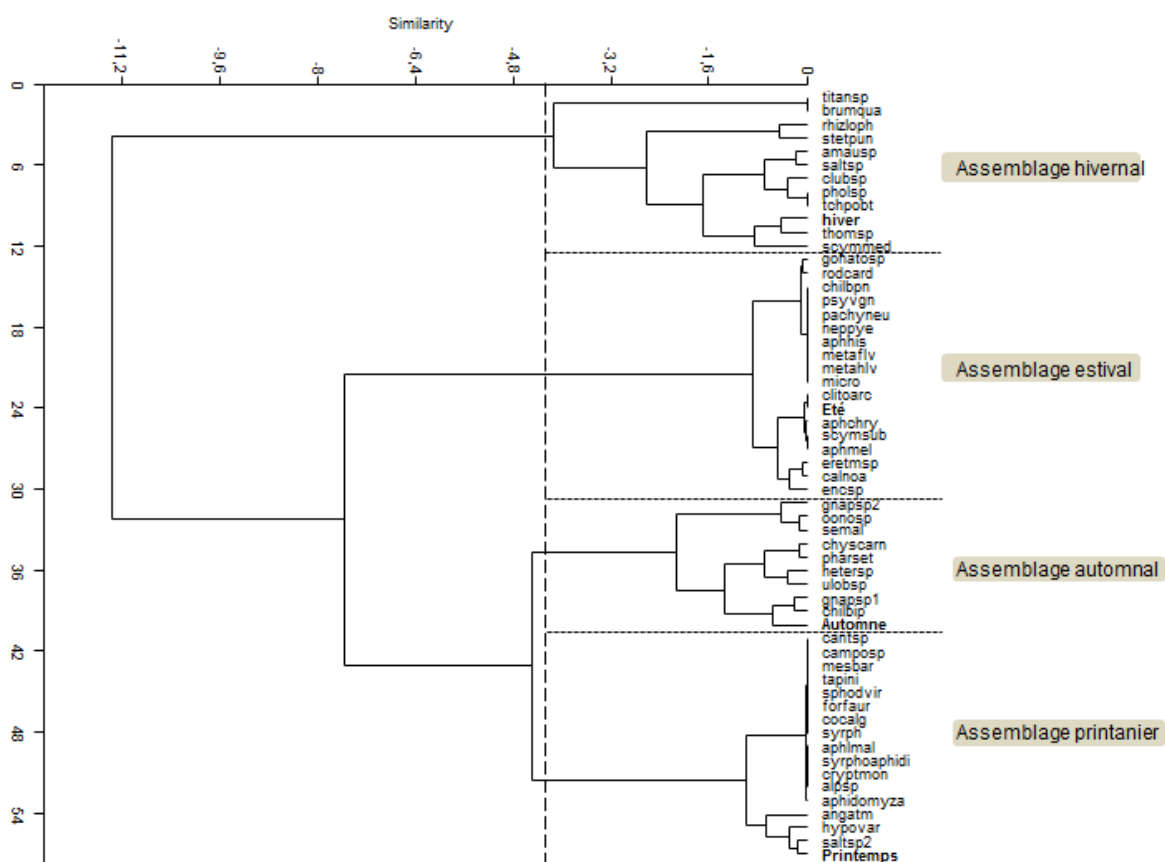


Figure 6.27 : Analyse par AFC des communautés saisonnières des arthropodes bénéfiques en vergers d'agrumes de 2012 à 2013.

(**amausp** : *Amaurobiidae* sp, **clubsp** : *Clubiona genevensis*, **gnasp1** : *Gnaphosidae* sp, **gnasp2** : *Gnaphosidae* Sp2, **heterosp** : *Heteropodidae* sp, **oonosp** : *Oonopidae* sp, **ulobsp** : *Uloboridae* sp, **pholsp** : *Pholcidae* sp, **saltsp** : *Salticidae*, **saltsp2** : *Salticidae* sp2, **thomsp** : *Thomisidae* sp, **titansp** : *Titanoecidae* sp, **cantsp** : *Cantharis fusca*, **hypovar** : *Hippodamia variegata*, **brumqua** : *Brumus quadrimaculatus*, **chilbpn** : *Chilocorus bipunctatus*, **chilbip** : *Chilocorus bipustulatus*, **clitoarc** : *Clitostethus arcuatus*, **cocalg** : *Coccinella algerica*, **cryptmon** : *Cryptolaemus montrouzieri*, **neppye** : *Nephus peyerimhoffi*, **pharset** : *Pharoscymnus setulosus*, **psyvgn** : *Psyllobora vigintiduopunctata*, **rodcard** : *Rodolia cardinalis*, **rhizloph** : *Rhyzobius lophantae*, **scymmed** : *Scymnus mediterraneus*, **scymsub** : *Scymnus subvillosus*, **stetpun** : *Stethorus punctillum*, **tchpobt** : *Tachyporus obtusus*, **forfaur** : *Forficula auricularia*, **aphidomyza** : *Aphidoletes aphidimyza*, **syrph** : *Episyrphus balteatus*, **pentasp2** : *Acrosternum fieberi*, **pentasp1** : *Pentatomidae* sp, **aphlmal** : *Aphelinus mali*, **aphchry** : *Aphytis chrysomphali*, **aphhis** : *Aphytis hispanicus*, **aphmel** : *Aphytis melinus*, **calnoa** : *Cales noacki*, **encsp** : *Encarsia* sp, **eretmsp** : *Eretmocerus* sp, **metaflv** : *Metaphycus flavus*, **metaflv** : *Metaphycus helvolus*, **micro** : *Microterys cneus*, **syrphoaphidi** : *Syrphophagus aphidivorus*, **camposp** : *Camponotus* sp, **mesbar** : *Messor barbarus*, **tapini** : *Tapinoma nigerimum*, **alpsp** : *Alaptus* sp, **angatm** : *Anagrus atomus*, **gonatosp** : *Gonatocerus* sp, **pachyneu** : *Pachyneuron aphidis*, **sphodvir** : *Sphodromantis viridis*, **chyscarn** : *Chrysoperla carnea*, **semal** : *Semidalis aleyrodiformis*).

La comparaison saisonnière montre une richesse spécifique significativement moins importante en automne par rapport aux autres saisons (Tableau 6.24). La richesse spécifique est plus importante en printemps avec des différences qui sont significatives avec autres saisons.

Tableau 6.24 : Comparaison des pentes et probabilités associées aux fluctuations des communautés bénéfiques saisonnières en vergers d'agrumes de la Mitidja centrale.

		Eté	Automne	Hiver	Printemps
richesses	Richesse	23	17	21	41
	Eté				
	Automne	0,957			
	Hiver	0,022**	0,031**		
	Printemps	0,001***	0,001***	0,001***	
diversités	H'	1,917	1,425	1,74	2,016
	Eté				
	Automne	0,23			
	Hiver	0,006***	0,003***		
	Printemps	0,066*	0,061*	0,092	

Les astérisques correspondent à des différences très hautement significatives à 1 ‰ (***) , hautement significatives à 1 % (**) ou significatives à 6 % (*).

L'indice de Shannon H' met également en évidence une diversité plus importante en période printemps avec des différences significatives par rapport à l'été et l'automne. Également l'indice de Shannon a présenté une diversité différente entre hiver / été et hiver / automne.

3.3. 2. Comparaison des diversités et des richesses des communautés trophiques

Dans un second temps, nous avons comparé les diversités saisonnières au sein de chaque groupe fonctionnel : les généralistes, les aphidiphages et les coccidiphages. Les généralistes n'ont pas été pris en considération durant les périodes de poussée estivale et automnale car leur activité était particulièrement faible. Les résultats montrent une variation selon le groupe trophique (Figure 6.28). Les généralistes sont plus diversifiés pendant le repos végétatif et la PS1 tandis que les diversités des aphidiphages et des coccidiphages sont plus élevées durant la poussée de sève printanière et durant la poussée de sève automnale

respectivement. Les plus faibles diversités sont observées dans les communautés estivales (PSII).

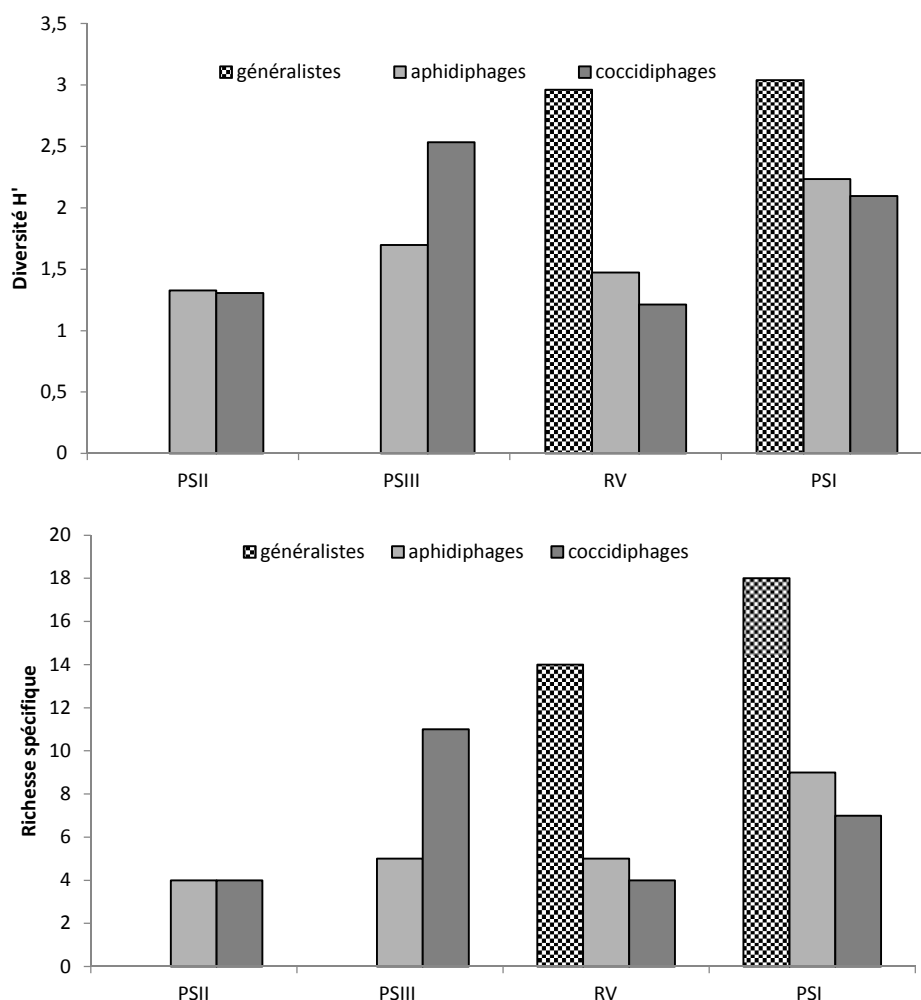


Figure 6.28 : Richesses et diversités des groupes trophiques en vergers d'agrumes selon la saison.

PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif.

Par ailleurs, les richesses des groupes trophiques sont différentes. En effet, les généralistes présentent la plus grande richesse spécifique et la plus grande diversité par rapport aux aphidiphages et coccidiphages. Ces deux derniers groupes ont des diversités et richesse proches à l'exception de la période automnale (PSIII) pendant laquelle les coccidiphages présentent des valeurs plus élevées que les aphidiphages.

3.3. 3. Diagramme rang fréquence des communautés fonctionnelles

Le diagramme rang fréquence établi sur la base des calculs des abondances transformées en logarithmes et le rang des espèces nous permet de visualiser l'homogénéité des communautés d'auxiliaires échantillonnées. Nous avons rapporté les richesses et les diversités respectives ainsi que les probabilités associées à la comparaison des pentes des droites de Motomura dans le tableau 6.25. De manière globale, les fluctuations des communautés fonctionnelles en vergers d'agrumes durant l'année d'étude sont bien ajustées au modèle de Motomura. Les pentes des équations du modèle de Motomura sont négatives et très faibles pour les trois groupes trophiques ce qui correspond à une composition diversifiée et spécifique de chaque peuplement saisonnier.

Les diagrammes rang fréquence associés sont représentés dans les figures 6.30 à 6.32. Les comparaisons des pentes des équations des courbes de tendance de ces fluctuations indiquent également des probabilités associées hautement significatives montrant d'une part, la stabilité des communautés et leurs différences de composition selon la saison. Il est pertinent de considérer la chronologie de recrutement et d'arrivée des taxons bénéfiques dans les vergers d'agrumes. Les parcelles ne sont pas en effet indemnes de l'exposition à des traitements phytosanitaires pour la répression des ravageurs. Pour cela, la prise en considération des auxiliaires pouvant avoir un effet de première régulation des ravageurs à leur début d'installation au sein des canopées ou à la période où ils sont présents à de faibles densités, est importante.

Au sein des communautés trophiques respectives, l'ordre d'arrivée des espèces semble différent ce qui peut être attribué à une arrivée des assemblages trophiques en cascade en relation avec différents facteurs environnementaux notamment des facteurs liés à la disponibilité des proies ravageurs et aux compétitions interspécifiques des guildes des taxons bénéfiques. Ainsi, chez les généralistes, on observe une arrivée successive en PSI des Aranea, Chrysopidae et Formicidae et une faible activité en PSII et PSIII. Par la suite ils sont davantage observés en repos végétatif avec la présence des Aranea et Chrysopidae (Figure 6.29).

Tableau 6.25 : Résultats de la comparaison des diversités entre les assemblages des différents groupes fonctionnels agrumicoles durant les périodes de poussée de sève.

a) Généralistes	PSII (1)	PSIII (1)	RV (14)	PSI (18)
Shannon_H	0	0	2,96	3,040
Pente	- 0,041	- 0,043	- 0,17	- 0,207
Ajustement Motomura (P)	0,10	0,10	5,29x10 ^{-6***}	2,05x10 ^{-7***}
PSII				
PSIII	0,91			
RV	1,81x10 ^{-3***}	2,48x10 ^{-3***}		
PSI	8,51x10 ^{-4***}	1,18x10 ^{-3***}	2,11x10 ^{-11***}	

b) Aphidiphages	PSII (4)	PSIII (5)	RV (5)	PSI (9)
Shannon_H	1,326	1,697	1,473	2,233
Pente	- 0,237	- 0,284	- 0,265	- 0,495
Ajustement Motomura (P)	1,44x10 ^{-3***}	1,46x10 ^{-4***}	2,48x10 ^{-3***}	1,76x10 ^{-5***}
PSII				
PSIII	5,5x10 ^{-10***}			
RV	4,22x10 ^{-6***}	1,20x10 ^{-2***}		
PSI	7,13x10 ^{-11***}	0,559	2,5x10 ^{-3***}	

c) Coccidiphages	PSII (4)	PSIII (11)	RV (4)	PSI (7)
Shannon_H	1,305	2,535	1,213	2,097
Pente	- 0,191	- 0,409	- 0,130	- 0,238
Ajustement Motomura (P)	1,68x10 ^{-3***}	4,44x10 ^{-11***}	2,13x10 ^{-3***}	4,68x10 ^{-6***}
PSII				
PSIII	0,555			
RV	0,279	0,098		
PSI	4,87x10 ^{-5***}	6,97x10 ^{-6***}	1,38x10 ^{-3***}	

Les chiffres entre parenthèses indiquent la richesse de chaque groupe trophique durant la saison.

Les astérisques correspondent à des différences hautement significatives à 1 % (** ou ***).

PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif.

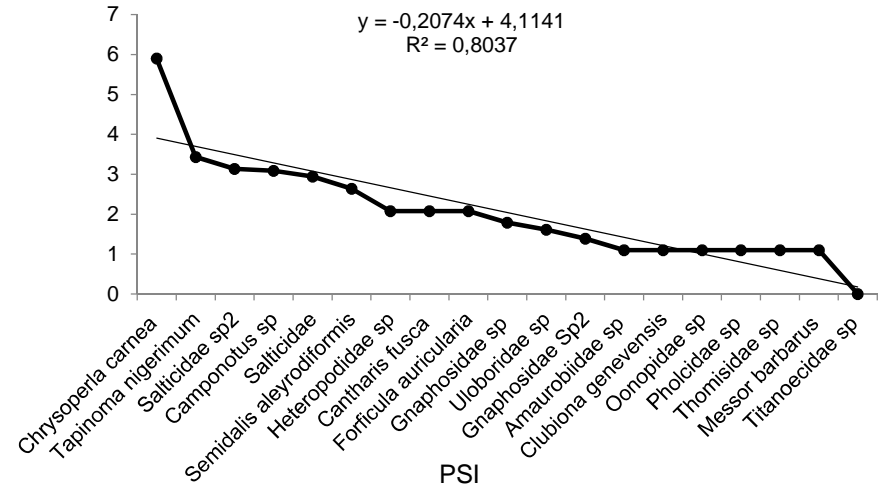
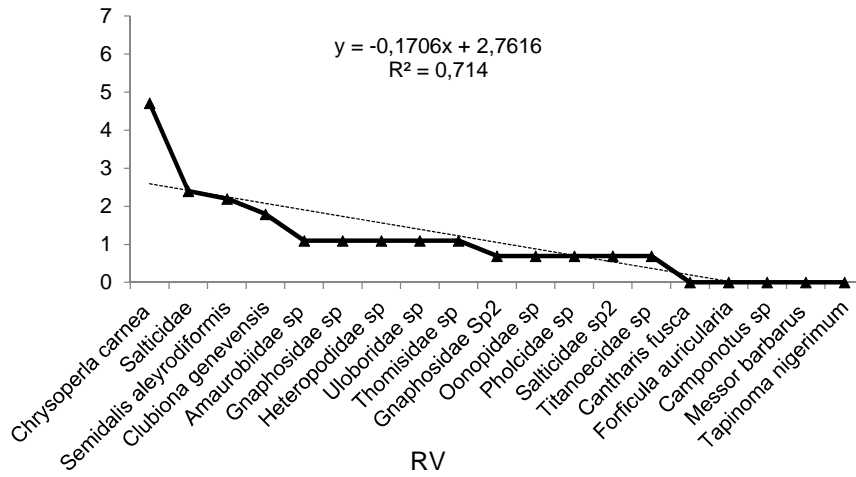
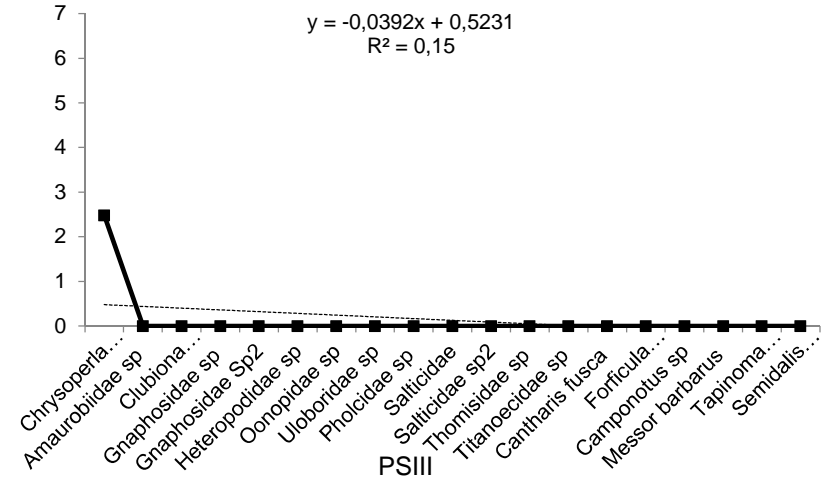
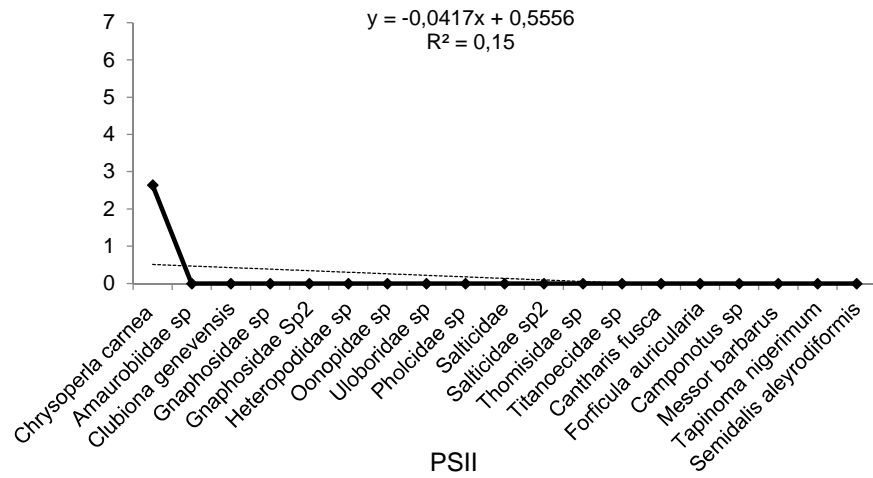


Figure 6.29 : Diagrammes rang-fréquence des communautés des généralistes des vergers agrumicoles de la Mitidja centrale en 2012-2013. PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif.

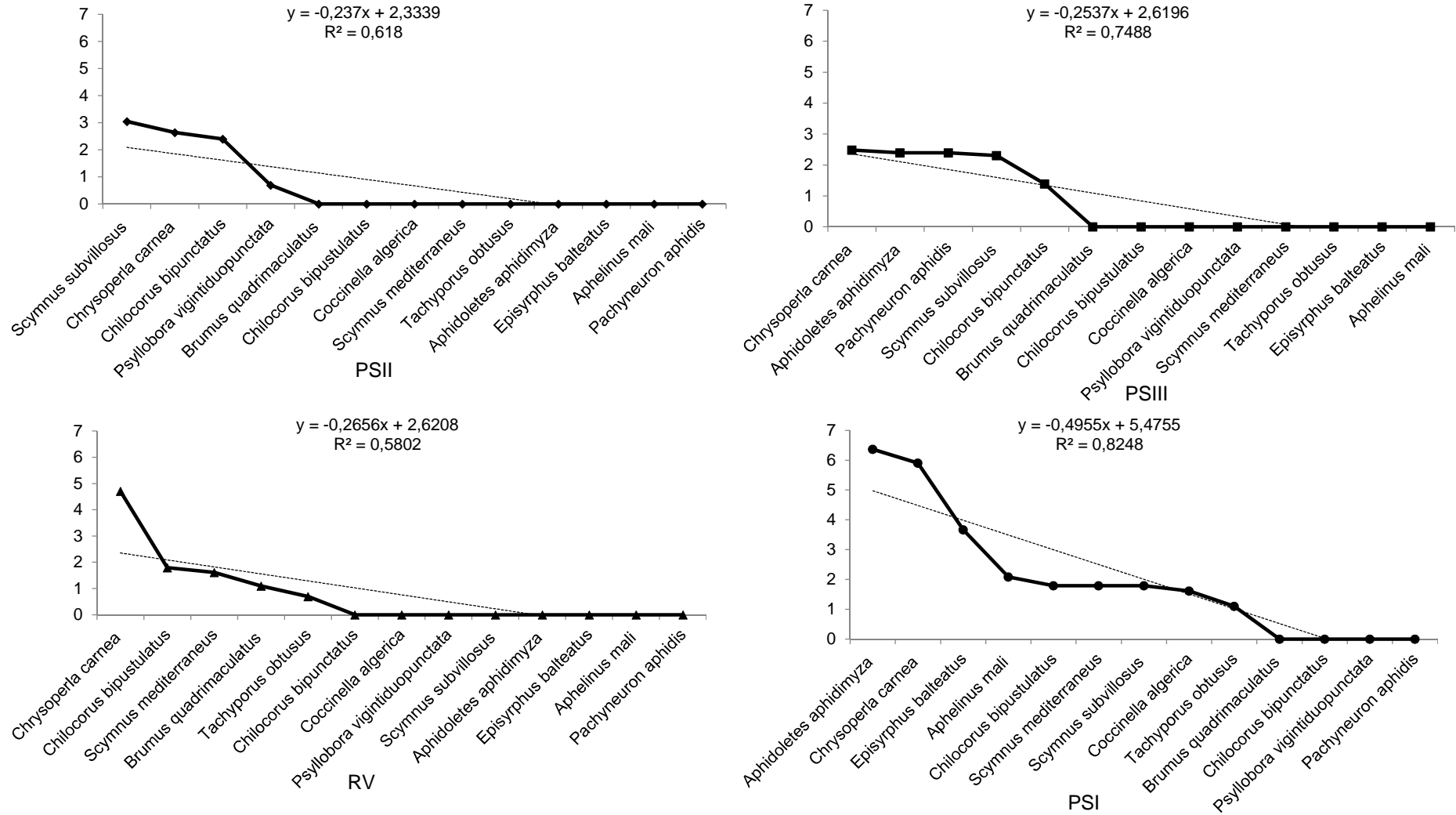


Figure 6.30 : Diagrammes rang-fréquence des communautés d'aphidiphages des vergers agrumicoles de la Mitidja centrale en 2012-2013. PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif.

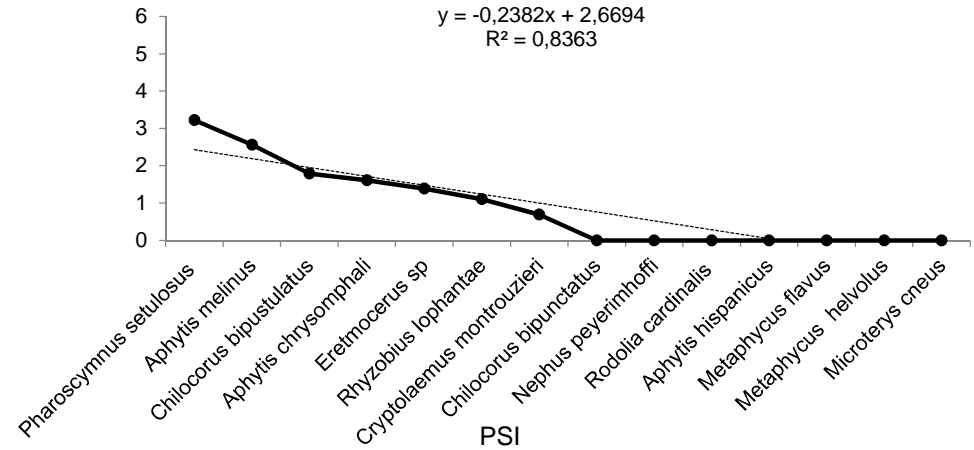
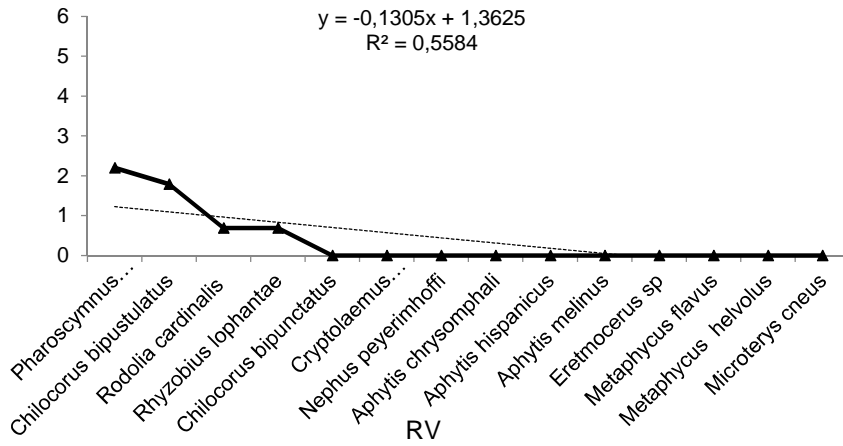
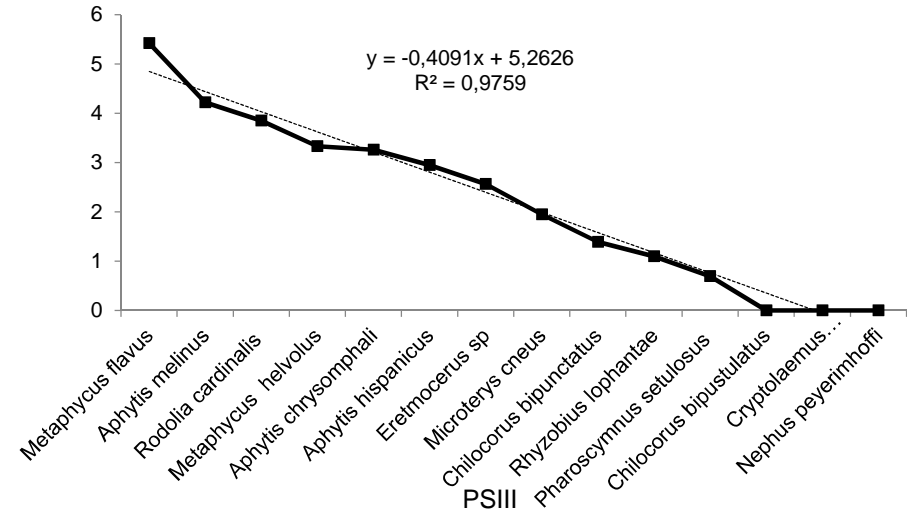
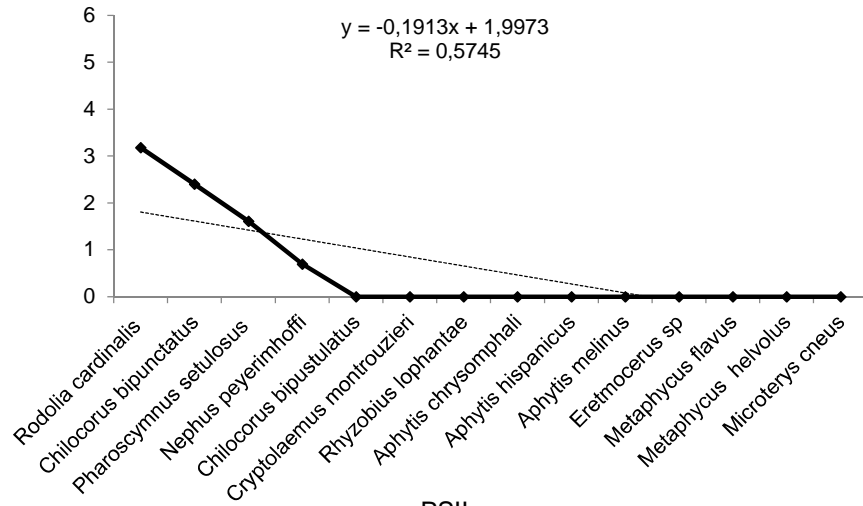


Figure 6.31 : Diagrammes rang-fréquence des communautés des coccidiphages des vergers agrumicoles de la Mitidja centrale en 2012-2013. PSI, PSII, PSIII : première, seconde et troisième poussée de sève ; RV : repos végétatif.

Chez les aphidiphages, on observe une arrivée successive des 10 taxons suivants en PSI : *Aphidoletes aphidimyza*, *Chrysoperla carnea*, *Episyrphus balteatus*, *Adonia variegata*, *Aphelinus mali*, *Chilocorus bipustulatus*, *Scymnus mediterraneus*, *Scymnus subvillosus*, *Coccinella algerica* et *Tachyporus obtusus*. La PSII est marquée par une succession de *S. subvillosus*, *C. carnea*, *C. bipunctatus* et *Psyllobora vigintiduopunctata*. La PSIII est représentée par *C. carnea*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Pachyneuron aphidis*, *Scymnus subvillosus* et *Chilocorus bipunctatus*. Enfin, pendant la période de repos végétatif, 6 taxons se suivent : *C. carnea*, *C. bipustulatus*, *S. mediterraneus*, *Adonia variegata*, *Brumus quadrimaculatus* et *Tachyporus obtusus*. (Figure 6.30)

Les coccidiphages regroupent 14 espèces qui se suivent différemment dans le temps avec 7, 4, 11 et 4 espèces en PSI, PSII, PSIII et repos végétatif, respectivement (Figure 6.31). PSII et repos végétatif ont la même richesse spécifique mais avec un ordre d'arrivée et une abondance d'espèces différents. Nous avons observé l'arrivée de *Rodolia cardinalis*, *Chilocorus bipunctatus*, *Pharoscyrnus setulosus* et *Nephus peyerimhoffi* en PSII alors que les 4 espèces présentes pendant la période de repos végétatif sont *Pharoscyrnus setulosus*, *Chilocorus bipustulatus*, *Rodolia cardinalis* et *Rhyzobius lophantae*. Les coccidiphages présents durant ces deux périodes appartiennent aux Coccinellidae.

3.3.4. Similitudes des assemblages trophiques (ANOSIM / SIMPER)

Cette étude est basée sur la connaissance du régime alimentaire et donc la place trophique des espèces capturées. L'examen des relevés des terrains relatifs à la biocénose agrumicole fait apparaître plusieurs groupes distincts (voir tableau du statut alimentaire 6.19). Nous avons analysé les diversités des trois groupes fonctionnels ANOSIM (en utilisant l'indice de Bray-Curtis) afin de comparer les ressemblances entre groupes trophiques (Tableau 6.26). Les résultats montrent une différence significative de composition de ces trois groupes trophiques lorsqu'ils sont comparés deux à deux.

Tableau 6.26 : Comparaison des groupes trophiques par ANOSIM des communautés bénéfiques en vergers d'agrumes de la Mitidja centrale.

	0 Généralistes	Aphidiphages	Coccidiphages
Généralistes			
Aphidiphages	0,0064***		
Coccidiphages	0***	0,0566**	

Les astérisques correspondent à des différences hautement significatives à 5 % (**) ou très hautement significatives à 1 % (***).

La contribution de chaque espèce aux différences observées des groupes a été calculée par le programme SIMPER (SIMilarity PERcentage) en utilisant à nouveau l'indice de Bray-Curtis [469]. Ce calcul permet de préciser pour chaque groupe trophique quelles sont les espèces caractéristiques de chaque saison (plus particulièrement de chaque poussée de sève et du repos végétatif) et quelles sont les espèces communes à plusieurs périodes de développement du clémentinier. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 6.27.

Le tableau 6.27 montre une contribution plus importante de *Cales noacki* (20,89) du groupe des aleurodiphages suivi par *Aphidoletes aphidimyza* (14,63) du groupe des aphidiphages, *Metaphycus flavus* (9,152) du groupe des coccidiphages et *Chrysoperla carnea* (7,16) du groupe des aphidiphages. Les autres espèces ont une contribution moins importante allant de 2,66 à 1,025 avec par ordre décroissant : *Aphytis melinus*, *Rodolia cardinalis*, *Episyrphus balteatus*, *Metaphycus helvolus* et *Scymnus subvillosus*, ces espèces appartenant aux groupes des aphidiphages et coccidiphages. L'analyse des contributions montre que les groupes trophiques aphidiphages et coccidiphages sont similaires en nombre d'espèces (4 pour chaque groupe) mais les aphidiphages présentent un pool plus important.

Par ailleurs, le tableau indique que 7 espèces sont communes à toutes les saisons et que 8 espèces sont communes à l'ensemble des poussées de sève. Une particularité a été remarquée pour l'espèce *Syrphophagus aphidivorus* qui est un hyperparasitoïde du groupe des aphidiphages et qui n'apporte aucune contribution quelle que soit la saison.

Tableau 6.27 : Analyse SIMPER des groupes en fonction de leur contribution dans les saisons.

Taxon	Contribution	Printemps	Été	Automne	Hiver
<i>Adonia variegata</i>	0,903	4,17	0	0,17	0,33
<i>Brumus quadrimaculatus</i>	0,112	0	0	0	0,33
<i>Chilocorus bipunctatus</i>	0,284	0	1,17	0,39	0
<i>Chilocorus bipustulatus</i>	0,147	0,33	0,17	0,72	0,67
<i>Coccinella algerica</i>	0,141	0,67	0	0	0
<i>Scymnus mediterraneus</i>	0,353	0,67	0	0	1
<i>Scymnus subvillosus</i>	1,025	1,17	4,33	1,44	0
<i>Tachyporus obtusus</i>	0,086	0,17	0	0,17	0,33
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>	14,630	68,2	1,67	0,56	0
<i>Episyrphus balteatus</i>	1,237	5,83	0	0	0
<i>Aphelinus mali</i>	0,071	0,33	0	0	0
<i>Chrysoperla carnea</i>	7,160	46	17,2	17,7	14,3
<i>Syrphophagus aphidivorus</i>	0	0	0	0	0
<i>Psyllobora vigintiduopunctata</i>	0,041	0	0,17	0,06	0
<i>Chilocorus bipunctatus</i>	0,284	0	1,17	0,39	0
<i>Chilocorus bipustulatus</i>	0,147	0,33	0,17	0,72	0,67
<i>Pharoscymnus setulosus</i>	0,694	2,83	0,33	0,28	1,33
<i>Rodolia cardinalis</i>	2,461	0	10,3	3,44	0,33
<i>Rhyzobius lophantae</i>	0,066	0,33	0,33	0,11	0,33
<i>Aphytis chrysomphali</i>	0,997	0,67	4,17	1,39	0
<i>Aphytis hispanicus</i>	0,729	0	3	1	0
<i>Aphytis melinus</i>	2,663	2,17	11,2	3,72	0
<i>Eretmocerus sp</i>	0,475	0,50	2	0,67	0
<i>Metaphycus flavus</i>	9,152	0	37,7	12,6	0
<i>Metaphycus helvolus</i>	1,093	0	4,5	1,5	0
<i>Microterys cneus</i>	0,242	0	1	0,33	0
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	0,041	0	0,17	0,06	0
<i>Nephus peyerimhoffi</i>	0,041	0	0,17	0,06	0
<i>Clitostethus arcuatus</i>	0,916	0,67	3,83	1,28	0
<i>Cales noacki</i>	20,890	14,30	87,3	29,1	0
<i>Encarsia sp</i>	0,922	2,83	3	1	0
<i>Stethorus punctillum</i>	0,294	0,67	1,67	0,56	0,33
<i>Semidalis aleyrodiformis</i>	0,346	1,5	0,67	1,39	0,5
<i>Anagrus atomus</i>	0,614	2,33	1,17	0,39	0
<i>Alaptus sp</i>	0,035	0,17	0	0	0
<i>Gonatocerus sp</i>	0,041	0	0,17	0,06	0
Nombre d'espèces total		23	27	29	12
Nombre d'espèces caractéristiques		11	18	12	3
Pourcentage d'espèces caractéristiques		47,82	66,66	41,37	25

Les espèces caractéristiques de chaque groupe trophique et saison sont en couleur et les espèces communes sont encadrées

La saison d'automne est la plus riche en espèces (29) mais les espèces qui ont une contribution caractéristique de cette saison ne sont que 12 (ce qui représente un pourcentage de 41,37). Sur le plan des espèces caractéristiques de saison, c'est la saison estivale qui présente la plus haute spécificité avec 66,66 % (surtout des coccidiphages et acariphages). La saison de printemps présente quant à elle 47,82 % d'espèces caractéristiques avec essentiellement des aphidiphages (10 espèces inventoriées). Enfin, l'hiver est la saison la plus pauvre en espèces caractéristiques avec un pourcentage de spécificité de 25.

CHAPITRE 7 : DISCUSSION GENERALE

Le changement climatique est une préoccupation grandissante mais dans le cas de la Mitidja, il serait plus prudent de parler de variabilité climatique que de changement. Dans ce sens, des études ont été portées sur les données climatologiques recouvrant une trentaine d'années (de 1984 à 2013). L'indice d'EMBERGER réalisé sur cette période a permis de classer la région d'étude à l'étage bioclimatique semi-aride à hiver froid alors que SELTZER [475] a classé cette région à l'étage bioclimatique subhumide à hiver doux. La différence s'explique par une légère hausse des températures d'un demi-degré au cours de la période 1984-2013 par rapport à la période étudiée par SELTZER en 1913-1938. Les précipitations sur la période 1984-2013 ont montré une grande variabilité mais en étudiant les séries pluviométriques sur une période plus longue allant de 1967 à 2013, nous avons constaté une diminution des précipitations annuelles. Cette réduction a touché principalement les pluies d'hiver et du printemps qui constituent plus de 60 % de la pluviométrie annuelle [476]. Grâce au test de PETTIT [477], il est possible d'observer une nette tendance à la baisse de la pluviométrie à partir de la seconde moitié des années 70. Cette baisse est du même ordre pour les pluies d'hiver et de printemps avec des diminutions de 26 à 35 % en hiver et 24 à 36 % au printemps.

Ces variations climatiques agissent sur le développement phénologique de la plante ainsi que sur la biologie de l'insecte. Ceci est particulièrement marqué pour les espèces phytophages qui dominent la biodiversité agricole car elles entrent en interaction avec plus d'un niveau trophique (la plante hôte et le cortège des prédateurs associés) et peuvent ainsi avoir un impact économique majeur sur l'agriculture [478]. L'impact des changements climatiques sur les insectes est étroitement lié à l'augmentation de la température, un paramètre important qui

régule leur vitesse de développement. D'autres paramètres bioclimatiques peuvent aussi déséquilibrer les activités biologiques des êtres vivants (plantes, insectes) comme l'augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique, les précipitations et le vent.

Durant la dernière période (1984 - 2013), nous avons noté une température élevée pendant la saison estivale (T_{\max} de 45,9°C et T_{\min} de - 0,3°C) qui influence les activités biologiques du clémentinier et des aphides ainsi leurs cortèges auxiliaires. La pluviométrie enregistrée pendant cette période a été faible pendant plusieurs années consécutives ce qui a conduit à un phénomène de sécheresse qui s'est déclaré dans la région. Cette sécheresse a augmenté les problèmes d'approvisionnement en eau des cultures qui n'a pas été comblé par les irrigations. De plus, la compétition entre plantes cultivées et plantes adventices suite à l'absence d'entretien de certaines surfaces agricoles peut également avoir des répercussions sur le développement des cultures et sur la biologie des insectes associés. DAJOZ [461] a expliqué que la discontinuité et la variabilité du milieu naturel constituent un facteur limitatif essentiel de pullulation des organismes. Par ailleurs, BENASSY [479] a signalé que les différentes phases caractérisant le développement des jeunes larves depuis l'éclosion jusqu'à leur fixation sont sous l'étroite dépendance des conditions climatiques.

La compréhension des relations tri-trophiques qui unissent les plantes, les populations de ravageurs et leurs ennemis naturels tout en prenant en compte les adaptations à ces nouvelles conditions environnementales est donc un élément clé pour adapter les agro-écosystèmes à ces futures conditions et constitue le fondement du programme de lutte. C'est pour cette raison que KAVALLIERATOS *et al.* [480] ont accordé une importance à l'étude de ces associations tritrophiques, notamment dans le milieu naturel. Ces auteurs ont montré que la flore spontanée assure la survie de la plupart des insectes auxiliaires en attendant leur passage vers le milieu cultivé. L'objectif de cette étude a été de relever les associations clémentiniers - pucerons - auxiliaires dans les milieux anthropisés et de fournir des informations de base pour le contrôle des pucerons nuisibles aux agrumes.

Les populations d'insectes ravageurs sont fortement influencées par les conditions de culture de leurs plantes hôtes. En effet, de nombreux facteurs agro-

écologiques agissent de manière indirecte par le biais de la plante hôte. Le climat, le sol et les pratiques culturales, en influant sur l'état physiologique de la plante cultivée, ont un impact sur la disponibilité et la qualité de la ressource alimentaire de l'insecte [283; 481 ; 482 ; 483] Les agrumes peuvent être attaqués par plusieurs espèces de pucerons : *Toxoptera aurantii*, *Aphis spiraecola*, *A. gossypii*, *Myzus persicae*, *A. fabae* et *A. craccivora* [4 ; 484 ; 485 ; 486]. Les trois premières espèces sont observées régulièrement dans la Mitidja avec des effectifs importants [8, 9, 29, 487]. Tout au long de l'année, *A. spiraecola* et *A. gossypii* cohabitent très souvent sur le clémentinier, notamment durant les périodes de poussée de sève. Par ailleurs, les aphidiphages et d'autres communautés trophiques se structurent et évoluent différemment dans les vergers selon la disponibilité de leurs proies.

1. Relations entre support nourricier et pucerons.

1.1. Variation des métabolites dans les feuilles en fonction des poussées de sève des agrumes

La composition de la sève élaborée n'est pas constante et peut varier considérablement en réponse aux variations environnementales. Il a été montré par exemple que cette composition est différente entre le jour et la nuit chez plusieurs espèces de plantes [488 ; 489 ; 490]. De plus, cette composition peut aussi varier au cours de la période diurne [491] ou selon les stades de développement de la plante hôte [492].

Nous avons montré qu'en fonction des poussées de sève du clémentinier, les glucides solubles ne suivent pas toujours la même évolution que les acides aminés, la proline, la callose et les tannins condensés. Ainsi, durant la PSI, les glucides produits par les feuilles photosynthétiquement actives (organes sources) sont mobilisés vers les organes puits (notamment les fleurs puis les fruits) pour assurer le cycle de développement du clémentinier [34]. Pendant cette même période, le décalage de deux semaines pour l'accumulation des tanins condensés et d'une semaine pour l'accumulation de la proline par rapport aux glucides solubles peut être expliqué par le phénomène d'induction de la résistance de la plante. Celle-ci modifie la balance de ses constituants foliaires en faveur des

métabolites secondaires, ce qui a pour conséquence une augmentation de sa capacité de défense [493].

La teneur en acides aminés peut varier selon le stade phénologique [494 in 495] et la nutrition minérale azotée de la plante [496]. Une étude a montré que les glucides et les acides aminés sont les métabolites prédominants dans la sève élaborée [497]. HIJAZ et KILLINY [498] ont réalisé une étude sur la composition chimique de la sève élaborée de *Citrus sinensis*. Ils ont détecté la présence de 20 acides aminés et 8 glucides différents. Parmi les acides aminés, la proline est le composé le plus abondant et correspond à 60 % de la totalité des acides aminés. D'autres acides aminés comme le tryptophane, la tyrosine, la leucine, l'isoleucine et la valine sont aussi détectés dans la sève et sont considérés comme essentiels pour les insectes suceurs de sève tels que les pucerons.

L'évolution des teneurs en constituants alimentaires, métabolites de stress et principes actifs des feuilles non attaquées a été prise comme témoin. La comparaison entre les feuilles attaquées et les feuilles non attaquées de clémentiniers a montré que les teneurs moyennes en glucides solubles, callose, proline et tannins dans les feuilles non attaquées sont significativement plus élevées que dans les feuilles attaquées, même si les valeurs moyennes sont parfois très proches. A l'opposé, les feuilles attaquées présentent une teneur plus élevée en acides aminés totaux que les feuilles non attaquées, ce qui peut être expliqué par une augmentation du pool d'acides aminés pour augmenter la synthèse de composés de défense dérivant d'acides aminés comme les acides aminés non protéinogènes, les glucosides cyanogènes, les glucosinolates et les alcaloïdes. Ces composés sont très toxiques dans la mesure où ils interfèrent avec les processus physiologiques de l'insecte. Par exemple, la 3-4 dichlorophénylalanine (L-DOPA), un acide aminé non protéinogène, peut se substituer à la tyrosine et inhiber l'action de la tyrosinase, une enzyme essentielle au durcissement de la cuticule des insectes.

En ce qui concerne des décalages possibles de pics de production entre les feuilles attaquées et non attaquées au cours des périodes de pousses de sève, le test de corrélation croisée montre une absence de décalage entre la teneur en glucides solubles et celle des tannins. Les tannins, qui sont souvent produits à

partir d'un squelette glucidique, sont donc produits presque simultanément à l'accumulation des glucides. Ces tanins sont des esters de glucides ou des dérivés d'acides phénolique avec généralement du glucose comme molécule de départ et dans quelques cas des anthocyanes [499, 500].

En revanche, les feuilles attaquées présentent un retard d'une semaine des pics de production d'acides aminés, l'amidon et de proline par rapport à ceux des feuilles non attaquées et un retard de deux semaines pour la callose. Ce retard pourrait s'expliquer par à une forte pression de prélèvement de la sève exercée par les aphides et donc une difficulté pour le clémentinier à produire ces métabolites. Cependant, une fois attaquées, les feuilles mettent en place des défenses avec dans un premier temps la production de métabolites secondaires à activité entomotoxique [400] et dans un second temps, un renforcement des structures physiques avec par exemple un dépôt de callose comme barrière à la pénétration au niveau pariétal. Ceci laisse supposer que les réponses du clémentinier ne sont pas précoces et qu'elles se font en deux temps avec d'abord une hausse de production de proline et des autres acides aminés ainsi qu'une reconstitution de réserves en amidon puis ensuite une accumulation de callose. Au moment de la pénétration des pièces buccales dans la plante, le puceron doit dégrader les microfibrilles de cellulose et ramollir la matrice pectique avant de pouvoir accéder aux nutriments [501 ; 502]. D'importantes forces de pression mécaniques [503.] et/ou un arsenal d'enzymes hydrolytiques permettant de dégrader la paroi végétale (cell wall degrading enzymes, CWDE) sont alors impliquées [504]. Ces perturbations de l'intégrité de la paroi induisent des voies de signalisation chez la plante hôte qui se traduisent par la mise en place de défenses adéquates par le végétal [505 ; 506]. Parmi les mécanismes de résistance, la teneur de la sève phloémienne en acides aminés et en glucides a été invoquée à maintes reprises, notamment en réponse à l'attaque des Aphididae [507 ; 508, 509, 510]. Il a par exemple été montré que le niveau de concentration en acides aminés libres et en glucides de la sève phloémienne de la luzerne (*Medicago sativa*) participe à la résistance de la plante au puceron *Acyrtosiphon pisum* Harris [511]. De même, il a été montré que le niveau de résistance des céréales au puceron *Rhopalosiphum padi* est corrélé positivement avec la concentration de certains acides aminés libres de la sève phloémienne [512].

Contrairement à la période de poussée printanière (PSI), il se produit au cours des poussées suivantes (PSII et III) un retard de deux semaines dans l'accumulation des tanins condensés et d'une semaine dans l'accumulation de la proline et des autres acides aminés par rapport à celle des glucides solubles foliaires. Au cours de cette période, la plante subit différents stress d'ordre abiotique (des températures estivales élevées et un déficit en eau) et biotique (notamment la présence des pucerons). Les métabolites primaires sont alors davantage mobilisés pour la production de métabolites secondaires afin d'assurer une défense dynamique constitutive [506 ; 513].

Sur le clémentinier en 2010, nous avons enregistré un déficit hydrique qui n'a pas été comblé par les irrigations effectuées dans le verger. Ce manque d'eau a été observé durant la PSI (précipitations de 194 mm) et surtout durant la PSII (précipitations de 6,4 mm). En situation de déficit hydrique, différents phénomènes peuvent se produire : outre la réduction de photosynthèse [514 ; 515], il se produit une diminution du potentiel osmotique [516.] pouvant modifier le spectre en odeurs allomoniques (éthanol, terpènes) et kairomoniques [517]. De plus, il est possible d'observer une augmentation de la concentration en métabolites phagodissuadants pouvant influencer sur la présence ou l'absence de ravageurs [283 ; 518 ; 519].

Nous avons analysé la teneur en proline libre qui est l'acide aminé le plus abondant dans la sève phloémienne des agrumes où il peut représenter jusqu'à plus de 60 % des acides aminés totaux [498]. La synthèse de cette molécule peut augmenter en réponse à divers stress comme le stress salin, le stress oxydant, la sécheresse ou encore une forte intensité lumineuse [470 ; 520]. MONNEVEUX et NEMMAR [520] ont mis en évidence que les teneurs foliaires en proline dépendent très étroitement des précipitations. De même, en réponse à un stress osmotique direct ou indirect, l'accumulation de proline joue un rôle important au même titre que les glucides solubles et les ammoniums quaternaires comme la glycine bêtaïne [470 ; 521 ; 522, 523]. Ces biomarqueurs de stress, en association avec la réduction de la transpiration, permettent de conserver la turgescence et le volume cytosolique aussi élevés que possible [522].

Au cours de la PSII, les deux populations de pucerons ont été caractérisées par de faibles niveaux d'abondance correspondant à des teneurs très faibles en proline et glucides solubles dans les feuilles infestées. Pendant la période sèche en 2010, nos résultats ont montré une stabilisation dans la synthèse de la proline. Une seconde augmentation de la proline de Juin à Septembre serait le résultat de la mobilisation des glucides foliaires vers d'autres voies métaboliques et/ou probablement une réponse à des températures élevées. La teneur en proline dans les feuilles infestées était plus faible que dans les feuilles non infestées. De plus, l'accumulation de cet acide aminé a eu lieu en retard d'une semaine par rapport aux feuilles non infestées. Cette différence peut être une conséquence de la plus faible teneur en glucides, lesquels sont moins disponibles pour permettre la production de proline comme composé de défense et/ou de stockage azoté [470 ; 524].

1.2. Effets de l'allocation des réserves énergétiques sur la dynamique aphidiennes

1.2.1. Variation temporelle des réserves énergétiques aphidiennes

Les protéines, les lipides (triglycérides) et les glucides (glycogène) constituent les ressources énergétiques des insectes [525 ; 526]. Notre choix des populations des deux aphides étudiés sur le clémentinier a été fait en fonction de leur nature de reproduction et de leur disponibilité pendant une longue période [427]. Nous avons ainsi pu évaluer sur le plan qualitatif et quantitatif leurs réserves énergétiques et leur évolution durant les trois poussées de sève. En effet, l'évolution des réserves énergétiques dans le temps est l'un des éléments clés pour l'évaluation et la compréhension de la dynamique des populations car elle reflète l'évolution temporelle de l'effectif de la population [528].

Les résultats ont montré que les réserves énergétiques des aphides sont constituées majoritairement de réserves lipidiques (99 %) et que les deux espèces d'aphides présentaient la même proportion entre réserves lipidiques et glucidiques. Les réserves énergétiques lipidiques et glucidiques des populations des deux espèces d'aphides évoluent au cours des saisons de manière très hautement significative. ARRESE et SOULAGES, [529] ont confirmé que la majeure partie de ces réserves énergétiques se trouve sous forme de lipides. Une

étude a montré que 90 % de ces lipides correspondent à des triglycérides qui possèdent un pouvoir calorique par unité de poids supérieur à celui du glycogène [530]. Chez les insectes holométaboles, les réserves en lipides sont stables au cours de la vie larvaire [529] et les réserves en glycogène sont mobilisées au cours des cycles de mues et de la métamorphose [531].

Le dosage que nous avons utilisé au cours de l'étude permet de quantifier les mono- et oligosaccharides mais pas les polysaccharides de réserve comme le glycogène, ce qui a probablement sous-estimé la quantification des constituants énergétiques de nature glucidique des pucerons [455 ; 532]. Par ailleurs, l'extraction des glucides serait plus pertinente à partir de l'hémolymphe ou de certains organes de l'insecte plutôt que sur l'individu entier [301]. Cependant, la petite taille des pucerons s'est révélée être un inconvénient majeur pour parvenir à un dosage fin des constituants énergétiques de nature glucidique des pucerons.

Les réserves énergétiques lipidiques semblent tout de même largement majoritaires par rapport à celles d'origine glucidique, ce qui est en accord avec les travaux de ARRESE et SOULAGES [529]. Les lipides provenant des hydrates de carbone issus de l'alimentation sont synthétisés dans le corps gras [533]. Etant la source d'énergie prédominante pendant le développement embryonnaire des insectes, une quantité suffisante de lipides doit être mise en réserve dans les ovocytes en développement pendant l'ovogenèse [534 ; 535].

Les réserves énergétiques lipidiques et glucidiques des populations des deux espèces d'aphides évoluent au cours de la saison de manière très hautement significative. Ceci peut s'expliquer soit par un gain d'énergie alloué à la croissance des larves, soit par une accumulation de ces réserves au profit des femelles aptères qui vont hiverner au niveau de la plante hôte. PELOSSE [536] a expliqué que le pool de réserves énergétiques est compartimenté. Ainsi, La balance des nutriments est un point essentiel dans les histoires de vie des insectes [281] car tous ne sont pas alloués aux mêmes organes et fonctions en compétition. On distingue trois classes principales de nutriments stockés dans le corps gras et l'hémolymphe : les glucides, les lipides et les protéines. Les glucides sont les premiers éléments mobilisés en cas de besoin et leur conversion en énergie est la

moins coûteuse, notamment *via* le glucose qui constitue une molécule de base servant à produire de l'ATP par combinaison avec de l'oxygène [281]. Les di- ou polysaccharides doivent être fractionnés en glucose et fructose pour pouvoir être utilisés pour la production d'énergie. Ils sont impliqués dans la maintenance et la longévité de l'organisme [537 ; 538] ou dans les déplacements et peuvent être mobilisés pour le vol sur de courtes distances [539]. Ils peuvent également jouer un rôle essentiel dans la résistance au froid chez les insectes [540]. Ces composés sont à la base de trade-offs dans l'allocation des ressources entre les différentes fonctions, notamment entre maintenance et reproduction [541 ; 542]. Ils sont également impliqués dans les vols sur de longues distances, un mode de locomotion extrêmement coûteux en comparaison de la marche et induisant une augmentation du taux de métabolisme de 50 à 100 fois supérieur au métabolisme de repos [281 ; 543]. Les lipides interviennent aussi dans la diapause [286] et dans la résistance au froid et à la dessiccation chez les insectes [544]. CALOW [545] estime que ces coûts sur la reproduction future et sur la longévité sont les deux grands coûts de la reproduction. Pourtant, l'investissement de ressources dans la reproduction peut induire d'autres changements de traits comme une diminution du stock des réserves énergétiques [546 ; 547] et des capacités de vol et de dispersion [548] ou encore une limitation de la croissance du reproducteur [549 ; 550 ; 551].

La comparaison des teneurs globales des réserves énergétiques des deux espèces d'aphides pour chaque période de poussée de sève n'a pas montré de différence temporelle d'accumulation des réserves entre les deux espèces durant la PSI et la PSII. Ceci suggère que les deux pucerons accumulent leurs réserves énergétiques glucidiques de la même manière sur les feuilles de clémentinier. Ces deux espèces cohabitent en sympatrie et partagent les ressources alimentaires [552]. Pour la PSIII, nous avons néanmoins observé un retard significatif d'accumulation dans les réserves glucidiques chez *A. gossypii* par rapport à *A. spiraecola*, suggérant qu'*A. gossypii* s'adapterait moins rapidement aux variations métaboliques des feuilles de clémentinier. Seules les réserves en lipides quantifiées durant la PSII et la PSIII diffèrent significativement entre les espèces d'aphides : elles sont plus importantes chez *A. spiraecola* pendant la PSII alors qu'elles sont plus élevées chez *A. gossypii* pendant la PSIII. Le remaniement des

réserves énergétiques d'*Aphis spiraecola* et d'*A. gossypii* semblerait donc se traduire par des teneurs différentes en réserves glucidiques et lipidiques, probablement en raison de réactions métaboliques et/ou de stockage des réserves différents. Les fluctuations des réserves énergétiques sont tributaires de la disponibilité en eau, en glucides et en acides aminés foliaires et dépendent également du niveau des composés de défense de la plante. Ces éléments varient en fonction des saisons et vont donc moduler l'optimum écologique des femelles et agir sur le cycle biologique des pucerons [553 ; 554]. La fin de la PSIII correspond à la fin du cycle végétatif (repos végétatif) du clémentinier. On remarque à cette période une augmentation des réserves énergétiques des pucerons. Cette observation pourrait résulter d'une stimulation de la croissance, soit dans un but d'atteindre la maturité sexuelle plus rapidement chez les femelles hivernantes ou pour la formation d'individus ailés migrant vers d'autres hôtes potentiels ou occasionnels. Lorsqu'elle est limitée par le temps, une femelle aura tendance à pondre et lorsqu'elle est limitée par les œufs, elle préférera se nourrir pour reconstituer ses réserves [555 ; 556]. Le compromis à réaliser entre les différentes activités se traduit également par l'influence des réserves énergétiques sur les comportements autres qu'alimentaires.

La variation temporelle significative des réserves énergétiques glucidiques des pucerons pendant les poussées de sève peut être expliquée au niveau métabolique par :

- i) les exigences métaboliques en terme d'énergie de la bactérie symbiotique *Buchnera* pour qu'elle puisse produire des enzymes glycolytiques afin d'assurer son développement. [557] et la disponibilité du tréhalose dans l'organisme des pucerons, notamment durant les mues [558]. Cette bactérie confère aux aphides une optimisation de la croissance, du développement, de la fécondité, de la résistance aux ennemis naturels, de la tolérance à la chaleur et de la capacité d'utilisation des plantes hôtes [283].
- ii) le phénomène de mue qui a un impact considérable sur le métabolisme carboné car la chitine est le composant majeur de la cuticule et sa vitesse de synthèse est régulée par la concentration du tréhalose dans l'organisme. Tout comme les protéines, le tréhalose est synthétisé dans

le corps gras [533] et sa rapide disponibilité dans l'hémolymphe permet de satisfaire les besoins énergétiques [558].

- iii) le maintien des fonctions biochimiques impliquées dans les mécanismes de défense (détoxification des métabolites secondaires...). La mesure des réserves énergétiques présentes sous forme de glycogène, de lipides ou de protéines a également été proposée comme biomarqueur d'une exposition toxique [559].
- iv) la nature transitoire des changements dans les concentrations de glucose dans l'hémolymphe des insectes qui limite l'utilisation du glucose comme indicateur de stress. De nombreux travaux suggèrent qu'un stress, en favorisant l'activation de certaines voies métaboliques, se traduit par une réduction des réserves énergétiques d'un organisme [560 ; 561].

Ces réserves énergétiques fournissent des explications évolutives sur les traits d'histoire de vie, permettent d'interpréter la diversité et la complexité du cycle de vie d'une espèce et élucident le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance, au maintien des fonctions somatiques et aux performances reproductrices ou « effort de reproduction » [562 ; 563 ; 564].

1.2.2. Remaniement des réserves énergétiques aphidiennes en relation avec les variations des métabolites des feuilles de clémentinier

Plusieurs travaux indiquent que l'oligophagie des aphides s'accommoderait d'une moins grande sensibilité aux variations de la qualité nutritionnelle du substrat trophique [494 ; 508 ; 565]. Durant les différentes phases du processus de prise de nourriture des aphides, les caractéristiques biochimiques de la plante hôte peuvent intervenir :

- i) au moment de la reconnaissance du support végétal avec notamment l'intervention de substances présentes à la surface des plantes [566].
- ii) lors de la pénétration du stylet vers les cellules phloémiennes en relation avec la structure pectique des membranes cellulaires [510].
- iii) au moment de l'ingestion de la sève selon sa composition en substances phagostimulantes ou phagodissuadantes vis-à-vis des aphides [510 ; 567 ; 568 ; 569].

1.2.2.1. Influence des glucides solubles

Durant les périodes de poussée de sève, la production des différents métabolites foliaires est sous la dépendance de stress abiotiques, d'actions anthropiques et du stade de maturité du feuillage [570 ; 571 ; 572]. Nous avons évalué les fluctuations saisonnières des concentrations en glucides solubles dans les feuilles non attaquées et les feuilles attaquées par les aphides car ces métabolites primaires sont indispensables pour l'alimentation des pucerons [573]. La sève élaborée des agrumes contient des quantités élevées de glucides, plus particulièrement de saccharose qui est le glucide de transport préférentiel chez les plantes. D'autres glucides tels que les hexoses (glucose, fructose), le raffinose et des molécules proches comme les polyols (mannitol, sorbitol) sont également présents dans la sève du phloème [497]. Les insectes suceurs de sève élaborée convertissent le saccharose en glucose et fructose et utilisent ces hexoses comme source d'énergie [574]. Glucose et fructose peuvent aussi être convertis en tréhalose qui est utilisé comme source énergétique dans les muscles des insectes pendant le vol [575]. D'autres molécules carbonées semblent également jouer un rôle important chez les insectes. Le *scyllo*-inositol et le *myo*-inositol, deux stéréoisomères de l'inositol, ont été trouvés dans l'hémolymphe des insectes [576] et il a été montré que l'inositol est requis pour les stades immatures de certains insectes tels que les criquets [577].

Nos résultats ont montré que les teneurs en glucides solubles dans les deux catégories de feuilles (attaquées ou non par les pucerons) étaient proches en Avril (maximum d'accumulation des glucides), ce qui suggère que le développement des espèces aphidiennes sur le feuillage à ce moment n'a pas affecté l'activité photosynthétique. Au cours de la PSII, les taux de glucides solubles sont plus faibles car ils peuvent être mobilisés pour assurer le développement du fruit pendant la phase de grossissement [34]. Cette diminution peut aussi être liée à l'augmentation des températures estivales et à la diminution des précipitations qui peuvent limiter l'activité de photosynthèse et donc la production de glucides [578 ; 579 ; 580 ; 581]. En effet, le stress hydrique peut causer par exemple un ralentissement de la synthèse protéique [582], une perturbation de la stabilité des structures membranaires ainsi que l'inhibition de

l'activité des enzymes [583], d'où une réduction de la capacité photosynthétique [584]. Par ailleurs, nous avons observé un taux de glucides solubles plus faible dans les feuilles infestées pendant la seconde moitié de la PSI puis durant la PSII, ce qui suggère une possible utilisation des glucides par les pucerons comme source énergétique ainsi qu'une mobilisation des glucides par la plante pour la synthèse de composés de défense.

1.2.2.2. Influence des acides aminés

Les acides aminés sont la principale source d'azote dans l'alimentation des pucerons [497]. Nous avons montré que les feuilles infestées présentent une concentration plus élevée en acides aminés libres totaux par rapport aux feuilles non infestées en particulier pendant la première et la troisième poussée de sève. Plusieurs auteurs ont rapporté à cet effet que les pucerons peuvent augmenter la concentration des acides aminés dans la sève phloémienne afin d'améliorer la qualité nutritionnelle de leur alimentation [573, 585 ; 586]. Il est fortement supposé que la salive des pucerons contient des molécules qui clivent les protéines foliaires, ce qui conduit à une augmentation de la teneur en acides aminés assimilables [253 ; 585].

1.2.2.3. Influence de la proline

Pendant la PSI, nous avons constaté qu'*A. gossypii* a été affecté négativement par des valeurs élevées de la concentration de proline contrairement à *A. spiraecola*. En effet, *A. gossypii* ne bénéficie pas autant qu'*A. spiraecola* de la haute disponibilité en glucides foliaires en Avril, probablement en raison de la concentration élevée en proline dans le même temps. L'accumulation de la proline en Avril peut être liée à une demande plus forte pour le débourrement des bourgeons et/ou à un stockage de composés azotés [587 ; 588].

Au cours de la PSIII, la différence d'abondance des pucerons observée à la mi-Septembre pourrait être liée à des niveaux relativement élevés de proline (et des glucides solubles trois semaines avant). L'effet négatif des niveaux élevés de proline sur *A. gossypii* semble être spécifique à l'espèce. En effet, LIU et YANG [589] ont constaté que le développement des populations d'*A. gossypii* diminue

sur des variétés de coton contenant des teneurs en proline importantes. Ces auteurs ont également montré que les plantes infestées produisent davantage de proline en réponse à un stress physiologique, conduisant à une meilleure résistance à de nouvelles infestations. WOOL et HALES [590] ont invoqué plutôt la possibilité d'une réduction de la qualité nutritionnelle [216] suite à l'accumulation de la proline. Dans le cas du clémentinier où la composition phloémienne est complexe [498], nous avons montré que les plus hauts niveaux de proline étaient davantage liés aux réponses de la plante à des contraintes hydriques et thermiques qu'à un effet lié à la présence des pucerons. Cependant, nos travaux ont mis en évidence que la proline aurait un effet négatif sur l'abondance des populations d'*A. gossypii* mais pas d'*A. spiraecola*.

1.2.2.4. Influence des tannins condensés

Les données de la littérature indiquent que la composition en tannins varie en fonction du stade végétatif de la plante [591 ; 592 ; 593] et que la teneur totale de ces composés diminue généralement lors du mûrissement des fruits [594 ; 595]. La synthèse des tannins est également sous l'influence des conditions climatiques et du stress nutritif [591 ; 596 ; 597 ; 598]. De plus, il est connu que les tannins influent défavorablement sur la digestion des insectes en se liant aux mucoprotéines de leur cavité orale, provoquant ainsi des perturbations physiologiques chez l'insecte [599 ; 600]. Les effets négatifs des tannins ont été mis en évidence chez le puceron *Aphis craccivora* : de fortes teneurs en tannins ont en effet été détectées dans les pétioles des feuilles d'arachide suite à l'arrivée de ce puceron sur ce type d'organe [601]. Les auteurs ont montré que plus la concentration en tannins condensés était forte suite à l'infestation, plus la fécondité du puceron diminuait.

Nous avons montré que la concentration en tannins condensés dans les feuilles présentait un pic au cours de chaque poussée de sève et que ces pics avaient lieu généralement après l'accumulation des glucides foliaires. Par rapport aux feuilles non infestées, les feuilles infestées accumulent un peu moins de tanins au cours des deux premières poussées de sève, ce qui suggère que les glucides foliaires sont davantage mobilisés vers d'autres voies de synthèse. Au cours de la PSIII, les feuilles infestées de pucerons ont de plus fortes teneurs en

tannins que les feuilles non infestées, ce qui suggère que cette production de tannins pourrait partiellement limiter la prolifération des pucerons en Septembre.

Cette dernière hypothèse va dans le même sens que plusieurs études liées aux interactions entre pucerons et composés phénoliques. Ainsi, TOOD et al [602] in MASSONIE et al [603] ont montré que certains composés phénoliques introduits artificiellement dans la nourriture des pucerons exercent une influence répulsive ou toxique. De même, BASTIDE et al [604] ont montré que des extraits phénoliques de jeunes feuilles de pêcher résistant aux pucerons et incorporés à l'alimentation de *Myzus persicae* se sont montrés défavorables à la survie et au gain pondéral du puceron. Par ailleurs, les observations de ZOUTEN et al [605 ; 606] ont mentionné que le 3,4-dihydroxyphényléthanol (constituant des composés phénoliques) intervient dans la défense de l'olivier contre le psylle. Ce composé agit comme inhibiteur de protéinases, empêchant ainsi l'alimentation de l'insecte, une diminution de l'oviposition et un pourcentage élevé de mortalité.

1.2.2.5. Effet des réserves énergétiques sur l'abondance aphidienne

La figure 7.1 représente les différentes corrélations entre l'abondance des pucerons, leurs réserves énergétiques et les constituants foliaires du clémentinier. L'accumulation des réserves en glucides chez les pucerons aptères est réalisée deux semaines avant l'abondance maximale des deux populations aphidiennes pour maximiser leurs fitness et optimiser leur reproduction.

Nos résultats montrent également que les pics des réserves lipidiques ont lieu deux semaines après les pics d'abondance des femelles aptères. Les lipides proviennent des hydrates de carbone issus de l'alimentation et sont synthétisés dans le corps gras pour être mis en réserve dans les ovocytes pendant l'ovogenèse [533 ; 535]. Les réserves énergétiques lipidiques sont davantage impliquées dans le maintien de la population adulte sur la plante hôte [535] et sont à leur tour influencées par les variations temporelles des glucides solubles et les taux des tanins condensés des feuilles infestées du clémentinier.

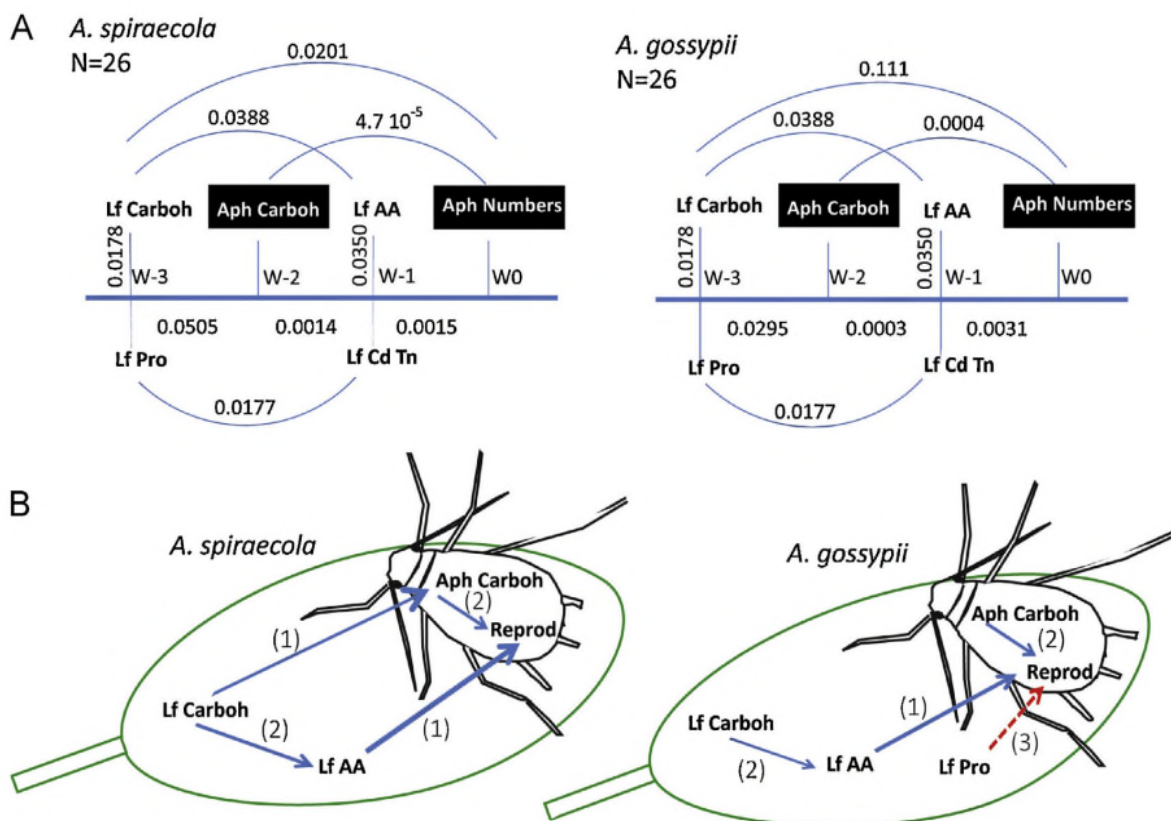


Figure 7.1 : Corrélations temporelles entre les contenus de métabolites foliaires, les concentrations de pucerons composés énergétiques et l'abondance des populations d'aptères d'*A. spiraecola* et *A. gossypii*.

A) décalages et probabilités entre les paramètres liés aux feuilles (Lf) et aux pucerons (Aph). Les retards ont été exprimés en semaines (W) et le nombre de pucerons, considéré comme la référence, a été fixé à la semaine zéro. Par exemple, pour *A. spiraecola*, la teneur en glucides précède l'abondance du puceron de 2 semaines avec une probabilité de $4,7 \times 10^{-5}$. Carboh : glucides totaux, Pro : proline, AA : acides aminés, Cd Tn : tanins condensés.

B) Représentation schématique des effets des métabolites de la feuille sur l'abondance des populations d'*A. spiraecola* et *A. gossypii*. Les chiffres entre parenthèses correspondent aux décalages exprimés en semaines. Les flèches bleues indiquent un effet positif sur le niveau de population des pucerons et la flèche rouge indique un effet négatif.

Nous avons montré à travers nos résultats une augmentation des tanins durant la PSIII qui ont influencé la bonne évolution des réserves énergétiques des deux espèces de pucerons. Les populations aphidiennes se sont maintenues sur la plante durant cette période mais avec des effectifs beaucoup plus faibles qu'au cours de la PSI. Les tanins perturbent l'utilisation de l'énergie par les insectes [607 ; 608], la qualité de l'énergie étant déterminante pour la survie de l'individu, sa vitesse de croissance et sa fécondité [527 ; 608]. Lors d'un déséquilibre nutritionnel, les femelles vont s'alimenter d'un matériel de moins bonne qualité nutritionnelle pouvant entraîner des régressions ovariennes et donc une faible

performance de ponte [283]. Ce phénomène va permettre à ces femelles d'allouer les ressources dont elles s'alimentent à leur longévité tout en reportant leur oviposition à un moment où les conditions deviendraient optimales [283]. Cette forme de stratégie viable semble être développée par les insectes face aux substances toxiques présentes dans la plante en plus de la période de leur exposition à ces principes actifs. Selon VINCENT et BOIVIN [609], ce mécanisme coûterait en énergie et en ressources qui ne sont alors plus disponibles pour la construction des réserves énergétiques. La diminution des réserves peut être observée de ce fait suite à un phénomène d'épuisement, à un emmagasinement ou à une détoxification.

Le maintien des pucerons durant la PSII et la PSIII peut aussi être expliqué par la capacité physique des individus selon un effet de sélection où les plus faibles meurent les premiers [610]. Les pucerons confrontés à un déséquilibre nutritionnel peuvent essayer de le compenser de trois façons différentes d'après SIMPSON et SIMPSON [611] : ils peuvent augmenter la biomasse consommée, changer de compartiment au niveau de la plante ou encore ajuster leur efficacité de conversion de la nourriture. A la fin du cycle végétatif de la plante, les teneurs en réserves énergétiques augmentent suite à un gain d'énergie pour leur accumulation. Cette réaction pourrait résulter d'une stimulation de la croissance pour atteindre la maturité sexuelle plus rapidement chez les femelles hivernantes ou pour la formation d'individus ailés migrant vers d'autres hôtes potentiels ou occasionnels [461, 612 ; 613 ; 614].

DEDRYVER [615 ; 616] qualifie la modification des densités des populations par l'antibiose qui joue un rôle important sur la fécondité des pucerons et leur espérance de vie. Selon cet auteur, l'antibiose s'exerce à l'échelle de l'espèce végétale en fonction de son évolution physico-phénologique. Globalement, la sensibilité de la plante change face à une infestation aphidienne. Pendant les périodes de poussée de sève, les ailés et les aptères colonisent fréquemment les jeunes pousses du clémentinier. Cette sensibilité diminue lorsque la plante acquiert une certaine maturité puis augmente à nouveau à la sénescence.

Durant notre expérimentation, nous avons remarqué une absence du puceron *A. gossypii* à partir de fin Octobre alors que le puceron *A. spiraecola* persiste jusqu'à fin Novembre. Cette dernière espèce s'adapte donc durant un temps plus long qu'*A. gossypii* et semble avoir une meilleure faculté de maintien. La disparition d'*A. gossypii* pourrait être due à une diminution du processus de détoxification déclenché par l'insecte, ce qui induit une diminution du taux de production des réserves énergétiques pouvant mener à la mort [301]. La disparition d'*A. gossypii* pourrait aussi être causée par le partage des ressources entre les deux espèces d'aphides, ce qui entraînerait une compétition interspécifique qui se ferait donc au détriment d'*A. gossypii* [617].

La teneur en lipides est globalement similaire pour les deux espèces de pucerons, ce qui suggère que ce paramètre n'a pas été décisif pour expliquer pourquoi *A. spiraecola* est plus abondant qu'*A. gossypii* sur le clémentinier. À la fin de la PSIII, la teneur en lipides d'*A. spiraecola* était plus élevée que celle d'*A. gossypii*. Il se pourrait que ce stockage optimise la reproduction sexuée et ovipare d'*A. spiraecola* avec une plus grande production d'œufs pour le printemps suivant. Cette hypothèse a en effet déjà été proposée pour d'autres espèces de pucerons [612 ; 618].

Durant la recherche du phloème, l'agression aphidienne sous forme de ponctions cellulaires et de salivations extra et intracellulaires induit des réactions de la plante dans les quelques minutes suivant la piqûre. La réponse de la plante se traduit généralement par l'activation des voies jasmonate / éthylène ou des voies de signalisation du salicylate qui est d'ailleurs souvent davantage privilégiée [619 ; 620 ; 621]. Le phloème contient des protéines intervenant dans le colmatage des blessures de ce tissu [619]. De la callose peut également se déposer et obstruer les vaisseaux conducteurs, ralentissant fortement le flux de sève et empêchant la prise alimentaire des pucerons [619]. L'insertion des stylets dans des cellules phloémiennes pauvres en calcium s'accompagne au point d'insertion d'un influx de calcium qui peut initier des cascades de signalisation à longue distance et ainsi réguler la réponse systémique de la plante [619]. Nos résultats ont montré qu'il n'y avait pas de décalage temporel entre les teneurs en callose et les réserves glucidiques des deux espèces de pucerons. Cependant, la

callose et les réserves glucidiques aphidiennes sont corrélées négativement. Inversement, nous avons constaté une corrélation positive entre la callose et les réserves lipidiques. Pendant la PSI, seul *A. spireacola* parvient à résister sur le clémentinier en utilisant l'énergie déjà accumulée à travers les lipides malgré la présence de callose contrairement à *A. gossypii*. THAO et *al.*, [622] suggèrent que la variabilité de réponse chez les pucerons pourrait être liée aux besoins métaboliques du puceron lors de l'adaptation à différentes plantes hôtes. En effet, leur variation temporelle induit des changements dans le comportement sexuel [618 ; 623], parental [624], social [625] ou migratoire [613]. En fonction de ses réserves, l'individu devra choisir entre s'alimenter ou réaliser une autre activité.

2. Relations entre pucerons et paramètres abiotiques et biotiques

Le danger représenté par un ravageur dépend de l'espèce et de la plante-hôte. L'importance numérique du ravageur est la résultante de deux groupes de facteurs antagonistes :

- des facteurs biotiques. Ceux-ci influent sur la fécondité, le nombre de générations annuelles, les possibilités de développement sur les plantes hôtes de la région considérée, la concurrence alimentaire, la capacité de réponse aux parasites et aux prédateurs.

- des facteurs abiotiques, notamment la température, les précipitations et l'humidité relative [626 ; 627 ; 628 ; 629]. Par ailleurs, certaines pratiques culturales comme les traitements insecticides, les tailles, les récoltes et le recours à des variétés résistantes sont aussi des paramètres influençant le développement des insectes ravageurs [482 ; 630].

2.1. Dynamique des populations aphidiennes en relation avec les variations climatiques

2.1.1. Structuration et fluctuations temporelles des populations d'aphides

Les résultats montrent que l'effectif des adultes aptères en 2010 et 2011 était beaucoup plus important que celui enregistré en 2012. Durant les trois années d'études, nous avons mis en évidence (par des corrélations et des comparaisons interstades) des différences annuelles entre les populations totales

des deux espèces d'aphides ainsi qu'au niveau des effectifs des différentes formes biologiques (aptères, larvaires et ailées). Ces analyses ont donné des résultats positifs et significatifs durant les trois poussées de sève. Le chevauchement observé entre les différents stades biologiques des deux aphides est lié aux deux modes de reproduction (sexuée et asexuée) qui peuvent coexister à un même moment : suite à la formation des individus ailés, une nouvelle génération peut en effet être issue de la précédente soit par parthénogénèse, soit par reproduction sexuée [173]. D'après SCHAUB et *al.* [631], chaque fondatrice peut générer jusqu'à une centaine de descendant apte à reproduire.

Les fluctuations saisonnières des deux populations aphidiennes observées en vergers d'agrumes de la Mitidja centrale ont été rapportées dans d'autres pays. En effet, YOKOMI et OLFIELD [632] ont observé une variation similaire en Californie avec une abondance maximale en Avril - Mai. Deux pics importants ont été également enregistrés en Mai et Septembre en Tunisie [221] et au Japon [244]. De plus, les différents auteurs ont signalé que les populations d'*A. spiraecola* restent significativement plus abondantes que celles d'*A. gossypii*. La plus forte abondance d'*A. spiraecola* par rapport à *A. gossypii* a aussi été constatée par HERMOSO DE MENDOZA et *al.*, [633] et BELLIURE et *al.*, [634] sur les *Citrus* et c'est ce qui ressort également de nos résultats concernant le clémentinier. Cependant, dans la région de Valence (Espagne), MARROQUIN et *al.* [635] ont montré des résultats différents sur plusieurs espèces d'agrumes : ce sont en effet les populations d'*A. gossypii* qui étaient nettement plus importantes que celles d'*A. spiraecola*.

Quelle que soit l'abondance d'une espèce ou de l'autre, DEGUINE et LECLANT [216] ont expliqué qu'une compétition interspécifique conduit à la production d'insectes de plus petite taille et de moindre fécondité. Ceci explique la diminution des abondances qui a été observée en PSII et PSIII. Par ailleurs, la chute des populations en saison sèche pourrait également être due aux dégâts occasionnés par les pucerons eux-mêmes. En effet, il est possible que la compétition pour la ressource alimentaire ait conduit l'espèce *A. gossypii* à adopter une stratégie de survie favorisant une descendance peu nombreuse

associée à une survie optimale des stades immatures, contrairement à *A. spiraecola*.

D'autres auteurs ont montré que dans des situations défavorables aux pucerons, selon la modulation du poids des individus [174] ou lorsque la densité locale devient trop forte (à un seuil supérieur d'environ 10000 pucerons par plante), des ailés sont produits pour assurer une dispersion plus large [227 ; 230 ; 636 ; 637 ; 638]. Lorsque la densité locale augmente, *A. gossypii* est capable non seulement de se disperser grâce aux aptères qui migrent par la marche entre les feuilles d'une même plante et entre des plantes voisines mais aussi par les ailés. LOMBAERT et al. [638] ont montré que les ailés d'*A. gossypii* s'agrègent à l'échelle de la feuille mais semblent se distribuer sur les plantes plutôt selon un processus indépendant de la densité. Deux types de répartition du pool d'ailés produits en résultent :

- i) Une répartition uniforme où toutes les plantes reçoivent le même nombre d'ailés,
- ii) Une répartition agrégée où les ailés de cette espèce se dirigent préférentiellement vers les feuilles les moins infestées.

La survie et la fécondité des femelles sont influencées par la phénologie de la plante : les femelles ont montré des capacités de reproduction supérieures pendant la période de première poussée de sève (PSI). La dynamique temporelle du ravageur serait influencée par l'état physiologique du clémentinier en période de croissance végétative et de floraison, période pendant laquelle la sève serait plus riche et favorable au développement des pucerons. Durant les deux autres périodes de poussée de sève (PSII et PSIII), le potentiel reproductif des femelles pourrait être affecté par une alimentation de moindre qualité. Le déclin des populations serait dû à une mortalité des larves suite à une probable compétition pour la ressource alimentaire. En vieillissant, l'attractivité des pousses pour les pucerons diminue. Dans ce cas, les adultes et les nymphes âgés quittent la plante alors que les pucerons à un stade juvénile se trouvent incapables de compléter leur développement normal vers le stade suivant, ce qui engendre généralement leur mortalité [639 ; 640].

Les populations des deux espèces aphidiennes ont été observées simultanément sur le feuillage du clémentinier. Cependant, leur abondance diffère car *A. spiraecola* montre une prolifération plus importante. Ceci peut être lié à l'abondance des plantes hôtes : *A. spiraecola* est une espèce dioécique (deux plantes hôtes) dont l'hôte primaire correspond à des espèces d'agrumes dont le clémentinier [9 ; 13 ; 260 ; 641 ; 642]. Par contre, *A. gossypii* est connu comme une espèce polyphage [643] pouvant attaquer un très grand nombre d'espèces de plantes hôtes dont certaines ont une importance économique majeure comme le cotonnier, différentes Cucurbitacées (melon, concombre, courgette...), des Solanacées (pomme de terre, aubergine, piment, poivron) ou encore les agrumes (citronnier, clémentinier, mandarinier) [216 ; 644]. Ainsi, *A. gossypii* dispose d'un plus grand nombre de plantes hôtes et sa moins forte densité sur le clémentinier pourrait être liée à sa possibilité d'exploiter d'autres espèces végétales en cas de forte compétition avec *A. spiraecola*.

Nous avons également déterminé l'abondance maximale traduite par les barycentres de chaque espèce d'aphide entre fin Avril et fin Juin. Nous avons pu remarquer une précocité dans la colonisation des jeunes pousses par les aphides. Ce sont d'abord les formes ailées des deux pucerons qui ont été rencontrées durant la troisième semaine d'Avril puis les aptères d'*A. gossypii* fin Avril, suivis par les aptères d'*A. spiraecola* début Mai. Néanmoins, si les populations d'*A. gossypii* s'installent en premier, l'analyse des successions des stades biologiques entre les deux espèces n'a pas montré de décalage temporel avec des différences significatives, et ce quel que soit le stade de développement. Selon DIXON [645], la production d'ailés peut être induite par des contraintes environnementales telles que la photopériode, la densité et la qualité nutritionnelle de la plante hôte. Ainsi, la première période correspond aux vols de migration et de dissémination qui a lieu au printemps et en été (d'Avril à Juillet). Le vol de migration correspond selon SCHAUB et al. [631] au départ des fondatrigenes ailées de l'hôte primaire vers les hôtes secondaires, en particulier sur le plantain, ce mode dispersion ayant été remarqué pour les deux espèces d'aphides étudiés. Les vols de dissémination selon HULLE et al [144] correspondent à une série de petits vols des virginogènes qui se déplacent d'hôtes secondaires en hôtes secondaires. ROBERT [174] in GUELFENE [646] a souligné qu'une régression naturelle des populations (appelée

mécanisme d'autorégulation) résulte d'une surpopulation d'individus aptères qui engendrent une formation d'ailés et une réduction de la fertilité des femelles.

2.1.2. Effet des précipitations et des températures sur les fluctuations annuelles aphidiennes

De 2010 à 2012, la dynamique d'activité des pucerons sur le clémentinier au niveau de la Mitidja centrale se caractérise par une même tendance évolutive répartie sur deux périodes distinctes. Les corrélations réalisées entre les abondances aphidiennes et les paramètres climatiques n'ont pas montré de résultats significatifs ($p > 5\%$) mais quelques tendances se sont dessinées tout de mêmes. En effet, les corrélations ont révélé des coefficients positifs et supérieurs à 0,40 pour les températures maximales et minimales avec une homogénéité interannuelle pour les deux espèces aphidiennes. Par contre, les abondances aphidiennes ont tendance à être inversement corrélées avec l'humidité relative de l'air et les quantités des pluies.

Durant les trois années d'étude (2010, 2011 et 2012), les pics d'abondance les plus élevés pour les deux espèces de pucerons ont été enregistrés au cours de la PSI (en Mai) avec des valeurs minimales des températures de 13, 11,4 et 9°C et des valeurs maximales de 31,4, 35 et 32,7°C pour 2010, 2011 et 2012, respectivement. En 2010, les pics d'abondance des deux espèces d'aphides étaient corrélés positivement avec les températures minimales ($r = 0,40$ et $0,42$) et corrélés négativement avec les quantités de pluie ($r = -0,38$ et $-0,40$). De plus, les abondances des deux espèces d'aphides étaient nulles ou très faibles en dessous d'une température minimale de 10°C et ont pu atteindre des valeurs de 1000 à 2000 individus dans un intervalle de températures minimales situé entre 15 et 20°C. En 2011 et 2012, nous avons trouvé un effet prépondérant des températures maximales ($0,43 < r < 0,51$) avec un intervalle thermique entre 23 et 37°C et un effectif des populations des deux espèces d'aphides situé entre 400 et 1000 individus pour cet intervalle. La seconde période englobe les poussées estivale et automnale (PSII et PSIII). Cette période est caractérisée par des populations moins denses avec un pic d'abondance observé entre Septembre et Novembre pour les 3 années. Il semblerait que les températures minimales et maximales ont joué défavorablement sur les populations des aphides Nous avons

en effet enregistré entre Août et Octobre de ces 3 années, des valeurs minimales moyennes de 18,2, 16,3 et 8,3°C et des températures maximales moyennes très élevées de 39,8, 37 et 36,8°C. MCCORNACK et *al.* [168] ainsi que HULLE et COEUR D'ACIER [166] ont expliqué qu'entre 4 et 22°C, les pucerons se multiplient d'autant plus vite que la température s'élève. Au-delà de 22°C, qui est leur optimum thermique, leur développement ralentit à nouveau. BONNEMAISON [111] a noté que les vols des pucerons sont très fréquents aux températures comprises entre 20 et 30°C. La température ambiante influe sur le vieillissement d'une population de pucerons lorsqu'elle dépasse 25°C [169]. Globalement, les réponses des aphides à l'accroissement de la température et à l'enrichissement en CO₂ sont variables [647 ; 648]. La température est manifestement le facteur le plus critique car elle agit directement sur la physiologie et le comportement des insectes phytophages et agit aussi de manière indirecte par l'intermédiaire de leur plante hôte ou de leurs prédateurs [649]. Les changements de température influencent de façon plus limitée la production des formes ailées dans une population de pucerons [153]. Durant la période printanière des 3 années d'étude (entre mi-Mars et fin Mai), les températures semblent favoriser la fécondité des pucerons et leur longévité sur la plante. NEWMAN [650] signale qu'une élévation de la température de 3°C double la vitesse de développement du puceron *Rhopalosiphum padi*.

Par ailleurs, plus les quantités de pluie sont faibles, plus les effectifs des pucerons sont importants sur les jeunes pousses. En 2010 et 2012, des abondances élevées ont effectivement été observées avec des précipitations inférieures à 60 mm, ce qui est en accord avec l'étude MC CORNACK et *al.*, [168] qui a montré des augmentations rapides des populations de pucerons lorsque les précipitations étaient faibles. Par contre, l'année 2011 a été marquée par des précipitations inhabituelles en Mai et Juin (130 et 160 mm, respectivement), ce qui a entraîné une réduction des populations des deux aphides à partir du début du mois de Mai. Par ailleurs, les abondances de l'espèce *A. gossypii* semblent inversement corrélées ($r = - 0,43$) avec l'humidité relative de l'air enregistrée en 2012 qui est la seule des 3 années d'étude où le taux d'humidité enregistré a pu atteindre 80 %. En effet, les effectifs ne dépassaient pas les 1000 individus pour un taux d'humidité de l'air compris entre 60 et 80 %. MICHELE [170] a cependant

mentionné que l'effet précis de l'humidité sur les effectifs d'aphides est encore mal connu.

Nous avons montré que les abondances aphidiennes sur le clémentinier pouvaient être influencées par les variations de température et des quantités de pluie. Plusieurs études ont montré que l'augmentation de la concentration en CO₂ peut aussi jouer un rôle indirect sur l'abondance des aphides en modifiant la phénologie et la qualité nutritive de la plante [651]. Un accroissement de la concentration en CO₂ atmosphérique entraîne en effet une diminution de l'évapotranspiration, une augmentation de la photosynthèse et du rapport carbone / azote ainsi que l'émission de composés de défenses de la plante (terpénoïdes, phénols et tanins), ce qui diminue la qualité nutritive des plantes [647 ; 652]. Ainsi, il a été montré que des populations de *Rhopalosiphum padi* augmentent avec une élévation de température mais pas lorsque la concentration atmosphérique en CO₂ augmente en même temps que la température, ceci en raison d'une diminution de la qualité nutritive de la plante [653]

C'est cependant essentiellement la température qui intervient majoritairement sur les pucerons en réduisant leur taux de multiplication, leur survie et certaines phases de leur comportement [615]. Trois différents types de situation climatiques dans des cultures de céréales et leur influence sur les pucerons ont été mentionnés par DE LA ROCQUE [654] :

- Hiver doux et printemps doux favorables à la multiplication des pucerons et des auxiliaires et conduisant à un contrôle des populations d'aphides ;
- Hiver rigoureux suivi d'un printemps froid entraînant l'élimination des principaux réservoirs d'aphides et de leurs parasites. Par la suite, les cultures peuvent être contaminées par des ailés vigoureux provenant de loin ;
- Hiver rigoureux mais bref réchauffement précoce. La multiplication des pucerons est abondante dès le mois de Mai et, par suite de l'absence de développement rapide des Entomophthora et des auxiliaires, ceux-ci sont peu abondants alors que les pucerons sont présents en quantité dès la floraison.

2.2. Coïncidence spatiotemporelles aphides - auxiliaires (cécidomyies, coccinelles, parasitoïdes chrysopes)

2.2.1. Fluctuations annuelles des cortèges aphidiphages

Parmi les aphidiphages rencontrés sur le clémentinier entre 2010 et 2012, ce sont les Chrysopidae (œufs, larves et adultes), des Coccinellidae (larves et adultes) et des larves de Cecidomyidae qui ont été majoritaires tandis que les autres catégories de prédateurs tels que les syrphes ont été peu rencontrées. Leurs fluctuations annuelles varient continuellement en fonction des mois et également en fonction des années mais sans décalage temporel annuel (Lag 0) entre les années comparées (2010/2011 et 2011/2012). De plus, le test de Wilcoxon a montré qu'il existe une variation au niveau de l'abondance d'une année à l'autre. Les effectifs augmentent au fil des mois en fonction des conditions climatiques clémentes et des ressources alimentaires. L'absence de fleurs dans les vergers suite aux pratiques anthropiques limite les lieux de refuges pour les adultes de Chrysopidae et Cecidomyidae. HANSKI [655] expliquent que la richesse spécifique des prédateurs dépend réellement de la présence de la proie. BOHAN et *al.* [656], expliquent que la présence de proies influence les agrégations des arthropodes ou des peuplements d'arthropodes.

2.2.2. Comparaison de la variation temporelle des aphides et leurs cortèges aphidiphages sur le clémentinier

Les résultats de coïncidence temporelle entre les populations d'aphides et leurs aphidiphages ont montré une absence de décalage entre l'activité des pucerons et celle des Coccinellidae et Cecidomyidae et un décalage significatif d'un mois des pucerons avec l'activité maximale des Chrysopidae au début du mois de Mai. La pression des parasitoïdes, quant à elle, a été décalée de 3 mois, ce qui coïncide avec le début du mois de Juillet. En 2011, une activité des parasitoïdes en retard par rapport aux Coccinellidae, Chrysopidae et Cecidomyidae a été observée puis la situation s'est inversée en 2012. En effet, ce sont les Cecidomyidae et Chrysopidae qui ont été détectées avec un retard d'un mois pour les Cecidomyidae et de 3 mois pour les Chrysopidae. La fluctuation des populations des proies et des prédateurs est synchrone ou asynchrone selon la

vitesse de développement de chacun [657]. Le rôle limitant des prédateurs sur les populations proies est évident dans beaucoup de cas. Il est confirmé par la pratique de la lutte biologique qui a réussi à contrôler plusieurs insectes ravageurs à l'aide de prédateurs ou de parasites, introduits ou indigènes [658].

Malgré la coïncidence temporelle entre les populations d'aphides et leurs aphidiphages, les pucerons ont continué à exploiter les ressources du clémentinier durant les trois poussées de sève. Ceci peut s'expliquer par le fait que la multiplication des aphidiphages a été moins importante que celle des pucerons, ce qui limite leur efficacité (sauf au cours de certaines années davantage défavorables aux aphides) IABLOKOFF-KHNZORIAN [659]. Une autre explication serait une stratégie de défense qui assure toujours la survie d'une partie de la population [659 ; 28]. En effet, selon ce dernier auteur, en plus de leurs moyens de défense chimique, les pucerons se protègent de la façon suivante :

- par la fuite, surtout en présence de larves jeunes de coccinelles encore moins mobiles que les pucerons,
- en déversant sur la tête du prédateur un liquide durcissant sécrété par leurs tubes abdominaux,
- par l'épaisseur de leurs téguments trop durs et écailleux chez certaines espèces pour être attaqués par les aphidiphages,
- par certaines dispositions protectrices. Le puceron se défend en effet mieux lorsqu'il est attaqué de front, ce qui l'incite à occuper sur la feuille des positions déterminées, compte tenu des voies de déplacement du prédateur qui, lui, suit les nervures.

Les pucerons possèdent donc des stratégies défensives comportementales individuelles. Ils peuvent en plus, répondre à des stratégies de défense de groupe, lesquelles sont régulées principalement par les phéromones d'alarme [660 in 661] et l'association avec les fourmis [661]. Le regroupement en colonie constitue également une force défensive par le fait qu'il induit un effet de rencontre et de dilution [661].

La variation temporelle des abondances des différents stades biologiques d'*Aphis spiraecola* et *A. gossypii* par rapport à leurs prédateurs rencontrés durant la période d'étude (2010 à 2012) a montré des corrélations significatives entre les

stades biologiques des deux espèces aphidiennes et les stades larvaires des coccinelles et des cécidomyies. Ces corrélations ont été les plus élevées en 2011 pour tous les stades biologiques des deux espèces de pucerons avec des valeurs supérieures à 0,5. HEMPTINNE et *al.* [662] a montré que l'abondance des populations aphidiphages est en relation avec le niveau des ressources trophiques. FRANCIS et al [358] ont noté que les populations entomophages sont corrélées à l'abondance des aphides. Pour une régulation efficace des pucerons par un effet top-down, les stratégies de ponte des coccinelles ne permettent pas d'obtenir une mortalité densité-dépendante [663]. En ne pondant qu'un nombre limité d'œufs dans les jeunes colonies de pucerons qui ne sont pas encore exploitées par d'autres congénères, les coccinelles fournissent difficilement une réponse numérique agrégative [664]. Les coccinelles ont en effet un taux de croissance largement inférieur à celui de leur proie puisque plusieurs générations de pucerons se succèdent au cours du développement d'une larve de coccinelle [28]. Les coccinelles sont ainsi limitées dans leur réponse car les femelles arrêtent de pondre lorsqu'elles détectent des traces déposées par des larves [664]. Ce type de comportement n'est pas propre aux coccinelles mais à tous les prédateurs de pucerons et, d'une manière générale, à tous les consommateurs de ressources limitées dans le temps ou dans l'espace [665].

Les prédateurs sont opportunistes, c'est-à-dire qu'ils capturent différentes catégories de proies compatibles avec leur régime alimentaire sans pratiquement jamais se spécialiser dans la capture d'une espèce précise. Le risque serait en effet une mauvaise régulation des effectifs des populations de la proie si elle devient spécifique. L'efficacité potentielle dans la régulation des populations de ravageurs réside dans le fait que les prédateurs doivent être capables de développer leurs capacités de prédation sur de faibles effectifs et doivent intervenir précocement dans la chronologie de la pullulation des phytophages proies [666]. L'efficacité des prédateurs est estimée en comparant l'évolution des populations aphidiennes à celle de ces auxiliaires. Ces derniers sont déclarés efficaces quand une augmentation de leur population est corrélée à une chute significative des populations des pucerons. Cependant, cette interprétation causale peut-être erronée dans la mesure où d'autres facteurs du milieu peuvent simultanément participer à la réduction des populations de pucerons.

3. Composition de l'arthropodofaune auxiliaire associée au clémentinier dans la Mitidja centrale

La distribution des espèces animales est rarement uniforme et continue dans l'espace et le temps et l'identification des facteurs influençant ces variations est devenue une préoccupation majeure en écologie [667]. Les facteurs conditionnant la distribution horizontale et ou verticale des arthropodes sont divisés en deux catégories : les facteurs biotiques comme la capacité de dispersion [668] ou encore la compétition inter et intra- spécifique et les relations proie - prédateur [669]. De plus, la composition chimique des tissus des plantes varie avec l'âge ce qui peut avoir une incidence supplémentaire sur la physiologie des insectes [670]. Enfin, les facteurs abiotiques comme le climat, la nature du sol, l'altitude ou encore la ressource trophique conditionnent le flux de matière et d'énergie dans la chaîne trophique [671].

Les auxiliaires qui consomment les aphides utilisent indirectement la source alimentaire végétale. Si la plante hôte influence la biologie des ravageurs phytophages, elle peut également influencer la taille, la mortalité, la durée de développement et la densité des prédateurs entomophages [672]. La réponse de la plante aux contraintes environnementales est donc décisive dans l'organisation trophique comme un trait fonctionnel mais aussi comme un trait d'effet [673 ; 674 ; 675]. Les traits d'effet nommés ainsi par leur aptitude à influencer l'écosystème dans lequel ils s'insèrent. Ceux-ci permettent non seulement de retracer l'histoire écologique et évolutive des espèces, mais peuvent aussi potentiellement servir à prédire la réponse ou l'effet de la présence d'une espèce quant à son environnement [675]. Ces traits d'effet influencent les réseaux trophiques par leurs interactions avec l'entomofaune, [676] et l'activité des auxiliaires [356].

3.1. Aspects qualitatif et quantitatif de l'arthropodofaune bénéfique

3.1.1. Analyse de l'inventaire quantitatif

L'étude des communautés d'auxiliaires est un domaine d'actualité à intérêt pratique dans la lutte intégrée. Ces arthropodes s'attaquent aux nuisibles et

participent à protéger la santé du verger par le réseau trophique naturel de l'agro-écosystème qui se met en place. Le cortège d'ennemis naturels se compose d'espèces appartenant à des ordres variés [677].

3.1.1.1. Richesse et abondance des taxons

La richesse d'un peuplement dépend du niveau des ressources trophiques disponibles et des conditions climatiques des biotopes d'étude [678 ; 679].

Les résultats auxquels nous avons abouti ont permis de caractériser globalement les communautés de l'arthropodofaune auxiliaire dans les vergers étudiés de la région de la Mitidja centrale durant la période 2012-2013. Au total, 2776 individus ont été collectés et appartiennent à 55 espèces réparties dans 25 familles et 8 ordres, représentés essentiellement par des Hymenoptera, des Coleoptera et des Aranea.

Nous remarquons toutefois, que l'ordre Hymenoptera est le plus représenté avec 1246 individus répartis en 18 espèces (33 % du nombre total d'espèces) JACQUEMOND [680] a montré l'importance des hyménoptères parasitoïdes dans la lutte contre de nombreuses espèces, notamment chez les Coccinellidae, les acariens, les thrips et les pucerons. D'après FEENER et BROWN, [681], la majorité des parasitoïdes appartient à l'ordre des hyménoptères avec environ 50000 espèces décrites.

Les Coléoptères identifiés dans notre étude sont représentés par 17 espèces (31 % du nombre total d'espèces) pour un effectif total de 268 individus. Les Coléoptères constituent parmi les insectes les plus abondants en quantité et en diversité avec environ 400 000 espèces décrites [658 ; 682 ; 683]. Leur diversité en formes et couleurs [684 ; 685 ; 686] ainsi que la facilité de leur récolte et de leur conservation [438 ; 687] permet de pouvoir les déterminer avec une certaine fiabilité malgré leur grande diversité.

Nous avons rencontré en vergers d'agrumes des araignées représentées par 12 espèces au total (22 %). En tant que polyphages, ces arthropodes sont abondants dans les habitats agricoles [688] et présentent une série d'adaptations qui leur permettent d'attendre la fin des périodes de faible abondance des proies

plutôt que de se disperser comme certains autres groupes d'arthropodes prédateurs [689 ; 690]. Il est supposé que les araignées jouent un rôle majeur dans la répression des populations d'insectes ravageurs [691 ; 692]. Ainsi, les araignées errantes peuvent consommer 20 pucerons / m² / jour selon NYFFELER et BENZ [693 ; in 694]. Par ailleurs, les araignées sont aussi à l'origine d'une prédation intra-gilde [418 ; 695 ; 696] qui représente un risque de mortalité plus important pour les syrphes [639].

Les résultats de l'inventaire indiquent la présence importante de Diptera avec 629 individus, soit une abondance relative de 23 % (représentée par 2 espèces). Par ailleurs, l'ordre de Neuroptera présente une abondance relative de 19 % (avec 2 espèces). AROUN [29], BENOUELLA-KITOUS et *al.*, [697] et SAHARAOUI et HEMPTINNE [24] ont également noté leur présence dans plusieurs vergers d'agrumes.

3.1.2. Analyse de l'inventaire qualitatif (trophique et écologique)

3.1.2.1. Statut alimentaire

Cette répartition prend en considération le type de régime alimentaire des adultes bien qu'il soit important de signaler qu'il n'existe pas de spécialisation trophique absolue dans la nature et que les chaînes trophiques peuvent être relativement complexes selon l'influence directe ou indirecte qu'exerce l'environnement sur le comportement trophique de chaque espèce [698]. Le régime alimentaire des larves et des adultes est identique pour la plupart des Hémimétaboles tandis qu'il est différent pour la plupart des Holométaboles [626 ; 658 ; 699].

Nous avons pu distinguer 5 grands ensembles parmi les 55 espèces identifiées. Notre inventaire a révélé une dominance des aphidiphages prédateurs et parasitoïdes représentés par 13 espèces (38 %) réparties en 8 familles et 4 ordres (Coleoptera, Diptera, Neuroptera, Hymenoptera). Nos résultats sont très proches de ceux de ROCHAT et *al.* [700] et KITOUS et LADDAOUI [222] qui, en travaillant sur les aphides des agrumes, ont recensé respectivement 13 et 10 espèces aphidiphages réparties en quatre ordres : Coleoptera, Heteroptera,

Diptera et Neuroptera. Les 8 familles que nous avons répertoriées sont les Coccinellidae (prédominantes), Staphilinidae, Cecidomyiidae, Syrphidae, Chrysopidae, Aphelinidae, Encyrtidae, Pteromalidae. En Mitidja et sur la même culture, AROUN [29] a noté la présence de syrphes, de coccinelles et de chrysopes. BENOUFELLA-KITOUS et *al.* [119 ; 701] a détecté en verger de *Citrus* la présence des Anthocoridae, des Syrphidae, des Chrysopidae et des Coccinellidae avec une prédominance de ces dernières. SAHARAOUI et HEMPTINNE [24] ont également montré que le cortège des aphidiphages sur agrumes en Mitidja est représenté par 12 espèces réparties dans 6 familles dont la majorité correspond aux familles que nous avons mises en évidence : les Coccinellidae, les Cecidomyiidae, les Chrysopidae, les Syrphidae, les Anthocoridae et les Nutilidae. Les observations de ces auteurs montrent que l'espèce dominante en verger d'agrumes est *Scymnus (Pullus) subvillosus* (Coccinellidae). C'est aussi la seule espèce aphidiphage qui se reproduit et développe une descendance viable sur agrumes.

Les prédateurs aphidiphages (Syrphidae, Coccinellidae et Chrysopidae) sont largement présents dans nos vergers d'étude. Les parasites et parasitoïdes sont également représentés par plusieurs familles d'Hyménoptères [702]. Leur rôle dans la régulation des effectifs de populations d'aphides a été souvent démontré par plusieurs auteurs tels IPERTI [703] ; MILAIRE et *al.* [704] ; LYON [705] ; COLIGNON et *al.* [706] ; et CHOUINARD et *al.* [450]. Les observations de BEN HALIMA-KAMEL et BEN HAMOUDA [221] ont permis de déduire que la richesse et la diversité des auxiliaires est importante dans nos vergers d'étude mais leur efficacité dans les conditions naturelles est négligeable du fait de leur apparition tardive et successive. De plus, la présence des fourmis peut limiter leur efficacité. Cependant, les 3 espèces de fourmis que nous avons détectées (*Camponotus sp.*, *Messor barbarus* et *Tapinoma nigerimum*) étaient en faible abondance, ce qui laisse penser que d'autres éléments contrôlent l'efficacité des auxiliaires. Selon SEKKAT [260], le contrôle des populations aphidiennes sur les agrumes est assuré à la fois par les prédateurs et les parasitoïdes. L'action prédatrice est réalisée par les coccinelles, les syrphes, les cécidomyies, les punaises et les chrysopes. Les deux espèces d'aphides que nous avons étudiées sur les clémentiniers représentent des proies potentielles pour les différents

entomophages que nous avons détectés mais les effectifs d'entomophages n'ont probablement pas été suffisants pour réduire de manière visible les populations de pucerons.

Les aleurodiphages (23,6 % de l'effectif total d'auxiliaires) sont représentés par trois espèces : un prédateur (*Clitostethus arcuatus*, Coccinellidae) et deux parasites (*Encarsia sp* et *Eretmocerus sp*, Aphelinidae) SAHARAOUI et HEMPTINNE [24] ont réalisé une étude sur la dynamique des communautés des coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) sur des agrumes et leurs interactions avec leurs proies dans la région de Rouïba en Mitidja orientale pendant 3 années consécutives (2003 à 2005). Ces auteurs ont obtenu des résultats différents car les aleurodiphages étaient plus faiblement représentés (en troisième position) et avec une seule espèce, *C. arcuatus*.

Le groupe de généralistes que nous avons identifiés comprend 20 espèces (21 % de l'effectif total des auxiliaires) et correspond à des espèces polyphages (araignées et fourmis) ainsi qu'à un hyperparasite. L'ordre des Aranea regroupe à lui seul 10 familles dont les plus importantes en effectifs sont les Salticidae et les Gnaphosidae. On trouve ensuite des Hymenoptera Formicidae (*Tapinoma nigerimum*, *Messor barbarus* et *Camponotus sp*), des Coleoptera Cantharidae (*Cantharis fusca*) et des Dermaptera Forficulidae (*Forficula auricularia*) qui sont d'après [707] d'actifs prédateurs omnivores dans les vergers de fruits à pépins. LICHOU et al [708] a noté que l'espèce *Forficula auricularia* serait un prédateur de pucerons mais qui pourrait aussi provoquer des dégâts parfois importants sur les fruits. Parmi les prédateurs polyphages, nous avons identifiés des Mantodea Mantidae (*Sphodromantis viridis*) et deux espèces d'Hemiptera Pentatomidae dont *Acrosternum fieberi*.

Les espèces polyphages se nourrissent de la matière organique animale et végétale sous différentes formes et peuvent de ce fait jouer un double rôle à la fois bénéfique et de destruction [658]. Un prédateur polyphage consomme plusieurs espèces de proies et l'importance de chacune varie selon sa disponibilité relative [709]. Un prédateur peut éliminer plusieurs proies durant sa vie, sa voracité étant un indice utile de son potentiel de répression. Ces caractéristiques influent sur la

dynamique des interactions numériques prédateur - proie et sur l'effet répresseur attendu de la manipulation d'un prédateur [710 in 709].

Les coccidiphages identifiés regroupent 14 espèces (15,95 %) réparties en 2 catégories : les prédateurs dans l'ordre des Coleoptera et les parasitoïdes dans l'ordre des Hymenoptera. La catégorie des prédateurs strictement coccidiphages comprend des Coccinellidae : *Cryptolemus montrouzieri*, *Nephus peyerimhoffi*, *Pharoscyrnus setulosus* et *Ryzobius lophantae*. La catégorie des parasitoïdes regroupe des Aphelinidae : *Ahytis chrysomphali*, *A. melinus*, *A. hispanicus*, *Metaphycus flavus*, *M. helvolus* et *Microterys cneus*. Par contre SAHARAOUI et HEMPTINNE [24], positionnent les coccidiphages en première position dans une étude qui a été faite en Mitidja orientale durant trois années à savoir 2003, 2004 et 2005. Elles sont représentées par au moins 8 espèces : *C. bipunctatus*, *L. lophantae*, *P. setulosus* et *M. mediterraneus*, *N. peyerimhoffi*, et *R. cardinalis*.

Enfin, les acariphages (1,1 %) sont faiblement représentés par seulement deux espèces : *Stethorus punctillum* (Coccinellidae) et *Semidalis aleyrodiformis* (Coniopterygidae). Ces résultats sont en accord avec ceux de SAHARAOUI et GOURREAU [711] qui ont réalisé un inventaire sur des Coccinellidae et leurs régimes alimentaires dans des vergers d'agrumes. En effet, les auteurs ont montré que les espèces acariphages n'étaient qu'occasionnellement détectées et représentées par une seule espèce, *Stethorus punctillum*.

Les Mymaridae parasitoïdes d'œufs des cicadellides sont les moins représentés dans notre échantillonnage. L'absence de données concernant cette catégorie dans des vergers d'agrumes de la région laisse supposer que ces parasitoïdes n'ont pas été détectés et qu'ils sont très rarement présents dans les vergers

3.1.2.2. Statut trophique

Les agrumes dans la région de Mitidja sont attaqués par plusieurs insectes (certains étant spécifiques des agrumes) appartenant à 6 ordres : Lepidoptera, Diptera, Acari, Thysanoptera, Hemiptera et Coleoptera avec entre autres les aphides, les cochenilles et les aleurodes comme consommateurs primaires. Les

consommateurs secondaires comprennent au total 38 espèces distribuées dans 7 ordres et 14 familles dont les plus importantes concernent les Coccinellidae et les Aphelinidae avec une abondance totale de 2631 individus. Les consommateurs tertiaires ne représentent que 5,2 % de tous les taxons bénéfiques inventoriés. Ce niveau trophique totalise un ensemble de 145 individus répartis en 14 espèces appartenant à 13 familles et 2 ordres. Parmi les consommateurs tertiaires, on retrouve surtout des Hyménoptères polyphages, des Formicidae ainsi que des Aranea. Chez les spécialistes, deux espèces d'Hyménoptères hyperparasitoïdes ont été recensées : *Syrphophagus aphidivorus* (Encyrtidae) et *Pachyneuron* sp. (Pteromalidae).

Plusieurs études ont été effectuées sur les ravageurs des agrumes et leurs cortèges auxiliaires AROUN, [29] ; BENOUFELLA-KITOUS et *al.*, [701] ; SAHARAOUI et HEMPTINNE , [24] ; BICHE, [487] et GUENDOOUZ BENRIMA et MAHDJOUBI, [712], afin d'expliquer les cohabitations entre les ravageurs et leurs prédateurs dans la même biocénose et la contribution de ces auxiliaires dans le maintien d'équilibre plus ou moins complet dans l'entomocénose des vergers d'agrumes (sur plusieurs variétés). Les inventaires de ces auteurs se sont arrêtés au niveau du genre et leurs résultats à ce niveau sont proches des nôtres avec des abondances un peu variables selon l'année et les conditions des vergers échantillonnés. Dans notre travail, nous sommes allés plus loin dans l'identification (jusqu'à l'espèce pour la très grande majorité de nos spécimens) afin d'affiner la caractérisation de la faune auxiliaire et de mieux préciser la place de chaque espèce au sein du réseau trophique. Cette étude plus poussée d'identification est importante pour mieux appréhender non seulement la biodiversité entomologique des vergers mais aussi la capacité ou non des vergers à supporter le niveau d'attaque des pucerons ravageurs.

Plus la diversité est grande, plus les liens trophiques entre les divers constituants d'une biocénose sont complexes car avec la complexification des chaînes alimentaires s'accroissent le nombre de cas de parasitisme, de commensalisme, de mutualisme et de symbiose [702]. A l'état naturel, il existe une étroite relation entre les différentes communautés d'espèces prédatrices présentes [696 ; 713 ; 414]. L'autorégulation qui se manifeste au sein d'une

biocénose naturelle nécessite la présence des éléments de tous les niveaux trophiques et en particulier d'une population avec un minimum d'hôtes phytophages pour assurer la survie des entomophages qui leur sont inféodés. Dans notre cas, malgré la présence de nombreux taxons d'auxiliaires, les populations de pucerons se sont largement développées dans nos vergers d'étude. Les liens trophiques formés dans ces biocénoses semblent perturbés et les auxiliaires n'arrivent pas à réguler les populations des ravageurs. Le manque d'efficacité de la faune auxiliaire est visible lorsqu'on regarde l'abondance des espèces qui est très faible pour un certain nombre d'entre elles.

L'effet de la diversité des niveaux trophiques supérieurs sur la stabilité des écosystèmes est traité dans différents travaux [714 ; 715, 716 ; 717] mettant l'accent sur le fait que les prédateurs généralistes peuvent être présents en permanence. L'importance des interactions entre divers niveaux trophiques ou au sein d'un même niveau trophique ont été rapportés par [717 ; 718 ; 719].

3.1.3. Analyse écologique du peuplement d'insectes récoltés dans les vergers agrumicoles dans la région de la Mitidja centrale

Différents coefficients classiques ont été utilisés pour quantifier l'importance écologique d'une espèce par rapport aux autres.

3.1.3.1. Evaluation de la biodiversité globale

Le concept de la diversité comporte deux notions qui doivent être considérées de façon simultanée : la première concerne le nombre d'unités systématiques présentes dans un milieu donné, il s'agit ici d'espèces auxiliaires. Cette mesure est jugée insuffisante par plusieurs auteurs [720] puisqu'elle ne permet pas de différencier des peuplements qui comporteraient un nombre d'espèces identique mais avec des fréquences relatives très différentes. Ici intervient la seconde notion qui se rapporte à la façon dont les individus des diverses espèces sont répartis au moment de l'échantillonnage. Nous avons donc calculé l'indice de diversité de Shannon et Weaver qui présente une valeur 2,461 bits, l'équitabilité qui est de 0,61 et l'indice Simpson qui a une valeur de 0,846.

Ces valeurs nous renseignent sur l'état d'un peuplement perturbé ou récemment installé qui se traduit par une diversité peu stable dans nos vergers agrumicoles.

Dans la mesure où l'indice de Simpson présente une valeur élevée, nous pouvons supposer que notre région présente un peuplement perturbé par les pratiques culturales et les conditions climatiques. ALLAL [721] explique qu'il y a une conversion des terres fertiles pour l'année 2015 : 30% des terres fertiles sont susceptibles d'être déclassées de leur vocation agricole pour permettre leur transfert à d'autres secteurs d'activité, comme l'industrie ou l'urbanisme.

L'essentiel de la protection des cultures en Algérie apparaît fondée sur l'usage de pesticides [722]. Un point important dans cette étude est celui de l'impact des traitements phytosanitaires utilisés de manière intensive pour contrôler les populations des ravageurs sur agrumes. En effet, lors d'une application d'insecticides, les insectes auxiliaires sont souvent éliminés en même temps que les insectes ravageurs. Durant notre période d'études, plusieurs matières actives ont été utilisées :

- En Juillet : Détaméthrine 125 mL / ha. La dose homologuée est de 500 mL / ha avec une DAR de 15 jours : mauvaise application faible dose
- En Août : Ultracidin 400 g / L (matière active METHIDATHION). La dose homologuée est de 500 mL / ha 100g / L avec une DAR de 21 jours : mauvaise application forte dose,
- En mai : Bifentherine 100 g / L avec une DAR de 21 jours.

La faible représentation des taxons d'auxiliaires fonctionnels dans nos vergers d'étude (Coccinelles, Diptères, prédateurs punaises prédatrices et pourrait donc être imputée au moins en partie aux interventions chimiques. Ainsi, en accord avec les observations de POINTEREAU et BRASILE [723]; DEBRAS [187], il a été montré que l'utilisation massive des pesticides de synthèse a un effet négatif majeur affectant sur plusieurs niveaux les peuplements des vergers. Plusieurs auteurs [724 ; 725 ; 726] ont également signalé l'effet néfaste des pesticides sur la faune auxiliaire. BOHAN et *al.* [656], expliquent que la présence de proies influence les agrégations des arthropodes ou des peuplements d'arthropodes (auxiliaire). Suite à l'utilisation des pesticides, la majorité des

insectes inventoriés sont qualifiés d'accidentels malgré la présence des ravageurs dans les vergers d'agrumes. Cette qualification d'espèce accidentelle fait suite au calcul d'indice écologique que nous avons réalisé.

3.1.3.2. Constance des espèces

L'analyse du statut écologique des taxons auxiliaires inventoriés au sein des communautés bénéfiques agrumicoles a révélé une prévalence d'espèces accidentelles. En raison de leur faible abondance locale ou de leur distribution limitée, les espèces rares sont classées comme accidentelles et considérées comme secondaires ayant une influence mineure sur le fonctionnement des écosystèmes. Le rôle fonctionnel des espèces rares est cependant unique [727]. En effet, les milieux caractérisés par un grand nombre d'espèces rares ont une biodiversité élevée. Les divers taxons bénéfiques accidentels rencontrés dans les vergers d'agrumes prospectés traduisent donc leur importance fonctionnelle au sein de communautés bénéfiques équilibrées et diversifiées.

3.1.3.3. Analyse de la fréquence d'abondance et d'occurrence des insectes recensés dans les vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale

Nous avons inventorié différents auxiliaires prédateurs et parasitoïdes dans la région agrumicole de la Mitidja centrale durant la période 2012-2013. Nous avons constaté une fréquence importante dans nos relevés de *Chrysoperla carnea* (100 %), *Pharoscymnus setulosus* (58 %), *Chilocorus bipustulatus* (50 %) et *Scymnus subvillosus* (50 %) qui jouent un rôle majeur dans le fonctionnement de l'écosystème en contrôlant le flux d'énergie. A l'opposé, d'autres espèces sont rares avec une fréquence faible comprise entre 8 et 16 % : *Aphytis hispanicus*, *Encarsia* sp., *Eretmocerus* sp., *Metaphycus flavus*, *Metaphycus helvolus*, *Cantharis fusca*, *Brumus quadrimaculatus*, *Coccinella algerica*, *Cryptolaemus montrouzieri*, *Nephus peyerimhoffi*, *Psyllobora vigintiduopunctata*, *Forficula auricularia*, *Acrosternum fieberi*, *Aphytis melinus*, *Microterys cneus*, *Syrphophagus aphidivorus*, *Pachyneuron aphidis* et *Sphodromantis viridis*. Ces espèces sont classées comme accidentelles mais ne sont pas à négliger car elles pourraient avoir un rôle fonctionnel important dans la diversité.

La synchronisation des insectes avec le développement de l'hôte joue un rôle clé dans la survie et la dynamique de certaines populations [728 ; 729]. Par ailleurs, LANDIN [730], HANSKI [655], FRONTIER, [432], et HONEK [731] font remarquer que la composition des communautés est en relation avec les changements de température et d'humidité et le microclimat des différentes saisons affectant leur développement et leur activité. Le stress hydrique est un facteur additionnel souvent associé aux autres causes de mortalité. Selon MALAUSA et *al.*, [732], des facteurs écologiques limitent l'acclimatation d'un insecte dans un nouveau biotope, notamment l'absence d'un mécanisme d'arrêt de développement convenable lui permettant de survivre pendant les périodes défavorables sur le plan climatique ou le manque de synchronisation avec ses hôtes ou ses proies. La protection des auxiliaires au sein des agrobiocénoses rassemble des pratiques modifiant le milieu pour garantir non seulement la survie et l'efficacité des entomophages introduits mais aussi celle de tous les ennemis naturels existants [733]. La combinaison entre conditions climatiques et pratiques agricoles (notamment l'utilisation de pesticides) influence également le comportement des auxiliaires [734].

D'après les observations de captures saisonnières réalisées, des complexes biocénétiques de parasitoïdes primaires et secondaires se distribuent différemment dans les parcelles. Nous avons pu distinguer une similitude d'apparition des Aphelinidae et des Encyrtidae parasitoïdes des cochenilles en étroite relation avec les populations de leurs proies hôtes, en l'occurrence les diaspines et l'aleurode floconneux qui étaient les plus représentés sur le clémentinier. Selon BARNEA et *al.*, [735], 13 espèces d'Aphidiidae, qui agissent en tant que parasitoïdes primaires, et 8 espèces d'hyperparasitoïdes, faisant partie de la famille des Charipidae, Encyrtidae, Ceraphronidae et Pteromalidae ont été identifiées à partir de momies de pucerons parasités. PINTUREAU, [736] a signalé dans son ouvrage que trois hyménoptères parasitoïdes (*Amitis spiniferus* – Platigastridae, *Cales noacki* et *Eretmocerus sp* – Aphelinidae) ont été utilisés contre les larves de l'aleurode des *Citrus*, *Aleurothrixus floccosus* d'origine néotropicale. Les premiers lâchers avaient été effectués en Californie en 1970 et les populations ont été réduites de plus de 95 %. Au Maroc, BENASSY et EUVERTE, [737] avaient introduit *Aphytis melinus* à partir de 1966 pour lutter

contre deux des Cochenilles des agrumes : le « Pou rouge » a pu être jugulé sans problème et le « Pou de Californie » a nécessité des lâchers répétés d'*A. melinus* pour limiter l'invasion de la cochenille.

Vue l'abondance de pucerons dans nos verges d'agrumes, nous avons étudiés la présence et la diversité des parasitoïdes. Nos résultats ont mis en évidence essentiellement des Myrmidae des genres *Gonatocerus*, *Anagrus* et *Alaptus* ainsi que des Pteromalidae du genre *Pachyneuron*. HASANI et MADJDZADEH [738] ont réalisé un inventaire sur toute la région Nord-Est d'Iran et ont montré que les Pteromalidae et Encyrtidae étaient les plus importantes familles de parasitoïdes secondaires récoltés à partir de momies de pucerons parasitées. Le genre *Alaptus* [739] est principalement un parasitoïde oophage de Psocoptères. Certains auteurs ont suggéré que l'association de ce Myrmidae aux populations de Coccidae est due au fait que les œufs de Psocoptères existent fréquemment dans les colonies de ces Homoptères ravageurs [740]. LABORDA CENJOR, [741] ont comparé l'abondance et la biodiversité des arthropodes auxiliaires entre des parcelles des cultures biologiques et conventionnelles dans les verges d'agrumes et ont observé la présence des *Metaphycus flavus*, *Aphytis melinus*, *Stethynium triclavatum*, *Cales noacki*, *Syrphophagus aphidivorus*, *Anagrus atomus* et *Alaptus spp.* Ces espèces semblent être plus abondantes dans la culture écologique que dans la culture conventionnelle mais sans différences significatives.

Les insecticides ont un effet direct ou différé sur les Hyménoptères parasites. Toutefois, le traitement insecticide ne supprime pas l'action des Hyménoptères parasites qui continuent à limiter les ravageurs quand l'insecticide n'est plus efficace. L'utilisation de pesticides chimiques affecte plusieurs comportements et aspects du cycle de vie des arthropodes, tels la mobilité, l'efficacité de recherche, la fertilité, la fécondité, l'oviposition, la longévité et le temps de développement, ce qui a pour conséquence des modifications des interactions entre le ravageur et la plante mais aussi entre le prédateur et sa proie [742]. L'utilisation de pesticides à large spectre d'action engendre des instabilités dans les populations de prédateurs ce qui a pour conséquence d'augmenter les populations des espèces de phytophages [742]. En outre, la consommation de proies contaminées avec un

produit chimique peut engendrer différents niveaux de mortalité du prédateur dépendant de la toxicité du produit utilisé, de la dose appliquée et de la durée d'exposition. Le retard d'apparition des parasitoïdes ou leur faible abondance dans les parcelles traitées peut s'expliquer entre autres par un effet répulsif éventuel des insecticides, ou une action du produit sur les parasitoïdes *via* son action sur l'hôte proie.

Les parasitoïdes, souvent inféodés à une espèce, sont moins efficaces sur les plantes faiblement infestées qui peuvent alors servir de refuges pour la croissance des ravageurs [230 ; 743]. La distribution initiale hétérogène des proies hôtes conduit les parasitoïdes à être plus efficaces [744]. Les parasitoïdes se présentent comme de bons auxiliaires de par leur capacité à repérer de faibles densités d'hôtes, leur spécificité parasitaire et leur synchronisme saisonnier avec leurs hôtes [745]. Dans des paysages contrastés ou en partie lié aux pratiques agricoles, les traits d'histoire de vie, le fonctionnement, et la capacité de dispersion des parasitoïdes peuvent faire face à des effectifs et des distributions spatiales variables de leurs hôtes proies [734]. Ainsi le succès du parasitisme dépend d'une part de la capacité des femelles parasitoïdes à localiser leurs hôtes, et d'autre part de la capacité des larves de parasitoïdes à éviter la réponse immunitaire des hôtes [746 ; 747].

3.2. Distribution temporelle de l'arthropodofaune agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.

3.2.1. Diversités temporelles

Durant la période 2012-2013 dans l'ensemble de vergers, nous avons construit une courbe de l'évolution temporelle comparée des richesses spécifiques et des diversités communauté de l'arthropodofaune globale. Ces deux paramètres vont dans le même sens et présentent les mêmes pics. La richesse spécifique présente 3 pics : vers la mi-Août (18 espèces inventoriées), entre fin Novembre et fin Décembre (une quinzaine d'espèces) puis en Mai de l'année suivante (25 espèces). FRONTIER, [432] explique que les variations quantitatives et qualitatives des peuplements sont largement dépendantes de phénomènes internes, historiques et dynamiques.

Au cours de l'année 2012-2013, nous avons constaté que le climat saisonnier était un facteur important agissant sur la densité des insectes. L'évolution, la succession et l'abondance des espèces étaient marquées par une fenêtre temporelle de leur activité qui était maximale en Mai et Juin, en relation avec l'évolution et la qualité du flux de sève et la disponibilité des proies hôtes aussi bien pour les espèces bénéfiques polyphages que pour les espèces spécifiques aux ravageurs d'agrumes. Généralement, c'est au printemps (période de floraison des plantes) que les différents groupes d'insectes recensés connaissent les fréquences d'abondance les plus élevées [34]. A cette période, la végétation est abondante et les températures sont favorables au développement et à l'activité de la plupart des insectes [748]. Nos résultats montrent que l'abondance des insectes commence à régresser en Août et durant l'automne, jusqu'en Novembre. Ceci peut être expliqué par la disponibilité moindre et la variabilité de la qualité des ressources alimentaire qui, d'après HUGHES et WALKER [749], déterminent le développement des insectes. L'activité des insectes est nulle en hiver sauf pour quelques espèces des araignées et coïncide avec l'entrée en diapause de la majorité des insectes, sans oublier qu'en hiver, les conditions climatiques sont défavorables [750 ; 751] et réduisent l'abondance des insectes en éliminant les individus qui n'ont pas réussi à trouver des sites d'hivernage favorables [658].

De même, LANDIN [730] et HANSKI [655] ont noté que la composition des communautés est en relation avec les changements de température et d'humidité des différentes saisons qui affectent leur développement et leur activité. Différents facteurs influencent les agrégations des arthropodes ou des peuplements d'arthropodes [432] : la distribution des différents habitats SOTHERTON, [752], le microclimat HONEK, [731] ou encore la présence de proies [656].

Par ailleurs, les populations des ravageurs pourraient être influencées par les variations climatiques de température et de pluviométrie caractéristiques de la région d'étude où le facteur température jouerait un rôle limitant. Le climat régional agit en effet comme facteur favorable limitant l'abondance numérique des populations [702, 753]. Nous avons noté des températures élevées pendant la

saison estivale (T_{\max} 36,8°C et T_{\min} 20,45°C) qui pourraient influencer les activités biologiques de la plante et des insectes ravageurs et auxiliaires [754, 755].

La consommation totale de phytophages par les prédateurs décroît également avec l'augmentation de la température en raison du raccourcissement de la durée du développement [649 ; 756]. Cette diminution pourrait toutefois être compensée par la réponse numérique des prédateurs du fait de la migration ou de l'augmentation du nombre de générations par année [756]. Les précipitations réduisent fortement la capacité de déplacement et de recherche des prédateurs. De plus, les prédateurs sont plus sensibles aux précipitations que leurs proies ce qui diminuera leur impact si les précipitations augmentent [756].

La règle taille - température (RTT) (Temperature Size Rule) indique que les organismes ectothermes atteignent une taille plus grande lorsqu'ils se développent à basse température. Cette plasticité phénotypique induite par la température influence plusieurs traits d'histoire de vie comme la fécondité, la longévité, les réserves énergétiques, la taille des gamètes et les comportements associés à l'acquisition de ressources et à la reproduction. Chez les parasitoïdes, la RTT a été démontrée chez plusieurs espèces toutes koïnobiontes, c'est-à-dire des espèces dont l'hôte continue à se nourrir et à croître durant le développement du parasitoïde. Parmi les mécanismes suggérés pour expliquer la RTT, certains sont liés à des contraintes biophysiques au niveau cellulaire alors que d'autres se basent sur le fait qu'à basse température l'organisme prend plus de temps à se développer et donc a plus d'opportunités d'acquérir des ressources et donc d'atteindre une taille plus grande. L'importance des mécanismes liés à l'acquisition des ressources pourrait être établie en étudiant l'impact de la RTT sur le développement de parasitoïdes idiobiontes qui tuent ou paralysent définitivement leur hôte au moment de la ponte. Le parasitoïde immature a donc accès à une quantité de ressource fixe. [757].

3.2.2. Activité temporelle des coccinelles

L'activité des coccinelles a été étudiée car ce groupe présente la plus grande richesse en espèces dans nos relevés (15 espèces répertoriées) et il est très représenté dans toute la communauté de l'entomofaune bénéfique. Ces

prédateurs sont davantage présents durant la période printanière et estivale. On peut remarquer en effet que la plupart des espèces ont un pourcentage d'activité maximale entre Avril et Août. Les coccinelles suivantes sont connues comme agents de régulation sur agrumes : *Scymnus subvillosus* Goeze, *S. apetzi* Mulsant, *S. rubromaculatus* Goeze, *C. septempunctata*, *A. bipunctata* et *A. decempunctata* [758]. Parmi elles, l'espèce *S. subvillosus* est commune avec nos relevés mais elle est insuffisante à elle seule pour réguler les populations de pucerons dans nos vergers.

La période d'activité d'*Adonia variegata* est courte et repose essentiellement sur les mois d'Avril et Mai. D'autres espèces ont également une période d'activité très courte concentrée sur un seul mois comme *Coccinella algerica* en Mai, *Cryptolaemus montrouzieri* et *Psyllobora vigintiduopunctata* en Juin ou *Nephus peyerimhoffi* en Août. La régulation des populations de ravageurs est d'autant plus efficace que l'intervention des prédateurs intervient précocement dans la chronologie de la pullulation des phytophages. La prolifération des ravageurs d'agrumes (pucerons et cochenilles) est généralement observée entre Avril et Mai. Dans notre étude réalisée de 2010 à 2012, nous avons obtenu une évolution similaire. Certaines coccinelles comme *Adonia variegata* et *Coccinella algerica* apparaissent en même temps avec les infestations de cochenilles et de pucerons. Il y a donc ici une synchronisation entre auxiliaires et ravageurs mais les autres espèces de coccinelles sont en retard par rapport aux fortes infestations de ravageurs constatées sur les agrumes. Ces deux espèces (*A. variegata* et *C. algerica*) doivent également être capables de développer leurs capacités de prédation sur de faibles effectifs de la proie [666]. En effet, ce paramètre est très important pour déterminer les espèces de coccinelles qui peuvent éventuellement affronter les premières pullulations des ravageurs des agrumes (pucerons, cochenilles) [24]. L'abondance et l'activité des prédateurs Coccinellidae aphidiphages *C. algerica* et *H. variegata*, du prédateur acariphage *Stethorus punctillum*, et du prédateur aleurodiphage *Clitosthetus arcuatus* est favorisée par des irrigations estivales effectuées dans les vergers qui ont favorisé la disponibilité des proies ravageurs notamment les pucerons qui se sont développés grâce à des poussées rapides de sève [24]. Le contraire se produit lorsque les vergers sont

complètement abandonnés, provoquant ainsi un retard dans l'arrivée des poussées de sève et une rareté de la nourriture [759].

En parallèle, d'autres espèces comme *Chilocorus bipustulatus* et *Pharoscymnus setulosus* sont davantage représentées temporellement mais avec une faible moyenne d'activité qui ne dépasse jamais 40 %. Selon SAHARAOUI et GOURREAU, [711] les plus importantes des tribus des coccinelles aphidiphages sont les Coccinellinidae. L'abondance des prédateurs Coccinellidae a été favorisée par la pratique des cultures intercalées et par les irrigations effectuées en été dans les vergers qui ont influencé notamment le développement des pucerons, lesquels se sont développés grâce à des poussées rapides de sève [24]. Les activités anthropiques, surtout la destruction massive des mauvaises herbes, représentent une réduction des lieux de refuges pour ces coccinelles. Ceci pourrait expliquer la baisse d'activité et d'abondance des coccinelles prédatrices (*Brumus quadrimaculatus*, *Coccinella algerica*, *Cryptolaemus montrouzieri*, *Nephus peyerimhoffi* et *Psyllobora vigintiduopunctata*). SAHARAOUI et HEMPTINNE, [24] mettent l'accent sur l'importance des cultures intercalaires qui peuvent héberger différentes coccinelles aphidiphages (*C. algerica* et *H. variegata*), acariphages (*Stethorus punctillum*) et aleurodiphages (*Clitostethus arcuatus*) et améliorer l'efficacité de prédation sur les ravageurs.

3.3. Analyse des assemblages trophiques

3.3.1. Analyse globale saisonnière des communautés

Les insectes participent à toute la gamme des processus naturels essentiels au maintien des systèmes biologiques [760]. Aussi, l'étude de l'évolution des populations entomofauniques dans divers biotopes présente-t-elle un intérêt en terme d'effet sur la biodiversité [761 ; 762 ; 763]. Dans les vergers étudiés, les principales espèces sont les aleurodes et les cochenilles en plus des aphides rencontrés au moment des périodes de poussée de sève. En 2012-2013, les principaux aphidiphages rencontrés ont été *Pachyneuron aphidis* (parasitoïde secondaire), *Aphelinus mali* (parmi les parasitoïdes) et *Scymnus subvillosus* (parmi les prédateurs) alors que les autres protagonistes capturés étaient des représentants entomofauniques spécifiques aux aleurodes des agrumes (*Clitostethus arcuatus*, *Eretmocerus sp.*, *Encarsia sp.* et *Cales noacki*) et aux

cochenilles des agrumes (*Aphytis* sp., *Metaphycus microterys* et *Rodolia cardinalis*)

L'assemblage hivernal se distingue par une communauté essentiellement composée d'espèces d'araignées prédatrices et dans une moindre mesure d'espèces de Coccinellidae. Chez ce groupe de prédateurs, on peut retrouver des taxons hivernants comme pour les aphidiphages *Brumus quadripustulatus* et *Scymnus mediterraneus*, des acariphages comme *Sthetorus punctillum* et le coccidiphage *Rhizobius lophantae*. Le pool printanier rassemble principalement des aphidiphages spécialistes et des polyphages parmi les Mantidae, Formicidae et des Aranea. L'assemblage estival regroupe des taxons prédateurs et parasitoïdes spécifiques aux espèces d'homoptères habituellement rencontrées sur les agrumes. L'assemblage automnal regroupe des polyphages parmi les Aranea, Chrysopidae et Coniopterygidae ainsi que des coccidiphages et des parasitoïdes d'œufs de cicadelles. La comparaison des assemblages saisonniers montre une richesse spécifique plus importante au printemps avec des différences significatives par rapport à l'été et l'automne. L'indice de Shannon présente également une diversité différente printemps et entre hiver / été et hiver / automne.

Les résultats montrent une variation des groupes trophiques en fonction de la saison. En effet, les généralistes sont plus diversifiés pendant le repos végétatif et la PS1 alors la diversité des aphidiphages est plus importante pendant la PSI et celle des coccidiphages l'est au cours de la PSIII. SAHARAoui et HEMPTINNE, [24] ont noté que la majorité de la richesse faunistique se produit aux dépens des ravageurs de la première poussée de sève.

Les assemblages saisonniers des espèces d'auxiliaires sont différents. Si les Aphelinidae comptent le plus grand nombre de représentants, les autres auxiliaires, en l'occurrence les hyperparasitoïdes, sont sous-représentés mais leur impact avec celui des cécidomyies jouerait vraisemblablement un rôle limitatif non négligeable des populations aphidiennes.

Il semblerait donc que le paysage des vergers soit perçu et utilisé de manière différente par les espèces généralistes et spécialistes. Ces facteurs

(température saisonnière, l'enherbement, disponibilités des ravageurs) n'agissent pas de la même façon [764 ; 765 ; 766 ; 767 ; 768]. En effet, un facteur très déterminant pour la richesse spécifique d'un groupe semble chaque fois peu ou pas déterminant pour celle de l'autre. Cependant, la diversité du paysage améliore la connectivité entre les différents groupes trophiques [769]. Par contre, à la différence des espèces spécialistes, les généralistes doivent utiliser plusieurs ressources différentes.

Toutes les études sur l'organisation des communautés s'accordent sur le fait que la structure de ces communautés et sa diversité dépendent fortement de l'histoire évolutive des espèces impliquées [770 ; 771]. Les individus formant ces populations ne sont pas tous situés au même endroit et n'ont pas une probabilité égale d'interaction avec tous les autres membres de leur population. Ils sont plutôt distribués sur un territoire, souvent fragmenté ou encore hétérogène, et leur capacité de déplacement est limitée. On reconnaît maintenant que la structure spatiale des interactions écologiques influence la dynamique des populations et des communautés au même titre que les taux moyens de naissance et de mortalité et que la compétition et la prédation [772].

3.3. 2. Diagramme rang fréquence des communautés fonctionnelles

Au sein des communautés trophiques respectives, l'ordre d'arrivée des espèces semble différent, ce qui peut être attribué à une arrivée des assemblages trophiques en cascade, en relation avec différents facteurs environnementaux, notamment des facteurs liés à la disponibilité des proies ravageuses et aux compétitions interspécifiques des guildes de taxons bénéfiques.

Les résultats montrent une variation dans l'ordre d'arrivée de la guildes des aphidiphages particulièrement riche en représentants. Elle est constituée d'au moins 12 familles : les *Coccinellidae* [28], *Carabidae* [773], *Chrysopidae* [774], *Syrphidae* [775], *Cecidomyiidae* [776], *Nabidae*, *Reduviidae*, *Anthocoridae* et *Lygaeidae* [777], *Pentatomidae* [778], *Thomisidae* [695], *Formicidae* [779]. SMAILL *et al.* [780] ont montré que lorsque l'une des deux espèces *A. decempunctata* ou *C. septempunctata* intervient avec une autre espèce prédatrice telle que *C. carnea*, *E. balteatus* ou *A. aphidimyza* sur *T. aurantii*, l'impact sur la colonie de

pucerons diminue et cela serait dû au phénomène de prédation intraguilde [418 ; 781]. De plus, la présence de *C. carnea* semblerait également diminuer l'effet de régulation de la coccinelle *A. decempunctata*. *A. aphidimyza* permettrait quant à elle une réduction de 65 % des populations de pucerons [782]. L'impact des coccinelles dans l'élimination des colonies de *T. aurantii* est plus important par rapport à celui d'*E. balteatus*. Les mêmes résultats ont été déjà rapportés par MICHAUD [639] sur *T. citricida*.

SAHRAOUI et al. [785] explique que sur les agrumes, les compétiteurs des coccinelles aphidiphages sont nombreux. Une forte compétition peut s'observer entre les coccinelles d'une part, et les Aphelinidae, les Cecidomyiidae, les Anthocoridae, les Syrphidae et les Chrysopidae d'autre part. Nos résultats ont montré que chez les prédateurs, la coccinelle *S. subvillosus* et la cécidomyie *A. aphidimyza* se succèdent après les parasites. Ils sont suivis dans l'ordre par l'Anthocoridae *A. nemoralis*, le chrysope *C. carnea* et le syrphe *E. balteatus*. Ces deux dernières espèces interviennent tardivement vers début Mai sur les colonies de pucerons de la poussée de sève estivale. De nos résultats, il ressort donc qu'une certaine organisation réside dans l'utilisation de la ressource alimentaire entre les aphidiphages. Néanmoins, les coccinelles restent les prédateurs qui dominent et profitent amplement de la nourriture.

Selon ARIM et MARQUET [418], LUCAS, [779], FRECHETTE *et al.* [781], la structure d'âge de la colonie aphidienne influence l'intensité de la prédation intraguilde aphidiphage. De nombreux facteurs tels que la taille relative des protagonistes, leur mobilité, leur spécificité alimentaire, leur moyen d'attaque et de défense peuvent influencer l'issue de l'interaction entre deux prédateurs [775 ; 779]. La présence de pucerons âgés plus mobiles augmente la sensibilité des cécidomyies à la prédation par les chrysopes. Des individus plus larges sont capables de combattre plus longtemps que les petits car ils possèdent de plus larges mandibules et ont des réserves énergétiques proportionnellement plus importantes [784 ; 785].

LUCAS [779] présente la prédation intraguilde comme étant soit nutritionnelle en raison de gains nutritionnels importants associés à la

consommation de la proie intragilde, soit compétitive ou protective en éliminant un compétiteur potentiel.

L'augmentation du nombre de proies extragildes diminue généralement la probabilité de rencontre des prédateurs et, par conséquent, la fréquence des interactions intragildes [786]. Cette diminution est d'autant plus marquée lorsqu'attaquer la proie intragilde représente un risque pour le prédateur intragilde [779]. En revanche, lorsqu'il est plus avantageux de consommer la proie intragilde que la proie extragilde, cet effet est atténué car le prédateur intragilde cherche activement la proie intragilde.

Les coccidiphages regroupent 14 espèces qui se suivent différemment dans le temps. PSII et repos végétatif ont la même richesse spécifique mais avec un ordre d'arrivée et une abondance d'espèces différents. Nous avons observé l'arrivée de *Rodolia cardinalis*, *Chilocorus bipunctatus*, *Pharoscymnus setulosus* et *Nephus peyerimhoffi* en PSII alors que les 4 espèces présentes pendant la période de repos végétatif sont *Pharoscymnus setulosus*, *Chilocorus bipustulatus*, *Rodolia cardinalis* et *Rhyzobius lophantae*. Les coccidiphages présents durant ces deux périodes appartiennent aux Coccinellidae.

SAHARAOUI et al. [783] ont indiqué que les coccinelles de grande taille, représentées par les espèces *Chilocorus bipustulatus* et *Rodolia cardinalis*, sont les premières à apparaître dans un verger de la Mitidja avec un décalage temporel de 8 jours par rapport aux espèces de petite taille (*Pharoscymnus setulosus*, *Rhyzobius lophantae*, *Rhyzobius chrysomeloides*, *Nephus peyerimhoffi*). Les adultes de ces coccinelles ont été observés vers le début du mois de Mars suite à l'amélioration des conditions climatiques. Les petites coccinelles, en l'occurrence *P. setulosus* et *N. peyerimhoffi*, ont rejoint le verger à partir de la deuxième décade du mois d'Avril. Les *R. lophantae*, avec les autres coccidiphages inventoriés dans nos vergers interviennent un peu plus tard.

3.3.3. Similitudes des assemblages trophiques (ANOSIM / SIMPER)

L'analyse de la ressemblance entre groupes trophiques montre une différence significative de composition de ces trois groupes trophiques. Par ailleurs, l'analyse se SIMPER fait ressortir 7 espèces qui sont communes à toutes

les saisons : *Chilocorus bipustulatus*, *Chrysoperla carnea*, *Pharoscymnus setulosus*, *Rhyzobius lophantae*, *Stethorus punctillum* et *Semidalis aleyrodiformis*. D'autres espèces sont communes à l'ensemble des poussées de sève : *Scymnus subvillosus*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Pharoscymnus setulosus*, *Aphytis chrysomphali*, *Aphytis melinus*, *Eretmocerus sp.*, *Clitostethus arcuatus* et *Cales noacki*. Une particularité a été remarquée pour l'espèce *Syrphophagus aphidivorus* qui est un hyperparasitoïde du groupe des aphidiphages et qui n'apporte aucune contribution quelle que soit la saison.

Le calcul de la contribution de chaque espèce aux différences groupe trophique montre une contribution plus importante de *Cales noacki*, *Aphidoletes aphidimyza*, *Metaphycus flavus* et *Chrysoperla carnea*. L'analyse des contributions montre que les groupes trophiques aphidiphages et coccidiphages sont similaires en nombre d'espèces (4 pour chaque groupe) mais les aphidiphages présentent un pool plus important. Selon MAGRO et al. [787], les coccinelles coccidiphages passent moins de temps à se nourrir que les aphidiphages. Cependant, les prédateurs aphidiphages ayant un développement asynchrone avec leurs proies, ils ne seront pas en mesure de réduire leurs effectifs avec ceux des prédateurs coccidiphages qui ont un temps de développement plus rapide que celui de leurs proies [743]. L'action prédatrice des aphidiphages est réalisée par plusieurs familles entomophages : les coccinelles, les syrphes, les cécidomyies, les punaises et les chrysopes. Le rôle des parasites et parasitoïdes représentés par plusieurs familles d'Hyménoptères a été souvent démontré dans la régulation des effectifs de populations d'aphides par plusieurs auteurs tels IPERTI [703] ; MILAIRE et al [704] ; LYON [705] ; COLIGNON et al [706] ; CHOUINARD et al. [450] ; SAHARAOUI et GOURREAU, [711] ; RAMADE, [702] ; BENHALIMA-KAMEL et BEN HAMOUDA [221] ; SEKKAT [260]. BEN HALIMA [782] a montré que la Cecidomyidae *A. aphidimyza* est dominante durant la saison printanière avec les chrysopes, ce qui est en accord avec nos propres observations. Nous avons également mis en évidence que les abondances relatives de ces espèces sont supérieures à celles des autres prédateurs capturés.

La régulation d'une population relève essentiellement de deux processus interspécifiques différents : le contrôle par les ressources nutritives disponibles (régulation "bottom up") et le contrôle par la prédation (régulation "top down"). L'association aux vergers de plantations de haies pourrait jouer un rôle important de réservoir de biodiversité de la faune auxiliaire [788 ; 789]. En ce qui concerne les agrumes, SAHARAoui et HEMPTINNE [24] suggèrent la plantation des espèces *Pittosporum tobira*, *Legustrum japonicum* et *Nerium oleander* aux alentours immédiats des vergers. Ces arbustes sont de véritables réservoirs d'ennemis naturels abritant plus de dix espèces de coccinelles qui vivent également sur agrumes en Algérie.

Nous sommes restés focalisés sur des relations d'ordre tritrophique. Une visualisation des interactions directes ou/et indirectes des niveaux supérieurs avec les niveaux inférieurs est schématisée par la notion de chaînes trophiques en cascades. Les espèces des niveaux supérieurs interagissent sur l'abondance, la biomasse des espèces des différents niveaux à travers une liaison directe ou/et indirecte et, au final, sur la quantité et la qualité de la poussée de sève produite.

CONCLUSIONS

Les écosystèmes évoluent tout en subissant des impacts environnementaux suite à des activités anthropiques. Les plantes et les insectes réagissent et s'adaptent à ces différentes perturbations qui les affectent. La plante, source de nutrition, fournit à un organisme (ravageurs et auxiliaires) les composés chimiques nécessaires qui sont convertis en réserves énergétiques d'une importance capitale dans la survie, le maintien et la reproduction des insectes. Les agrumes sont soumis dans leur environnement à une multitude de stress biotiques ou abiotiques qui sont susceptibles de perturber leur développement et d'affecter leurs potentialités agronomiques en termes de rendement. La qualité nutritionnelle et/ou défensive de la plante hôte (agrumes) est à l'origine de changements de comportement, des traits d'histoire de vie (démographie) et des particularités physiologiques (biomarqueur énergétiques) des ravageurs. Selon le stade phénologique de la plante hôte, il y aura une variation temporelle de la présence et de l'attaque des différents pucerons accompagnés par le cortège auxiliaire. Cette variation se traduit par des changements de distribution des pucerons et des auxiliaires présents qui sont corrélés probablement avec la composition biochimique de la plante hôte.

Les études menées à ce jour sur les fluctuations des populations des pucerons dans plusieurs régions d'Algérie montrent que la situation est très grave et nécessite une intervention urgente. Les moyens de lutte utilisés jusqu'à ce jour sont strictement chimiques alors que les effets nocifs des pesticides ne sont plus à démontrer : concentration dans les organes vivants, altération organoléptique des produits agricoles, effets cancérigènes pour l'Homme, apparition de souches de ravageurs de plus en plus résistantes qui rendent les insecticides de moins en moins efficaces. Les résultats attendus de ce travail permettront à l'avenir de mieux cerner l'activité des aphides et leur sélection vis-à-vis de l'opophagie. La

prise en compte des réserves énergétiques chez le bioagresseur (le puceron) ainsi que de ses auxiliaires permettra d'envisager une meilleure procédure de contrôle visant à utiliser soit des insecticides sélectifs ou de prévention des pullulations, soit des alternatives plus écologiques (lutte biologique, stimulation des défenses naturelles des plantes).

La première partie de ce travail a été de chercher à comprendre l'incidence des constituants phytochimiques alimentaires et non alimentaires des feuilles de du clémentinier durant les poussées de sève en 2010 en Mitidja centrale sur les trait de vie des deux espèces aphidiennes rencontrées dans les vergers d'étude (*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii*) à travers l'analyse des remaniements des réserves énergétiques sur l'écologie de ces deux espèces.

Nous avons étudié les fluctuations temporelles des métabolites des feuilles non attaquées du clémentinier en 2010 qui ont été prises comme témoins. Ces constituants alimentaires et principes actifs varient durant les trois poussées de sève. La corrélation croisée entre la teneur de chaque constituant foliaire par rapport à la teneur en glucides solubles présente une corrélation positive et sans décalage temporel entre glucides et acides aminés pendant la PSI. Pour les PSII et PSIII, l'accumulation des acides aminés précède celle des glucides foliaires. La teneur en amidon est corrélée positivement à celle des glucides solubles avec une avance de l'accumulation d'amidon pendant la PSI et un retard pour les PSII et PSIII. Des décalages temporels significatifs sont également apparents entre la production de composés de défense (proline, tannins et callose) et la production de glucides pendant les trois poussées de sève.

Les teneurs moyennes en glucides solubles, callose, proline et tannins dans les feuilles non attaquées sont significativement plus élevés que dans les feuilles attaquées même si les valeurs moyennes sont parfois très proches, ce qui suggèrent que le clémentinier est affaibli lors de l'attaque des pucerons et qu'il ne peut faire face en terme de mise en place de défense efficaces. A l'opposé, les feuilles attaquées présentent une teneur plus élevée en acides aminés totaux que les feuilles non attaquées, ce qui laisse penser à une hydrolyse de protéines ou un ralentissement de leur synthèse afin de disposer d'un plus grand pool d'acides aminés. Ces composés pourraient servir à la synthèse de certains composés de

défense azotés qu'il serait intéressant d'identifier mais qui ne semblent pas d'une grande efficacité d'après les résultats concernant les autres paramètres testés pour caractériser l'état de santé du clémentinier.

En ce qui concerne des décalages possibles de pics de production entre les feuilles attaquées et non attaquées au cours des périodes de poussées de sève, le test de corrélation croisée montre une absence de décalage entre la teneur en glucides solubles et celle en tannins. En revanche, les feuilles attaquées présentent un retard d'une semaine des pics de production d'acides aminés, l'amidon et de proline par rapport à ceux des feuilles non attaquées et un retard de deux semaines pour la callose. Ces décalages confirment la difficulté du clémentinier à faire face à l'attaque des pucerons et à mettre en place des stratégies de défense efficaces.

Nous avons montré que *A. spiraecola* et *A. gossypii* présentaient la même évolution temporelle dans l'accumulation des réserves énergétiques quelles que soient la poussée de sève. Les résultats montrent une prépondérance similaire des réserves énergétiques lipidiques pour les deux espèces de pucerons au cours de la saison. Néanmoins, nous avons observé un retard significatif d'accumulation dans les réserves glucidiques chez *A. gossypii* par rapport à *A. spiraecola*, suggérant qu'*A. gossypii* s'adapterait moins rapidement aux variations métaboliques des feuilles de clémentinier. Seules les réserves en lipides quantifiées durant la PSII et la PSIII diffèrent significativement entre les espèces d'aphides : elles sont plus importantes chez *A. spiraecola* pendant la PSII alors qu'elles sont plus élevées chez *A. gossypii* pendant la PSIII.

En ce qui concerne les réserves lipidiques des pucerons, leur taux est corrélé négativement avec celui de la proline des feuilles de clémentinier pour *A. spiraecola* et avec celui des glucides solubles, acides aminés, amidon et proline pour *A. gossypii*. Les diverses corrélations négatives observées chez *A. gossypii* pourraient expliquer sa plus grande sensibilité par rapport à *A. spiraecola* face à la variation des constituants phytochimiques des feuilles attaquées du clémentinier. De plus, les résultats ont montré que les populations d'*A. spiraecola* étaient plus abondantes que celles d'*A. gossypii* lorsque le niveau de la proline était élevé. Il semble donc qu'*A. gossypii* soit particulièrement limité dans son

développement par une teneur plus élevée en proline foliaire contrairement à *A. spiraecola*. Quant aux tannins foliaires, la variation de leur teneur ne semble pas avoir d'impact sur les réserves lipidiques des deux espèces d'aphides.

Les teneurs en réserves glucidiques des aphides sont quant à elle corrélées positivement avec celles des acides aminés et de l'amidon pour *A. spiraecola* et avec celles des glucides foliaires, des acides aminés et de l'amidon pour *A. gossypii*. L'accumulation simultanée des glucides foliaires, des acides aminés foliaires et des réserves glucidiques d'*A. gossypii* d'une part, et l'accumulation simultanée des acides aminés foliaires et des réserves glucidiques d'*A. spiraecola* d'autre part, signifient que les 2 espèces d'aphides se maintiennent ensemble sur le clémentinier durant la PSI. Pour les poussées de sève suivantes, les résultats montrent un retard d'1 à 2 semaine(s) des réserves glucidiques des pucerons par rapport aux taux de glucides et de proline foliaires et au contraire une avance par rapport aux taux d'acides aminés, d'amidon et de tannins foliaires.

La callose ne semble pas avoir d'incidence sur le maintien des populations d'aphides car nous n'avons pas observé de décalage temporel avec l'accumulation des réserves glucidiques de chaque espèce de puceron. Néanmoins, les corrélations négatives obtenues signifient que les réserves énergétiques en glucides des aphides sont inversement proportionnelles aux teneurs en callose. L'épaississement en callose des parois cellulaires végétales pourrait peut-être gêner la constitution des réserves glucidiques des aphides (par un mécanisme qui reste à identifier) ou entraîner une dépense d'énergie des aphides pour pénétrer les cellules jusqu'à l'atteinte de la sève phloémique. Par ailleurs, des corrélations négatives ont été également observées entre réserves glucidiques des pucerons et teneur en tannins foliaires pour les deux espèces de pucerons. Ces tannins pourraient aussi être un facteur de dépense énergétique par les pucerons afin de lutter contre les effets toxiques des pucerons.

La deuxième partie de ces travaux de thèse visait à comprendre l'influence des paramètres climatiques et des ennemis naturels des pucerons sur la dynamique des populations des deux espèces d'aphides étudiées. Les résultats

auxquels nous avons abouti montrent que l'effectif des adultes aptères en 2010 et 2011 était beaucoup plus important que celui enregistré en 2012 avec une différence annuelle d'effectif total entre les deux populations aphidiennes ainsi qu'entre les différentes formes biologiques (aptères, larvaires et ailées).

L'abondance maximale de chaque espèce d'aphide est située entre fin Avril et fin Mai. La dynamique temporelle des femelles (survie et fécondité) est influencée par la phénologie de la plante durant les trois poussées de sève. La colonisation précoce des jeunes pousses se fait par les formes ailées des deux pucerons puis les aptères d'*A. gossypii* se développent davantage fin Avril suivis par les aptères d'*A. spiraecola* début Mai. Néanmoins, si les populations d'*A. gossypii* s'installent en premier, l'analyse des successions des stades biologiques entre les deux espèces n'a pas montré de décalage temporel significatif et ce, quel que soit le stade.

Concernant les paramètres climatiques, l'influence des températures sur l'abondance aphidiennes n'a pas montré de résultats significatifs mais les températures maximales et minimales semblent tout de même être des paramètres qui pourraient être à prendre en considération et à analyser plus finement par la suite. Par contre, en ce qui concerne les variations hydriques, les résultats ont mis en évidence que les abondances aphidiennes sont inversement corrélées avec l'humidité relative de l'air et les quantités des pluies. La prolifération des pucerons est donc réduite en condition plus sèche mais cette situation est aussi une situation de stress pour le clémentinier, ce qui ne permet pas de retenir le déficit hydrique comme un paramètre d'intérêt dans la lutte contre les aphides.

Parmi les aphidiphages rencontrés sur le clémentinier entre 2010 et 2012, les Chrysopidae (œufs, larves et adultes), les Coccinellidae (larves et adultes) et les larves de Cecidomyidae ont constitué les groupes majoritaires. Leurs effectifs se sont montrés variables selon les mois ainsi que selon les années mais sans décalage temporel entre les différentes années d'étude. Malgré la coïncidence temporelle entre les populations d'aphides et leurs aphidiphages, les populations de pucerons n'ont pas été particulièrement impactées et ont continué à se

développer en utilisant les ressources liées à chaque poussée de sève. La faune auxiliaire n'était donc probablement pas assez abondante pour limiter la prolifération de pucerons.

La troisième partie du travail portait sur la diversité des groupes trophiques prédateurs et parasitoïdes associés et circulant dans des vergers d'agrumes de la Mitidja centrale. L'inventaire établi a révélé une grande diversité des groupes d'insectes, ce qui peut être dû à des conditions écologiques favorables qui caractérisent la plaine de la Mitidja. Cependant, et malgré cette richesse, l'inventaire que nous avons réalisé est loin d'être exhaustif car le manque de clés d'identification consacrées à l'entomofaune de l'Afrique du Nord et de spécialistes dans ce domaine a pu entraîner de notre part une sous-estimation du nombre d'espèces déterminées (nous avons en effet parfois arrêté nos identifications au niveau du genre pour certaines espèces). Le régime alimentaire dominant dans notre inventaire est celui des aphidiphages. Ces espèces méritent d'être prises en considération dans des études plus poussées de contrôle des aphides tout comme certaines espèces utiles et peu fréquentes qui devraient bénéficier d'un statut de protection dans les vergers de clémentinier.

Deux objectifs ont guidé cette étude :

- i) apporter une contribution sur la connaissance des espèces auxiliaires dans les vergers d'agrumes en Mitidja centrale et chercher des facteurs écologiques qui expliquent la distribution de l'entomofaune ;
- ii) employer ces informations pour évaluer des stratégies de prévention contre les espèces nuisibles sans pour autant nuire aux espèces utiles.

Ce travail a permis d'identifier au moins 55 espèces réparties dans 25 familles et 8 ordres. L'ordre des Hymenoptera est le plus représenté avec 18 espèces (33 %), suivi par l'ordre des Coleoptera avec 17 espèces (31 %) et celui des Aranea avec 12 espèces (22 %). Les autres ordres d'insectes (Diptera, Hemiptera, Neuroptera, Dermaptera et Mantodea) sont beaucoup moins représentés avec seulement une à deux espèce(s) rencontrée(s), soit une richesse relative de 2 à 4 %. D'un point de vue de la richesse relative, nous avons trouvé par ordre décroissant les familles des Coccinellidae (27 %), les Aphelinidae

(13 %), les Encyrtidae (7 %), les Formicidae et les Mymaridae (5 %). En raisonnant cette fois sur les effectifs par famille, nous avons trouvé essentiellement des Aphelinidae (32 %), des Cecidomyiidae (21 %), des Chrysopidae (18 %), des Encyrtidae (10 %) et des Coccinellidae (9 %). Les différents indices utilisés (Shannon et Weaver, équitabilité et Simpson) ont révélé une diversité peu stable dans nos vergers de clémentinier, ce qui a pour origine une installation récente des auxiliaires ou une communauté auxiliaire perturbée (peut-être par diverses pratiques agricoles).

Les prédateurs aphidiphages (Syrphidae, Coccinellidae, Cecidomyiidae, Chrysopidae et Staphylinidae) ont été très présents dans nos vergers prospectés en Mitidja Centrale avec au total 14 espèces et nous avons détecté 3 espèces de parasitoïdes appartenant aux Hymenoptera. Nous avons également identifiés 3 espèces d'aleurodiphages, 20 espèces de généralistes et 14 espèces de coccidiphages.

Le statut trophique a révélé que 38 espèces font partie des consommateurs secondaires distribués dans 7 ordres et 14 familles dont les plus importantes concernent les Coccinellidae et les Aphelinidae avec une abondance totale de 2631 individus. Les consommateurs tertiaires ne représentent que 14 espèces avec surtout des Hyménoptères polyphages et deux espèces d'Hyménoptères hyperparasitoïdes. L'analyse du statut écologique des taxons auxiliaires inventoriés au sein des communautés bénéfiques agrumicoles a révélé une prévalence d'espèces accidentelles. En raison de leur faible abondance locale ou leur distribution limitée, les espèces rares sont classées comme accidentelles et considérées comme ayant une influence mineure sur le fonctionnement des écosystèmes.

Au cours de l'année 2012-2013, nous avons constaté que le climat saisonnier agissait sur la densité des insectes. Globalement, l'activité des insectes était optimale en Mai et Juin, en relation la qualité du flux de sève et la disponibilité des proies hôtes aussi bien pour les espèces bénéfiques polyphages que pour les espèces spécifiques aux ravageurs d'agrumes. Le groupe trophique le plus important est représenté par les polyphages qui sont actifs à partir de mi-Avril et au cours du moins de Mai. Les autres groupes, moins importants, ont

présenté une activité optimale un peu décalée entre Juin et Août selon les espèces. Une chute des effectifs de coccinelles prédatrices a été observée (Septembre à Mars) suite à des activités anthropiques liées à l'application de produits phytosanitaires, notamment pour éliminer les plantes adventices dans les vergers.

L'analyse globale saisonnière des communautés a fait ressortir plusieurs assemblages. L'assemblage hivernal comprend essentiellement des espèces d'araignées prédatrices et dans une moindre mesure des Coccinellidae (aphidiphages, acariphages et coccidiphages). Le pool printanier rassemble principalement des aphidiphages spécialistes et des polyphages parmi les Mantidae, Formicidae et des Aranea. L'assemblage estival regroupe des prédateurs et parasitoïdes spécifiques aux espèces d'homoptères habituellement rencontrées sur les agrumes. L'assemblage automnal regroupe des polyphages parmi les Aranea, Chrysopidae et Coniopterygidae ainsi que des coccidiphages et des parasitoïdes d'œufs de cicadelles. Les résultats ont montré que la période printanière est celle qui présente la plus grande richesse. Par ailleurs, nous avons mis en évidence que les généralistes sont plus diversifiés pendant le repos végétatif et la PSI tandis que les diversités des aphidiphages et des coccidiphages sont plus élevées durant la poussée de sève printanière (PSI) et durant la poussée de sève automnale (PSIII) respectivement. Les plus faibles diversités sont observées dans les communautés estivales (PSII).

Au sein des différentes communautés trophiques, l'ordre d'arrivée des espèces semble différent ce qui peut être attribué à une arrivée des assemblages trophiques en cascade en relation avec différents facteurs environnementaux, notamment des facteurs liés à la disponibilité des proies ravageurs et aux compétitions interspécifiques des guildes des taxons bénéfiques. L'analyse des contributions montre que les groupes trophiques aphidiphages et coccidiphages sont similaires en nombre d'espèces mais les aphidiphages présentent un pool plus important.

Ces résultats ont permis d'avoir une idée plus précise des espèces auxiliaires présentes dans les vergers de clémentinier en Mitidja centrale et de l'évolution de leurs effectifs au cours de l'année. Il serait judicieux d'augmenter au

moins quantitativement ces auxiliaires (par exemple par la création de lieux de refuge) afin de programmer une lutte biologique ou une lutte raisonnée plus performante. Cette étude a fait ressortir en parallèle que les traitements chimiques utilisés dans les vergers de clémentiniers pourraient avoir des conséquences sur les populations d'insectes.

Afin de remédier à ce problème de l'impact des pesticides et notamment des insecticides, l'utilisation de composés d'origine naturelle et facilement biodégradables est une perspective à envisager sérieusement. Parmi les molécules insecticides potentielles, les composés phénoliques produits par de nombreuses espèces végétales (en composition et quantité variables cependant) pourraient s'avérer être de bons candidats. En effet, ces molécules sont souvent impliquées dans les défenses des plantes contre divers pathogènes et phytophages. Avant d'envisager des applications en vergers, il est nécessaire dans un premier temps de tester en laboratoire divers extraits phénoliques directement sur des pucerons et sur la faune auxiliaire afin de s'assurer de la spécificité des produits sur les organismes cibles et de l'absence de toxicité sur les organismes non-cibles. Dans un second temps, et si un ou plusieurs produit(s) ne semble(nt) pas affecter les auxiliaires, des tests pourraient être réalisés en conditions semi-contrôlées sur des clémentiniers de quelques années en serre. Cette phase permettrait d'évaluer la durée d'efficacité et la concentration optimale du ou des produit(s) ainsi que le (ou les) stade(s) le(s) plus propice(s) pour effectuer un traitement. Enfin, dans un troisième temps, des essais pourraient être effectués sur des clémentiniers en verger pilote pour valider le protocole sur des arbres plus âgés et en tenant compte des variations climatiques (températures, précipitations et humidité relative).

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

1. **BENZERGA M., 2010** - La production agrumicole en recul dans la Mitidja : L'orange en passe de perdre son fief .Journal El-watan.
2. **ITAF, 2010**- http://www.itafv.dz/Espece_Agrumes.php
3. **BENASSY C., et SORIA F., 1964** - Observations écologiques sur les cochenilles Diapines nuisibles aux Agrumes en Tunisie. An. I.N.R.A., Tunisie, pp. 193-222.
4. **CHAPOT H. et DELUCCHI V.L., 1964** - Maladies, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc”, Ed. I.N.R.A. Rebat, 339p.
5. **AUBERT B., 1992** - Citrus greening disease, a serious limiting factor for citriculture in Asia and Africa. Proc. Int. Soc. Citriculture, 2, 817-820.
6. **HEIE O.E., 1987** - Palaeontology and phylogeny in Aphis, their biology, natural enemies and control. Amsterdam: A.K Minks & P Harrewijn. Ed° Elsevier. Vol. 2A.p: 367-392.
7. **SHAPOSHNIKOVG. C., 1987**- Organization (structure) of populations and species, and speciation. Pp. 415–432. In A. K. Minks and P. Harrewijn (eds). *Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control*. Volume A. Elsevier, Amsterdam.450 pp
8. **MOSTEFAOUI H., 2009** - Effet de la qualité de la plante hôte sur l'allocation des réserves énergétiques des pucerons dans un verger d'agrumes en Mitidja centrale, (Thèse de Magister), Université Saad-Dahleb, Blida, 207p.
9. **MOSTEFAOUI H., Allal-Benfekih L., Djazouli Z. E. Petit D., et Saladin G., 2014** -. Why the aphid *Aphis spiraeicola* is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*? *Comptes rendus biologies*, 337(2), 123-133.
10. **BLACKMAN R.L. et EASTOP V.F., 2000** -. Aphids on the World's Crops, Second Edition. John Wiley & Sons with the Natural History Museum, London. x + 466 pages.
11. **DIXON A. F. G., 1987** - Evolution and adaptative significance of cyclical parthenogenesis in aphids. In: Minks, A.K., Harrewijn, P. (Eds), *Aphids*, Elsevier, Amsterdam, 2A, pp. 289-297.
12. **STRATHDEE A. T., BALE J. S., BLOCK W. C., WEBB N. R., HODKINSON I. D., et COULSON S. J.,1993** - Extreme adaptive life-cycle in a high arctic aphid, *Acyrtosiphon valbardicum*. *Ecological Entomology*, 18(3), 254-258.)
13. **HULLE. M., TURPEAU-AIT IGHIL. E., ROBERT. Y., et MONET. Y., 1999** – Les pucerons des plantes maraichères. Cycle biologique et activités de

- vol. Ed A.C.T.A. I.N.R.A. Paris.
14. **DJOUDI A. , BAHIA H. et YAHIAOUI G. H., 2004** - Les ravageurs des agrumes. U.IBEN KHALDOUNE- TIARET : 63p.
 15. **PIMENTEL D., MC LAUGHLIN L., ZEPP A., LAKITAN B., KRAUS T., KLEINMAN, P., VANCINI F., ROACH W.J., GRAAP E., KEETON W.S. ET SELIG G., 1993** - Environmental and economic effects of reducing pesticide use in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 46, 273-288.
 16. **LEWIS W.J., LENTEREN J.C.V., PHATAK S.C. ET TUMLINSON J.H., 1997** - A total system approach to sustainable pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94, 12243-12248.
 17. **LEE J. C., HEIMPEL G. E. et LEIBEE G. L. 2004** - Comparing floral nectar and aphid honeydew diets on the longevity and nutrient levels of a parasitoid wasp. *Entomologia Experimentalis and Applicata* 111, 189-199.
 18. **OERKE E. C. et DEHNE H. W., 2004** - Safeguarding production-losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection* 23, 275-285.
 19. **HASHEMI S. M., HOSSEINI S. M. et DAMALAS C.A., 2009** -. Farmer's competence and training needs on pest management practices: Participation in extension workshops. *Crop Protection* 28, 934-939.
 20. **BEDFORD E. C. G., 1968** - The biological control of red scale *Aonidiella aurantii* Mask on citrus in South Africa. *J. Ent. Soc. Afr.* 31, 1–15.
 21. **VINCENOT D. et QUILICI, 1993** - Lutte intégrée en verger d'agrumes à l'île de la Réunion : Expérimentation et Développement. In lutte intégrée en agrumiculture. Ed by Vincenzo Vacante. *Bull. OILB. SROP.* 18(5), 140–159.
 22. **LEVITIN E. et COHEN, E., 1998** - The involvement of acetylcholinesterase in resistance of the California red scale *Aonidiella aurantii* to organophosphorus pesticides. *Entomol. Experiment. Appl.* 88, 115–121.
 23. **SAUVION N., 1995** - effets et modes d'action de deux lectines a mannose sur le puceron du pois, *acyrthosiphon pisum* (harris). potentiel d'utilisation des lectines vegetales dans une strategie de creation de plantes transgeniques resistantes aux pucerons. these docteur l'institut national des sciences appliquees de lyon, 257p)
 24. **SAHARAUI L. et HEMPTINNE J.-L., 2009** - Dynamique des communautés des coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) sur agrumes et interactions avec leurs proies dans la région de Rouïba (Mitidja orientale) Algérie *Ann. soc. entomol. Fr. (n.s.),* 45 (2) : 245-259
 25. **VOGT H., WEIGEL A. et WYSS E., 1998** - Aspects of indirect plant protection strategies in orchards: are flowering strips an adequate measure to control apple aphids? in: Brunnhofer V., Soldan T. (Eds.), *Proc. 6th European Congress of Entomology (Book of Abstracts), Ceské Budejovice, August 23–29, 1998, Institute of Entomology, Academy of the Czech republic and University of South Bohemia,* pp. 625–626.

26. **LETOURNEAU D.K. et GOLDSTEIN, B. 2001** - Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of Applied Ecology* 38, 557-570.
27. **GEIGER F., BENGTSSON J., BERENDSE F., WEISSER W.W., EMMERSON M., MORALES M.B., CERYNGIER P., LIIRA J., TSCHARNTKE T., WINQVIST C., EGGERS S., BOMMARCO R., PÄRT T., BRETAGNOLLE V., PLANTEGENEST M., CLEMENT L.W., DENNIS C., PALMER C., OÑATE J.J., GUERRERO I., HAWRO V., AAVIK T., THIES C., FLOHRE A., HÄNKE S., FISCHER,C., GOEDHART P.W. et INCHAUSTI P., 2010** - Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11(2), 97-105.
28. **Dixon A. F. G., 2000** - *Insect Predator-prey Dynamics Ladybird Beetles and Biological Control*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
29. **AROUN M.E.F., 1985** - Les aphides et leurs ennemis naturels en vergers d'agrumes de la Mitidja (Algérie). *Th. Mag. Agro. Inst. Nat. Agro., El-Harrach, 125*
30. **SAHARAOU L., GOURREAU J.M. et IPERTI G. 2001** - Étude des paramètres bioécologiques de quelques coccinelles aphidophages d'Algérie (Coleoptera, Coccinellidae). — *Bull. Soc. Zool. Fr.* 126 : 351–373.
31. **SAHARAOU L, HEMPTINNE J-L. et MAGRO A., 2014** - Biogéographie des coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) d'Algérie *Entomologie Faunistique* 67: 147-164.
32. **TANAKA T., 1961** - Citrologia: semi centennial commemoration papers on citrus studies. Osaka Japan.
33. **SWINGLE W. T., et REECE P. C., 1967** - The botany of citrus and its wild relatives. In W. Reuther, L. D. Batchelor & H. J. Webber (Eds.). *The Citrus Industry* (Vol. 1, pp.130-190): University of California Berkeley.
34. **LOUSSERT R., 1989** - Les agrumes, production. Ed. Sci. Univ., Vol 2, Liban, 280p.
35. **TAKAMI K., MATSUMARU A., YAHATA M., KUNITAKE H., et KOMATSU H., 2005** - Utilization of intergeneric somatic hybrids as an index discriminating taxa in the genus Citrus and its related species. *Sexual plant reproduction*, 18(1), 21-28.
36. **MAZOYER M., 2002** - Larousse agricole. Ed. Larousse, Paris, 767 p.
37. **THE ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP 2009**, « An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III », *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 161, n° 2, octobre 2009, p. 105-121 ([DOI 10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x))
38. **BAILEY G., CARDEN M., et CLARKE P., 2006** - Mythologie : mythes et légendes du monde entier (de Lodi ed.). Paris.
39. **OLLITRAULT P. et LURO F., 1997** - L'amélioration des plantes tropicales.

- In A. Charrier, J. Michel, H. Serge & N. Dominique (Eds.), (pp. 13-36): CIRAD.
40. **LESNE B. et PAVAGEAU R., 1999** - Les agrumes. Ed. S.E.V.E. Nantes : 3-21
 41. **MURTIN, G. 1969.**Algérie et ses agrumes. Revue de géographie de Lyon .vol.44,
 42. **REBOUR H., 2005** - la culture des agrumes en Algérie N°49 .4 pages.N°1 :5-36.
 43. **TRABUT L., 1902** - L'hybridation des Citrus : une nouvelle tangerine « La Clémentine », Rev. Hort. 74. 232 – 234.
 44. **REBOUR H., 1945** - LES AGRUMES EN AFRIQUE DU NORD. Union des syndicats des producteurs d'agrumes, Alger, 485 p.
 45. **AUGUST A., 1954-** Etude sur la fructification du clémentinier. Fruits et primeurs de l'Afrique du nord. Ed. F.A.M., n°225.pp : 182-190.
 46. **LOUSSERT R., 1987-** Les agrumes, l'arboriculture. Ed. Lavoisier. Vol 1. Paris, 113p.
 47. **NADORI E.B. et NHAMI A., 2005** - LA CULTURE DU CLEMENTINIER AU MAROC : EVOLUTION ET PERSPECTIVES. Revue HTE N°132, 28-36p.
 48. **CHAPOT H., 1963-** La clémentine. El Awamia, n°7, rabat, pp : 134.
 49. **WEBER N. A., 1976** - A ten-year colony of *Sericomyrmex urichi* (Hymenoptera: Formicidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 69(5), 815-819.
 50. **DENG Z. N., GENTILE A., NICOLOSI E., CONTINELLA G. et TRIBULATO E., 1996** - Parentage determination of some citrus hybrids by molecular markers, Proc. Int. Soc. Citriculture 2. 849–854.
 51. **LURO F., RIST D. et OLLITRAULT P., 2001** - Evaluation of Genetic relationships in Citrus genus by means of sequence tagged microsatellites, in: C. Doré, F. Dosba, C. Baril (Eds.), Proc. Int. Symp. On Molecular markers for characterizing genotypes and identifying cultivars in horticulture, Acta Hort. 546. 537–542.
 52. **CHAHIDI B., EL-OTMANI M., JACQUEMOND C., TIJANE M. H., EI-MOUSADIK A., SRAIRI I., et LURO, F., 2008** - Utilisation de caractères morphologiques, physiologiques et de marqueurs moléculaires pour l'évaluation de la diversité génétique de trois cultivars de clémentinier. *Comptes Rendus Biologies*, 331(1), 1-12.
 53. **ZELLAT N., 1989-** Entomofaune dans un verger d'agrumes à Mascare. Th. Ing. Agro., I.N.A., El Harrach, 120p.
 54. **BONO R., FERNANDEZ de CÓRDOVA L., SOLER J., 1982** - "Arrufatina", "Esbal" and "Guillermina", three clementine mandarin mutations recently discovered in Spain, in: Proc. Int. Soc. Citriculture, pp. 94–96.
 55. **REBOUR H., 1950-** Les agrumes en Afrique du nord. Ed. Union des syndicats de production d'agrumes Alger, 1 vol. (502 p.).
 56. **DEVAUX R., 1981** - New cultivars of clementine mandarin in Morocco, Proc. Int. Soc. Citriculture 1, 101–102.

57. **AGUSTI M., MARTINEZ-FUENTES A., MESEJO C., 2002** - Citrus Fruit Quality. Physiological basis and techniques of improvement, *Agrociencia* 2, 1–16
58. **DE ROCCA D. et OLLITRAULT M., 1992** - L'amélioration des agrumes : I- Les ressources génétiques = Citrus breeding. I. Management of genetic resources. *Fruis*. Vol 47. 115-123. p.
59. **AGUSTI M., MESEJO C., REIG C. et MARTINEZ-FUENTES A., 2014** - Citrus production. In *Horticulture: Plants for People and Places, Volume 1* (pp. 159-195). Springer Netherlands.(DOI :10.1007/978-94-017-8578-5_6)
60. **AGUSTI M., ZARAGOZA S., BLEIHOLDER H., BUHR L., HACK H., KLOSE R. et STAUSS R., 1995** - Escala BBCH para la descripción de los estadiosfenológicos del desarrollo de los agrios (Gén. Citrus). *Levante Agrícola* 3, 189-199.
61. **CNUCED, 2013** - <http://www.unctad.info/fr/Infocomm/Produits-Agricoles/Agrumes/>
62. **FAO, 2006** - Citrus Fruit Fresh and Processed Annual Statistics, pp. 1–47.
63. **FAO STAT., 2011** - Division de la Statistique 2011 : A G R U M E S : Statistiques -agrumes frais et transformés.[www.fao.org/ .../CITRUS_BULLETIN_2012.pdf](http://www.fao.org/.../CITRUS_BULLETIN_2012.pdf)
64. **THOMAS H., 2010** - Spreen. "*Price Equilibrium in Spatially Separated Multi-Product Markets: An Application to the World Processed Orange Juice Market.*" Document retenu pour être présenté lors de réunions de l'Association américaine d'économie agricole, Salt Lake City.
65. **ADAMOU S., BOURENNANE N., HADDADI F., HAMIDOUCHE S. et SADOUD, S. 2005.** Quel rôle pour les fermes-pilotes dans la prévention des ressources génétiques en Algérie. Série n°126 : 25 p.
66. **BELLABAS, A.2010.** Rapport de mission : Etude de base sur les agrumes en Algérie. Consultant national : 45p
67. **BACI L. ,1995** - Les contraintes au développement du secteur des fruits et légumes en Algérie : faiblesse des rendements et opacité des marchés. INA El-Harrach, Alger, options méditerranéennes, Série n°4 :266-277.
68. **HADJ SAHRAOUI K. M., 2007**-Agriculture et développement. Ed. L'Institut National de la Vulgarisation Agricole,21p
69. **CHOUAKI, S., BESSEDIK, F., CHEBOUTI.A. , MAAMRI, F., OUMATA, S., KHELDOUN, S., HAMANA, M.F., BELLAH, Kh. 2006.** Deuxième rapport sur l'état des ressources. Ed, INRAA : 8-91.
70. **MACDONALD M. et PARTENERS L., 1997-** Etude de l'aménagement hydroagricole de la plaine de Mitidja, Alger, 86 p.
71. **IMACHE A., LE GOULVEN P., BOUARFA S. et CHABACA M., 2008** - Evolutions de la demande en eau agricole dans la plaine irriguée de la Mitidja, Algérie.
72. **LOUCIF SEIAD N., 2002** - Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en Algérie. Conférence Internationale sur Les Politiques

- d'Irrigation)
73. **EMBLETON T. W., REITZ H. J., JONES W.W., 1973** - Citrus fertilization. In: Reuther W. Ed. The citrus industry, vol III. University of Calif, Div Agr Sci, Berkley, p 150.
 74. **REUTHER W., 1973** - Climate and citrus behaviour. In: Reuther W. Ed. The citrus industry, vol III. University of Calif, Div Agr Sci, Berkley, pp 281–337.
 75. **DAVIES F. S. et ALBRIGO L.G., 1994** - Citrus. CAB Intl, Wallingford
 76. **AGUSTÍ M., 1999** - Preharvest factors affecting postharvest quality of citrus fruit. In: Schirra M. Ed. Advances in postharvest diseases and disorders control of citrus fruit. Research Signpost, Trivandrum, pp 1–34.
 77. **AGUSTI M., 2003** - Citricultura. Mundi-Prensa, Madrid
 78. **PRALORAN J.C., 1971** - Les agrumes. Ed. Maisonneuve et Larose, France, 565p.
 79. **BLONDEL L., 1959**- La culture des agrumes en Algérie, station expérimentale d'arboriculture de Boufarik. Bull. n° 176, pp : 3-56.
 80. **MUTIN G., 1977**- La Mitidja décolonisation et espaces géographiques. Ed. OPU, Alger, 607p.
 81. **MARIAU D., 1999** - Les Maladies des Cultures Pérennes Tropicales (CIRAD ed.).
 82. **ARGOLO P. S., BANYULS N., SANTIAGO S., MOLLÁ, Ó., JACAS J. A., et URBANEJA A., 2013** - Compatibility of *Phytoseiulus persimilis* and *Neoseiulus californicus* (Acari: *Phytoseiidae*) with imidacloprid to manage clementine nursery pests. *Crop Protection*, 43, 175-182.
 83. **QUILICI S., FRAN A., VINCENT D. et MONTAGNEUX B., 1995** -Un nouveau ravageur des agrumes à la réunion. *Phytoma*, Def. Veg., n°474, pp.37-40.
 84. **CHOUIBANI M., OUIZBOUBEN A. et KAACK H., 2009** - Protection intégré des agrumes. Ed GTZ-DPVCTRF Projet Contrôle phytosanitaire.
 85. **JACAS J. A., URBANEJA A., 2010** - Biological Control in Citrus in Spain: from classical to conservation biological control. In: Ciancio, A., Mukerji, K.G. (Eds.), Integrated Management of Plant Pests and Diseases. Springer Netherlands, Dordrecht, NL, pp. 61-72
 86. **KRANZ J., SCHMUTTERER H. et KOCH, W., 1977** - *Diseases, pests and weeds in tropical crops*, pp. 342-343. Paul Parey, Berlin, Allemagne.
 87. **MILAIRE H. G., 1981** - Les pucerons des arbres fruitiers, Données générales. Ed. ACTA, p. 233-235.
 88. **BOUKHALFA H. et BONAFONTE P., 1979** - Observation des populations de l'aleurode des citrus, *Dialeurode citri* Ashmed (*Homoptera-Aleurodidae*) dans la plaine de Mitidja pendant la période hivernale et post –hivernale. *Rev. Fruits*, n°1, Vol. 34, pp.23-235.
 89. **ZEGHOUD, 1987** – Bioécologie de l'Aleurode floconneux *Aleurthrixus floccosus* Maskell (Hom. Aleurodidae) et ses ennemis naturels *cales noacki* Howard (Hym. Aphelinidae) et *Clitostethus arcuatus* (Coleoptera

- Coccinelidae) dans le domaine d'El Djemhouria. Th. Ing. Agro., I.N.A., El Harrach, 87p.
90. **BERKANI A., 1989** - Possibilités de régulation d'*Aleurothrixus floccosus* MASK (Hom. Aleurodidae) sur Agrumes par *Cales noacki* HOW. (Hym. Aphelinidae) en Algérie. Th. Doc. Sci. 3ème cycle, Univ. Marseille, 140p.
 91. **BERKANI A. et DRIDI B., 1992** - Présence en Algérie de *Parabesia myrica* KWA (Homoptera, Aleurodidae) espèce nuisible aux citrus. Rev. Fruits, 47(4), pp. 539-540.
 92. **PIGUET P, 1960**- Les ennemis animaux des agrumes en Afrique du Nord. p 120 Ed Société Shell d'Algérie. Algérie.
 93. **BRUN P., 1973** – Les ravageurs animaux et les moyens de lutte en agrumiculture. Bull. SO. MI. VAC., 68, (3), pp. 87-93
 94. **TAMESSE J. L., MESSI J., SILATSA-Soufo E., KAMBOU J., TIAGO A. B., et NDONGO A.O., 2002** - Complexe des parasitoïdes de *Trioza erytrae* (Del Guercio) (Homoptera:Trioziidae), psylle des agrumes au Cameroun Fruits, 57, 19-28.
 95. **BATRA R. C., SHARMA D. R. et CHANANA Y. R., 1992.** Screening of Citrus germplasm for their resistance against citrus leaf miner, *Phyllocnistis citrella* Stainton. J. Insect Sci. 5: 150-152.
 96. **JARRAYA, A., BOULAHIA KHEDER S., JRAD F. et FEZZANI M., 1997** - La mineuse des agrumes en Tunisie : bio-écologie et méthodes de lutte. Document technique, 20 pp.
 97. **KIM K. W., HYUN J. W., et PARK E. W., 2004** - Cytology of cork layer formation of citrus and limited growth of *Elsinoe fawcettii* in scab lesions. *European journal of plant pathology*, 110(2), 129-138.
 98. **MATHERON M. E. et MATEJKA J. C., 1991**- Effect of sodium tetrathiocarbonate, metalaxyl, and fosetyl-Al on development and control of *Phytophthora* root rot of citrus. *Plant disease*, 75(3), 264-268.
 99. **REYNOLDS, D. R. (1999).** *Capnodium citri*: the sooty mold fungi comprising the taxon concept. *Mycopathologia*, 148(3), 141-147.
 100. **GOTO M., 1992** - Citrus canker. In: *Plant diseases of international importance*. Volume III. *Diseases of fruit crops* [édité par Kumar, J.; Chaube, H.S.; Singh, U.S.; Mukhopadhyay, A.N.], pp. 170-208. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Etats-Uni.
 101. **STALL R. E. et CIVEROLO, E. L., 1991** - Research relating to the recent outbreak of citrus canker in Florida. *Annual Review of Phytopathology* **29**, 399-420.
 102. **GRAHAM J. H., GOTTWALD T. R., CUBERO J., et ACHOR D. S., 2004** - *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*: factors affecting successful eradication of citrus canker. *Molecular Plant Pathology*, 5(1), 1-15.
 103. **BAR-JOSEPH M., ROISTACHER C. N. et GARNSEY S. M., 1983** - The epidemiology and control of citrus tristeza disease. In: *Plant virus epidemiology* (Ed. by Plumb, R.T.; Thresh, J.M.), pp. 61-72. Blackwell Scientific Publications, Oxford, Royaume-Uni.

104. **IMACHE A., BOUARFA S., HARTANI T. ET KUPER M., 2010** - *La mitidja 20 ans après : réalités agricoles aux portes d'Alger*. Alger (Algérie) : Editions Alpha. 278 p.
105. **LACOSTE A. et SALANON R. 1969** - Eléments de biogéographie et d'écologie (p. 189). Paris : Fernard Nathan. Volume 62. Numéro 1. pp. 270-271
106. **THOMAS M. B. et BLANFORD S., 2003** - Thermal biology in insect - parasite interactions. *Trends Ecol Evol* 18:344–350
107. **MERCIER A., 1999** – L'importance du fonctionnement morphodynamiques du cour d'eau sur les habitats des éphémères l'exemple d'une rivière de montagne : l'Ariège (Pyrénées centrale françaises) », *Ephemera*, vol. 1 (2) : 111 -117.
108. **LEBRETON P., JAY M., et VOIRIN B., 1967** – Sur l'analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. - *Chim. Anal. (Paris)*, 49(7), 375-383.
109. **STEWART P., 1969** – Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique ; Quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Afri. Du nord*, pp. 24-24
110. **BAGNOULS F. et GAUSSEN H., 1953** – Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 88 : 193-239.
111. **BONNEMAISON. L., 1950** – Facteurs d'apparition des formes ailées chez les pucerons : vecteurs des maladies à virus de la pomme de terre et méthodes générales de protection des cultures de plants de sélection. *Rev. M.E.N.S.*
112. **HUFTY A., 2001-** "Introduction à la climatologie", Ed. De Boeck Univers Bruxelles, 542 p.
113. **RAMADE F., 1990-** Conservation des écosystèmes méditerranéens en jeux de précipitation, Ed. Economica. Paris, Fasc. 3, 144 p.
114. **VAN-HARTEN A., 1974** - *Quelques observations sur la morphologie, la biologie, le vol et le piégeage des Aphides*. Polycopie, 30p
115. **LAAMARI, M. (2004)**. Etude éco-biologique des pucerons dans quelques localités de l'Est Algérien. Thèse de doctorat d'état en sciences agronomiques. I. N. A. EL- Harrach- Alger, 204 p.
116. Centre météorologique de l'armée, Blida
117. **LECLANT F., 1996** - Dégâts et identification des pucerons", *PHM*, n° 369. France, 19-24. , 25-36.
118. **EL HASSANI N. et EL ALAMI O. U. I., 2004** - Fiche technique : Pucerons des agrumes. No 2 Bulletin de l'ORMVA du Gharb : 1-7.
119. **BENOUFELLA-KITOUS K., DOUMANDJI-MITICHE B. et SAHRAOUI L., 2008** – inventaire des pucerons des agrumes à Oued Aïssa (Tizi Ouzou). Recueil des résumés 3eme journées nationales sur la protection des végétaux 7et 8 avril 2008. INRA El Harrach, Algérie.
120. **ESSARHANE O., 2011** - Variation démographique de puceron vert d'agrumes *Aphis citicola* (Homoptera : Aphididae) en fonction des actions Anthropiques. Thèse Magistère, Inst. Agro. Univ. SAAD DEHLEB, Blida,

- Alger, 207p.
121. **BOUKOFTANE A., 2011-** Actions trophiques et anthropiques sur les pucerons dans le verger d'agrumes en Mitidja et TIZI –OUZOU. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Université SAAD DAHLAB, Blida. p : 254
 122. **MAHMOUDE A., 2011-** La répartition de population des pucerons (*Aphis citricola* et *Aphis gossypii*) et leurs auxiliaires dans le verger des agrumes (clémentinier) en Mitidja centrale. Thèse. Ing. Université Saad Sahlab. Blida. Alger. 65p.
 123. **REMAUDIÈRE G. et REMAUDIÈRE M., 1997 -** *Catalogue des Aphididae du monde*. Editions Quae.
 124. **BLACKMAN, R.L. et EASTOP V.F., 2006 -.** Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs. Volume 2 The Aphids. John Wiley & Sons with the Natural History Museum, London. VIII; pages 1025-1439.
 125. **SMITH S. A., BEAULIEU J. M., et DONOGHUE M. J., 2010 -** An uncorrelated relaxed-clock analysis suggests an earlier origin for flowering plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107, 5897–5902. doi: 10.1073/pnas.1001225107
 126. **HOCHULI P. A. et FEIST-BURKHARDT S., 2013 -** Angiosperm-like pollen Afropollis from the Middle Triassic (Anisian) of the Germanic Basin (north Switzerland). *Frontiers in plant science*, 4.
 127. **HEIE O.E., 1994 -** Why are there so few aphid species in the temperate areas of the southern hemisphere? *Eur. J. Entomol.* 91: 127–135.
 128. **MIYAZAKI M., 1987 -** « Morphology of aphids ». In *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control A*, 2:1–25. Elsevier. A. K. Minks & P. Harrewijn.
 129. **BALACHOWSKY A. et MESNIL L., 1936 -** Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Ed Meryl, Paris, pp: 19- 21.
 130. **ORTIZ-RIVAS B., MOYA A. et MARTINEZ-TORRES D., 2004-** Molecular systematics of aphids (Homoptera: Aphididae): new insights from the long-wavelength opsin gene, in: *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 30: 24-37.
 131. **STERN, D. L., 1997-** Determining aphid taxonomic affinities and life cycles with molecular data: a case study of the tribe Cerataphidini (Homoptera: Pemphigidae: Pemphiginae), in: *Systematic Entomology*, 22: 81-96.
 132. **DIERL W. et RING W., 1988 -** Guide des Insectes : la description, l'habitat, les mœurs, Ed. Delachaux et Niestlé, Paris, 237p.
 133. **ROBERT, P.-A., 2001.** Les Insectes, Delachaux et Niestlé, 4e édition 461 p.-64 p.
 134. **SONG N., LIANG, A. P., et BU, C. P., 2012 -** A molecular phylogeny of Hemiptera inferred from mitochondrial genome sequences. *PLoS ONE* 7(11): e48778. 13p. DOI: 10.1371/journal.pone.0048778
 135. **WOJCIECHOWSKI W., 1992 -** Studies on the Systematic System of Aphids (Homoptera, Aphidinea). Uniwersytet Śląski, Katowice.

136. **VILLIERS A., 1954** - Atlas des Hémiptères. 2^{ème} édition. vol 1.Paris. p 83.
137. **MINKS A.K. et HARREWIJN P., 1987.** Aphids their biology, natural enemies and control, vol. A. F. A. KINGAUF. Elsevier, Amsterdam.
138. ALAIN *et al.*, 1999 <http://aramel.free.fr/INSECTES10-3.shtml>
139. **LECLANT F., 1982** - Les effets nuisibles des pucerons sur les cultures, Jour. D'information et études sur les pucerons des cultures, Ed. A.C.T.A., Paris, (2, 3, 4 mars), 37-56.
140. **INRA, 2014** - Encyclop'Aphid. <https://www6.inra.fr/encyclopedie-puceron>
141. **RAVEN H P., JOHNSON B.G., MASON K. A., SINGER, S. R., LOSOS, J. B., 2011-** Biology. Ed.: De Boeck ISBN: 2804163059, 9782804163051.782p.
142. **HEIN G.L., KALISCH J.A. et THOMAS J., 2005** - Identification and general discussion of the cereal aphid species most commonly found in Nebraska small grains, corn, sorghum and millet. Neb Guide.
143. **HOFFMAN E. T. A., 1974** - Contes fantastiques complets in-8 broché – 3 vol. Ed. Flammarion - Coll. L'Age d'Or. 10-50p.
144. **HULLE M., 1998** - *Les pucerons des arbres fruitiers : cycles biologiques et activités de vol.* Editions Quae.
145. **STRONG F. E., 1967** - Observations on aphid cornicle secretions. Ann. entomol. Soc. Am., 60, 668-673.
146. **GRASSE P. P., 1951** - Traité de zoologie : Anatomie, systématique, biologie, Ed. Masson et Cie, Paris VI, T. X, Fasc. II, 1942 p.
147. **DIXON A.F.G., 1998** - *Aphid Ecology.* Chapman & Hall, London. p 3.
148. **SIMON J. C.; RISPE C. et SUNNUCKS P., 2002** - Ecology and evolution of sex in aphids. *Trends in Ecology & Evolution*, 17, PP : 34-39.
149. **DIB H., 2010** - Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) en vergers de pommiers (de Thèse de doctorat, Université d'Avignon).
150. **THROOP, H.L. et LERDAU M.T., 2004** - Effects of nitrogen deposition on insect herbivory: implications for community and ecosystem processes. *Ecosystems* 7:109-133.
151. **CAPINERA J. L., 2008** - *Encyclopédie de l'entomologie.* Springer Science & Business Media
152. **SULLIVAN J. D., 2008** - Aphids (Hemiptera: Aphididae); *Encyclopedia of Entomology.* Éd.: Springer Netherlands. pp 191-215
153. **SIMON J. C., SAKURAI M., BONHOMME J., TSUCHIDA T. et KOGA R., 2007** - Elimination of a specialised facultative symbiont does not affect the reproductive mode of its aphid host. *Ecol Ent* 32: 296–301.
154. **SIMON J. C., CARRE S., BOUTIN M., PRUNIER-LETERME N., SABATER-MUN B., LATORRE A., BOURNOVILLE R., 2003** - Host-based divergence in populations of the pea aphid: insights from nuclear markers and the prevalence of facultative symbionts. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B Biological Sciences*, 270(1525): 1703-1712.

155. **MARKKULA M. et RAUTAPÄÄ J., 1967** - The effect of light and temperature on the colour of the English grain aphid, *Macrosiphum avenae* (F.) (Hom., Aphididae). *Annales Entomologici Fennici*, 1967, 33: 1-13.
156. **TSUCHIDA T., KOGA R., MITSUYO H., T. T., MAOKA T., MATSUMOTO S., SIMON J. C., 2011** - Fukatsu T.Symbiotic bacterium modifies aphid body color. *Science*, 2011, 330: 1102-1104.
157. **NIJHOUT H., 1999** - Control mechanism of polyphenic development in insects. *Bioscience* 1999, 49: 181-192.
158. **MÜLLER F. P., 1962** - Biotypen und unterarten der "Erbsenlaus" *Acyrtosiphon pisum* Harris. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten*, 69: 129-136.
159. **MÜLLER F. P., 1979** - Eine gelbe mutante der schwarzen blattlaus *Aphis fabae* cirsiacanthoidis scopoli und bastardierungsversuche. *Biologie Zentralbibliothek*, 104: 225-237
160. **MÜLLER F. P., 1987** - Faunistisch-okologische untersuchungen über aphiden im westlichen Erzgebirge und Vogtland. *Faunistische Abhandlungen Staatliches Museum für Tierkunde Dresden*, 14: 105-129.
161. **CAILLAUD M. C. et LOSEY J. E., 2010** - Genetics of color polymorphism in the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *J Insect Sci*, 2010, 10: 95.
162. **IAGC T., 2010** - Genome sequence of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *PLoS Biol*, 2010, 8 (2): e1000313.
163. **AGELE S. O.; OFUYA T. I. et JAMES P. O., 2006** - Effects of watering regimes on aphid infestation and performance of selected varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) in a humid rainforest zone of Nigeria. *Crop Protection*, 25, 73-78.
164. **LAMY. M., 1997** - Les insectes et les hommes. Ed. Albin Michel, Paris, 96 p.
165. **WU Z.; SCHENK-HAMLIN D.; ZHAN W.; RAGSDALE D. W. et HEIMPEL G. E., 2004** - The soybean aphid in China: a historical review. *Annals of the Entomological Society of America*, 97, 209-218.
166. **HULLE. M., et CŒUR D'ACIER. A., 2007** – Les pucerons, indicateurs de changements globaux ? *Biofuture* 297: 44-47.
167. **HIRANO K., HONDA K., et MIYAI S., 1996** - Effects of temperature on development, longevity and reproduction of the soybean aphid, *Aphis glycines* (Homoptera: Aphididae). *Applied Entomology and Zoology* 31: 178-180.
168. **MCCORNACK B. P., RAGSDALE D. W. et VENETTE D R. C. 2004** - "Demography of Soybean Aphid (Homoptera: Aphididae) at Summer Temperatures." *Journal of Economic Entomology*, Vol. 97, 2004, pp. 854–861.
169. **PIERRE. J.S., 2007** - Les mathématiques contre les pucerons. *Biofuture* 279 :26
170. **MICHELE R., 2003** - Mieux connaître les pucerons. Agronome-entomologiste, Ph.D. Laboratoire de diagnostic en phytoprotection.

- Direction des services technologiques, MAPAQ
171. **ROBERT Y. et ROUZE-JOUAN, J., 1978** - Recherches écologiques sur les pucerons *Aulacorthum solani*, *Macrosiphum euphorbiae* et *Myzus persicae* dans l'ouest de la France, I-Etude de l'activité de vol de 1967-1976 en culture de pomme de terre. *Ann. Zool. Ecol. An.* 10(2), 171-185.
 172. **FINK U., et VOËLKL. W., 1995** - The effect of abiotic factors on foraging and oviposition success of the aphid parasitoid, *Aphidius rosae*. *Oecologia* 103:371-378.
 173. **LABRIE. G., 2010** - Synthèse de la littérature scientifique sur le puceron du soya, *Aphis glycines* Matsumura. Centre De Recherche Sur Les Grains Inc. (CÉROM), Québec.
 174. **ROBERT Y., 1982** - Fluctuations et dynamique des populations de puceron. Les pucerons des cultures, journées d'étude et d'information, Paris 2,3 et4 Mars 1981, Acta. 76p.
 175. **WYATT I. J. et BROWN S. J., 1977** - The influence of light intensity, day length and temperature on increase rates of four glasshouse aphids. *Journal of Applied Ecology* 14: 391-399.
 176. **HODGSON E, VENETTE R, ABRAHAMSON M, et RAGSDALE D., 2005** - Alate production of soybean aphid (Homoptera: Aphididae) in Minnesota. *Environmental Entomology* 34: 1456-1463.
 177. **MCCORNACK B. P., COSTAMAGNA A. C. et RAGSDALE D. W., 2008** - Within-plant distribution of soybean aphid (Hemiptera: Aphididae) and development of node-based sample units for estimating whole-plant densities in soybean. *Journal of Economic Entomology*, 101, 1488-1500.
 178. **WALTER A. J. et DIFONZO C. D., 2007** - Soil potassium deficiency affects soybean phloem nitrogen and soybean aphid populations. *Environmental Entomology* 36: 26-33.
 179. **SILBERSTEIN L. SILBERSTEIN, L., KOVALSKI I., BROTMAN Y., PERIN C., DOGIMONT C., PITRAT M., KLINGLER J., THOMPSON G., PORTNOY V., KATZIR N., et PERL-TREVES R., 2003** - Linkage map of Cucumis meloincluding phenotypic traits and sequence-characterized genes. *Genome* 46:761–73.
 180. **MILES P. W., 1999** – Aphid saliva. *Rev. Biol.* 74: 41–85.
 181. **DOGIMONT C., BENDAHMANE A., PAUQUET J., BURGET E., DESLOIRE S., HAGEN L., CABOCH M. et PITRAT M., 2003** - Map-based cloning of the Vat melon gene that confers resistance to both aphid colonization and virus transmission. Gène de résistance à *Aphis gossypii*. FR 0300287 (Inra, brevet). In 11th International Congress on Molecular Plant-Microbe Interactions, July 18–25, 2003, St. Petersburg, Russia
 182. **CHEN J. Q., Martin B., Rahbe Y., et Fereres A., 1997** - Early intracellular punctures by two aphid species on near-isogenic melon lines with and without the virus aphid transmission (Vat) resistance gene. *European Journal of Plant Pathology*. Volume: 103, Issue 6, pp 521-536.
 183. **RAGSDALE D.W., VOEGTLIN D. et O'NEIL R. J., 2004** - Soybean aphid

- biology in North America. *Annals of the Entomological Society of America*, 97, 204-208.
184. **ALTIERI, M.A., NICHOLLS, C.I., FRITZ, M.A., 2005** - Manage insects on your farm: a guide to ecological strategies. Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD.
 185. **RONZON B., 2006** - Biodiversité et lutte biologique. Comprendre quelques fonctionnements écologiques dans une parcelle cultivée, pour prévenir contre le puceron de la salade. Extrait d'un mémoire de fin d'études sur les bandes fleuries qui sont utilisées comme réservoir d'insectes auxiliaires. ENITAC, 25 p.
 186. **RHAINDS M. ; Roy M. et BRODEUR J., 2007** - Détermination de seuils d'intervention basée sur la densité des populations de pucerons du soya et la phénologie de la plante. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
 187. **DEBRAS J. F., 2007** - Rôles fonctionnels des haies dans la régulation des ravageurs : Le cas de Psylle *Cacopsylla pyri* L. dans les vergers du Sud-est de la France. Thèse de Doctorat en sciences de la vie. Université D'Avignon, pays de VAUCLUSE. 240 p.
 188. **RABASSE J.M., 1985** - Pucerons en cultures protégées. Les problèmes posés et les moyens de les contrôler en lutte intégrée. *Déf. Vég.*, Vol. 234, p. 13-18.
 189. **RAT-MORRIS E., 1995** - Résistance du pommier au puceron cendré : comportement de la variété « Florida ». Deuxième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, 4, 5 et 6 décembre 1990, Versailles, pp. 607-614.
 190. **VATER G., 1971** - Ausbreitung und Wanderverhalten parasitischer Hymenopteren. *Biol. Rundsch.* 9: 281–303.
 191. MICHAUD J.P., 1995 - Static and dynamic criteria in host evaluation by aphid parasitoids (Hymenoptera: Aphelinidae), endoparasite de **pucerons** (Doctoral dissertation, Ph. D. dissertation. Simon Fraser University, Burnaby. British Columbia).
 192. **FRAVAL ALAIN., 2006** – insectes (Les pucerons deuxièmes partis). Ed. INRA. France, p 31.
 193. <http://aramel.free.fr/>
 194. **PICKETT J. A., GRIFFITHS D.C., 1980** - Composition of Aphid alarm pheromones, *Journal of Chemical Ecology*, 6, 349-360.
 195. **Gut J. et VAN LOOSTEN A.M., 1985** - Functional significance of the alarm pheromone composition in various morphs of the green peach aphid, *Mysus persicae*, *Entomol. Exp. and Appl.*, 37, 199, 204.
 196. **DAWSON G.W., GRIFFITHS D.C., MERRITT L.A., MUDD A., PICKETT J.A., WADHAMS L.J. et WOODCOCK C.M., 1990** - Aphid semiochemical-Areview, aand recent advances on the sex pheromone, *Journal of chemical entomology*, 16, 3019-3030.
 197. **HÖLLDOBLER B. et WILSON E.O., 1990** - The ants. 732 pages. *Belknap*,

Cambridge, MA.

198. **DELABIE J. H. C., 2001** - Les trophobioses entre Formicidae et Hemiptera (Sternorrhyncha et Auchenorrhyncha). Un aperçu néotropical. *Entomologie*, 30 (4), 501-516.
199. **YAO I. et AKIMOTO S., 2001** - Ant attendance changes the sugar composition of the honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Oecologia* 128: 36-43.
200. **FISHER M.K., K.H. HOFFMANN et W. VÖLKL., 2001** - Competition for mutualists in an ant-homopteran interaction mediated by hierarchies of ant attendance. *Oikos* 92: 531- 541.
201. **STADLER B.; FIEDLER K.; KAWECKI T.J. et WEISSER W., 2001** - Costs and benefits for phytophagous myrmecophiles: when ants are not always available. *Oikos* 92: 467-478.
202. **BRETON L.M. ET J.F. ADDICOTT., 1992** - Density-dependent mutualism in an aphid-ant interaction. *Ecology* 73(6): 2175-2180.
203. **YAO I.; SHIBAO H. et AKIMOTO S., 2000** - Cost and benefits of ant attendance to the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Oikos*, 89, 3-10.
204. **DOUGLAS, A. E., 1998** - Nutritional interactions in insect– microbial symbioses: aphids and their symbiotic bacteria Buchnera. *Annu. Rev. Entomol.* 43, 17–37. (doi:10.1146/ annurev.ento.43.1.17)
205. **DOUGLAS A. E., FRANÇOIS C. L. M. J. et MINTO L. B., 2006** - Facultative ‘secondary’ bacterial symbionts and the nutrition of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *Physiological Entomology*. Volume 31, Issue 3, pages 262–269. DOI: 10.1111/j.1365-3032.2006.00516.x
206. **GIORDANENGO P., BRUNISSEN L., RUSTERUCCI C., VINCENT C., Van BEL A. J. E. et DINANT S., 2010** - Compatible plant-aphid interactions: How do aphids manipulate plant responses. *CR Biol.* 333: 516- 523.
207. **WERREN J. H., 1997** - Biology of Wolbachia. *Annu. Rev. Entomol.*42, 587–609. (doi:10.1146/annurev.ento.42.1.587)
208. **OLIVER, K. M., DEGNAN, P. H., HUNTER, M. S. et MORAN, N. A. 2009** - Bacteriophages encode factors required for protection in a symbiotic mutualism. *Science*325, 992– 994. (doi:10.1126/science.1174463)
209. **SCARBOROUGH, C. L., FERRARI, J. et GODFRAY, H. C. J. 2005** - Aphid protected from pathogen by endosymbiont. *Science* 310, 1781– 1781. (doi:10.1126/science.1120180)
210. **CHEN, D. Q., MONTLLOR, C. B. et PURCELL, A. H. 2000** - Fitness effects of two facultative endosymbiotic bacteria on the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, and the blue alfalfa aphid *A. kondoi*. *Entomol. Exp. Appl.*95, 0315–323. (doi:10.1023/A:1004083324807)
211. **MORAN N. A., RUSSELL J. A., KOGA R. et FUKATSU T., 2005** - Evolutionary relationships of three new species of Enterobacteriaceae living as symbionts of aphids and other insects. *Appl. Environ. Microbiol.*71,

- 3302–3310. (doi:10.1128/AEM.71.6.3302-3310.2005)
212. **RUSSELL, J. A. et MORAN, N. A. 2005** - Horizontal transfer of bacterial symbionts: heritability and fitness effects in a novel aphid host. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 7987–7994. (doi:10.1128/AEM.71.12.7987-7994.2005)
213. **MCLEAN A. H. C., VAN ASCH M., FERRARI J., et GODFRAY, H. C. J., 2011** - Effects of bacterial secondary symbionts on host plant use in pea aphids. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1706), 760-766.(doi: 10.1098/rspb.2010.1654)
214. **LEONARDO T. E. et MONDOR, E. B. 2006** - Symbiont modifies host life-history traits that affect gene flow. *Proc. R. Soc. B* 273, 1079–1084. (Doi: 10.1098/rspb. 2005.3408).
215. **MORAN N. A. et DUNBAR, H. E. 2006** - Sexual acquisition of beneficial symbionts in aphids. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 103,12803–12806.(doi:10.1073/pnas.0605772103) ;
216. **DEGUINE J. P. et LECLANT F., 1997** - *Aphis gossypii* GOLVER (Hemiptera, Aphididae). Les prédateurs du cotonnier en Afrique tropicale et dans le reste du monde”, Ed. Cent. Inter. Rech. Agro. Dév. (C.I.R.A.D), n°11, Paris, 112p.
217. **BENZIANE T., ABBASSI M., et BIHI E. T., 2003** - Evaluation de deux méthodes de lutte intégrée contre les ravageurs en vergers d'agrumes. *Journal of Applied Entomology*, 127(1), 51-63.
218. **ADDICOTT J. F., 1978** - relations de niche entre les espèces de pucerons se nourrissent de l'épilobe. *Revue canadienne de zoologie*, 56 (8), de 1837 à 1841.
219. **BROUGHTON S., 2007** - Aphids in citrus. By Western Australia. Dept. of Agriculture and Food. Callno: 05:63(941) ISSN 0726-934X
220. **STOETZEL M. B., 1994** - Aphids (Homoptera: Aphididae) of potential importance on Citrus in the United States with illustrated keys to species. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, 96(1), 74-90.
221. **BEN HALIMA-KAMEL M. et BEN HAMOUDA M.H., 2005**. A propos des pucerons des arbres fruitiers de Tunisie. Dans : *Notes fauniques de Gembloux*, 2005, 58, p. 11-16.
222. **KITOUS K., LADDAOUI L., 1998** - *Inventaire des pucerons et étude des fluctuations de Toxoptera aurantii Boyer de Fonscolombe, 1871 (Homoptera, Aphididae) dans un verger d'Agrumes à Oued-Aissi (Tizi-Ouzou)*.Mém. Ing. Inst. Agro. Univ. Tizi-Ouzou. 148 p.
223. **IKENI N., 2000** - *Contribution à l'étude des aphides du citronnier, suivi du niveau d'infestation par Toxoptera aurantii Boyer de Fonscolombe, 1841 (Homoptera, Aphididae) dans un verger d'agrumes à Tizi-Ouzou*. Mém. Ing. Inst. Agro. Univ. Tizi-Ouzou. 64 p.
224. **D'ONGHIA A.M.; SAADE P.; KHOURY W.; CASTELLANO M. A. et SAVINO V.,1998**- Occurrence and distribution of *Citrus Tristeza Virus* in

- Lebanon. *Phytopathologia Mediterranea* PP : 75-78.
225. **APHID, 2014** - <http://aphid.aphidnet.org/index.php>
226. **ACCODJI J.M.M., 1982** - Contribution à la connaissance des Aphidiens tropicaux : Etude d'*Aphis citricola* Van Der Goot Homdp, Aphididae). Aspects bioécologiques, Nuisibilité et résistance au parasitisme. Aperçu sommaire sur quelques Aphidiens du Bénin. Thèse doct. 3ème cycle en Parasitologie, Pathologie et relations écophysiologicals. MONTPELLIER (Paris) ,161 p.
227. **DIXON A. F. G., 1987** - Parthenogenetic reproduction and the rate of increase in aphids. In: Minks, A.K., Harrewijn, P. (Eds), *Aphids*, Elsevier, Amsterdam, 2A, pp. 269-289.
228. **PATTI I., 1983** - Gli Afidi degli Agrumi. Pubbl. C.N.R., Roma, pp. 63.
229. **AKEY D. H.ET BUTLER JR G. D., 1989** - Developmental rates and fecundity of apterous *Aphis gossypii* on seedlings of *Gossypium hirsutum*. *Southwestern Entomologist*, 14(3), 295-299.
230. **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.
231. **MARTIN B., RAHBÉ Y. et FERERES A., 2003** - Blockage of stylet tips as the mechanism of resistance to virus transmission by *Aphis gossypii* in melon lines bearing the Vat gene. *Ann appl Biol*142:245-250.
232. **ULLAH K., 1980** - Biological study of cotton aphid, *Aphis gossypii* Glov. *Pakistan Journal of Agricultural Research* 1: 135-138.
233. **DIXON A. F. G., 1990** - Evolutionary aspects of parthenogenetic reproduction in aphids. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 25: 41-56.
234. **KINDLMANN P. et DIXON A. F. G., 1989** - Developmental constraints in the evolution of reproductive strategies: telescoping of generations in parthenogenetic aphids. *Funct. Ecol.*, 3: 531-537.
235. **MARGARITOPOULOS J. T., TZORTZI M., ZARPAS K. D., TSITSIPISJ A., BLACKMAN R. L., 2006** - Morphological discrimination of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) populations feeding on Compositae. *Bull Entomol Res* 96:153-165
236. **KOMAZAKI S., 1982** - Effects of constant temperatures on population growth of three aphid species, *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy), *Aphis citricola* van der Goot and *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on citrus. *Applied Entomology and Zoology*, 17(1), 75-81.
237. **WYATT I. J. et BROWN S. J., 1977** - The influence of light intensity, day length and temperature on increase rates of four glasshouse aphids. *Journal of Applied Ecology* 14 : 391-399.
238. **ROCHAT J., 1992** - Dynamique des populations du puceron *Aphis gossypii* Glover : hétérogénéité spatio-temporelles en serre de concombre. DEA, Université Paris 6, pp. 31.
239. **ALDYHIM Y. N., KHALIL A. F., 1993** - Influence of temperature and

- daylength on population development of *Aphis gossypii* on Cucurbita pepo. Entomologia Experimentalis et Applicata 67 : 167-172.
240. **FULLER S. J., CHAVIGNY P., LAPCHIN L. et VANLERBERGHE-MASUTTI F., 1999** -. Variation in clonal diversity in glasshouse infestations of the aphid, *Aphis gossypii* Glover in southern France. *Molecular Ecology*, 8(11), 1867-1877.
241. **ANDRIANTIANARIVO S., 2002**-Impacts du traitement phytosanitaire des arbres fruitiers sur les abeilles : cas de l'agrumiculture dans la région d'Ambositra. Ing. U. Antanarivo. 31p.
242. **VITTORIO L. et DELUCCHI L., 1964** - Ravageurs : deuxième partie. In : Chapot H. & Delucchi V. (eds.), Les ravageurs des agrumes : maladies, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc. INRA, Rabat : 198- 320.
243. **CARVER M., 1978** - The black citrus aphids, *Toxoptera citricida* (kirkaldy) and *T. aurantii* (Boyer De Fonscolombe) (Homoptera: Aphididae). Aust. J. Entomol. Soc. 17: 263-210
244. **KOMAZAKI S., 1993** - Biology and Virus Transmission of Citrus Aphids. Food & Fertilizer Technology Center. Tech Bull. 136. 9 p. (<http://www.agnet.org/library/tb/136/>).
245. **PATTI I. et BARBAGALLO S., 1998** - An approach to the knowledge on the Italian aphid fauna. In: Nafria N. & Dixon J. M. (eds), Aphids in natural and managed ecosystems. Univ. Leon, Spain: 397-405.
246. **MICHAUD J.P., 1998**- A review of the literature on *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae). Florida. Entomologist 81(1):37-52
247. **BLACKMAN R.L. et EASTOP V.F., 1994** -. Aphids on the World's Trees. CAB International with The Natural History Museum, London. VIII. 987 pages, 135 figures, 16 plates.
248. **HOLMAN J., 2009** -. Host Plant Catalog of Aphids, Palaearctic Region. Springer Science and Business Media B.V. 1216 pp.
249. **CHAN C.K., FORBES A.R., RAWORTH ET D.A., 1991**-. Aphid-transmitted viruses and their vectors of the world. Agriculture Canada Technical Bulletin 1991-3E. 1-216 pp.
250. **AUCLAIR J.L., 1963** - Aphid feeding and nutrition. A. Rev. Ent., 8, pp. 439–490.
251. **LECLANT F., et REMAUDIERE G. 1970**, - Eléments pour la prise en considération des aphides dans la lutte intégrée en vergers de pêcheurs. *Entomophaga*, 15(1), 53-81.
252. **WOOL D., 2004** - Gallling aphids: specialization, biological complexity, and variation. Annual Review of Entomology, 49: 175-192
253. **GIROUSSE, C., MOULIA B., SILK W. et BONNEMAIN J. L., 2005** - Aphid infestation causes different changes in carbon and nitrogen allocation in alfalfa stems as well as different inhibitions of longitudinal and radial expansion. Plant Physiology, 137(4): 1474-1484.
254. **POWELL G., TOSH C.R. et HARDIE J., 2006** - Host plant selection by aphids: behavioral, evolutionary and applied perspectives. *Annual Review*

- of Entomology*. 51:309–330
256. **DEDRYVER C. A., 2007** - Puceron : des dégats et des hommes. *Biofutur*, 279: 22-25
 257. **DOUGLAS A. E., 2003** - The nutritional physiology of aphids. *Advances in Insect Physiology*, 31: 73-140.
 258. **MILES P. W., 1989** - The responses of plants to the feeding of Aphidoidea: principles. In: *Aphids their biology, natural enemies and control*. Edited by Minks AK, Harrewijn, P., vol. 2C: Elsevier: 1-21
 259. **LECOQ H., 1996** - "Les pucerons : de redoutables vecteurs de virus des plantes, PHM, n° 369. France
 260. **SEKKAT A., 2007** – Les pucerons des agrumes au Maroc Pour une agrumiculture plus respectueuse de l'environnement. *ENA 18 décembre 2007*
 261. **LECLANT F., 1978** - Les pucerons des plantes cultivées, clef d'identification I, grande culture. Ed. Association Coor. Tech. Agri; (A.C.T.A), Paris, 63p.
 262. **WÄCKERS F. L., 2000** - Do oligosaccharides reduce the suitability of honeydew for predators and parasitoids? A further facet to the function of insect-synthesized honeydew sugars. *Oikos*, 90, 197-201.
 263. **NAULT L. R., 1997** - Arthropod transmission of plant viruses: a new synthesis. *Ann Entomol Soc Am* 90, 521–541.
 264. **POWELL G., 2005** - Powell Intracellular salivation is the aphid activity associated with inoculation of non-persistently transmitted viruses. *Journal of General Virology*, 86: 469-472.
 265. **CANDRESSE, T., MARTELLI, G.P., 1995** - Closterovirus genus. *Archives of Virology, Supplement 10*, 461-464.
 266. **SAUVION N., CALATAYUD P. A., THIERY D., ET MARION-POLL F., 2013** - *Interactions insectes-plantes*. Editions Quae.
 267. **NAUEN R et ELBERT A., 2003** - European monitoring of resistance to insecticides in *Myzus persicae* and *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) with special reference to imidacloprid. *Bull. Entomol. Res.*, 93, 47-54.
 268. **DE MORAES C.M., MESCHER M.C et TUMLINSON J.H., 2001**- Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature*, 410, 577-580.
 269. **PETERSEN M.K et HUNTER M.S., 2002** - Ovipositional preference and larval - early adult performance of two generalist lacewing predators of aphids in pecans. *Biol. Cont.*, 25, 101-109.
 270. **SLANSKY F. J. R. et RODRIGUEZ J.G., 1987**- *Nutritional ecology of insects, mites, spiders, and related invertebrates: an overview*, In: F. Slansky Jr. and J.G. Rodriguez (eds.), New York. pp. 1-69.
 271. **CHAPMAN R.F et BLANEY W.M., 1979**- Chapitre 4: How animals perceive secondary compounds, dans Rosenthal G.A. et Janzen D.H. 1979. *Herbivores, their interaction with secondary plant metabolites*. Academic Press. New York, New York.718 p.

272. **STRONG D.R.; LAWTON J.H. et SOUTHWOOD R., 1994-** Insects on plants: community patterns and mechanisms. Harvard University press. Cambridge, Massachusetts. 313 p.
273. **KEHR J., 2006 -** *Phloem sap proteins: their identities and potential roles in the interaction between plants and phloem-feeding insects.* *J Exp Bot* 57, pp. 767 - 774.
274. **CORRIGAN J. J. et SRINIVASAN N. G., 1966 -** The occurrence of certain D-amino acids in Insects. *Biochemistry*, 5, 1185-1190.
275. **HAHN D.A., 2005 -** Larval nutrition affects lipid storage and growth, but not protein or carbohydrate storage in newly eclosed adults of the grasshopper *Schistocerca Americana*. *Journal of Insect Physiology*, 51, 1210-1219.
276. **WOLFERSBERGER M.G., 2000 -** Amino acid transport in insects. *Annual Review of Entomology*, 45, 111-120.
277. **FEBVAY G., RAHBÉ Y., RYNKIEWICZ M., GUILLAUD J. et BONNOT G., 1999 -** Fate of dietary sucrose and neosynthesis of amino acids in the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*, reared on different diets. *Journal of Experimental Biology*, 202, 2639-2652.
278. **WILKINSON T.L., KOGA R. et FUKATSU T., 2007 -** Role of host nutrition in symbiont regulation: impact of dietary nitrogen on proliferation of obligate and facultative bacterial endosymbionts of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 73, 1362-1366.
279. **DADD R.H., 1985 -** 'Nutrition: organisms' dans Kerkut, G.A. et Gilbert, L.I., *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, Pergamon Press, Oxford.
280. **DILLON R.J. et DILLON V.M., 2004 -** The gut bacteria of insects: nonpathogenic interactions. *Annual Review of Entomology*, 49, 71-92.
281. **NATION J. L., 2008 -** *Insect physiology and biochemistry*. CRC Press, Boca Raton.
282. **THMPSON S.N., 2003 -** Tréhalose – The insect 'Blood' sugar. *Advances in Insect Physiology*, 31, 205-285.
283. **AWMACK C.S. et LEATHER S.R., 2002 -** Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 47, 817-844.
284. **KUNIEDA T., FUJIYUKI T., KUCHARSKI R., FORET S., AMENT S.A., TOTH A.L., OHASHI K., TAKEUCHI H., KAMIKOUCHI A., KAGE E., MORIOKA M., BEYE M., KUBO T., ROBINSON G.E. et MALESZKA R., 2006 -** Carbohydrate metabolism genes and pathways in insects: insights from the honey bee genome. *Insect Molecular Biology*, 15, 563-576.
285. **ARRESE E.L., CANAVOSO L.E., JOUNI Z.E., PENNINGTON J.E., TSUCHIDA K. et WELLS M.A., 2001-** Lipid storage and mobilization in insects: current status and future directions. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 31, 7-17.
286. **CANAVOSO L. E., JOUNI Z. E., KARNAS K. J., PENNINGTON J. E. et WELLS M. A. , 2001-** Fat metabolism in insects. *Annual Review of*

- Nutrition*, 21, 23-46.
287. **HOWARD R.W. et BLOMQUIST G.J., 2005** - Ecological, Behavioral, and biochemical aspects of insect hydrocarbons. *Annual Review of Entomology*, 50, 371-393.
288. **CORIO-COSTET M. F., CHARLET M., BENVENISTE P. et HOFMANN J., 1989** - Metabolism of dietary δ^8 -sterols and 9β 19-cyclopropyl sterols by *Locusta migratoria*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 11, 47-62.
289. **MONDY N., CORIO-COSTET M.F., BODIN A., MANDON N., VANNIER F. ET MONGE J.P., 2006** - Importance of sterols acquired through host feeding in synovigenic parasitoid oogenesis. *Journal of Insect Physiology*, 52, 897-904.
290. **BEHMER S. T. et NES W. D., 2003** - 'Insect sterol nutrition and physiology: A global Overview' dans Simpson, S.J., *Advances in Insect Physiology*, Elsevier, Paris.
291. **LEE K.P., RAUBENHEIMER D., BEHMER S.T. et SIMPSON S.J., 2003** - A correlation between macronutrient balancing and insect host-plant range: evidence from the specialist caterpillar *Spodoptera exempta* (Walker). *Journal of Insect Physiology*, 49, 1161-1171.
292. **DE COEN W. M. et JANSSEN C. R., 1998** - The use of biomarkers in *Daphnia magna* toxicity testing. I. The digestive physiology of daphnids exposed to toxic stress. *Hydrobiologia*. 367(1): 199-209.
293. **KOOIJMAN S. A. L. M., 2000** - Dynamic Energy and Mass Budgets in Biological Systems, Cambridge University Press. Cambridge, seconde édition.
294. **ALLEN J.I. et MOORE M.N., 2004** - Environmental prognostics: Is the current use of biomarkers appropriate for environmental risk evaluation? *Marine Environmental Research*, 58(2-5): 227-232.
295. **AGNEW P., HIDE M., SIDOBRE C. et MICHALAKIS Y., 2002** - A minimalist approach to the effects of density-dependent competition on insect life-history traits. *Ecological Entomology* 27, 396-402.
296. **HOOPER H. L., SIBLY R. M., HUTCHINSON T. H. et MAUND S. J., 2003** - The influence of larval density, food availability and habitat longevity on the life history and population growth rate of the midge *Chironomus riparius*. *Oikos*, 102 (3), 515-524.
297. **LE GAL Y., LAGADIC L., LE BRAS S. et CAQUET T., 1997** - Charge énergétique en adénylates (CEA) et autres biomarqueurs associés au métabolisme énergétique. Biomarqueurs en Ecotoxicologie: Aspects Fondamentaux. L. Lagadic, Caquet, T., Amiadr, J.-C. and Ramade, F. Paris, Masson Editeur. Collection d'Ecologie : 241-285.
298. **DUROU C., MOUNEYRAC C., PELLERIN J. et PERY A., 2008** - Conséquences des perturbations du métabolisme énergétique. Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Lavoisier, Paris : 273-289.

299. **DEDOURGE O., GEFFARD A. et AMIARD-TRIQUET C., 2008** - Origine des perturbations du métabolisme énergétique. Les biomarqueurs dans l'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques. Paris: Lavoisier, Tec&Doc: 241-271.
300. **CHIPPINDALE A. K., GIBBS A. G., SHEIK M., Yee K. J., DJAWDAN M., BRADLEY T. J. et ROSE M. R. 1998** - Resource acquisition and the evolution of stress resistance in *Drosophila melanogaster*. *Evolution*, 52 (5), 1342-1352.
301. **MARGAND A., 2001** - Evaluation de l'utilisation des réserves énergétiques (lipides, sucres) en tant que biomarqueurs pour l'effet du dinosèbe sur l'invertébré du sol *Folsomia candida* (Arthropoda, Isotomidae), travail de diplôme, Faculté des Sciences, Université de Genève, Suisse. 101p.
302. **AMIARD-TRIQUET C., AMIARD J.-C. et RAINBOW P. S., 2013** - Ecological Biomarkers : Indicators of Ecotoxicological Effects New York, CRC Press.
303. **VASSEUR P. et COSSU-LEGUILLÉ C., 2003** - Biomarkers and community indices as complementary tools for environmental safety. *Environment International*. 28 (8): 711-717.
304. **TIMBRELL J.A., DRAPER R. et WATERFIELD C.J., 1994** - Biomarkers in toxicology: new uses for some old molecules? *Toxicology and Ecotoxicology News*, 1(1), 4-14.
305. **DE LAFONTAINE Y., GAGNE F., BLAISE C., COSTAN G., GAGNON P. et CHAN, H.M., 2000** - Biomarkers in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) for the assessment and monitoring of water quality of the St Lawrence River (Canada). *Aquatic Toxicology*, 50, 51-71.
306. **GUERLET E., 2007** - *Utilisation de biomarqueurs cellulaires chez plusieurs espèces d'invertébrés pour l'évaluation de la contamination des milieux dulçaquicoles* (Doctoral dissertation, Université de Metz).
307. **CHARRON L., 2014** - *Biomarqueurs énergétiques chez un amphipode d'eau douce Gammarus fossarum: Développement, lien avec le succès reproducteur et application in situ* (Doctoral dissertation, Reims).
308. **NAS/NRC, 1989** - Biologic Markers in Reproductive Toxicology. National Academy Press., Washington, DC. Nasci, C., DaRos, L., Campesan, G., VanVleet, E.S., Salizzato, M., Sperti, L. & Pavoni, B. (1999) Clam transplantation and stress-related biomarkers as useful tools for assessing water quality in coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 39, 255-260.
309. **CAJARAVILLE M.P., BEBIANNO M.J., BLASCO J., Porte C., SARASQUETE C. et VIARENGO A., 2000** - The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula, a practical approach. *Sci. Total Environ.* 247, 295-311.
310. **LAGADIC L., CAQUET, T. et AMIARD, J.C. 1997** - Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. In *Biomarqueurs en écotoxicologie*

- : aspects fondamentaux (eds L. Lagadic, T. Caquet, J.C. Amiard & F. Ramade), Masson, Paris, pp. 1-9.
311. **LAGADIC L. et CAQUET T., 1996** - Marqueurs biologiques de pollution des outils au service de l'écotoxicologie. *Phytoma - La Défense des Végétaux*, 480, 10-13.
 312. **CALOW P. et SIBLY R., 1990** - A physiological basis of population processes: ecotoxicological implications. *Functional Ecology* **4**(3): 283-288.
 313. **AMARA R., 2011** - Impact de la pollution sur les écosystèmes côtiers : exemple de la Manche orientale, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 9 | Juillet 2011. URL : <http://vertigo.revues.org/10990> ; DOI : 10.4000/vertigo.10990
 314. **SAWABE K. et MOGI M., 1999** - Differences in energy metabolism and adult desiccation resistance among three *Aedes* (*Stegomyia*) species (Diptera: Culicidae) from South Sulawesi, Indonesia. *Journal of Medical Entomology*, 36 (1), 101-107.
 315. **MARRON M. T., MARKOW T. A., KAIN K. J. et GIBBS A. G., 2003** - Effects of starvation and desiccation on energy metabolism in desert and mesic *Drosophila*. *Journal of Insect Physiology*, 49 (3), 261-270.
 316. **REIM C., TEUSCHL Y. et BLANCKENHORN W. U., 2006** - Size-dependent effects of larval and adult food availability on reproductive energy allocation in the Yellow Dung Fly. *Functional Ecology*, 20 (6), 1012-1021.
 317. **LAGADIC L., CAQUET T., AMIARD J. et RAMADE F., 1998** - Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement, Tec & Doc-Lavoisier.
 318. **RAMADE F., 2007** - Introduction à l'écotoxicologie : fondements et applications, Tec & Doc.
 320. **ADAM O., 2011** - Bioindication de la qualité de l'eau par les gammarès : concepts et applications, Presses universitaires de Franche-Comté.
 321. **SCHOONHOVEN L. M., JERMY T. et VAN LOON J. J. A., 1998** - *Insect-Plant Biology: From Physiology to Evolution*. Chapman & Hall, London.
 322. **FINCH S. et COLLIER R. H., 2000** - Host-plant selection by insects – a theory based on 'appropriate/inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96, 91-102.
 323. **DETHIER V. G., 1982** - Mechanisms of host plant recognition. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 31, 49-56.
 324. **STÄDLER E., 2002** - Plant chemical cues important for egg deposition by herbivorous insects. In: M. Hilker, Meiners, T. (Ed.). *Chemoecology of Insect eggs and egg deposition*. Berlin, Blackwell Publishing
 325. **HARDIE J., 1989** - Spectral specificity for targeted flight in the black bean aphid, *Aphis fabae*. *J. Insect Physiol.* 35, 619–626.
 326. **KARBAN R. et MYERS J.H., 1989** - Induced plant responses to herbivory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 331-348.
 327. **SHAMBAUGH G.F., FRAZIER J.L., CASTELL A.E.M. et COONS L.B.,**

- 1978** - Antennal sensilla of seventeen aphid species (homoptera: Aphidinae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 7, 389–404.
328. **LECLANT, F., 2000.** Les Pucerons des plantes cultivées : clefs d'identification. 3, Cultures fruitières. Editions Quae.
329. **THIERY D., 2009** - *Comportement de quelques insectes phytophages et applications en protection intégrée des cultures.* Habilitation à diriger des recherches (HDR), Université de Bordeaux.
330. **NEAL J. J., TINGEY W. M. et STEFFENS J. C., 1990** - Sucrose esters of carboxylic acids in glandular trichomes of *Solanum berthaultii* deter settling and probing by green peach aphid. *J. Chem. Ecol.* 16, 487–497.
331. **POWELL G., MANIAR S. P., PICKETT J. A. et HARDIE J., 1999** - Aphid responses to non-host epicuticular lipids, in: Simpson, S.J., Mordue, A.J., Hardie, J. (Eds.), *Proceedings of the 10th International Symposium on Insect-Plant Relationships, Series Entomologica.* Springer Netherlands, pp. 115–123.
332. **IBBOTSON A. et KENNEDY J. S., 1959** - Interaction Between Walking and Probing in *Aphis Fabae* Scop. *J. Exp. Biol.* 36, 377–390.
333. **PELLETIER Y., 1990** - The role of the color of the substratum on the initiation of the probing behavior in *Myzus persicae* (Sulzer) and *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae). *Can. J. Zool.* 68, 694–698.
334. **HARDIE J. et POWELL G., 2000** - Close-up video combined with electronic monitoring of plant penetration and behavioral effects of an aphid antifeedant. *Princ. Appl. Electron. Monit. Tech. Study Homopteran Feed. Behav.* 201.
335. **STORER J. R., POWELL G. et HARDIE J., 1996** - Settling responses of aphids in air permeated with non-host plant volatiles. *Entomol. Exp. Appl.* 80, 76–78.
336. **POWELL G., HARDIE J. et PICKETT J.A., 1995** - Behavioural evidence for detection of the repellent polygodial by aphid antennal tip sensilla. *Physiol. Entomol.* 20, 46–141.
337. **GRIFFITHS D.C., PICKETT J.A. et WOODCOCK C., 1982** - Behaviour of alatae of *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) on chemically treated surfaces after tethered flight. *Bull. Entomol. Res.* 72, 687–693.
338. **KOGEL W. J. DE VISSER J. H. et TOL R.W.H.M. VAN, 2000.** Repellent odours to protect crops from aphids. *Agro Food Ind. Hi-Tech* 11, 42–44.
339. **DETHIERS V. G., 1982** - MECHANISM OF HOST-PLANT RECOGNITION. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 31: 49–56. Doi : 10.1111/j.1570-7458.1982.tb03118.x
340. **MILLER J. R. et STRICKLER K. S., 1984** - 'Finding and accepting host plants' dans Bell W.J. et Cardé R.T., *Chemical ecology of insects*, Chapman & Hall, London
341. **MAFFEI M.E., 2010** - Sites of synthesis, biochemistry and functional role of plant volatiles. *S. Afr. J. Bot.*, 76, 612-631.

342. **MAFFEI M.E., MITHO" FER A., BOLAND W., 2007** - Before gene expression: early events in plant-insect interaction, *Trends Plant Sci.* 12 310–316.
343. **DUDAREVA N., et PICHERSKY E., 2008** - Ingénierie métabolique des matières volatiles de plantes. de *Current Opinion in Biotechnology*, 19 (2), 181-189.
344. **SZENDREI Z, RODRIGUEZ-SAONA C, 2010** - Une méta-analyse d'insecte manipulation comportementale avec les substances volatiles de la plante. *Entomol Exp Appl* 134 : 210-210
345. **DICKE M. et BALDWIN I. T., 2010** - The evolutionary context for herbivore - induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. *Trends Plant Sci.* 15:167–175.
346. **JAMES D.G., 2003** - Field evaluation of herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects: methyl salicylate and the green lacewing, *Chrysopa nigricornis*. *J. Chem. Ecol.* 29:1601–1609.
347. **ZHU J. et PARK K.C., 2005** - Methyl salicylate, a soybean aphid induced plant volatile attractive to the predator *Coccinella septempunctata*. *J. Chem. Ecol.* 31:1733–1746.
348. **STEIDLE J. L. M. et VAN LOON J. J. A., 2003** - "Dietary specialization and infochemical use in carnivorous arthropods: testing a concept." *Entomologia Experimentalis et Applicata* 108.3 : 133-148.
349. **TOMOVA B. S.; WATERHOUSE J. S. et DOBERSKI J., 2005** - The effect of fractionated Tagetes oil volatiles on aphid reproduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 115 (1), 153-159.
350. **PICKETT J. A., WADHAMS L. J., et WOODCOCK C. M., HARDIE J., 1992.** The chemical ecology of aphids. AFRC United Kingdom.
351. **VISSER J. H., 1986** - Host odor perception in phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 31, 121-144
352. **WEBSTER B., 2012** - The role of olfaction in aphid host location. *Physiological entomology*, 37(1), 10-18.
353. **BERNARD A., 2002** - *De l'activité individuelle à la coopération auto-organisée chez les Arthropodes : Exemple de la construction chez les araignées.* Thèse de l'Université Henri Poincaré NANCY I
354. **WILSON E. O., 1971** - *The Insect Societies.* Harvard University Press, Cambridge, MA, USA
355. **PICIMBON J. F., 2002** – les périorécepteurs périphériques des insectes. *Med. Sci.*, 18 : 1089 - 1094
356. **CORTESERO A. M., J. O. STAPEL et W. J. LEWIS., 2000** - Understanding and Manipulating Plant Attributes to Enhance Biological Control. *Biological Control*, 17: 35-49.
357. **NORDLUND D.A., LEWIS W.J., JONES R.L. et GROSS JR. H.R., 1976** - Kairomones and their use for management of entomophagous insects. IV. Effect of kairomones on productivity and longevity of *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *J. Chem. Ecol.*, 2

- (1976), pp. 67–72.
358. **FRANCIS F., 2003** - Interactions tritrophiques : étude du modèle *Brassicaceae*-Pucerons-Coccinelle prédatrice. Thèse de doctorat. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux. pp 256.
359. **ARNAUD L., DETRAIN C., GASPAR C. et HAUBRUGE É., 2003.** Insectes et communication. *J. Ing.*, 87, 25-28.
360. **LEROY P., CAPELLA Q. et HAUBRUGE É., 2009** - L'impact du miellat de puceron au niveau des relations tritrophiques entre les plantes-hôtes, les insectes ravageurs et leurs ennemis naturels. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 13 (2), 325-334
361. **YAO I. et AKIMOTO S.I., 2002** - Flexibility in the composition and concentration of amino acids in honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Ecol. Entomol.*, 27, 745-752.
362. **AHMAD F., ASLAM M. & RAZAQ M., 2004** - Chemical ecology of insects and tritrophic interactions. *J. Res. (Sci.)*, 15(2), 181-190.
363. **HAGEN K.S., 1962** - Biology and ecology of predaceous Coccinellidae. *Annu. Rev. Entomol.*, 7, 289-326.
364. **HAGEN K.S., GREANY P., SAWALL E.F. & TASSAN R.L., 1971** - The use of food sprays to increase effectiveness of entomophagous insects. *In: Proceedings of the Tall timbers conference on ecological animal control and habitat management, 1970, n° 2.* Tallahassee, FL, USA: Tall Timbers Research Station, 59-81.
365. **HÖLLDOBLER B. et WILSON E., 1990** - *The ants*. Cambridge, MA, USA: The Belknap Press of Harvard University Press.
366. **HOGERVORST P., WÄCKERS F. & ROMEIS J., 2007.** Effects of honeydew sugar composition on the longevity of *Aphidius ervi*. *Entomol. Exp. Appl.*, 122, 223-232.
367. **BUITENHUIS R., MCNEIL J.N., BOIVIN G. et BRODEUR J., 2004** - The role of honeydew in host searching of aphid hyperparasitoids. *J. Chem. Ecol.*, 30(2), 273-285.
368. **POINTEAU S., 2011** - *Interactions peuplier-puceron lanigère (Phloeomyzus passerinii (Sign.)) et processus à l'origine de l'émergence et de l'expansion des pullulations* (Doctoral dissertation, Orléans).
369. **KARBAN R. et BALDWIN I.T., 1997** - Induced responses to herbivory, Ed. J.N. Thompson, Univ. Chicago Press, Chicago, 319 p.
370. **BAUCE E., BERUBE R., CARISEY N et CHAREST M., 2001-** La tordeuse des bourgeons de l'épinette. *Acquisition et transfert de connaissances au laboratoire.*
371. **KOGAN M., et ORTMAN E. F., 1978** - Antixenosis-a new term proposed to define Painter's "non preference" modality of resistance. *ESA Bulletin*, 24(2), 175-176.
372. **POINTEAU S., 2011** - *Interactions peuplier-puceron lanigère (Phloeomyzus passerinii (Sign.)) et processus à l'origine de l'émergence et*

- de l'expansion des pullulations* (Doctoral dissertation, Orléans).
373. **PANDA N., et KHUSH G. S., 1995** - *Host plant resistance to insects*. Cab International.
374. **DUGRAVOT S., 2004** - *Les composés secondaires soufrés des Allium: Rôle dans les systèmes de défense du poireau et actions sur la biologie des insectes* (Doctoral dissertation, Université François Rabelais-Tours).
375. **GREEN T. R. et RYAN C. A., 1972** - Wound-induced proteinase inhibitor in plant leaves: a possible defense mechanism against insects. *Science*, 175(4023), 776-777.
376. **JOHNSONS R., NARVAEZ J., AN G. et RYAN C.A., 1989** - *Expression of proteinase inhibitors I and II in transgenic tobacco plants: Effects on natural defense against Manduca sexta larvae*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 86 pp. 9871-9875.
377. **ROYO J., LEON J., VANCANNEYT G., ALBAR J.P., ROSAHL S. & ORTEGO F., 1999** - *Antisense-mediated depletion of a potato lipoxygenase reduces wound induction of proteinase inhibitors and increases weight gain of insect pests*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96: 1146-1151.
378. **HILDER V.A., GATEHOUSE A.M.R., SHEERMAN S.E., BARKER R.F. et BOULTER, D., 1987** - *A novel mechanism of insect resistance engineered into tobacco*. Nature 300 pp : 160-163.
379. **OROZCO-CARDENAS, M., MCGURL, B. et RYAN, C.A. 1993** -. *Expression of antisense prosystemin gene in tomato plants reduces resistance toward Manduca sexta larvae*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 90 pp. 8273-8276.
380. **SCHULTZ, J.C., 2002** - *How plants fight dirty*. Nature 416 pp. 267.
381. **CHEN M.-S., 2008** - Inducible direct plant defense against insect herbivores: a review. *Insect Science* 15: 101-114
382. **DE MORAES C. M., LEWIS W. J., PARE´ P. W., ALBORN H. T. et TUMLINSON J. H., 1998** - Herbivore-infested plants selectively attract parasitoids. *Nature* 393: 570–573.
383. **DUHOUX E. et NICOLE M., 2004** - *Associations et interactions chez les plantes*. Éditions Dunod, Paris.
384. **TURLINGS T.C.J et TUMLINSON J.H., 1992**- Systemic release of chemical signals by herbivore-injured corn. *Proc. Natl Acad. Sci.*, 89, 8399-8402.
385. **VAN LOON J. J. A., DE BOER J.G. et DICKE M., 2000** - *Parasitoid-plant mutualism: parasitoid attack of herbivore increases plant reproduction*. Entomol. Exp. Appl. 97 pp: 219-227
386. **FRITZSCHE-HOBALLAH M. E. et TURLINGS T. C. J., 2001** – Experimental evidence that plants under attack may benefit from attracting parasitoids. *Evol. Ecol. Res.* 3, 553–565.
387. **BERNAYS E.A. et CHAPMAN. R.F., 1994** - *Host-plant Selection by Phytophagous Insects*. Chapman and Hall, New York

388. **MC KEY, D. 1979** - The distribution of secondary compounds within plants. In: *Herbivores: Their interaction with secondary plant metabolites*, Ed. G. Rosenthal & M. Berenbaum, Academic Press, New York, pp. 55-133.
389. **RHOADES, D.F., 1979** - Evolution of plant chemical defenses against herbivores. In: *Herbivores: Their interaction with secondary plant metabolites*, Ed. G. Rosenthal & M. Berenbaum, Academic Press, New York, pp. 4-54.
390. **ZANGERL A.R. et BAZZAZ F.A., 1992** - Theory and pattern in plant defense allocation. In: *Plant resistance to herbivore and pathogens: Ecology, evolution, and genetics*, eds, R.S. Fritz & E.L. Simms, University of Chicago Press, Chicago, pp. 363-391.
391. **SWAIN, T. 1979** - Tannins and lignins, p. 657-682. In G. A. Rosenthal and D. H. Janzen [eds.], *Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites*. Academic Press, New York.
392. **FEENY P.P., 1970**- Seasonal changes in oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by winter moth caterpillar. *Ecology*, 51: 565-581
393. **REESE J.C., CHAN B.G et WAISS A.C.J., 1982**- *Effects of cotton condensed tannin, Maysin (corn) and Pinitol (soybeans) on Heliothis zea growth and development*. *Journal of Chemical Ecology*, 8 pp. 1429-1436.
394. **BERENBAUM M., 1983** - *Effects of tannin on growth and digestion in two species of Papilionids*. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, 34: 245-250.
395. **DOUCE R., 2005** - Les plantes supérieures : divines et/ou diaboliques. Les défis scientifiques du 21^{ème} siècle. *Institut de France - 23, quai de Conti 75006 Paris 17p.*
396. **SMITH C. M., 2005** - Plant resistance to arthropods. Edition Springer, the Netherlands: 423p.
397. **SHIELDS V. D. C., SMITH K. P., ARNOLD N. S., GORDON I. M., SHAW T. E. et WARANCH D., 2008** - The effect of varying alkaloid concentrations on the feeding behavior of gypsy moth larvae, *Lymantria dispar* (L.) (Lepidoptera : Lymantriidae). *Arthropod-Plant Interactions 2*: 101-107.
398. **STREBLER G., 1989** - Les médiateurs chimiques, leur incidence sur la bioécologie des animaux. Technique et documentation – Lavoisier, Paris : 246p.
399. **CORTESERO A. M., DE MORAES C. D., STAPEL J. O., TUMLINSON J. H. et LEWIS W. J., 1997** - Les comparaisons et les contrastes dans les stratégies de recherche de nourriture hôte de deux parasitoïdes larvaires avec différents degrés de spécificité d'hôte. *J Chem Ecol* 23: 1589 - 1606.
400. **LOUIS S. 2004** – Diversité structurale et d'activité biologique des albumines entomotoxiques de type 1b des graines de légumineuses. Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 260p.
401. **RYAN C. A., 1990** - Protease inhibitors in plants: genes for improving defenses against insect and pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 28 : 425-449.
402. **DERAISON C., 2002** - *Isolement, caractérisation et cibles de nouveaux inhibiteurs de protéases pour la création de plantes transgéniques résistantes aux pucerons* (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI).

403. **SCHOONHOVEN L. M., VAN LOON J. J. A. et DICKE M., 2005** - Insect-Plant Biology, Ed 2. Oxford University Press, Oxford
404. **WALLING L. L., 2000** - The myriad plant responses to herbivores. *J Plant Growth Regul* 19 195–216
405. **LARSSON S., 2002** - Resistance in trees to insects. In: *Mechanisms and Deployment of resistance in trees to insects* (eds Wagner MR, Clancy KM, Lieutier F, Paine TD), pp.1 -30. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
406. **VOGELWEITH, F., 2013** - Effet de la plante hôte sur l'immunité des insectes phytophages : Influence du cépage de vigne sur la capacité des vers de la grappe à se défendre contre des bio-agresseurs. Thèse Docteur de l'Université de Bourgogne. 229p.
407. **LAURENT P., BRAEKMAN J. C. et DALOZE D., 2005** - Insect chemical defense. *Top. Curr. . Insect Sci.*, 12, 37-44.
408. **FAURIE C., FERRA Ch., MEDORI P., et DEVAUX J., 1998** – *Ecologie – Approche scientifique et pratique*. Ed. J–B.Bailliere. Paris, 339 p
409. **CHASE J. M., ABRAMS P. A., GROVER J. P., DIEHL S., CHESSON P., HOLT R. D., et CASE T. J., 2002** - The interaction between predation and competition: a review and synthesis. *Ecology Letters*, 5(2), 302-315.
410. **POLIS G. A., MYERS C. A. et HOLT R.D., 1989** - «The ecology and evolution of intraguild predation: Potential competitors that eat each other Annual review of ecology and systematics». *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 20. p. 297-330.
411. **SOARES, A. O., BORGES I., BORGES P. A. V., LABRIE G. et LUCAS É., 2007** - «*Harmonia axyridis*: What will stop the invader?». *Biocontrol*, vol. 53, no 1, p. 127-145.
412. **EVANS E. W., 2009** - Lady beetles as predators of insects other than Hemiptera. *Biological Control* 51: 255-267.
413. **POLIS G. A. et HOLT R. D., 1997** - A theoretical framework for intraguild predation. *American Naturalist* 149: 745-764.
414. **ROSENHEIM J. A., KAYA H.K., EHLER L. E., MAROIS J. J. et JAFFEE B. A., 1995** - Intraguild Predation among Biological-Control Agents: Theory and Evidence. *Biological Control*, 5: 303-335.
415. **HOLT R. D. et POLIS G. A., 1997** - A Theoretical Framework for Intraguild Predation. *American Naturalist*, 149: 745-764
416. **JANSSEN A., SABELIS M. W., MAGALHÃES S., MONTSERRAT M. et VAN DER HAMMEN T., 2007** - Habitat structure affects intraguild predation. *Ecology* 88: 2713-2719.
417. **HOLT R. D. et HUXEL G. R., 2007** - Alternative prey and the dynamics of intraguild predation: theoretical perspectives. *Ecology* 88: 2706-2712.
418. **ARIM M. et MARQUET P. A., 2004** - Intraguild predation: a widespread interaction related to species biology. *Ecology Letters* 7: 557-564.
419. **BAMPFYLDE C. J. et LEWIS M. A., 2007** - Biological control through intraguild predation: Case studies in pest control, invasive species and range expansion. *Bulletin of Mathematical Biology* 69: 1031-1066.
420. **SNYDER W. E. et IVES A. R., 2001** - Generalist predators disrupt biological control by a specialist parasitoid. *Ecology* 82: 705-716.
421. **LUCAS É. et J. BRODEUR., 2001** - «A fox in sheep's clothing: Fmtive predators benefit from the communal defense of their prey». *Ecology*, vol. 82, no 11, p. 3246-3250.
422. **LUCAS É., 2001** - Prédation intraguilde et lutte biologique. *VertigO-la*

- revue électronique en sciences de l'environnement*, 2(2).
423. **POLIS G. A. et HOLT R., 1992** - Intraguild Predation: The Dynamics of Complex Trophic Interactions. *Trends in Ecology and Evolution*, 7: 151-154.
424. **ROSENHEIM J., et WILHOIT L., 1993** - Why lacewings may fail to suppress aphids. Predators that eat other predators disrupt cotton aphid control. *California Agriculture*, 47(5), 7-9.
425. **ROSENHEIM J. A., WILHOIT R. et ARMER C. A., 1993** - Influence of intraguild predation among generalist insect predators on the suppression of an herbivore population. *Oecologia*, 96: 439-449.
426. **MÜLLER C. B. et BRODEUR J., 2002** - «Intraguild predation in biological control and conservation biology». *Biological control*, vol. 25, no 3, p. 216-223.
427. **LUCAS É., CODERRE D., ET BRODEUR J., 1998** - «Intraguild predation among aphid predators: Characterization and influence of extraguild prey density». *Ecology*, vol. 79, no 3, p. 1084-1092.
428. **BARAT M., 2007** - Interactions plante-insecte, spécialisation et invasion biologique : écologie évolutive des ajoncs (genre *Ulex*) et de leurs charançons spécifiques (genre *Exapion*) en Bretagne.
429. **DEBOUZIE D. et THIOULOUSE J., 1986** - Statistics to find spatial and temporal structures in populations. In: Mangel M. (Ed.), *Pest control: operations and system analysis in fruit fly management*, NATO ASI Series, Vol. G11, Springer Verlag, p. 263- 282.
430. **DEBOUZIE D., DENIS J. B., ROSPARS J. P., 1987** – Echantillonnage et répartition spatiale ; C ; R ; Acad. Fr. 73 ; 7 ; 73-82p.
431. **BOUKTIR O., 2003** - Contribution à l'étude de l'entomofaune dans trois oliveraies à Tizi- Ouzou et étude de quelques aspects bio- écologiques de la mouche de l'olive. *Bactrocera oleae* Gmelin et Rossi, 1788 (Diptera- Tephritidae)
432. **FRONTIER S., 1983** – Stratégie d'échantillonnage en écologie. Ed. Masson, Paris et Les Presses de l'Université de Laval, Québec, 494 p.
433. **BAGGIOLINI, M., et T. WILDBOLZ. 1965.** Comparaison de différentes méthodes de recensement des populations d'arthropodes vivant aux dépens du pommier. *Entomophaga* 10:247-264.
434. **REBOULET J. N., 1999-** Les auxiliaires entomophages reconnaissances, méthodes d'observation, intérêt agronomique. Ed. ACTA, 136 p.
435. **MOSTEFAOUI H., DJAZOULI Z. et BENFEKIH L., 2011** – effet de poussée de sève sur les interactions agrumes pucerons. Sém. Internti. Prot. Vég. du 18 – 21 avril. Dép. Zool. Agri.for., Inst. Nati. Agro., EL Harrach, p. 81.
436. **BENKHELIL M. L., 1992** - Les techniques de récolte et de piégeage utilisées en entomologie terrestre. Ed. Office. Pub. Univ., Alger, 60 p
437. **ROTH M., 1972** – Les pièges à eau colorés, utilisés comme pots de Barber. *Rev. Zool. Agric. Pathol. Végét. (2)* :79 – 83.
438. **PERRIER R., 1927** - Hyménoptères. In la faune de la France. Delagrave. Paris, Tome VII, p. 211.
439. **PERRIER R., 1932** – *La faune de la France* – Coléoptères (deuxième partie). Ed. Librairie Delagrave, paris, fasc. 6, 229 p
440. **BALACHOWSKY A., 1962** - Entomologie appliquée à l'agriculture Tome I, Coléoptères. Masson et Cie. pp. 1 46-229

441. **VALLARDI F., 1962** - *Encyclopedie du monde animal : direction*. Tome II, 159- 463
442. **BORRER D. J. et WHITE R. E., 1970** - *Insects: Peterson Field Guide*.
443. **STANEK V. J., 1973** - *Encyclopédie illustrée des insectes*. Published by Gründ. 548 p.
444. **PIHAN J. C., 1977** - *Je reconnais les insectes*. Collection Agir & connaître. T1-127 p. et T2. 156 p.
445. **CHINERY M., 1983** - *Les insectes d'Europe*. Bordas. 380 p
446. **ZAHRADNIK E.P., 1984** - *Guide des insectes*. Ed. Hatier. 314 p.
447. **ZIMMER, E. (1989)**. *Guide de la faune*. Traduction et adaptation Denis Amand, Arthaud. 218- 282.
448. **NOYES, J.S. et VALENTINE, E.W.** 1989. Chalcidoidea (Insecta: Hymenoptera) - introduction, and review of genera in smaller families. *Fauna of New Zealand* 18:1-91.
449. **NOYES, J.S. 2003-** Universal Chalcidoidea Database. World Wide Web electronic publication. <http://www.nhm.ac.uk/chalcidoids>.
450. **CHOUINARD G., FIRLEJ A., VANOOSTHUYSE F. et VINCENT C., 2000** - Guide d'identification des ravageurs du pommier et de leurs ennemis naturels. Conseil des productions végétales du Québec inc., Québec. 69 p.
451. **CHAZEAU J., ÉTIENNE J. et FÜRSCHE H., 1974** - Les Coccinellidae de l'Île de la Réunion (Insecta Coleoptera). *Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle* (3), 210(zoology 140) : 265-297.
452. **GOURREAU J.M., 1974** - Systématique de la tribu des Scymnini (Coleoptera Coccinellidae). *Annales Zoologie Ecologie Animale*. I.N.R.A. Paris, N° hors-série, 221 p.
453. **MAGRO A, LECOMPTE E, MAGNE F, HEMPTINNE J - L, CROUAU-ROY B , 2010** -Phylogeny of ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae): Are the subfamilies monophyletic? *Molecular Phylogenetics and Evolution* 54: 833-848 March.
454. **VAN BRUMMELEN T.C., et SUIJFZAND S.C., 1993** – Effects of benzofalpyrene on survival, growth and energy reserves in the terrestrial isopods *Oniscus asellus* and *Porcellio scaber*. *The science of the total environment supplement*, pp. 921 -929.
455. **WIN DECOEN T., 2000** – Influence of metals on reproduction, mortality and population growth in *Onychiurus armatus (Collembola)*. *Jour. Of Applied Ecol.* 22, pp. 967-978.
456. **SALADIN G., MAGNE C., CLEMENT C., 2003** - Stress reactions in *Vitis vinifera L.* following soil application of the herbicide flumioxazin, *Chemosphere* 53, 199–206.
457. **MAGNE, C., et LARHER, F., 1992** - High sugar content of extracts interferes with colorimetric determination of amino acids and free proline. *Analytical biochemistry*, 200(1), 115-118.
458. **DALZELL S. A. et KERVEN G.L., 1998** - A rapid method for the measurement of Leucaena spp. Proanthocyanidins by the Proanthocyanidin (Butanol/HCl) Assay, *J. Sci. Food Agric.* 78; 405–416.
459. **HAMMER O., HARPER D.A.T., et RYAN P. D., 2001** – PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1) : 9pp. http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

460. **DAJOZ R, 1971**- Précis d'écologie. Ed.Dunod, Paris, 434P.
461. **DAJOZ R., 1985** – Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris, 505 p.
462. **BLONDEL J., 1979** – Biographie et écologie. Ed. Masson, Paris.
463. **RAMADE F., 1984** – *Eléments d'écologie –Écologie fondamentale*. Ed. Mc.Graw-Hill, Paris, 397 p.
464. **PIELOU E. C., 1975** - Ecological diversity. Wiley, New York.
465. **DJAZOULI Z.-E., DOUMANDJI-MITICHE B., PETIT D., 2009** - Spatio-temporal variations of functional groups in a *Populus nigra* L. entomocenosis in the Mitidja plain (Algeria), C. R. Biologies 332 848–860.
466. **MOTOMURA I., 1932** - On the statistical treatment of communities. *Zool. Mag*, 44, 379-383.
467. **SAPORTA. G., 1990** - Probabilités. Analyse des données et statistiques, Ed Technip.493p
468. **MARTIKAINEN P., SIITONEN J., PUNTTILA P., KAILA L. et RAUH, J. 2000** - Species richness of Coleoptera in mature managed and oldgrowth boreal forests in southern Finland, *Biological Conservation* 94, 199–209.
469. **CLARKE K.R., 1993** - Non parametric multivariate analysis of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18:117-143.
470. **SZABADOS L., SAVOURE A., 2009** - Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science* 15, 89–97.
471. **MAILLOUX J., LE BELLEC F., KREITER S., TIXIER M. S., et DUBOIS P., 2010** - Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 52(3), 275-290.
472. **MCGILL B. J., ENQUIST B. J., WEIHER E., et WESTOBY M., 2006** - Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in ecology & evolution*, 21(4), 178-185.
473. **GABA S., FRIED G., KAZAKOU E., CHAUVEL B., et NAVAS M. L., 2013** -Agroecological weed control using a functional approach: a review of cropping systems diversity. *Agronomy for sustainable development*, 34(1), 103-119.
- 474 **NORRIS R. F., 2005** - Ecological bases of interactions between weeds and organisms in other pest categories. *Weed science*, 53(6), 909-913.
475. **SELTZER P., 1946** – *Le climat de l'Algérie*. Inst. Meteo. Phy. Globe, Univ. Alger, 219p.
476. **MEDDI H. et MEDDI M., 2013** - Impact of climate change on groundwater (the Mitidja plain). Third Water Framework Directive international conference: climate change impacts on water security and safety. 4th-6th November 2013 at the Polytech'Lille, Lille, France
477. **PETTITT A .N., 1979** - A non-parametric approach to the change-point problem *applied statistics* , 28,n 2, pp 126-135.
478. **LADANYI M. et HORVATH L., 2010** - A review of the potential climate change impact on insect populations - general and agricultural aspects. *Applied Ecology and Environmental Research* 8, 143-152.
479. **BENASSY C., 1975** – Les cochenilles des agrumes dans le bassin méditerranéen. *Ann. Inst. Nat. Agro. Vol. V, n°6, El-Harrach*, pp. 118-142.
480. **KAVALLIERATOS N.G., LYKOURESSIS D.P., SARLIS G.P., STATHAS G.J., SANCHIS SEGOVLA A. et ATHANASSIOU C.G., 2001** - The Aphidiinae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) of Greece. *Phytoparasitica*

- 29(4), p. 306-340.
481. **WHEELER A.G., 2001** - Biology of the Plant Bugs (Hemiptera: Miridae). 507 pp. New York, Cornell University Press.
482. **PALEVSKY E., BOROCHOV-NEORI H. et GERSON U. 2005** - Population dynamics of *Oligonychus afrasiaticus* in the southern Arava Valley of Israel in relation to date fruit characteristics and climatic conditions. *Agricultural and Forest Entomology* 7: 283-290.
483. **VAN ASCH M. et VISSER M.E., 2007** - Phenology of forest caterpillars and their host trees: The importance of synchrony. *Annual Review of Entomology* 52: 37-55.
484. **YOKOMI R.K. et GARNSEY S.M., 1987** - Transmission of Citrus Tristeza Virus by *A. gossypii* and *A. citricola* in Florida. *Phytophylactica* 19: 169-172.
485. **BENZIANE M. ABBASSI M. et JAHAJ A., 2001** - Comparaison de deux méthodes de lutte intégrée contre les principaux ravageurs associés aux agrumes dans la région du Gharb. In: AMPP (ed.), *Proceeding du Symposium sur « la Protection intégrée des cultures dans la région méditerranéenne »*, Rabat, 29-31 mai 2001 : 257-269.
486. **SMALI C., AFELLAH M. et ZRIDA L., 2001** - Contribution à la mise en place d'un système de lutte intégrée sur Clémentinier dans la région du Gharb. In : Région Gharb/INRA kénitra (eds), *Proceeding du 1 er colloque de l'Agriculture sur « le Développement agricole et recherche agronomique dans la région du Gharb. Bilan et perspective »*, Kénitra, 23-24 juillet 2001 : 8 p
487. **BICHE M., 2012** - *Les principaux insectes ravageurs des agrumes en Algérie et leurs ennemis naturels*. Programme Régional de Gestion Intégrée des Ravageurs des cultures au Proche Orient. F.A.O., 36p.
488. **SMITH J. A. C. et MIBURN J. A., 1980** - Transports phloème, soluté flux et la cinétique de la sève exsudation dans *Ricinus communis* L. *Planta* 148 : 35-41
489. **WINTER H., LOHAUS G. et HELDT H. W. 1992** - Le transport phloème d'acides aminés par rapport à leurs niveaux cytosoliques dans les feuilles d'orge. *Plant Physiol.* 1992 ; 99 : 996-1004
490. **GHOLAMI M., COOMBE B. G. et ROBINSON S. R., 2004** - Grapevine analyse de sève du phloème : 1-sucrose, les acides aminés, les concentrations de potassium, les tendances saisonnières et diurnes. *Acta Hort (ISHS)* ; 640 : 143-153.
491. **SHARKEY P. J. et PATE J. S., 1976** - Translocation des feuilles aux fruits d'une légumineuse, étudiés par une technique de saignements phloème : les changements et les effets de l'obscurité continue diurnes. *Planta* ; 128 : 63-72
492. **PATE J., SHEDLEY E., ARTHUR D. et ADAMS M., 1998** - spatiale et les variations temporelles de la composition de la sève du phloème de plantation cultivé *Eucalyptus globulus*. *Oecologia.* ; 117 : 312-322.
493. **MATTHEWS R. E. F., 1991** – Relationships between plant viruses and invertebrates. In REF Matthews, Ed, *Plant Virology*, Ed 3. Academic Press, NY, pp. 520–561.
494. **WEIBULL J., 1987** - Seasonal changes in the free amino acids of oat and barley phloem sap in relation to plant growth stage and growth of *Rhopalosiphum padi*. *Ann. Appl. Biol.* 111: 729-737.

495. **COMEAU A., 1992.** La résistance aux pucerons : Aspects théoriques et pratiques. In: Vincent Ch. et Coderre D. (Eds.), La lutte biologique. Ed. Lavoisier Tec & Doc, Québec, pp. 433- 449.
496. **NIRAZ, S., LESZCZYNSKI, B., CIEPIELA, A., URBANSKA, A., WARCHOL, J., 1985** - Biochemical aspects of winter wheat resistance to aphids. *International Journal of Tropical Insect Science*, 6(03), 253-257.
497. **DINANT S., BONNEMAIN J.L., GIROUSSE C., KEHR J., 2010** - Phloem sap intricacy and interplay with aphid feeding, *C. R. Biologies* 333; 504–515.
498. **HIJAZ F. et KILLINY N., 2014** - Collection and chemical composition of phloem sap from *Citrus sinensis* L. Osbeck (Sweet Orange). *PloS one*, 9(7), e101830.
499. **Guingard J, 1996** - Biochimie végétale. Lavoisier, Paris, 175-192 p.
500. **BESSAS A ; BENMOUSSA L; KERARMA M., 2007** - Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud Algérien. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en biologie.
501. **JARVIS MC. 2009.** Plant cell walls: supramolecular assembly, signalling and stress. *Structural Chemistry*. 20: 245–253.
502. **FROMM J., HAJIREZAEI M. R., BECKER V. K., et LAUTNER S., 2013** - Electrical signaling along the phloem and its physiological responses in the maize leaf. *Frontiers in Plant Science* 4 (239): 1-7).
503. **BECHINGER C., 1999** - Optical measurements of invasive forces exerted by appressoria of a plant pathogenic fungus. *Science Signaling* 285: 1896–1899.
504. **WALTON J. D., 1994** - Deconstructing the cell wall. *Plant Physiology* 104: 1113–1118.
505. **NÜHSE T .S., 2012** - Cell wall integrity signaling and innate immunity in plants. *Frontiers in Plant Science* 3: 280.
506. **WATTIER C., 2013** - Pucerons et paroi végétale : implication directe ou indirecte de pectine méthylestérases dans la résistance d'*Arabidopsis thaliana*
507. **AUCLAIR J. L., MALTAIS J. B. et CARTIER J. J., 1957** - Factors in resistance of peas to the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Harr.) - II. Amino acids. *Can. Entomol.* 89: 457-464
508. **VAN EMDEN H. F. et BASHFORD M. A., 1971** - The performance of *Brevicoryze brassicae* and *Myzus persicae* in relation to plant age and leaf amino acids. *Entomol. exp. appl.* 14: 349-360.
509. **WHITE D.F., 1972** - Effet of varying dietary amino acid and sucrose concentrations on production of apterous cabbage aphid. *J. Insect Physiol.* 18: 1241-1248.
510. **DREYER D.L. et CAMPBELL B.C., 1987** - Chemical basis of host-plant resistance to aphids. *Plant, Cell and Environment* 10: 353-361
511. **FEBVAY G., DELOBEL B. et RAHBÉ Y. 1988:** Influence of the amino acid balance on the improvement of an artificial diet for a biotype of *Acyrtosiphon pisum* (Homoptera: Aphididae). *Can. J. Zool.* 66: 2449–2453.
512. **WEIBULL J., 1988** - Free amino acids in the phloem sap from oats and barley resistant to *Rhopalosiphum padi*. *Phytochemistry* 27: 2069-2072.
513. **MILESI S., 2001.-** Étude de la production de furocoumarines par la Rue

- officinale (*Ruta graveolens* L.) : cultures de plantes au champ et cultures in vitro. Diss. INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
514. **ARAUS J. L., ALEGRE L., TAPIA L. et CALAFELLA R., 1986** – Relationship between leaf structure and gaz exchange in wheat leaves at different insertion levels. *Journ . Exp . Bot.*, Vol (17), N° 182, PP 1323-1333.
515. **KUMBASLI M., 2005** – Etudes sur les composés polyphénoliques en relation avec l'alimentation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*choristoneura fumiferana* (clem.)) Thèse Philosophiae Doctor (Ph.D.) Faculté de foresterie et de géomatique, université Laval, QUÉBEC, 150p.
516. **FLAVIA N.I., MILONE M.T., QUARTACCI M.K. and PINZINO C., 1993** – Plant Response to Water-Deficit Conditions. *Elsevier Sci. Pub. Ireland LTD*, 151- 157.
517. **CATES R.G. et ALEXANDER H., 1992-** Host resistance and susceptibility in Bark Beetles of North American conifers. *J.B. Mitton et KB Surgeon*. Ed. University of Texas press, pp. 212-263.
518. **HAGERMAN A.E. et BUTLER L.G., 1991** – Tannins and lignins. pp. 355-388 in G.A. Rosenthal and M.R. Berenbaum (eds.). *Herbivores, Their Interaction with Secondary Plant Metabolites*, Vol. I. The Chemical Constituents, 2nd ed. Academic Press, San Diego California.
519. **STAMP N. E. et BOWERS M. D., 1991** – Indirect effect on survivorship of caterpillars due to presence of invertebrate predators. *Oecologia*, 88, 325-330.
520. **MONNEVEUX P., ET NEMMAR M., 1986** - Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement, *Agronomie* 6 ; 583–590.
521. **CASALS M. L., 1996** - "Introduction des mécanismes de résistance à la sécheresse dans un modèle dynamique de croissance et de développement de blé dur" Thèse de doctorat en agronomie, INRA Paris Grignon, 86 pages, pp.9-14
522. **WANG Q., XIE Y., DU Q. S., WU X. J., FENG X., MEI L., et XIONG, W. C., 2003** - Regulation of the formation of osteoclastic actin rings by proline-rich tyrosine kinase 2 interacting with gelsolin. *The Journal of cell biology*, 160(4), 565-575.
523. **DINAKAR N., NAGAJYOTHI P. C., SURESH S., UDAYKIRAN Y., et DAMODHARAM T., 2008** - Phytotoxicity of cadmium on protein, proline and antioxidant enzyme activities in growing *Arachis hypogaea* L. seedlings. *J. Environ. Sci.*, 20: 199-206.
524. **MATYSIK J., ALAI BHALU B., MOHANTY P., 2002** - Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants, *Curr. Sci. India* 82; 525–532.
525. **WIGGLESWORTH V. B., 1942** - The storage of protein, fat, glycogen and uric acid in the fat body and other tissues of mosquito larvae. *Journal of Experimental Biology* 19, 56–77
526. **LOCKE M. et COLLINS J. V. 1968** - Protein uptake into multivesicular bodies and storage granules in the fat body of an insect. *The Journal of Cell Biology* 36, 453–483
527. **CHARLES S., FERREOL M., CHAUMOT A., et PÉRY A.R.R., 2004** – Food availability effect on population dynamics of the midge *Chironomus*

- riparius : a Leslie modeling approach. *Ecological Modelling* 175: 217-229
528. **CASWELL, H., 2001** - Matrix Population Models. Sinauer Associated Inc., second Edition. Sunderland
529. **ARRESE E. L. et SOULAGES J. L., 2010** - Insect fat body: energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology* 55, 207–225
530. **GNAIGER E., 1983** - Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. *Polarographic Oxygen Sensors. Aquatic and Physiological Applications*. H. FORSTNERS and E. GNAIGER Ed. Springer, Berlin. 337–345
531. **HAMBURGER K., LINDEGAARD C. et DALL P. C., 1996** - The role of glycogen during the ontogenesis of *Chironomus anthracinus* (Chironomidae, Diptera). *Hydrobiologia* 318, 51–59
532. **SAHA S. K. et BREWER C. F., 1993** – Determination of the concentration of oligosaccharides, complex type carbohydrates, and glycoproteins using the phenol-sulfuric acid method. *Carbohydrate research*, 254: 157 – 167
533. **L'HELIAS C., 1970** – Chemical aspects of Growth and development in insects *Chemical Zoologie*, Florkin M., et Scheers B.T., *Chemical Zoologie*, London Academic Press5, pp.343-400
534. **GILBERT I., et O'CONNOR J.D., 1970** – Lipid metabolism and transport in arthropods. *Chemical Zoology*, Vol. V, Florkin M., SCHEER B.T., Newyork and London, Acadmic Press, pp.229-253
535. **BEENAKKERS A. M. T., VAN DE HORST D. J. et VAN MARREWIJK, 1981** – Role of lipids in energy metabolism. *Energy metabolism in insects*. Downer, R. G. H., New York: 53- 100.
536. **PELOSSE P., 2008** - Role of trade-offs in the specialisation and coexistence of competing species. Theoretical and empirical developments in parasitoid insects. Thèse soutenue en 12/2010 à Lyon. 205 pages..
537. **GIRON D., PINCEBOURDE S. et CASAS J., 2004** - Lifetime gains of host-feeding in a synovigenic parasitic wasp. *Physiological Entomology*, 29, 436-442
538. **JERVIS M.A. et KIDD N.A.C., 1986** - Host-feeding strategies in Hymenopteran parasitoids. *Biological Reviews*, 61, 395-434
539. **SUAREZ R.K., DARVEAU C.-A., WELCH K.C., O'BRIEN D.M., ROUBIK D.W. et HOCHACHKA P.W., 2005** - Energy metabolism in orchid bee flight muscles: carbohydrates fuels all. *Journal of Experimental Biology*, 208, 3573-3579
540. **SINCLAIR B.J., VERNON P., KLOK C.J. et CHOWN S.L., 2003** - Insects at low temperatures: an ecological perspective. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 257-262.
541. **ELLERS J., 1996** - Fat and eggs: An alternative method to measure the trade-off between survival and reproduction in insect parasitoids. *Netherlands Journal of Zoology*, 46, 227-235.
542. **ELLERS J., et VAN ALPHEN J. J. M., 1997** - Life history evolution in *Asobara tabida* : plasticity in allocation of fat reserves to survival and reproduction. *Journal of Evolutionary Biology*, 10, 771-785
543. **ELLERS J., VAN ALPHEN J. J. M. et SEVENSTER J., 1998** – A field study of size-fitness relationships in the parasitoid *Asobara tabida*. *Journal of Animal Ecology*. 67: 318 324.
544. **WORLAND M. R., WHARTON D.A. et BYARS S.G., 2004** - Intracellular freezing and survival in the freeze tolerant alpine cockroach *Celatoblatta*

- quinquemaculata. *Journal of Insect Physiology*, 50, 225-232
545. **CALOW P., 1979** - Cost of reproduction - a physiological approach. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 54, 23-40
546. **REZNICK D., 1983** - The structure of guppy life histories: the trade-off between growth and reproduction. *Ecology*, 64, 862-873.
547. **MADSEN T. et SHINE R., 1993** - Costs of reproduction in a population of european adders. *Oecologia*, 94, 488-495
548. **ZHAO Z. et ZERA A.J., 2006** -. Biochemical basis of specialization for dispersal vs. reproduction in a wing-polymorphic cricket: Morph-specific metabolism of amino acids. *Journal of Insect Physiology*, 52, 646-658
549. **COX R.M. et CALSBEEK R., 2010** - Severe costs of reproduction persist in Anolid lizards despite the evolution of a single-egg clutch. *Evolution*, 5, 1321-1330
550. **REEKIE E.G. et BAZZAZ F.A., 1992** - Costs of reproduction as reduced growth in genotypes of 2 congeneric species with contrasting life histories. *Oecologia*, 90, 21-26
551. **ROFF D.A., 1983-** An allocation model of growth and reproduction in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 1395-1404
552. **BEN HALIMA-KAMEL M., BEN HAMOUDA M.H. et RABASSE J.M., 1994** – Les pucerons des agrumes et leurs ennemis en Tunisie. *Tropicultura* 12 (4), p. 145-147.
553. **BAIER P., 1996** – Inference of vigour and host quality of Norway spruce, *Picea abies*, towards the development of *Typographus* (Coleoptera: Scolytidae). *Entomologia Generalis*. 21 (1 -2) 27-35.
554. **RISTOLA T., PELLINEN J., ROUKOLAINEN M., KOSTAMO A., KUKKONEN J. V. K., 1999** – effect of sediment type, feeding level and larval density on growth end development of a midge (*chironomus riparius*). *Environ toxicol chem* , 1999,18 :756-764.
555. **SIROT E. et BERNSTEIN C., 1996** – Time sharing between host searching and food searching in parasitoids: state-dependent optimal strategies. *Behavioral Ecology* 7 (2): 189
556. **CASAS J., NISBET R.M., SWARBRICK S. et MURDOCH W.W., 2000** – Eggload dynamics and oviposition rate in a wild population of a parasitic wasp. *Journal of Animal Ecology*. 69. 185-193
557. **SANDSTRO M J. P., RUSSELL J. A., WHITE J. P., et MORAN N. A., 2001** - Independent origins and horizontal transfer of bacterial symbionts of aphids. *Mol. Ecol*. 10:217–228.
558. **STEELE J. E., 1981** – The role of carbohydrate metabolism in physiological function. *Energy metabolism*. R. G. H. Downer. New York, plenum press
559. **CHOI J., ROCHE H. et CAQUET T., 2001** - Hypoxia, hyperoxia and exposure to potassium dichromate or fenitrothion alter the energy metabolism in *Chironomus riparius* Mg. (Diptera: Chironomidae) larvae. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 130, 11–17
560. **KOEHN R. K., et BAYNE, B. L., 1989** - Towards a physiological and genetical understanding of the energetics of the stress response. *Biol. J. Linn. Soc.* 37, 169-171
561. **CALOW P., et SIBLY, R.M., 1990** - A physiological basis of population processes: ecotoxicological implications. *Functional Ecology*, 4, 283-288.
562. **LEVINS R., 1968** – Evolution in changing environments. Princeton

- University Press, Princeton.
563. **BARBAULT R., 1984** – Le concept de stratégie démographique, point de rencontre privilégié entre écologistes et généticiens de populations? *Acta Oecologica. Oecologia generalis* 5 : 243-259.
564. **ROFF D.A., 1992** – The evolution of life histories: theory and analysis. Chapman & Hall, London
565. **TERTULIANO M., et RÜ B., 1992** - Interaction entre la cochenille du manioc *Phenacoccus manihoti* et ses différentes plantes-hôtes : étude de la teneur de la sève en acide aminé et en sucre. *Entomologia experimentalis et applicata*, 64(1), 1-9.
566. **MITTLER T. E., 1988** - Applications of artificial feeding techniques for aphids. In *Aphids: their biology, natural enemies and control*. Vol 2B: 145-170. Ed. Minks, A. K. & P. Harrewijn, Elsevier
567. **MITTLER T. E. et R. H. DADD, 1963** - Studies on the artificial feeding of the aphid *Myzus persicae* (sulzer). I. Relative uptake of water and sucrose solutions. *J. Insect. Physiol.* 9 : 623 – 645
568. **SRIVASTAVA, P. N., 1987** - Nutritional physiology. In *Aphids: their biology, natural enemies and control*. Vol 3C: 99-121. Ed. Minks, A. K. & P. Harrewijn, Elsevier.
569. **GIORDANENGO P., FEBVAY G. et RAHBE Y., 2007** - Comment les pucerons manipulent les plantes. *Biofutur*, 279, 35-38.
570. **CHABOUSSOU F., 1975**- Les facteurs culturaux dans la résistance des agrumes vis-à-vis de leurs ravageurs. *St. Zool. Inst. Nat. Rech. Agro., Bordeaux*, 39 p.
571. **BAUCE É. et HARDY Y., 1988** – Effects of drainage and severe defoliation on the raw fiber content of balsam fir needles and growth of the spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). *Environmental Entomology*, 17: 671-674.
572. **FORKNER R. E., MARQUIS R. J. et LILL J. T., 2004** – Feeny revisited: condensed tannins as antiherbivore defences in leaf-chewing herbivore communities of *Quercus*. *Ecological Entomology*, 29: 174-187.
573. **GOGGIN F.L., 2007** - Plant-aphid interactions: molecular and ecological perspectives, *Curr. Opin. Plant Biol.* 10 ; 399–408.
574. **DOUGLAS A. E., 2006** - Alimentation Phloème sève par les animaux : problèmes et solutions. *J Exp Bot* 57: 747-754. doi: 10.1093 / jxb / erj067
575. **BONBONS D. J., BECKER A. et WEGENER G., 1997** - Coordination et intégration du métabolisme en vol des insectes. *Comp Biochem Physiol Biochem Mol Biol* 117: 497-512. doi: 10.1016 / s0305-0491 (97) 00212-5
576. **SUCRERIE D. J., 1967** - Présence et le métabolisme des Scylloinositol dans sauterelle. *Biochem J* 103 : 666-671.
577. **DADD R. H., 1967** - Amélioration de l'alimentation synthétique pour le puceron *Myzus persicae* utilisant des jus de plantes, des acides nucléiques ou des traces de métaux. *J. Insect Physiol* 13: 763-778. doi: 10.1016 / 0022-1910 (67)
578. **WALKER H. G.; KOHLER, G. O. et GARRETT W. N., 1982** - Comparative feeding value of alfalfa press cake residues after mechanical extraction of protein. *J. Anim. Sci.*, 55 (3): 498-504.
579. **TESTER M. et DAVENPORT R., 2003** - Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. *Annals of Botany*, 91: 503-527.
580. **ZISKA L.H. et RUNION B., 2007** - Future weed, pest, and disease

- problems for plants. Dans: Newton, P.C.C., Carran, R.A., Edwards, G.R., Niklaus, P.A. (Éds.), *Agroecosystems in a changing climate*. Taylor & Francis group, New York, pp. 261-279
581. **HAMILTON J.G., DERMODY O., ALDEA M., ZANGERL A.R., ROGERS A., BERENBAUM M.R., DE LUCIA E., 2005** - Anthropogenic changes in tropospheric composition increase susceptibility of soybean to insect herbivory. *Environmental entomology* 34, 479- 485
582. **HASEGAWA PM., BRESSAN RA., HANDA S. HANDA AK., (1984)**. Cellular mechanisms of tolerance to water stress. *Hort. Sci.* 19, p. 371–376.
583. **BLAHA, G.; STELZL, U.; SPAHN, C.M.T.; AGRAWAL, R.K.; FRANK, J. et NIERHAUS, K.H.; 2000** - Preparation of functional ribosomal complexes and effect of buffer conditions of Tran positions observed by cryoelectron microscopy. *Methods in Enzymology*, 317: 292-309.
584. **MUNNS R., 1993** - Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Env.*, 16: 15-24.
585. **SANDSTROM J., TELANG A., MORAN N.A., 2000** - enhancement of host plants by aphids – a comparison of three aphid species on grasses, *J. Insect Physiol.* 46; 33–40
586. **NOWAK H., KOMOR E., 2010** - How aphids decide what is good for them: experiments to test aphid feeding behaviour on *Tanacetum vulgare* (L.) using different nitrogen regimes, *Oecologia* 163 (4). 973– 984.
587. **HARE P.D., CRESS W.A., VAN STADEN J., 1998** - Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress, *Plant Cell Environ.* 21; 535–553.
588. **VERBRUGGEN N., HERMANS C., 2008** - Proline accumulation in plants : a review, *Amino Acids* 35 ; 753–759
589. **LIU X., YANG Q., 1991** - The role of proline in varietal resistance of cotton to *Aphis gossypii*, *Acta Agric. Univ. Pekinensis* 17; 77–80.
590. **WOOL D., HALES D.F., 1996** - Previous infestation affects recolonization of cotton by *Aphis gossypii*: induced resistance or plant damage? *Phytoparasitica* 24 (1); 39–48
591. **MARAIS J.P.J., MUELLER-HARVEY I., BRANDT E.V., FERREIRA D., 2000** - Polyphenols, condensed tannins and other natural products in *Onobrychis viciifolia* (sainfoin), *J. Agric. Food Chem.* 48; 3440–3447.
592. **MARTIN D., THOLL D., GERSHENZON J. et BOHLMANN J., 2002** – Methyl Jasmonate Induces Traumatic Resin Ducts, Terpenoid Resin Biosynthesis, and Terpenoid Accumulation in Developing Xylem of Norway Spruce Stems. *Plant Physiol.*129: 1003-1018.
593. **BENDEROTH M., TEXTOR S., WINDSOR A.J., MITCHELL-OLDS T., GERSHENZON J. et KROYMANN J., 2006** – Positive selection driving diversification in plant secondary metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* 103:9118–9123.
594. **MAKKAR H.P.; DAWRA R.K.; et SINGH B., 1991** - Tannin levels in leaves of some oak species at different stages of maturity. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 54:513-519.
595. **BRUNET S., 2008** - Analyse des mécanismes d'action antiparasitaire de plantes riches en substances polyphénoliques sur les nématodes du tube digestifs des ruminants. Thèse (Dr. Pathologie et Nutrition), Toulouse : Université Paul Sabatier, 246 p.
596. **FEUCHT W.; TREUTTER D. et CHRIST E., 1997** - Role of flavanols in

- yellowing beech trees of the Black forest. *Tree Physiology*. 17:335-340.
597. **BENNICK A., 2002** - Interaction of plant polyphenols with salivary proteins, *Crit. Rev. Oral Biol. Med.* 13 (2) 184–196.
598. **FRUTOS P., HERVAS G., RAMOS G., GIRALDEZ F.J., MANTECON A.R., 2002** - Condensed tannin content of several shrub species from a mountain area in northern Spain, and its relationship to various indicators of nutritive value. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 95,215-22
599. **HARBORNE J.B., 1988** - Introduction to ecological biochemistry, Academic press, New York.
600. **BUTLER L.G., 1989** - Effects of condensed tannin on animal nutrition, in: R.W. Hemingway, J.J. Karchesy (Eds.), *Chemistry and significance of condensed tannins*, Plenum Press, New York.
601. **MACHEIX J.J., FLEURIET A., JAY-ALLEMAND C., 2005** - Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires, PPUR Presses polytechniques.
602. **TODD G. W., GETAHUN A., CRESS D. C., 1971** - Resistance in barley to the greenbug, *Schizaphis graminum*. I. Toxicity of phenolic and flavonoid compounds and related substances. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 64, 718-722.
603. **MASSONIE, G., MAISON, P., MONET, R. et GRASSELY, C. (1982)**. Resistance au puceron vert du pêcher *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera-Aphididae), chez prunus persica L. Batch et d'autres espèces de prunus. *Agronomie* 2 (1) : 63- 70.
604. **BASTIDE, P., MASSONIE, G. et MACHEI, J. (1988)**. Influence in Vitro des composés phénoliques des jeunes feuilles du pêcher, prunus persicae L. Batsch, sur le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae* SULZER. *Revue d'agronomie, France*. Vol. 9: 787- 792.
605. **ZOUITEN, N., OUGASSY, Y., HILAL, A., FERRIERE, N., MACHEIX, I. J. et EL- HADRAMI, I. (2000)**. Interaction Olivier- PSYLLE. Caractérisation des composés phénoliques des jeunes pousses et des grappes florales et relation avec le degré d'attraction ou de répulsion des cultivars. *Agrochimica*; 1 (2): 1- 12.
606. **ZOUITEN, N., HILAL, A. and EL- HADRAMI, I. (2004)**. 3, 4-Dihydroxyphenylethanol, A potential Repelling Compound Implicated in the Interaction of olive tree- psyllid. *Journal of Entomology* 1 (1): 40- 46.
607. **MASON, R.R., WICKMAN, B.E., BECKWITH, R.C. et PAUL, H.G., 1992** – Thinning and nitrogen fertilization in a grand fir stand infested with western spruce budworm. Part I: Insect response. *Forest Sciences*, 38: 235-251.
608. **PERY A., 2003** – modélisation des effets des toxiques sur cheironme *chironomus riparius* de l'individu à la population, univ. Claude bernard – lyon 1, thèse doctorat, pp 120
609. **VINCENT C.H. et BOIVIN G., 1986** – Les relations insectes- plantes : Perspectives de recherche. *Rev. Entom.Québ.-Vol.* 31 (1/2), pp. 5- 15.
610. **STAEMPFLI G., 2001** – Etude des relations entre l'exposition de "*Folsomia candida*" à un micropolluant organique et les effets observés à différents niveaux d'organisation biologique : utilité des biomarqueurs comme outil prévisionnel. Thèse EPFL, Maîtrise d'écologie, Université de Bourgogne, France. 141p.
611. **SIMPSON S.J. et SIMPSON C.L., 1990** – The mechanisms of nutritional compensation byphytophagous insects. In: *Insect-Plant interactions*. Vol. II. Ed. CRC press, Florida, pp. 111-160.

612. **DJAZOULI Z.E., 1996** - Inventaire et interaction de l'entomofaune inféodée au peuplier noir *Populus nigra* L. Etude de la dynamique des populations et développement ovarien de *Chaitophorus leucomelas* (Koch, 1854) (Homoptera : Aphididae) en Mitidja, (Thèse de Magister), Institut national agronomique El-Harrach, Alger.
613. **NUNES S., HA C.-D.T., GARRETT P.J., MUEKE E.-M., SMALE L. et HOLEKAMP K.E., 1998** – Body fat and time of year interact to mediate dispersal behavior in ground squirrels. *Animal Behavior* ; 55. 605-614.
614. **GAUTHIER-CLERC M., LEMAHO Y., GENDNER J.P., DURANT J. et HANDRICH Y., 2001** – State-dependent decisions in long-term fasting king penguins, *Aptenodytes patagonicus*, during courtship and incubation. *Animal Behaviour* 62 (4): 661-669.
615. **DEDRYVER C.A., 1982** – Qu'est-ce qu'un puceron ? Les pucerons des cultures. Jour. D'étude D'inf. Paris, 2, 3 et 4 mars 1981, A.C.T.A., pp. 9 - 20.
616. **DEDRYVER C. A., LE RALEC A., et FABRE, F., 2010** - The conflicting relationships between aphids and men: a review of aphid damage and control strategies. *Comptes rendus biologies*, 333(6), 539-553.
617. **ROITBERG B. D., et PROKOPY R. J., 1983** – Host deprivation influence on response of *Rhagoletis pomonella* to its oviposition deterring pheromone. *Physiological Entomology*, 8, 69-72.
618. **RINGO J., 1996** – Sexual receptivity in insects. *Annual Reviews in Entomology* 41 473-494.
619. **SMITH C. M. et BOYKO E. V., 2007** - The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 122(1), 1-16.
620. **PETTERSSON A., ERIKSSON L. et LUNDH H., 1994** - No short-term difference in outcome after temporomandibular joint arthrography alone or with immediate lavage. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 77:322-326.
621. **NINKOVIC V. et PETTERSSON J., 2003** - Searching behaviour of the sevenspotted ladybird, *Coccinella septempunctata*: effects of plant-plant odour interaction. *OIKOS*, 100, 65-70.
622. **THAO M. L., BAUMANN L., BAUMANN P. et MORAN N. A., 1998** - Endosymbionts (Buchnera) à partir des pucerons du graminum de et *Diuraphis Noxia* ont différents nombres de copies du plasmide contenant les gènes biosynthétiques de la leucine. *Curr Microbiol.* 36 : 238-240
623. **CAMPANELLA P.J. et WOLF L.L., 1974** - Temporal leks as a mating system in a temperate zone dragonfly (Odonata : Anisoptera). I. *Plathemis lydia* (Drury). *Behavior* 51 49-87.
624. **VANCASSEL, M. et M. FORASTE. 1980** - Le comportement parental des Dermaptères. *Reprod. Nutr. Dev.* 20: 759-770.
625. **WRIGHT J., MAKLAKOV A.A. et KHAZIN V., 2001** – State-dependent sentinels: an experimental study in the Arabian babbler. *Proceedings of the Royal Society of London.* 821-826.
626. **APPERT. J. et DEUX J., 1982** – Les ravageurs des cultures vivrières et maraichères. Ed. Maisonneuve et larose.
627. **HODGES R.J., ADDO S., BIRKINSHAW L. 2003** - Can observation of climatic variables be used to predict the flight dispersal rates of *Prostephanus truncatus* ? *Agricultural and Forest Entomology* 5 : 123-135.
628. **PREMACHANDRA W.T.S.D., BORGEMEISTER C., CHABI-OLAYE A., et**

- POEHLING H.-M. 2004** - Influence of temperature on the development, reproduction and longevity of *Ceratothripoides claratris* (Thysanoptera: Thripidae) on tomatoes. *Bulletin of Entomological Research* 94 : 377-384.
629. **SIMELANE D.O. 2007** - Influence of temperature, photoperiod and humidity on oviposition and egg hatch of the root-feeding flea beetle *Longitarsus bethae* (Chrysomelidae: Alticinae), a natural enemy of the weed *Lantana camara* (Verbenaceae). *Bulletin of Entomological Research* 97 : 111-116.
630. **MCGUIRE R.J., JOHNSON M.T.J. 2006** - Plant genotype and induced responses affect resistance to herbivores on evening primrose (*Oenothera biennis*). *Ecological Entomology* 31 : 20-31.
631. **SCHAUB, L., BLOESCH, B., GRAT, B. et HOHN, H. (1995)**. Puceron cendré et des galles rouges du pommier. *Revue. Suisse de Vit. Arb. Hort.* n° 2: 94- 95.
632. **YOKOMI R.K. et OLDFIELD G.N., 1991** - Seasonal fluctuations of a late aphid activity in California citrus groves, in: *Proc 11th Conf. Intern. Organ. Citrus Virom.*, R.H. Brlansky, R.F. Lee and L.W. Timmer, Riverside,.
633. **HERMOSO DE MENDOZA, A.; BELLIURE, B.; CARBONELL, E.A. y REAL, V, 2001** - Economic thresholds for *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on Citrus clementina. *Journal of Economic Entomology*, 94 (2): 439-444
634. **BELLIURE B., PEREZ-PANADES J., AROUNI R., CARBONELL E. A., et DE MENDOZA AROCAS A. H., 2004** - Umbrales económicos de tratamiento contra *Aphis spiraecola* (Hemiptera, Aphididae) en clementinos. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas*, 30(1), 287-298.
635. **MARROQUIN C., OLMOS A., TERESA GORRIS M., BERTOLINI E., CARMEN MARTINEZ M., CARBONELL E.A., HERMOSO De MENDOZA A., CAMBRA M., 2004** - Estimation of the number of aphids carrying Citrus tristeza virus that visit adult citrus trees, *Virus Res.* 100 ; 01–108.
636. **DIXON A.F.G. 1985**. Aphid ecology. Blackie and Son limited, New York. 157 p.
637. **KAWADA, K., 1987** 6 Polymorphism and morph determination. In: Minks, A. K., Harrewijn, P. (Eds). *Aphids*. Elsevier, Amsterdam, 2A, pp. 255-268.
638. **LOMBAERT, E., BOLL, R., LAPCHIN, L., 2006**. Dispersal strategies of phytophagous insects at a local scale: adaptative potential of aphids in an agricultural environment. *BMC Evolutionary Biology* 6 : 75.
639. **MICHAUD J.P. et ROWNING H.W., 1999**. Seasonal Abundance of the Brown Citrus Aphid, *Toxoptera Citricida* (Homoptera: Aphididae) and its natural enemies in Puerto Rico. *Fla. Entomol.* 82(3) : 425-447.
640. **SMAILI M. C., BLENZAR A., J. BOUTALEB A., 2009** - Étude prospective de la fondation, de l'immigration et des facteurs de mortalité des colonies de pucerons noirs de l'oranger *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe (Hemiptera : Aphididae) au nord du Gharb. *ecologia mediterranea* – Vol. 35. 3 – 18.
641. **BOUKHRIS-BOUHACHEM S., 2011** - Aphid enemies reported from Tunisian citrus orchards. *Tunisian Journal of Plant Protection*, 6(1), 21-28.
642. **HERMOSODEMENDOZA, A., et al. (2006)** "Intervention thresholds for *Aphis spiraecola* (Hemiptera: Aphididae) on Citrus clementina." *Journal of economic entomology* 99.4: 1273-1279.
643. **CHARAABI, K., J. CARLETTO, 2007** - "Clonal diversity of the melon

- aphid *Aphis gossypii* (Glover) in Tunisia is structured by host plants." Bulletin of Entomological Research
644. **CARLETTO J., BLIN, A., et VANLERBERGHE-MASUTTI F., 2009** - DNA-based discrimination between the sibling species *Aphis gossypii* Glover and *Aphis frangulae* Kaltenbach. *Systematic Entomology*, 34(2), 307-314.doi:10.1111/j.1365-3113.2008.00458.x
645. **DIXON, A. F. G., 1988** - Seasonal development in Aphids. In: *Aphids, their biology, natural enemies and control*. Ed. A. K. Minks and P. Harrewijin. Elsevier, Amsterdam. 315- 320.
646. **GUELFENE, M. (2000)**. Contribution à l'étude éco- biologique des pucerons des arbres fruitiers ; dans la région d'Ichemoul (Wilaya de Batna). Mémoire d'ingénieur. Spécialité Phytotechnie. Université de Batna, 70 p.
647. **COVIELLA C.E. et TRUMBLE J.T., 1999** - Effects of elevated atmospheric carbon dioxide on insect-plant interactions. *Conserv. Biol.* 13: 700-712.
648. **FLYNN D. F. B., SUDDERTH E. A. et BAZZAZ F. A., 2006** - Effects of aphid herbivory on biomass and leaf-level physiology of *Solanum dulcamara* under elevated temperature and CO₂. *Environ. Entomol.* 56: 10-18.
649. **BALE J.s., MASTERS G.J., HODKINSON I.D., AWMACK C., BEZEMER T.M., BROWN V.K., BUTTERFIELD J., BUSE A., COULSON J.C. et FARRAR J., 2002** - Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob. Change Biol.* 8 : 1-16.
650. **NEWMAN J.a., 2005** - Climate change and the fate of cereal aphids in Southern Britain. *Glob. Change Biol.* 11: 940-944.
651. **PARMESAN c., 2006** - Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Evol. Systemat.* 37 : 637-669
652. **PENUELAS J., BIEL C. et ESTIARTE M., 1995** - Growth, biomass allocation, and phenology of pepper plants submitted to elevated CO₂ and different nitrogen and water availabilities. *Photosynthetica* 31 : 91-99
653. **SENTIS A., 2012** - effets des changements climatiques sur les insectes et conséquences économiques et sanitaires, *Bulletin de la Société d'entomologie du Québec*. *Antennae* 2012, vol. 19, n°1, (3-7).
654. **DE LA ROCQUE. B ,1982**. Les pucerons des céréales à pailles. Surveillance et prévision des infestations. Les pucerons des cultures (Journées d'étude et d'information 2, 3 et 4 mars 1982), Ed. INRA, Paris, 123-130.
655. **HANSKI, I. 1991** - The dung insect community. In: Hanski, I., Cambefort, Y. (Eds.), *Dung's Beetle Ecology*. Princeton University press, Princeton, NJ, 481 p.
656. **BOHAN D. A., BOHAN A. C., GLEND M., SYMONDSON W.O.C., WILTSHIRE C. W. et HUGHES L., 2000** - Spatial dynamics of predation by carabid beetles on Slugs. *Journal of Animal Ecology* 69: 367- 379.
657. **LAMY M., 1999**. La biosphère. La biodiversité et l'homme. Ed. Ellipses, Paris, 191p
658. **DAJOZ R., 2003** - Précis d'écologie. 7 ème édition, Ed. Dunod, Paris, 615 p
659. **IABLOKOFF-KHNZORIAN S.M., 1982** - Les conninelles (Coléoptères : Coccinellidae).Ed. Boubée, Paris, 568p.

660. **KUNERT G., TRAUTSCH J. WEISSER W. W., 2007** - Density dependence of the alarm pheromone effect in pea aphids, *Acyrtosiphon pisum* (Sternorrhyncha: Aphididae) *Eur. J. Entomol.*, 104 (2007), pp. 47–50
661. **VOYNAUD L., 2008.** Prédation Intra-gilde Entre Prédateurs Actif Et Furtif Au Sein D'une Guilde Aphidiphage. Mémoire Présentée comme exigence partielle de la maîtrise en biologie. Université du Québec, 80 p.
662. **HEMPTINNE J.L., DIXON A.F.G., MACKENZIE A., 1990** - Adaptations du cycle biologique des prédateurs aphidiphages aux fluctuations démographiques de leurs proies, Régulations des cycles saisonniers chez les invertébrés, Les Colloques de l'INRA 52.
663. **BEDDINGTON J.R, FREE A.C et LAWTON J.H. 1978.** Characteristics of successful enemies in models of biological control of insect pests. *Nature*, 273: 513-519.
664. **HEMPTINNE J.-L, DIXON A.F.G et COFFIN J. 1992.** Attack strategy of ladybird beetles (Coccinellidae): factors shaping their numerical response. *Oecologia*, 90: 238- 245
665. **NUFIO C.R et PAPAJ D.R. 2001.** Host marking behaviour in phytophagous insects and parasitoids. *Entomologia Experimentalis & Applicata*, 99: 273-293.
666. **DICKE M., 2000** -'Chemical ecology of host-plant selection by herbivorous arthropods: a multitrophic perspective', *Biochemical Systematics and Ecology* 28(7), 601-617.
667. **MACKEY B. G. et LINDENMAYER D. B., 2001** – Toward and hierarchical framework for modeling the spatial distribution of animals. *Journal of Biogeography* 28: 1147- 1166.
668. **HASSAL C. et THOMPSON D. J., 2012** - Study design and mark-recapture estimates of dispersal: a case study with the endangered damselfly *Coenagrion mercuriale*. *Journal of Insect Conservation*. Numéro 16. Pages 111-120.
669. **ETTEMA, C. H et WARDLE D. A., 2002** - Spatial soil ecology. *Trends in Ecology and Evolution* 17: 177- 183.
670. **BONNEMAISON L., 1962** - Les ennemis animaux des plantes cultivées et des forêts. Tome II. Ed. S.E.P., 605 p
671. **PONGE J. F., 1999** - Horizons and humus forms in beech forests of the Belgian Ardennes.
672. **HODEK I. et HONEK A., 1996** - ecology of coccinellidae. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NETHERLANDS
673. **GABA S., FRIED G., KAZAKOU E., CHAUVEL B. et NAVAS M.L., 2014.** Agroecological weed control using a functional approach: A review of cropping systems diversity. *Agron. Sustain. Dev.* 34, 103–119. doi:10.1007/s13593-013-0166-5
674. **LAVOREL S. et GARNIER E., 2002.** Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Funct. Ecol.* 16, 545–556. doi:10.1046/j.1365-2435.2002.00664.x
675. **LAVOREL S., MCINTYRE S., LANDSBERG J., et FORBES T.D.A., 1997.** Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends Ecol. Evol.* 12, 474–478. doi:10.1016/S0169-5347(97)01219-6
676. **PEREZ-HARGUINDEGUY N., DIAZ S., GARNIER E., LAVOREL S., POORTER H., JAUREGUIBERRY P., et URCELAY C., 2013** - New

- handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of botany*, 61(3), 167-234.
677. **QUILICI S., VINCENOT D., FRANCK A., 2003** - Les auxiliaires des cultures fruitières à l'île de la Réunion. Editions Quae.
678. **HANSKI I. et CAMBEFORT Y., 1991** - Dung Beetle Ecology. New Jersey, Princeton University Press, 481 p.
679. **BLONDEL J., 1995** - *Biogéographie. Approche écologique et évolutive*. Masson, Paris.
680. **JACQUEMOND C., CURK F., et HEUZET M., 2013** - *Les clémentiniers et autres petits agrumes*. Editions Quae.
681. **FEENER, D.H.J. et BROWN, B.V. (1997)**. Diptera as parasitoid. *Annual Review of Entomology* 42 : 73-97.
682. **CHATENET G., 1990** - Guide des Coléoptères d'Europe. Ed. DELACHAUX et NIESTLE, Paris, 479 p.
683. **GILLOTT C., 2005** - Entomology Third Edition. Ed. Springer, Canada, 831p.
684. **AUBERT L., 1999** - Atlas des coléoptères de France. *Tome I. Edition Boubée, Paris*.
685. **KROMP B., 1999** - Carabid beetles in Sustainable agriculture: A review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agric. Ecosystem. Environ.* 74: 187- 228
686. **FLOATE K. D., DOANE J. F. et GILLOTT C., 1990** - Carabid predators of the wheat midge (Diptera- Cecidomyiidae) in Saskatchewan. *Environ. Entomol.* 19: 1503- 1511.
687. **BARNEY R. J. et PASS B. C., 1986** - Ground beetle (Coleoptera-carabidae) population in Kentucky alfalfa and influence of tillage. *J. Econ. Entomol.* 79: 511- 517.
688. **NYFFELER M. et BENZ G., 1987** - Spiders in natural pest control: a review. *J. Appl. Entomol.*, 103: 321–329.
689. **FORD M. J., 1978** - Locomotory activity and the predation strategy of the wolf-spider *Pardosa amentata* (Clerck) (Lycosidae). *Anim. Behav.* 26: 31.
690. **GREENSTONE M.H., 1999** - Spider predation: how and why we study it. *Journal of Arachnology* 27: 333-342
691. **MANSOUR F. et WHITCOMB W.H., 1986** - The spiders of a citrus grove in Israel and their role as bio-control agents of *Ceroplastes floridensis* (Homoptera: Coccidae). *Entomophaga*, 31:269-276.
692. **YOUNG O.P. et EDWARDS G. B., 1990** - Spiders in United States field crops and their potential effect on crop pests. *J. Arachnol.*, 18:1-27.
693. **NYFFELER M. et BENZ G., 1988** - Feeding ecology and predatory importance of wolf spiders (*Pardosa* spp.) (Araneae, Lycosidae) in winter wheat fields. *J. Appl. Entomol.*, 106:123–134
694. **ALIOUA Y., 2012**- Bioécologie des araignées dans la cuvette d'Ouargla, mémoire de Majester, UKM, Ouargla, 94p.
695. **HODGE M.A., 1999** - The Implications of Intraguild Predation for the Role of Spiders in Biological Control. *J. Arachnol.* 27, 351–362.
696. **POLIS G.A., MYERS C.A., HOLT R.D., 1989** - The Ecology and Evolution of Intraguild Predation: Potential Competitors That Eat Each Other. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 20, 297–330.
697. **BENOUFELLA-KITOUS K., DOUMANDJI S., et HANCE T., 2014** - Inventaire des aphides et de leurs ennemis naturels dans un verger

- d'agrumes. AFPP–Dixième Conférence Internationale sur les ravageurs en agriculture. MONTPELLIER–22 ET 23 OCTOBRE.
698. **BEAUMONT A. et CASSIER P., 1983** - Biologie animale des protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens. Tom II. Ed. DUMON Université, Paris, 954 p.
699. **VILLIERS A., 1979** - Initiation à l'entomologie. Anatomie, Biologie et Classification. Ed. Boubée et Cie, Paris, 324 p.
700. **ROCHAT J., 1995** - Dynamique des populations des pucerons des agrumes à l'île de la Réunion (Rapport d'activité).
701. **BENOUFELLA-KITOUS K., DOUMANDJI-MITICHE B., SAHARAOUI L., 2008 d** - Les insectes aphidiphages en vergers d'agrumes. *Séminaire National sur les interactions Faune-Flore et impact des changements globaux dans les espaces naturels et anthropisés, 2-3 décembre 2008*, Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, Université de Blida.
702. **RAMADE F., 2003** - Élément d'écologie fondamentale. 3^{ème} édition, Ed. Dunod, Paris, 690p.
703. **IPERTI G., 1974** - Les Coccinelles. Les organismes auxiliaires en verger de pommier OILB / SROP. 3: 111- 121.
704. **MILAIRE H. G., BAGGIOLINI M., GRUYS P. et STEINER H., 1974** - Les organismes auxiliaires en verger de pommier. OILB / SROP. ; Groupe de travail pour la lutte intégrée en Arboriculture 163- 171.
705. **LYON J. P., 1983-** Les prédateurs auxiliaires de l'agriculture " Faune et Flore auxiliaires en agriculture". Journées d'études et d'informations, Mai 1983.Ed. A.C.T.A, Paris, PP35-38.
706. **COLIGNON P., HASTIR P., GASPARD C. et FRANCIS F., 2000** - Effets de l'environnement proche sur la biodiversité entomologique en cultures maraîchères de plein champ. *Parasitica* 56 (2- 3): 59- 70.
707. **SOLOMON M. G., CROSS J. V., FITZ-GERALD J. D., CAMPBELL C. A. M., JOLLY R. L., OLSZAK R. W., NIEMCZYK E. et VOGT H., 2000** - Biocontrol of pests of apples and pears in northern and central Europe- 3. *Predators. Biocontrol Science and Technology* 10 (2): 91- 128.
708. **LICHOU J., MANDARINE J. F. et BRENIAUX D. 2001** - Protection intégrée des fruits à noyaux. Ed- CTIFL. 154- 155.
709. **CLOUTIER C. et CLOUTIER C., 1992** - Les solutions biologiques de lutte pour la répression des insectes et acariens ravageurs des cultures. In : Vincent Ch. et Coderre D. (Eds.), la lutte biologique .Ed. Lavoisier Tec & Doc, Québec, pp. 19-87.
710. **HASSELL M. P., 1978** - The dynamics of arthropod predator-prey systems. Princeton University Press.
711. **SAHARAOUI L., et GOURREAU J. M., 2000** - Les coccinelles d'Algérie : inventaire et régimes alimentaires (Coleoptera, Coccinellidae). *Rech. Agron*, 6, 11-27.
712. **GUENDOZ BENRIMA A. et MAHDOUBI Dj., 2014** - Diversité entomologique au niveau des vergers d'agrumes dans quelques localités d'Algérie. afpp – dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture Montpellier – 22 et 23 octobre 2014.
713. **EVANS B., 1991.** - « A variety collection of edible nut tree crops in Solomon islands ». Research Bulletin n° 8. Dodo Creek Research Station, Honiara. Solomon islands.
714. **WARDLE D. A., 2002** - "Communities and Ecosystems: Linking the

- Aboveground and Belowground Components Opens in new window
715. **ROSCHER C., TEMPERTON V., SCHERE-LORENZEN M., SCHIMTZ M., SCHUMACHER J. et SCHMID, B., 2005** - Overyielding in experimental grassland communities - irrespective of species pool or spatial scale. *Ecology Letters*, 8, pp. 419 - 429
716. **SCHUMACHER J. et ROSCHER C., 2009** - Differential effects of functional traits on aboveground biomass in seminatural grasslands. *Oikos*, 118, 1659-1668.
717. **THEBAULT E. et LOREAU M., 2006** - The relationship between biodiversity and ecosystem functioning in food webs. *Ecological Research* 21, 17–25.
718. **GREENLEAF S.S. et KREMEN C. 2006** - Wild bees enhance honeybees' pollination of hybrid sunflower. *Proceedings Nat. Academy Sci. USA*, 103, 13890-13895
719. **VAN VEEN F. J. F., MORRIS R. J. et GODFRAY H. C. J., 2006** - Apparent competition, quantitative food webs, and the structure of phytophagous insect communities. *Annual Review of Entomology*, 51, 187-208.
720. **BARBAULT R., 1981** - Ecologie des populations et des peuplements. Ed. Masson, Paris, 200 p.
721. **ALLAL M., 2015** - Protection des terres agricoles. L'Eco n°122 / du 1er au 15 novembre 2015.
722. **SMINA B. A. H., 2013** - *Évaluation de la toxicité de mixtures de pesticides sur un bioindicateur de la pollution des sols Helix aspersa* (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar de Annaba).
723. **POINTEREAU, P. Y. et BRASILE D., 1995** - Arbres des champs- Haies, alignements, près- vergers ou l'art du bocage. SOLAGRO, Toulouse, France. 137 p.
724. **JOHANSEN C., JAYCOX E. et HUTT R., 1963** - The effect of pesticides on the alfalfa leaf cuttingbee *Megachile rotundata*. *Wash. Agri c. Exp. Stn. Ci rc.* 418.
725. **LOUVEAUX J., 1984** - Les traitements phytosanitaires et les insectes pollinisateurs. 565- 575 in presson & J.
726. **CHAMBON J. P., 1982** - Biocénoses céréalières : interventions insecticides et entomofaune. *Phytoma- Défense des cultures*, Juillet- Août 1982 ; 1114.
727. **MOUILLOT D., BELLWOOD D.R., BARALOTO C., CHAVE J., GALZIN R., HARMELIN-VIVIEN M., KULBICKI M., LAVERGNE S., LAVOREL S., MOUQUET N., PAINE C.E.T., RENAUD J. & THUILLER W. 2013** - Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems, *Plos Biology*, 28 mai 2013.
728. **HUNTER M. D., 1992** - A variable insect - plant interaction: the relationship between trees budburst phenology and population levels of insect herbivores among trees. *Ecol. Entomol.* 16: 91-95.
729. **HUNTER A. F. et. ELKINTON S., 2000** - Effects of synchrony with host plant on populations of spring-feeding lepidopteran. *Ecology.* 81(5) :1248-1261
730. **LANDIN B., 1961** – Ecological studies of dung beetles. *Opusc. Entomol. Suppl.*19: 1- 228.
731. **HONEK A., 1998** - The effect of crop density and microclimate on pitfall

- trap catches of Carabidae, Staphylinidae (Coleoptera) and Lycosidae (Araneae) in cereal fields. *Ecobiologia* 32 : 233 - 242.
732. **MALAUSA J.-C., RABASSE J.-M., et KREITER P., 2008** - Les insectes entomophages d'intérêt agricole acclimatés en France métropolitaine depuis le début du 20ème siècle. *EPPO Bulletin* 38, 136 - 146.
733. **JOURDHEUIL P., GRISON P. et FRAVAL A., 1991** - La lutte biologique, un aperçu historique. *In* Institut national de la recherche agronomique (INRA). *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, [En ligne]. <http://www.inra.fr/dpenv/jourdc15.htm>.
734. **ZADOKS J.C., 1993** - Crop Protection: Why and How. In D.J.CHADWICK & J. MARSH: *Crop Protection and Sustainable Agriculture*. J. Wiley & Sons, New York, 48-55.
735. **BARNEA O., 2006** - Cercetari sistematice, biologice, ecologice, etologice și biogeografice privind afidiidele (Hymenoptera, Aphidiidae) din estul României. PhD Thesis, Universitatea "Al. I. Cuza" Iași.
736. **PINTUREAU B., 2009** - La lutte biologique et les Trichogrammes. Application au contrôle de la pyrale du maïs.
737. **BENASSY C. et EUVERTE G., 1967** - Perspectives nouvelles dans la lutte contre *Aonidiella aurantii* au Maroc (Hom., Diaspididae). *Entomophaga* 12 (5) :449-459.
738. **HASSANI A., et MADJDZADEH S. M., 2012** - Contribution to the knowledge of the Pteromalidae (Hymenoptera: Chalcidoidea) from Khorasan Razavi province, northeastern Iran. *Iranian Journal of Animal Biosystematics*, 8(1).
739. **WESTWOOD J. O., 1839** - *An Introduction to the Modern Classification of Insects. Vol. I*. Longman.
740. **ARNALDOS M.I., GARCÍA M.D., ROMERA E. et BAQUERO, E., 2003** - New data on the Myrmaridae fauna in the Iberian peninsula (Hymenoptera, Chalcidoidea) from a carrion community. *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, 27 (1-4): 225-228.
741. **LABORDA CENJOR R., 2012** - Comparación de la abundancia y biodiversidad de artrópodos auxiliares entre parcelas de cultivo ecológico y convencional, en plantaciones de cítricos, caqui y nectarina (Doctoral dissertation).
742. **ALLAL-BENFEKIH L., AOUDIA B., MOSTEFAOUI H., et BELGUENDOZ R., 2013** - Comparative evaluation of the toxicity of lambda cyhalothrin and spinosad on the insect pests and auxiliary fauna in an orange orchard of the central Mitidja (Blidean Atlas, Algeria). *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 7(1), 21-26.
743. **KINDLMANN P. et DIXON A. F. G., 1993** - Optimal foraging in ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae) and its consequences for their use in biological control. *European Journal of Entomology* 90: 443-450.
744. **BRIGGS C. J., et HOOPES M. F., 2004** - Stabilizing effects in spatial parasitoid–host and predator–prey models: a review. *Theoretical population biology*, 65 (3), 299-315.
745. **MURDOCH W. W., CHESSON J., et CHESSON P. L., 1985** - Biological control in theory and practice. *American Naturalist*, 344-366.
746. **HANCE T., BAAREN J. VAN VERNON P., BOVIN G., 2007** – Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52: 107–126.

747. **COCK, M.J.W., J. VAN LENTEREN, J. BRODEUR, B. BARRATT, F. BIGLER, K. BOLCKMANS, F.L. CONSOLI, F. HAAS, P.G. MASON & J.R.P. PARRA. 2010** - Do new access and benefit sharing procedures under the Convention on Biological Diversity threaten the future of biological control ? *Biocontrol* 55: 199-218.
748. **FRANCISCO S. P. et AVILA J. M., 2004** - Dung- insect community composition in arid Zones of south- eastern Spain. *Journal of Arid Environments* 56: 303- 3027.
749. **HUGHES R. D. et WALKER J., 1970** - The role of food in the population dynamics of the Australian bush flies. In: Watson, A. (Ed.), *Animal populations in Relation to their Food Resources*. Blackwell, Oxford, 336 p.
750. **COULSON T., CATCHOLE E.A., ALBON S.D., MORGAN B.J.T., PEMBERTON J.M., CLUTTON-BROCK T.H., CRAWLEY M.J. & GRENFELL B.T., 2001** - Age, sex, density, winter, weather, and population crashes in Soay Sheep. *Science* 292, 1528-1531.
751. **SCHOWALTER T. D., 2006** - *Insect Ecology. An ecosystem approach*. Second edition.
752. **SOTHERTON N.W. 1984**: The distribution and abundance of predatory arthropods overwintering on farmland. *Ann. Appl. Biol.* 105: 423–429
753. **DREUX P., 1980** – *Précis d'écologie*. Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231p
754. **MATTSON W.J. et HAACK R.A., 1987** - The role of drought stress in provoking outbreaks of phytophagous insects. – In: Barbosa, P. and Schultz, J.C. (eds), *Insect outbreaks*. Academic. Press, San Diego, pp. 365-407
755. **SKIRVIN D.J., PERRY J.N., HARRINGTON R., 1997.** - The effect of climate change on an aphid-coccinellid interaction. — *Global Change Biology*, vol. 3, pp. 1-11
756. **THOMSON L., MACFADYEN S. et HOFFMANN A., 2010** - Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biol. Control* 52: 296-306.
757. **ANGILLETTA M. J. et DUNHAM A. E., 2003** - “The temperature-size rule in ectotherms: simple evolutionary explanations may not be general.” In: *Am Nat* 162.3, pp. 332–42.
758. **KAVALLIERRATOS G. et TOMANOVIC Z., 2004** - Seasonal abundance of parasitoids (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) and predators (Coleoptera: Coccinellidae) of aphids infesting citrus in Greece. *Biol.Bratislava* 59: 191-196.
759. **GHARBI R., 2006** - *Le complexe coccinelle parasites hyménoptères dans la population de cochenilles diaspines (Homoptera – Diaspididae) et son interaction avec leurs guildes dans un verger de citronniers à Rouiba*. Th. Ing. Agro. INA El-Harrach, 106 p.
760. **CLERGUE B., AMIAUD B., PERVANÇON F., LASSERRE-JOULIN F., et PLANTUREUX S., 2005**, *Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review*, Agron. Sustain © INRA, EDP Sciences DOI: 10.1051/agro:2004049 , p 1–15
761. **WIGGINS G.B., 1983** -. Entomology and society. *Bulletin of the Entomological Society of America* 29, p. 27-29
762. **HOOPER, D. U. et VITOUSEK, P. M. 1997.** The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. – *Science* 277:

- 1302–1305
763. **FINNAMORE A. T. , 1996** - The advantages of using arthropods in ecosystem management. *Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods) for Canadian Museum of Nature and Entomological Society of Canada, Ottawa.*
764. **JONSEN I. D. et FAHRIG L., 1997** - Response of generalist and specialist insect herbivores to landscape spatial structure. *Landscape Ecology*, 12(3), 185-197.
765. **FAHRIG L., et JONSEN I., 1998** - Effect of habitat patch characteristics on abundance and diversity of insects in an agricultural landscape. *Ecosystems*, 1(2), 197-205.
766. **ZABEL J., et TSCHARNTKE T., 1998** - Does fragmentation of *Urtica* habitats affect phytophagous and predatory insects differentially? *Oecologia*, 116(3), 419-425.
767. **STEFFAN-DEWENTER I., et TSCHARNTKE T., 2000** - Butterfly community structure in fragmented habitats. *Ecology Letters*, 3(5), 449-456.
768. **IAKOVOU I., SCHMIDT T., BONIZZONI E., GE, L., SANGIORGI G. M., STANKOVIC G., et MICHEV I., 2005** - Incidence, predictors, and outcome of thrombosis after successful implantation of drug-eluting stents. *Jama*, 293(17), 2126-2130.
769. **TAYLOR P. D., L. FAHRIG HENEIN k. et MERRAIM S. W., 1993** - "Connectivity is a vital element of landscape structure." *Oikos* 68: 571-573.
770. **WEBB C. O., ACKERLY D. D., et KEMBEL S. W. 2008** - Phylocom: software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. *Bioinformatics*, 24(18), 2098-2100.
771. **CAVENDER-BARES J., KITAJIMA K., et BAZZAZ F. A. 2004** -. Multiple trait associations in relation to habitat differentiation among 17 Floridian oak species. *Ecological Monographs*, 74(4), 635-662.
772. **HANSKI I., 1998** - Metapopulation dynamics. *Nature*, 396(6706), 41-49.
773. **LANG A. (2003)**. Intraguild interference and biocontrol effects of generalist predators in a winter wheat field. *Oecologia*. **134**: 144-153.
774. **LUCAS E., CODERRE D., et BRODEUR J., 1997** - Instar-specific defense of *Coleomegilla maculata lengi* (Coccinellidae) : influence on attack success of the intraguild predator *Chrysoperla rufilabris* (Crysopidae). *Entomophaga*. **42**: 3-12.
775. **HINDAYANA D., MEYHÖFER R., SCHOLZ D. et POEHLING H-M., 2001** - Intraguild predation among the hoverfly *Episyrphus balteatus* de Geer (Diptera: Syrphidae) and other aphidophagous predators. *Biological control*. **20** : 236-246
776. **LUCAS E., CODERRE D., et BRODEUR J., 1998** - Intraguild predation among aphid predators: characterization and influence of extraguild prey density. *Ecology*. **79** (3): 1084-1092.
777. **ROSENHEIM J.A., LIMBURG D.D., et COLFER R.G., 1999** - Impact of generalist predators on a biological control agent, *Chrysoperla carnea*: Direct observations. *Ecol. Appl.* **9**: 409- 417.
778. **LUCAS E., et ALOMAR O., 2001** - *Macrolophus caliginosus* (Wagner) as an intraguild prey for the zoophytophagous *Dicyphus tamaninii* Wagner (Heteroptera: Miridae). *Biol. Control*. **20**: 147-152.
779. **LUCAS E., 2005** - Intraguild predation among aphidophagous predators.

- Eur. J. Entomol. **102**: 351-364.
780. **SMAILI M.C. et WADJINNY J. (2006)**. Allocation du temps, prédation et satiété chez onze phénotypes d'*Adalia decempunctata* (Coleoptera, Coccinellidae) sur le puceron noir de l'oranger *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe (Homoptera, Aphididae) sur agrumes. In AMPP (Ed.). *Proceedings du 6ème congrès de l'Association Marocaine de Protection des Plantes*, Rabat, 2006, p. 29-30.
781. **FRECHETTE B., LAROUCHE F., et LUCAS, É., 2008**. Leucopis annulipes larvae (Diptera: Chamaemyiidae) use a furtive predation strategy within aphid colonies. *European journal of entomology*, 105(3), 399.
782. **BEN HALIMA-KAMEL M., 1995**. Contribution a l'etude de la dynamique des populations des pucerons en vergers d'agrumes. *IOBC WPRS BULLETIN*, 18, 39-39.
783. **SAHARAOU L., HEMPTINNE J. L., et MAGRO A., 2015** - Partage des ressources trophiques chez les coccinelles. *Bull. Soc. zool. Fr*, 140(1), 5-23.
784. **PETERS R. H., 1983** - The Ecological Implications of Body Size. Cambridge Univ. Press, London.
785. **GRIFFITHS D., 1992** - Interference competition in ant-lion (Macroleon quiquemaculatus) larvae. *Ecol. Entomol.* 17, 219-226.
786. **LUCAS É. et ROSENHEIM J. A., 2011** - Influence of extraguild prey density on intraguild predation by heteropteran predators: A review of the evidence and a case study. *Biological Control*, 59, 61-67
787. **MAGRO A., TENE J. N., BASTIN N., DIXON A. F. G. et HEMPTINNE J. L., 2007** - Assessment of patch quality by ladybirds: relative response to conspecific and heterospecific larval tracks a consequence of habitat similarity? *Chemoecology*, 17, 37-45.
788. **CHAUBET B. 1992** - Diversité écologique, aménagement des agro-écosystèmes et favorisation des ennemis naturels des ravageurs : cas des aphidiphages. *Courrier de l'environnement de L'INRA* 18: 45- 63.
789. **DEBRAS J.-F., COUSIN M., et RIEUX R., 2002** - Mesure de la ressemblance de la faune utile du poirier avec celle de 43 espèces végétales pour optimiser la composition de haies réservoirs d'auxiliaires, *Fruits* 57, 55–65.
790. **SMAILI M. C., BLENZAR A., et FURSCH H., 2010** - First record of new species and phenotypes of ladybird (Coleoptera: Coccinellidae) in citrus orchards in Morocco. *Entomologie faunistique-Faunistic Entomology*.

APPENDICE A

LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en Composantes Principales
Aba	: Acide abscissique
ADN	: Acide désoxyribonucléique
ARN	: Acide ribonucléique
ARN _m	: Acide ribonucléique messagers
°C	: Degrés Celsius
DEB	: Dynamic energy budget
Do	: Densité optique
E. U. R.	: E ntreprise U nipersonnelle à R esponsabilités L imités
L.F.S.P.P.	
g	: Gramme
GAS	: General adaptation syndrome
GDSP	:
I.T.A.F	: Institut Technique d'Arboriculture Fruitière de Boufarik
LTP	: Protéines de transfert de lipides
MF	: Matière fraîche
MS	: Matière sèche
m	: mètre
µg	: Microgrammes (=10 ⁻⁶ grammes)
µl	: Microlitre
Km	: Kilomètre
mg	: Milligramme
mm	: Millimètre
ml	: Millilitre
min	: minute
N°	: Numéro
OEPP	: Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection du plante
P	: Pluviométrie
PR	: Pathogenesis-related proteins
PSI	: Deuxième poussées de sève
PSII	: Deuxième poussées de sève
PSIII	: Troisième poussées de sève
PS	: Poids Sec
RH	: Réaction hypersensible
SA	: Acide Salicylique
TCA	: Tri-Chloro-Acide
T°max	: Température maximale
T° min	: Température minimale
T° moy	: Température moyenne
Tr / mn	: Tours / minutes

APPENDICE B (1)

Tableau B: Inventaire et classification des espèces d'ennemis naturels des pucerons recensées sur agrumes

Ordre/ Famille	Genre Espèce	Référence
Mantodea/Mantidae	<i>Mantis religiosa</i> (Linnaeus, 1758)	221
Coleoptera/Cantharidae	<i>Cantharis (Cantharis) fusca</i> (Linnaeus, 1758)	140
	<i>Rhagonycha fulva</i> (Scopoli, 1758)	
Coleoptera /Carabidae	<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	140
	<i>Anchomenus dorsalis</i> (Pontoppidan, 1763) = <i>Platynus dorsalis</i>	
Coleoptera /Coccinellidae	<i>Adalia decempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	790
	<i>Adalia bipunctata</i> (Linnaeus 1758)	641
	<i>Adonia (Hippodamia) variegata</i> (Goeze, 1777)	24 ; 221 ; 641 et 697
	<i>Calvia decemguttata</i> (Linnaeus 1767)	140
	<i>Calvia quatuordecimguttata</i> (Linnaeus, 1758)	
	<i>Chilocorus bipustulatus</i> (Linnaeus, 1758)	24 et 641
	<i>Clitostethus arcuatus</i> (Rossi, 1794)	24
	<i>Coccidula rufa</i> (Herbst, 1783)	140
	<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	24 ; 221 ; 790 ; 641 et 552
	<i>Coccinella algerica</i> (Kovar, 1977)	24 et 697
	<i>Coccinella undecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	697
	<i>Exochomus (Parexochomus) anchorifer</i> (Allard 1870)	24
	<i>Exochomus quadripustulatus</i> (Linnaeus, 1758)	24
	<i>Halizia cedecimguttata</i> (Linnaeus, 1758)	140
	<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)	
	<i>Harmonia quatripunctata</i> (Pontoppidan, 1763)	24
	<i>Nephus peyerimhoffi</i> (Sicard, 1923)	
	<i>Oenopia conglobata</i> (Linnaeus, 1758)	24 et 697
	<i>Oenopia doublieri</i> (Mulsant, 1846)	
	<i>Pharoscyrnus setulosus</i> (Chevrolat 1861)	140
	<i>Platynaspis luteorubra</i> (Goeze, 1777)	24 et 221
	<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	24 et 221
	<i>Pullus auritus</i> (Thunberg, 1795)	24
	<i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758)	24 et 221
	<i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850)	24
	<i>Rhyzobius chrysomeloides</i> (Herbst 1793)	
	<i>Rhyzobius lophantae</i> = <i>Lindorus lophanthae</i> (Blaisdell, 1892)	
	<i>Scymnus (Mimopullus) mediterraneus</i> (Iablokoff-Khuzorian, 1972)	
	<i>Scymnus interruptus</i> (Goeze 1777)	24 , 641
	<i>Scymnus levaillanti</i> (Mulsant 1850)	
	<i>Scymnus subvillosus</i> (Goeze, 1777) = <i>Pullus subvillosus</i>	
	<i>Sospita oblongoguttata</i> (Linnaeus, 1758)	140
	<i>Tachyporus hypnorum</i> (Fabricius 1775)	
Coleoptera/Staphylinidae	<i>Tachyporus obtusus</i> (Linnaeus 1767)	140
Dermaptera/Forficulidae	<i>Forficula auricularia</i> (Linnaeus, 1758)	
Diptera/Cecidomyiidae	<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rodani, 1847)	24; 221;790;641 et 552

APPENDICES B (2)

Tableau B.: Inventaire et classification des espèces d'ennemis naturels des pucerons recensées sur agrumes (suite 1)

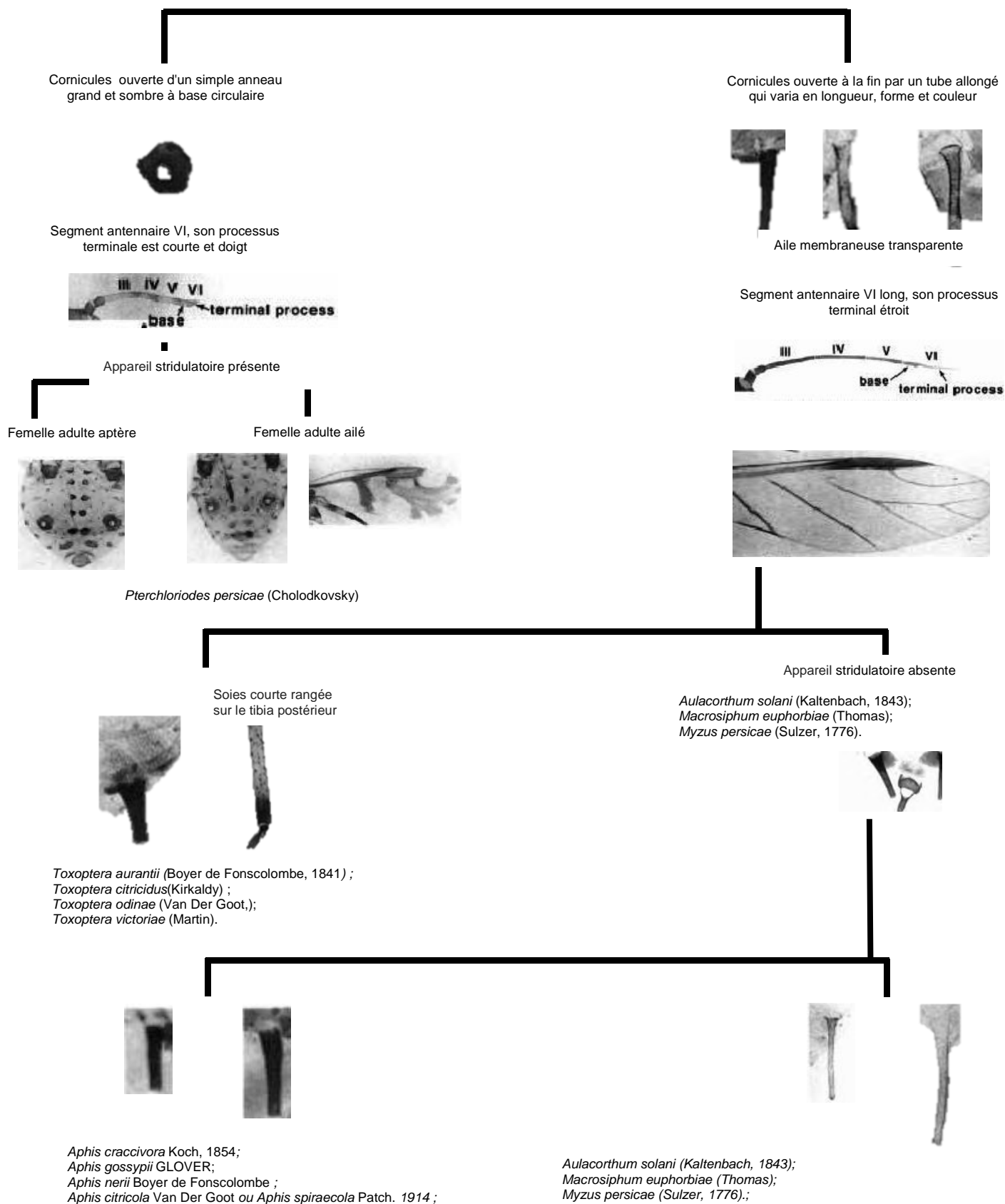
Ordre/ Famille	Genre Espèce	Référence	
Diptera/Syrphidae	<i>Baccha elongata</i> (Fabricius, 1775)	140	
	<i>Episyrphus balteatus</i> (De geer, 1776)	24; 221 ; 790 et 552	
	<i>Eupeodes corollae</i> (Fabricius, 1794)	140	
	<i>Epistrophe balteata</i> (De Geer, 1763)	697 ; 641	
	<i>Epistrophe corollae</i> (Fabricius, 1822)	697	
	<i>Chrysotoxum festivum</i> (Linnaeus, 1758)	221	
	<i>Melanostoma mellinum</i> (Linnaeus, 1758)	140	
	<i>Paragus</i> sp	221	
	<i>Scaeva pyrastris</i> (Linnaeus, 1758)	140	
	<i>Sphaerophoria scripta</i> (Linnaeus, 1758)	221	
	<i>Syrphus ribesii</i> (Linnaeus, 1758)	140	
	Hemiptera/Anthocoridae	<i>Anthocoris nemorum</i> (Linnaeus, 1761)	
		<i>Anthocoris nemoralis</i> (Linné, 1860)	24 et 697
Hemiptera Miridae	<i>Deraeocoris ruber</i> (Linnaeus, 1758)		
Hymenoptera/Crabronidae	<i>Diodontus tristis</i> (Vander Linden, 1829)	140	
	<i>Passaloecus insignis</i> (Vander Linden, 1829)		
	<i>Pemphredon lethifer</i> (Shuckard, 1837)		
Neuroptera/Chrysopidae	<i>Chrysopa perla</i> (Linnaeus, 1758)		
	<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836)	24 ; 221 ; 790 ; 641 et 697	
	<i>Chrysoperla lucasina</i> (Lacroix, 1912)		
	<i>Nineta</i> spp (Navás, 1912)	140	
Neuroptera/Hemerobiidae	<i>Micromus angulatus</i> (Stephens, 1836)		
Hymenoptera/Aphelinidae	<i>Aphelinus abdominalis</i> (Dalman, 1820)	140	
	<i>Aphelinus flavus</i> (Nees, 1834)		
	<i>Aphelinus mali</i> (Haldeman 1851)	221	
Hymenoptera/Braconidae	<i>Aclitus obscuripennis</i> (Förster, 1862)	140	
	<i>Adialytus salicaphis</i> (Fich, 1855)		
	<i>Aphidius aquilus</i> (Mackauer 1961)		
	<i>Aphidius avenae</i> (Haliday 1834)		
	<i>Aphidius colemani</i> (Viereck 1912)	221	
	<i>Aphidius ervi</i> (Haliday 1834)	140	
	<i>Aphidius funebris</i> (Mackauer 1961)		
	<i>Aphidius matricariae</i> (Haliday 1834)	221 ; 641 et 552	
	<i>Aphidius microlophii</i> (Pennachio et Tremblay 1987)	140	
	<i>Aphidius rhopalosiphi</i> (Stephani Perez 1902)		
	<i>Aphidius ribis</i> (Haliday 1834)		
	<i>Aphidius rosae</i> (Haliday 1834)		
	<i>Aphidius uzbekistanicus</i> (Luzhetzki 1960)		
	<i>Diaeretiella rapae</i> (M'intosh, 1855)		
	<i>Ephedrus plagiator</i> (Nees, 1811)		
<i>Lipolexis gracilis</i> (Förster 1862)			
<i>Lysiphlebus fabarum</i> (Marshall, 1896)	641		

APPENDICES B (3)

Tableau B.: Inventaire et classification des espèces Ennemis naturels des pucerons recensées sur agrumes (suite 2)

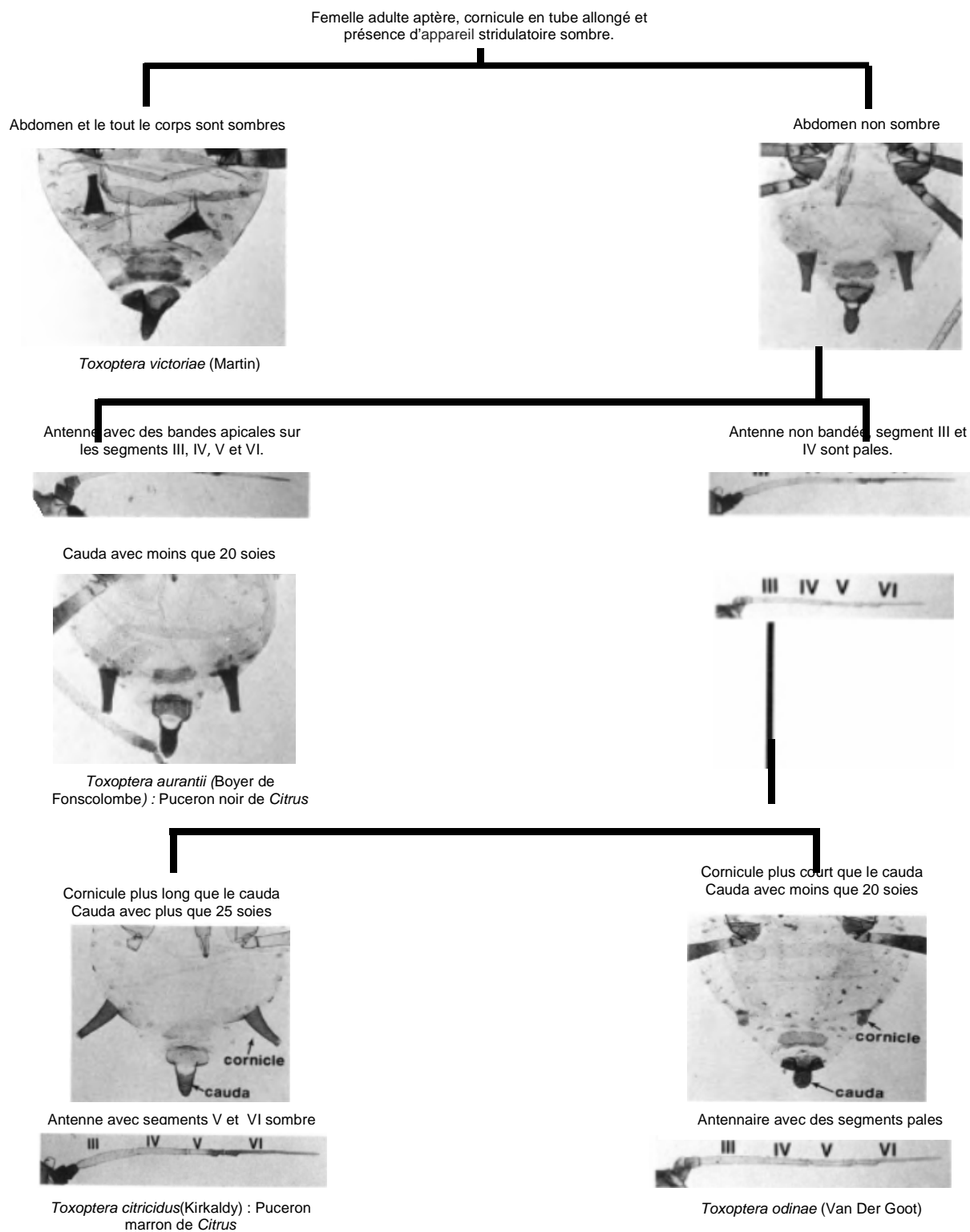
Ordre/ Famille	Genre Espèce	Référence
<i>Hymenoptera/Braconidae</i>	<i>Lysiphlebus confusus</i> (Tremblay et Eady, 1978)	221 et 552
	<i>Lysiphlebus testaceipes</i> (Cresson, 1880)	641
	<i>Lysiphlebus ambiguus</i> (Haliday 1834)	24
	<i>Praon volucre</i> (Haliday 1833)	552
	<i>Praon yomenae</i> (Takada, 1968)	221 et 641
	<i>Toraxes deltiger</i> (Haliday 1833)	552
	<i>Trioxys</i> (Binodoxys) <i>angelicae</i> (Haliday, 1833)	221;641 et 552
<i>Hymenoptera Pteromalidae</i>	<i>Asaphes sp</i> (Walker 1834)	140
<i>Hymenoptera Megaspilidae</i>	<i>Dendrocerus sp</i> (Ratzeburg, 1852)	

APPENDICES C (1)

Clé illustrée de 12 espèces de pucerons ravageurs potentiels sur *Citrus* aux États-Unis

APPENDICES C (2)

Clé illustré des femelles adultes aptères avec cornicules sombres, tubes allongés, qui ont une Appareil stridulatoire et qui sont des ravageurs potentiels sur *Citrus* aux États-Unis



APPENDICES C (3)

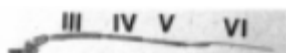
Clé illustré des femelles adultes ailées avec cornicules sombres, tubes allongés, qui ont une Appareil stridulatoire et qui sont des ravageurs potentiels sur *Citrus* aux États-Unis

Femelle adulte ailée, cornicule en tube allongé et présence d'appareil stridulatoire sombre.

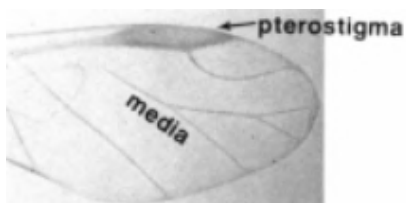
Cornicule plus court que le cauda
Cauda avec moins que 20 soies



Antenne avec segments pales

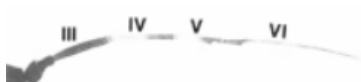


Aile avec pterostigma pale



Toxoptera odinae (Van Der Goot)

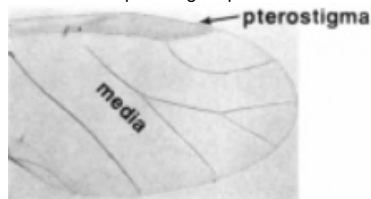
Segment antennaire III complètement noire,
segments IV, V et VI bandés



Cornicule plus long que le cauda
Cauda avec plus que 20 soies



Aile avec pterostigma pale

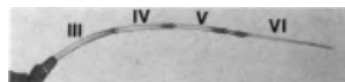


Toxoptera citricidus (Kirkaldy) : Puceron
marron de *Citrus*

Cornicule plus long que le cauda
Nombre variable de soies



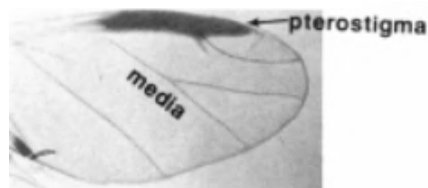
Antenne avec bandes apicales sur les
segments III, IV, V et VI



Cornicule plus long que le cauda
Cauda avec moins que 20 soies



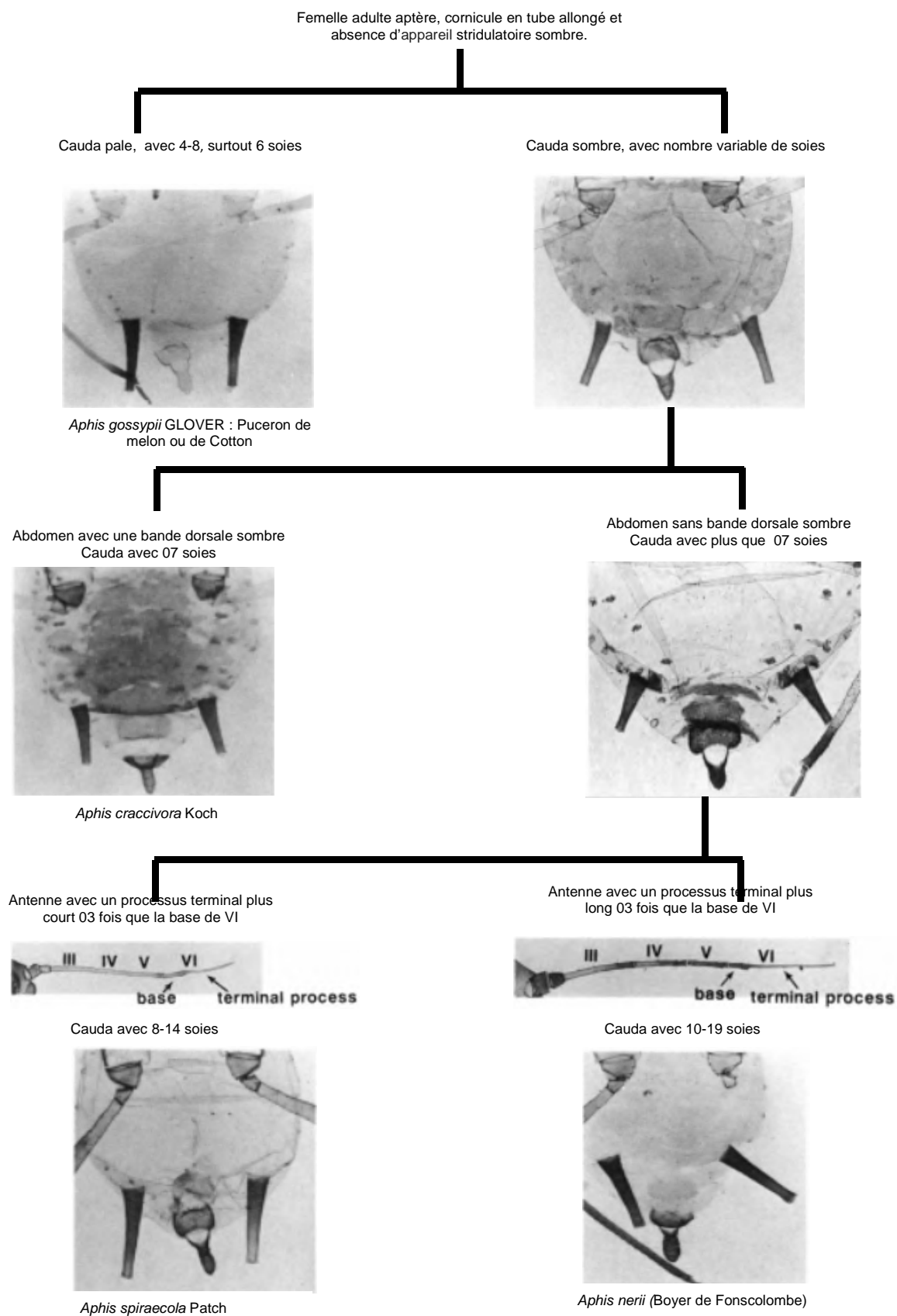
Aile avec pterostigma sombre



Toxoptera aurantii (Boyer de
Fonscolombe) : Puceron noir de *Citrus*

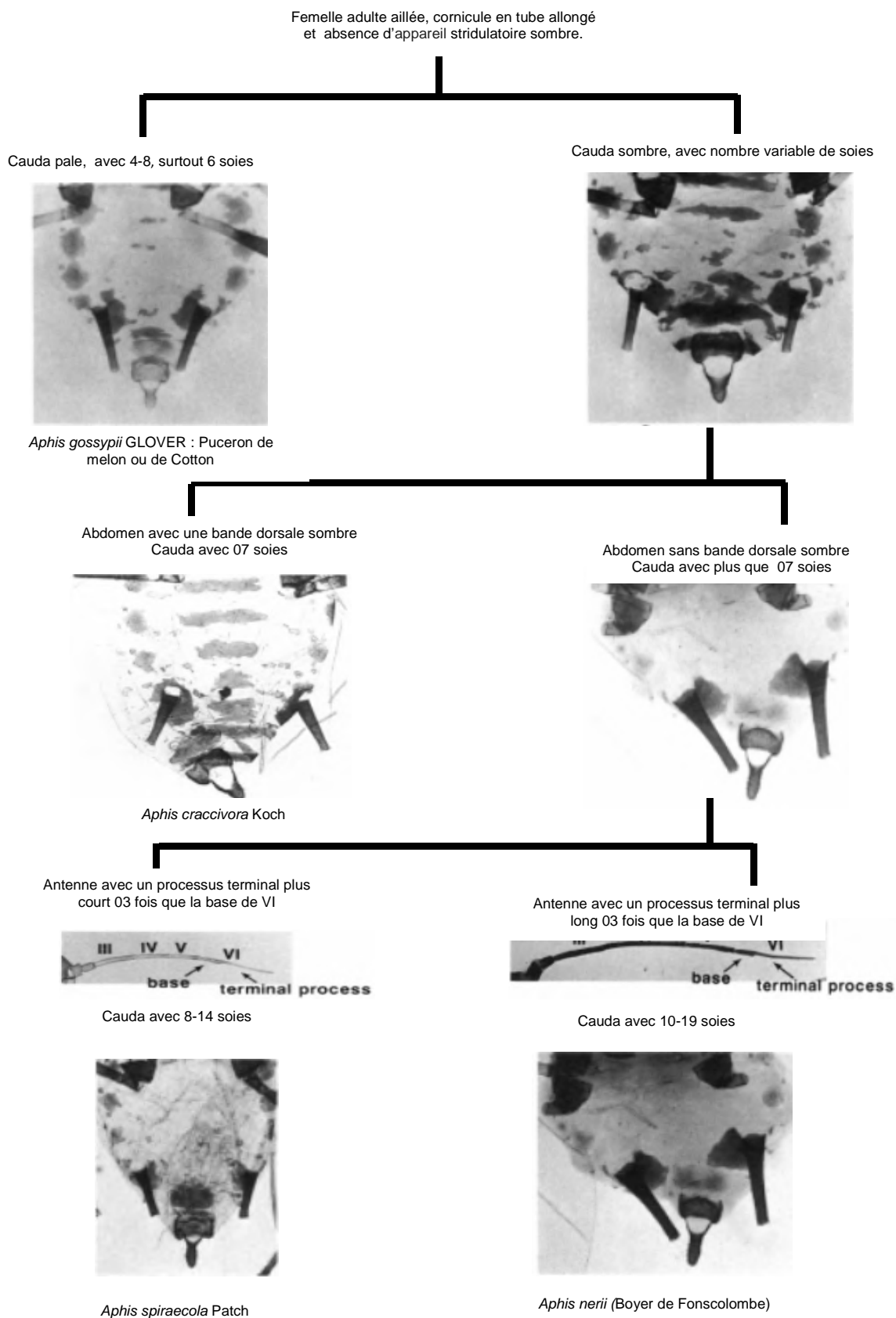
APPENDICES C (4)

Clé illustré des femelles adultes aptères avec cornicules sombres, tubes allongés, qui n'ont pas d'appareil stridulateur et qui sont des ravageurs potentiels sur *Citrus* aux États-Unis



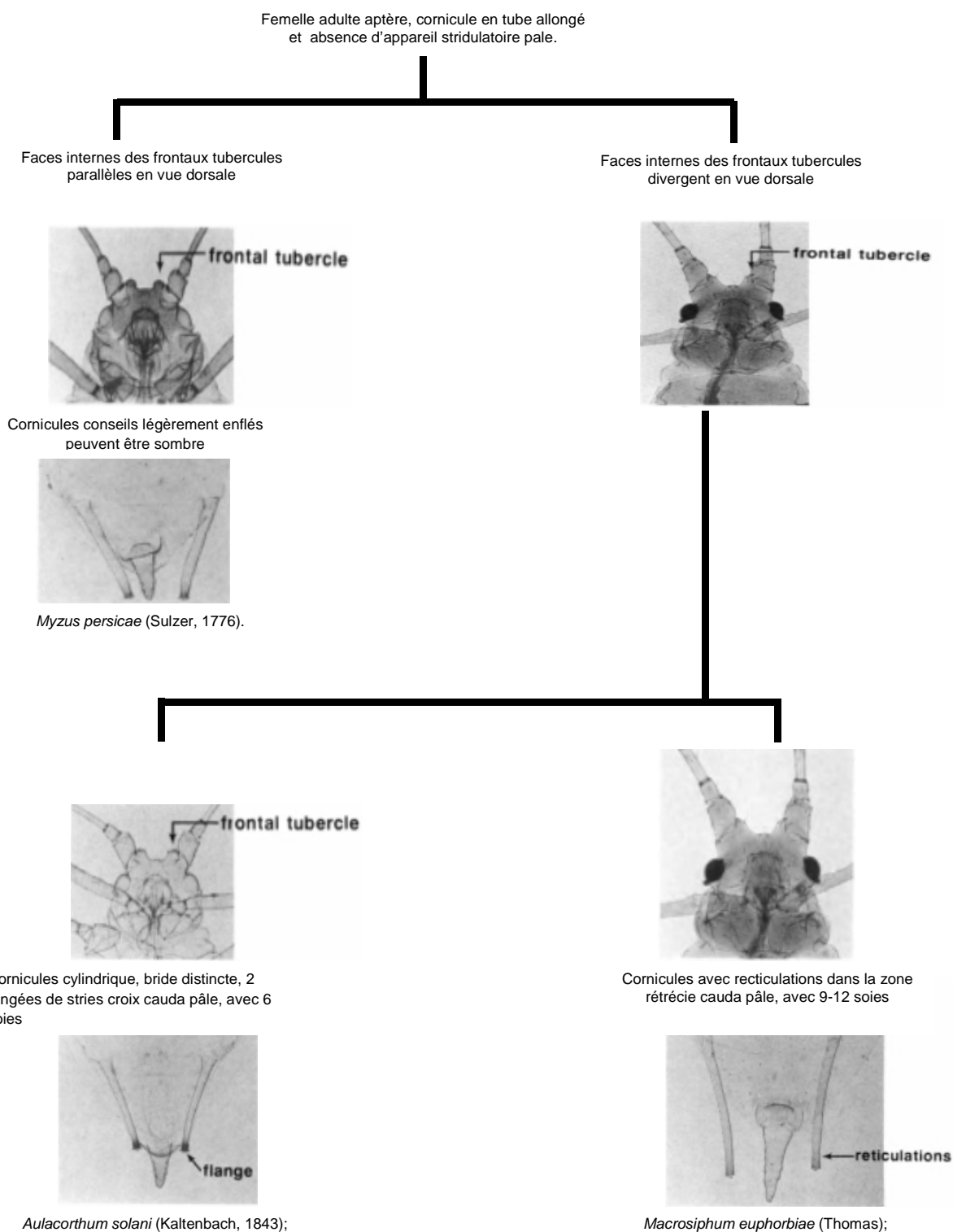
APPENDICES C (5)

Clé illustré des femelles adultes aptères avec cornicules sombres, tubes allongés, qui n'ont pas d'appareil stridulatoire et qui sont des ravageurs potentiels sur *Citrus* aux États-Unis



APPENDICES C (6)

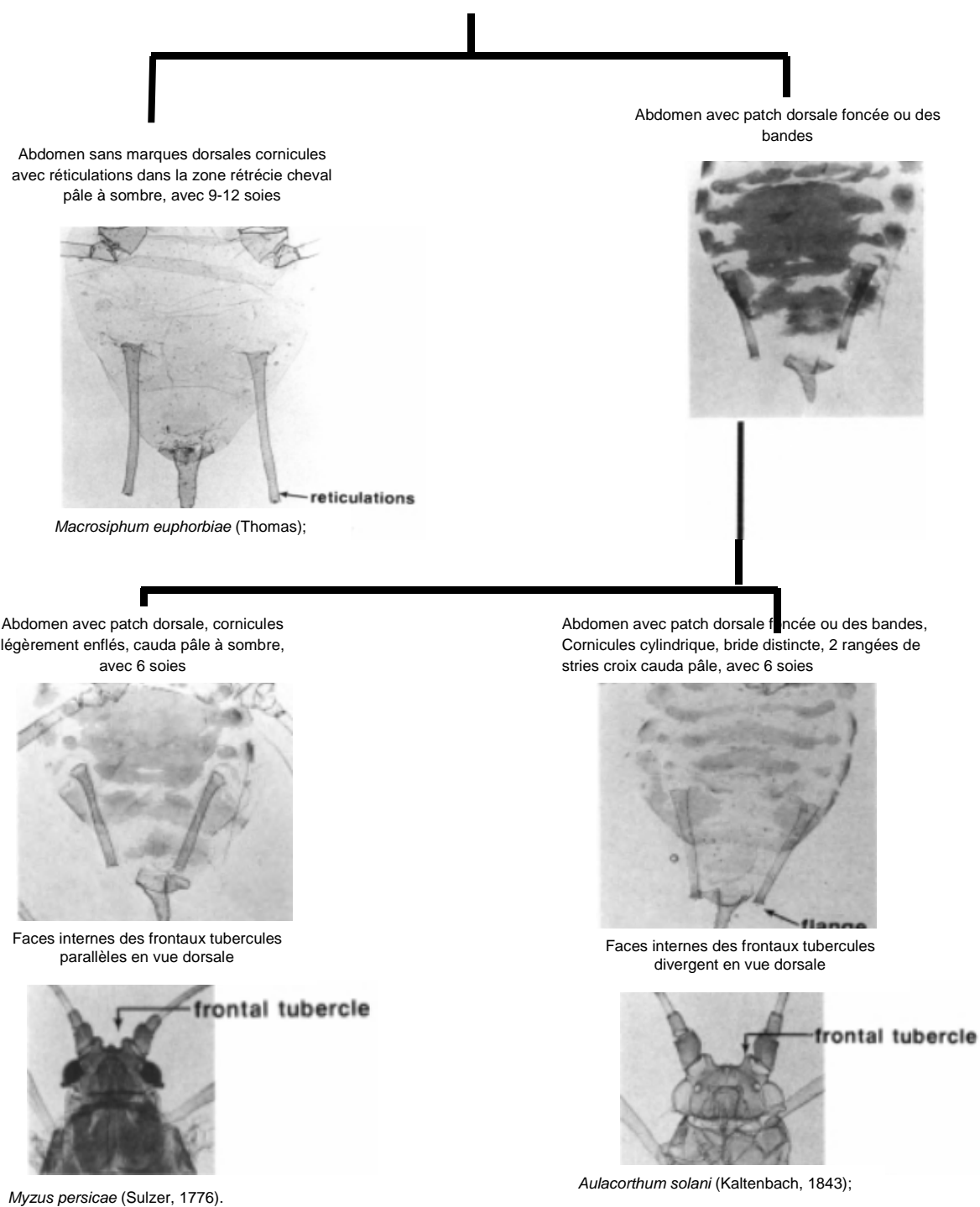
Clé illustré des femelles adultes aptères avec cornicules pâles, tubes allongés, qui ont d'appareil stridulatoire et qui sont des ravageurs potentiels sur *Citrus* aux États-Unis



APPENDICES C (7)

Clé illustré des femelles adultes ailées avec cornicules pâles, tubes allongés, qui ont d'appareil stridulatoire et qui sont des ravageurs potentiels sur Citrus aux États-Unis

Femelle adulte aptère, cornicule en tube allongé et absence d'appareil stridulatoire pale.



APPENDICES D

Année	Paramètres	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
2010	Tmax (°C)	12,3	13,8	14,4	14,17	24,05	27,11	33,2	30	22,5	19,6	13,5	11
	Tmin (°C)	2,5	2	5	9,54	11,7	20,6	24,5	24,3	18,2	14,3	10,8	6,5
	Tmoy (°C)	19,5	29	27	25,01	24,42	42,9	42	37,11	30,3	27,3	21,8	18,7
	Pv (mm)	67,2	92,1	122,8	99,32	27,84	1,6	3,2	1,6	11	118	114,7	97,2
2011	Tmax (°C)	11,6	11,3	14,2	17,2	19,8	22,8	27	27,4	23,7	19,8	16,2	12,6
	Tmin (°C)	8,8	8,1	10,3	12,9	15,6	18,6	22	21,9	19,5	15,8	13,3	9,7
	Tmoy (°C)	15,4	15,5	19,3	23	24,9	28,6	33	34,1	29,4	25,3	20	16,4
	Pv (mm)	126	158	49	12	130	220	0	0	43	61	72	64
2012	Tmax (°C)	10,6	7,5	12,6	15,1	13,7	25,4	26,4	28,8	23,4	21,2	16,4	12,9
	Tmin (°C)	6,9	3,9	8,9	11	13,7	19,4	20,1	22,7	18,4	16,2	12,8	9,4
	Tmoy (°C)	15,4	12	17,6	20	26	32,7	33,5	36,5	30,2	27,9	21,1	17,7
	Pv (mm)	52	231	8	16	25	0	0	21	7	45	131	11
2013	Tmax (°C)	11,5	10,5	15,1	15,3	17,3	21,4	25,3	26	22,8	22,6	13,6	11,8
	Tmin (°C)	7,7	6,8	11,8	11,2	13,1	15,8	20	20,1	19,2	17,8	10,9	7,7
	Tmoy (°C)	16,1	14,8	19,2	20,7	22,1	27,6	31,9	32,8	29,4	29	18	16,8
	Pv (mm)	133	120	64	122	178	3	2	7	20	18	145	101

APPENDICES E

Les actions anthropiques dans la ferme de 5 palmiers oued el Alleug

Année	Mois	Travaux cultureux	Traitements	Fertilisations	Remarques
2010	Juillet		Insecticide : huile blanche		
	Aout	Irrigation : +		Phosphate	
	Septembre	Irrigation : +			
	Octobre	Irrigation : +			
2011	Janvier			N.P.K 0.20.25	engrais de fond (06qx/ha)
	Mars	Discage : +		+	
	Juin	Discage : +	Insecticide : l'HUILE BLANCHE + le DURSBAN		
	Juillet	Irrigation : +	Insecticide : l'HUILE BLANCHE + le DURSBAN	+	Engrais azoté (sulfazote 26%) 09qx/ha
	Aout	Irrigation : +		+	Engrais azoté (sulfazote 26%) 09qx/ha
	Septembre			+	Engrais azoté (sulfazote 26%)
2012	Janvier			+	
	Mars	Discage : +		+	

APPENDICES F

Les actions anthropiques dans le domaine Zouaoui à Oued Alleug

Année	Mois	Travaux culturaux	Traitements	Fertilisations	Remarques
2012	Juillet	Irrigation : +	Insecticide : Détaméthrine 125ml /ha		
	Aout	Irrigation : +	Insecticide : Ultracidin 400g /l		
	Octobre	Irrigation : +			
	Novembre	Irrigation : +			
2013	Avril	Irrigation : + Discage : +			
	Mai	Irrigation : +	Insecticide : Bifentherine 100g /l	Regulateur de PH 5% azote + 15% P ₂ O ₅ A ₄₄ (Acide Aminé) 3,3L/4kg Oligo-éléments 1kg/1000l	
	Juin	Irrigation : + Discage : +			

APPENDICE G (1)

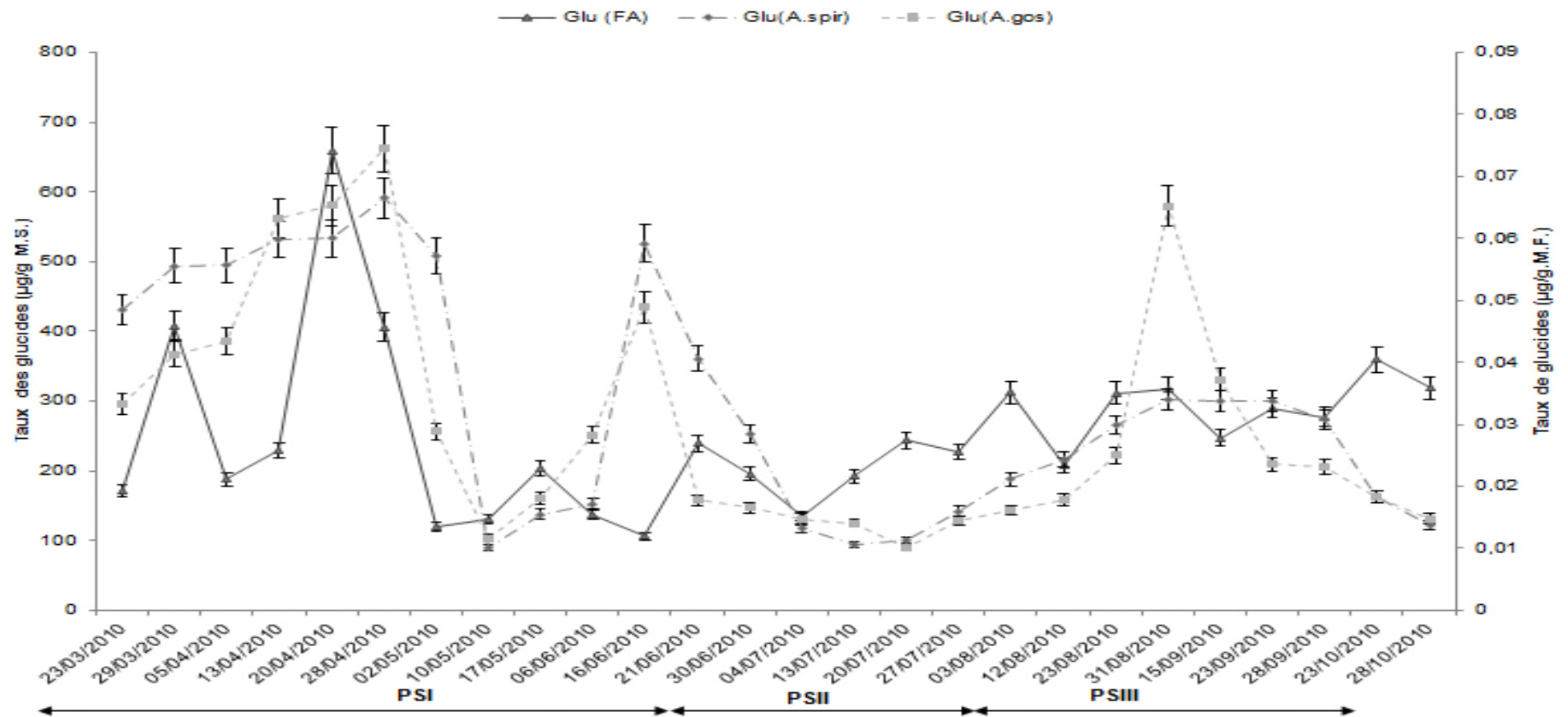


Figure G (1) : Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques glucidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux des glucides des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (2)

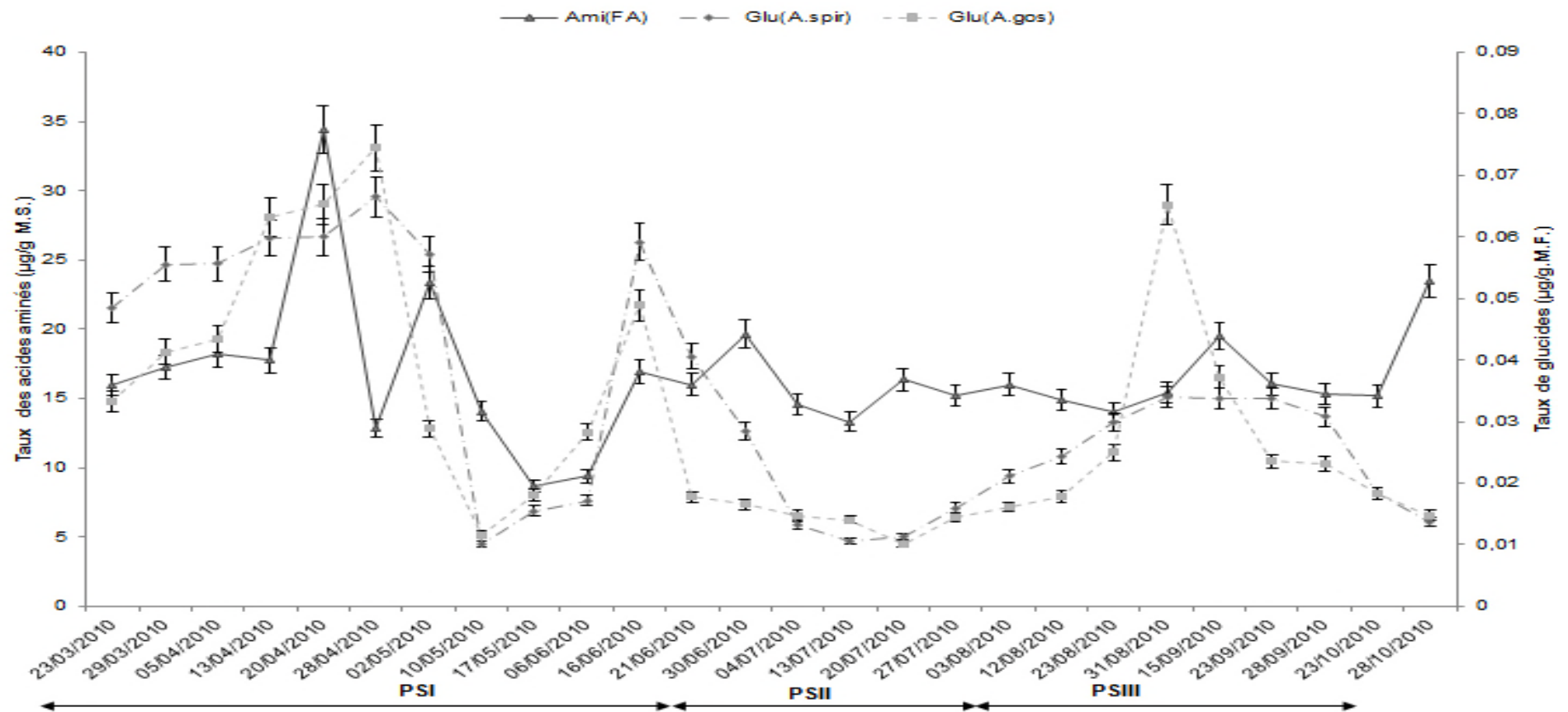


Figure G (2) : Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques glucidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux des acides aminés des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (3)

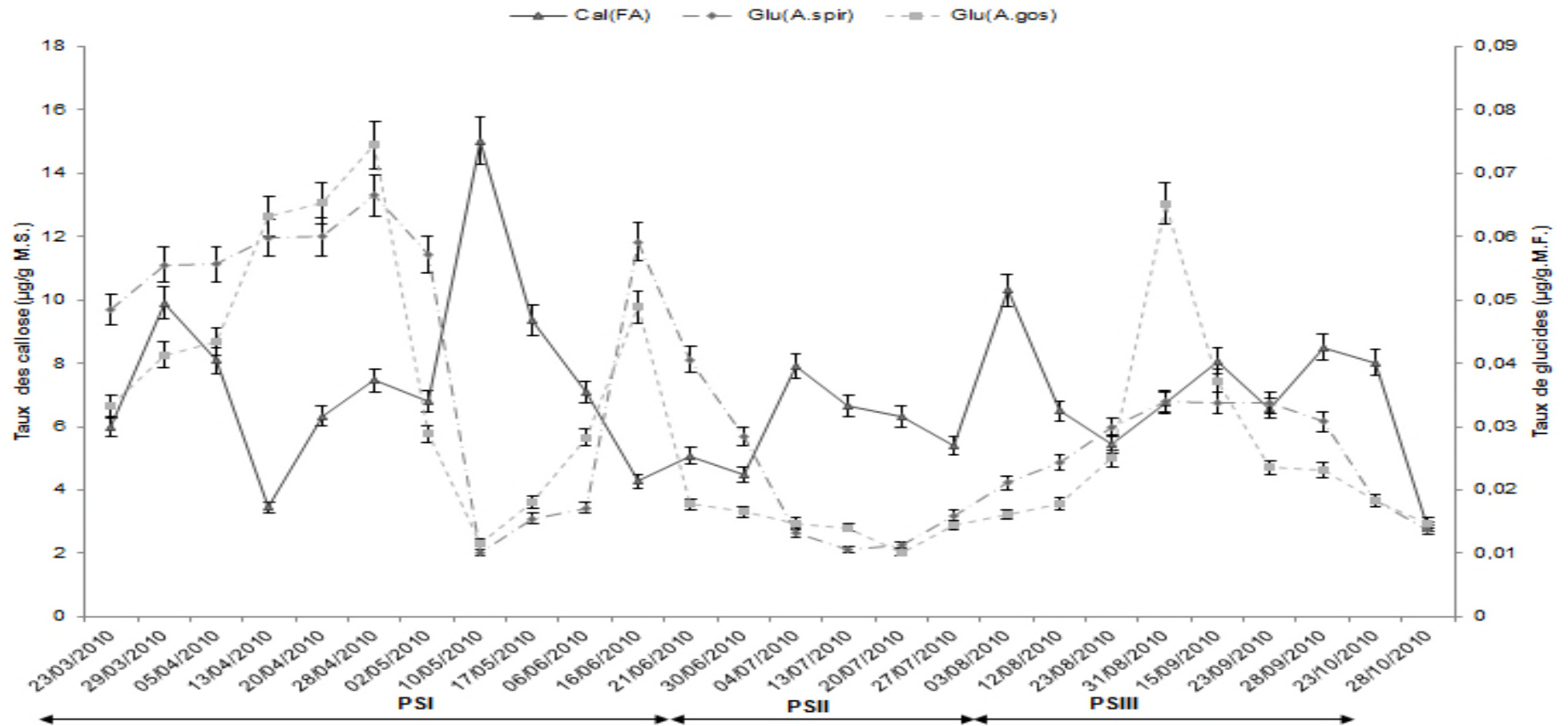


Figure G (3): Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques glucidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux de la callose des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (4)

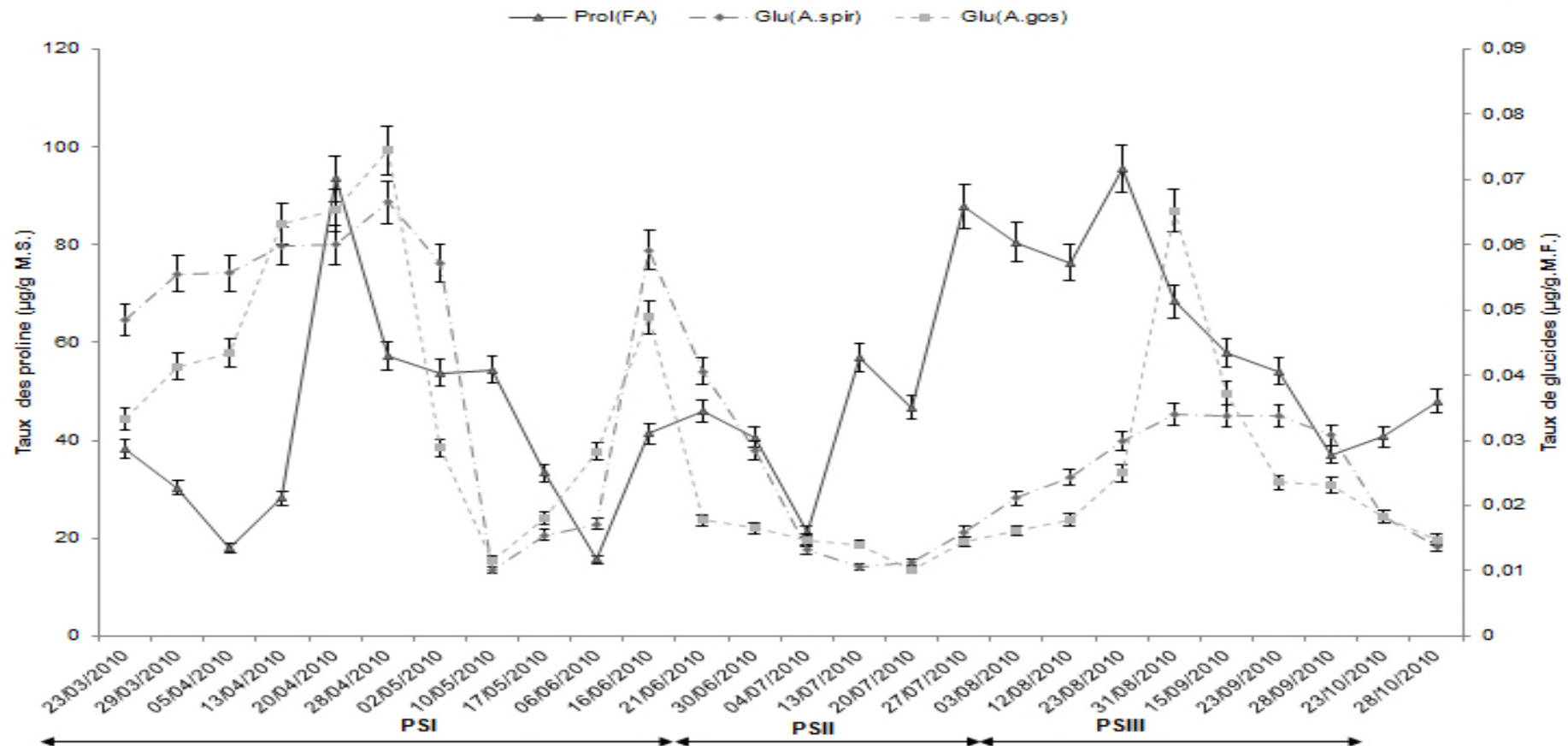


Figure G (4): Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques glucidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux de la proline des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (5)

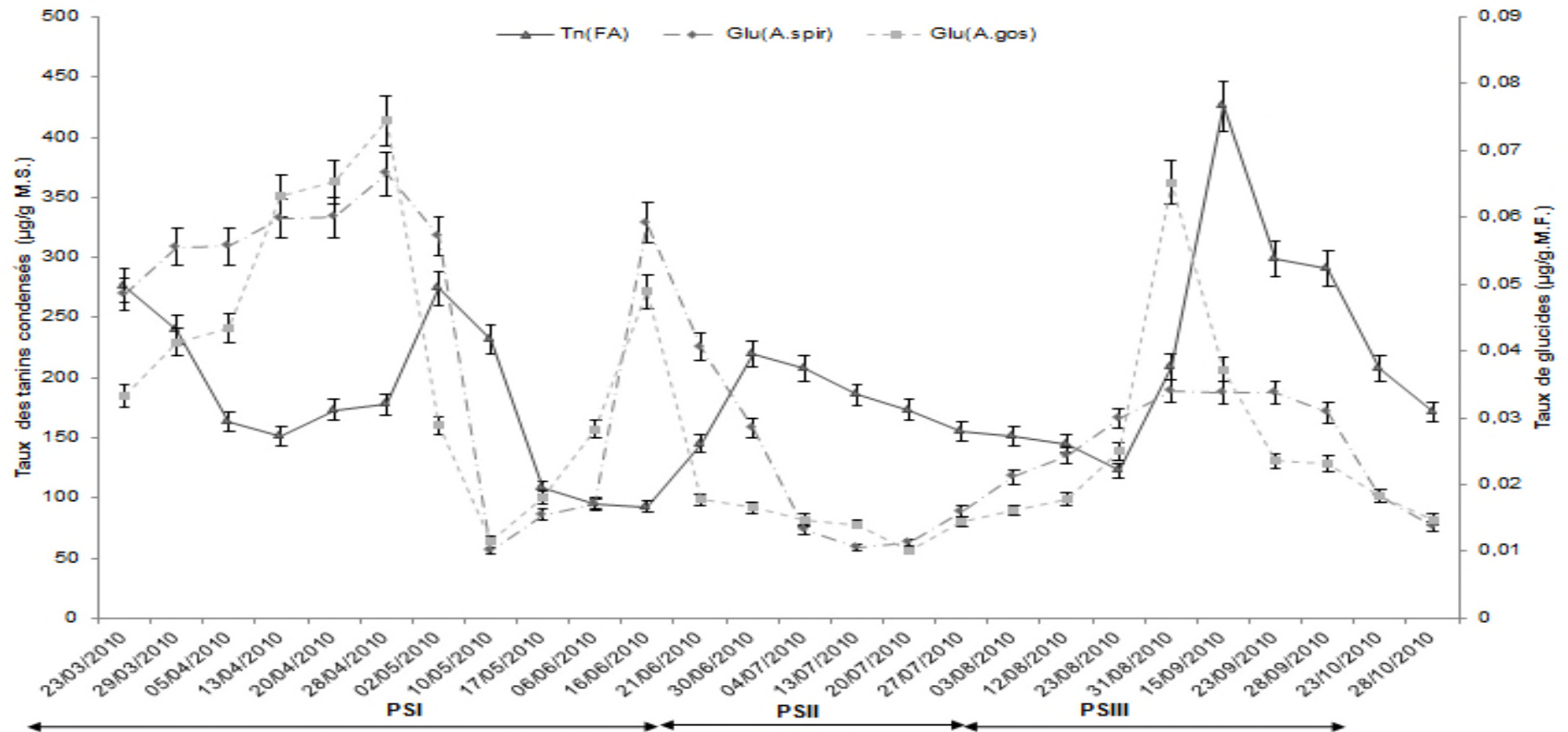


Figure G (5) : Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques glucidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux de tannins condensés des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (6)

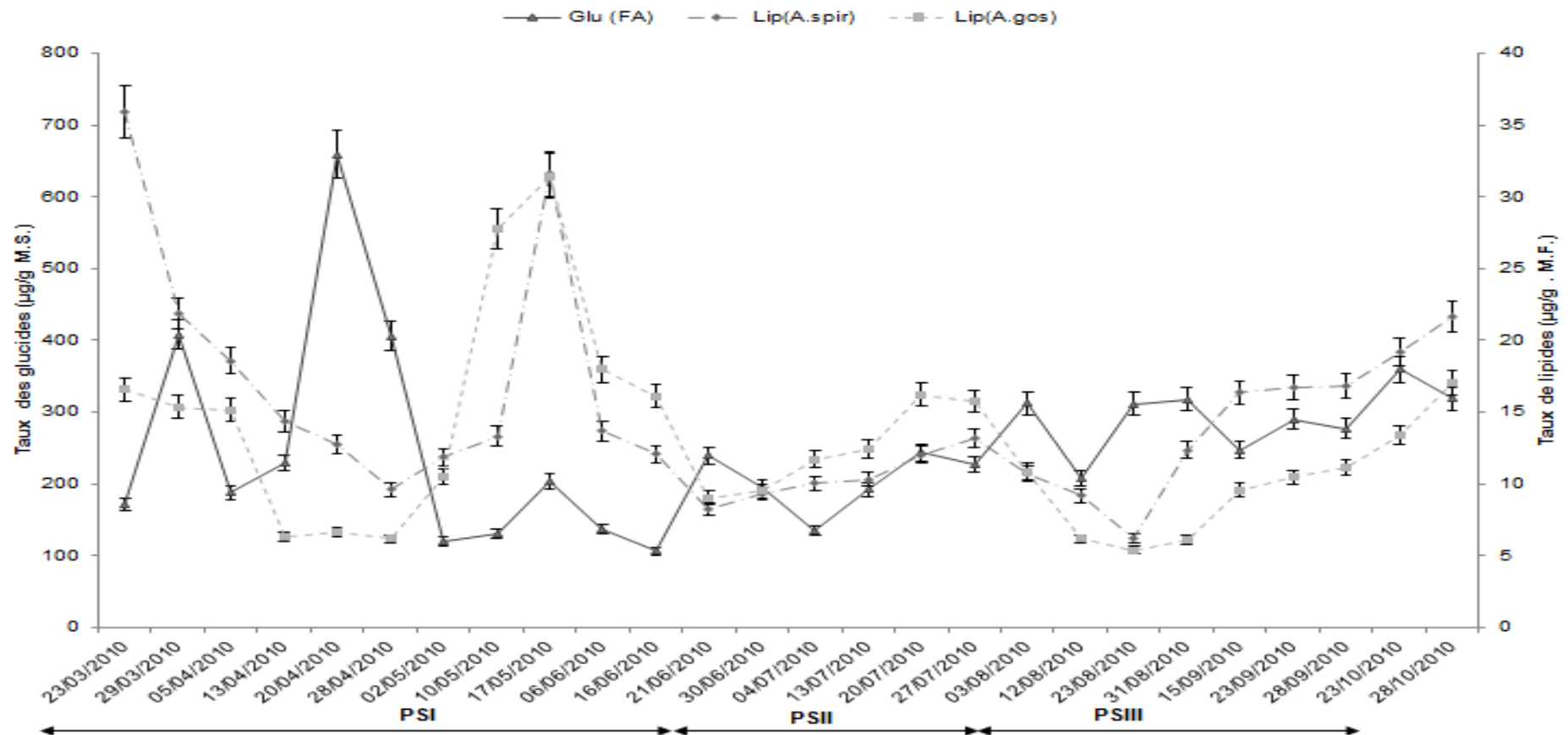


Figure G (6): Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques lipidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux des glucides des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (7)

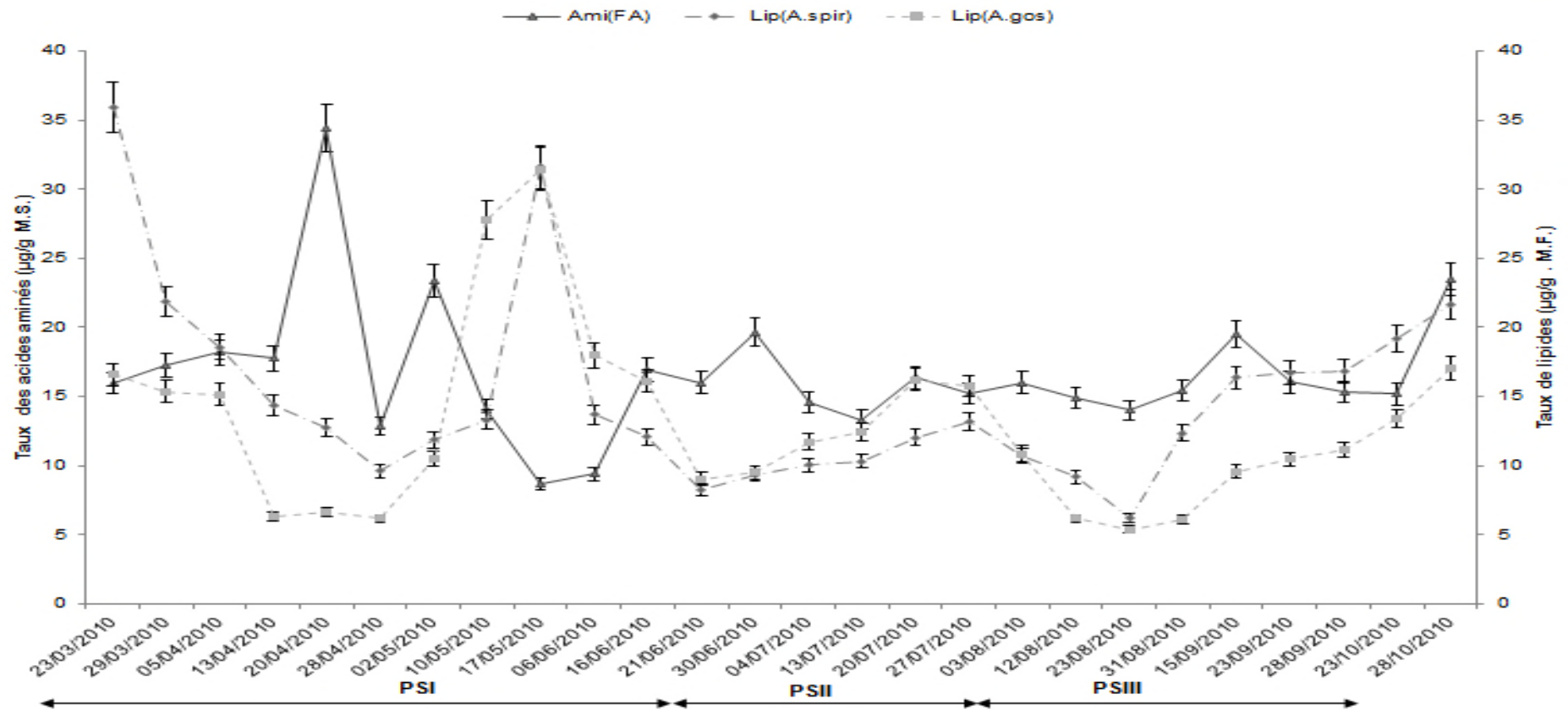


Figure G (7): Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques lipidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux des acides aminés des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (8)

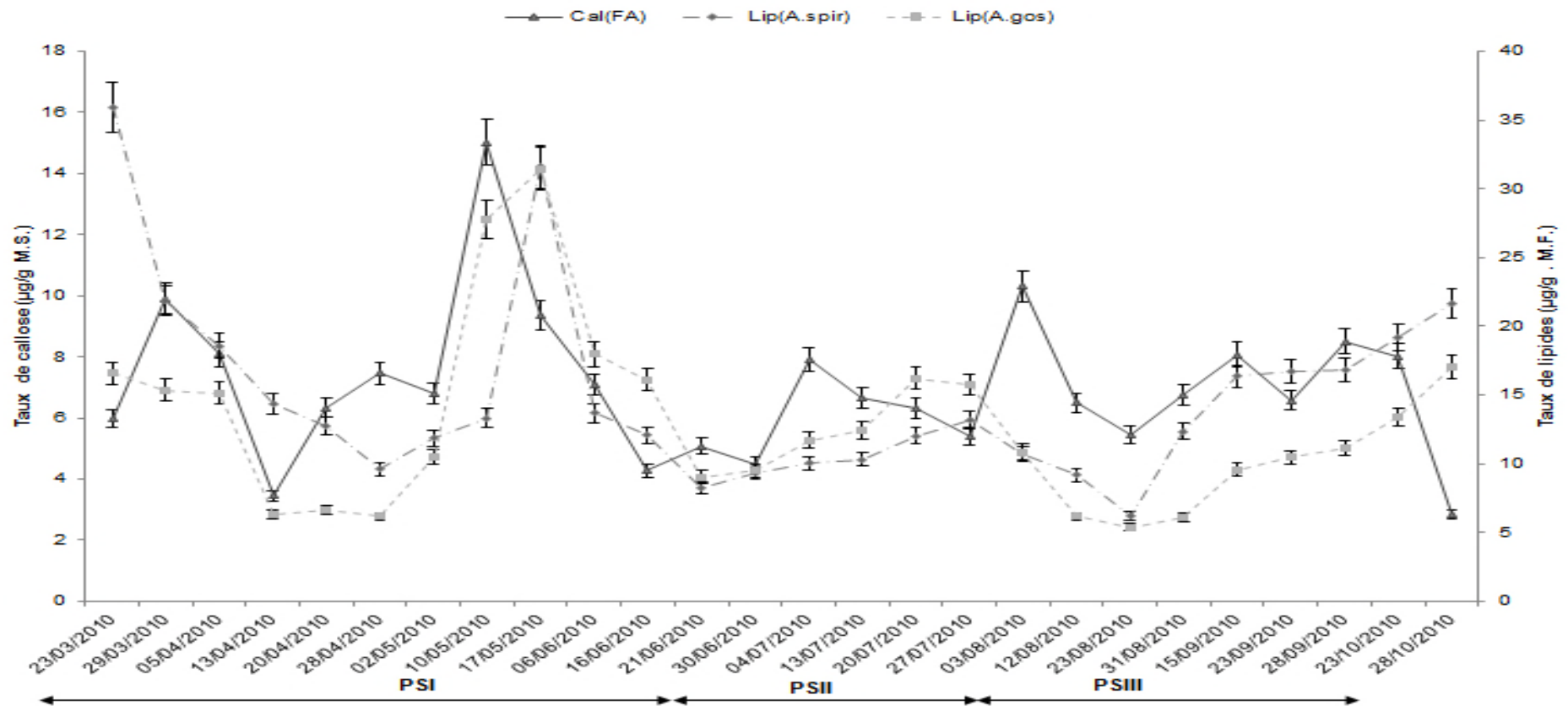


Figure G (8): Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques lipidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux de la callose des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (9)

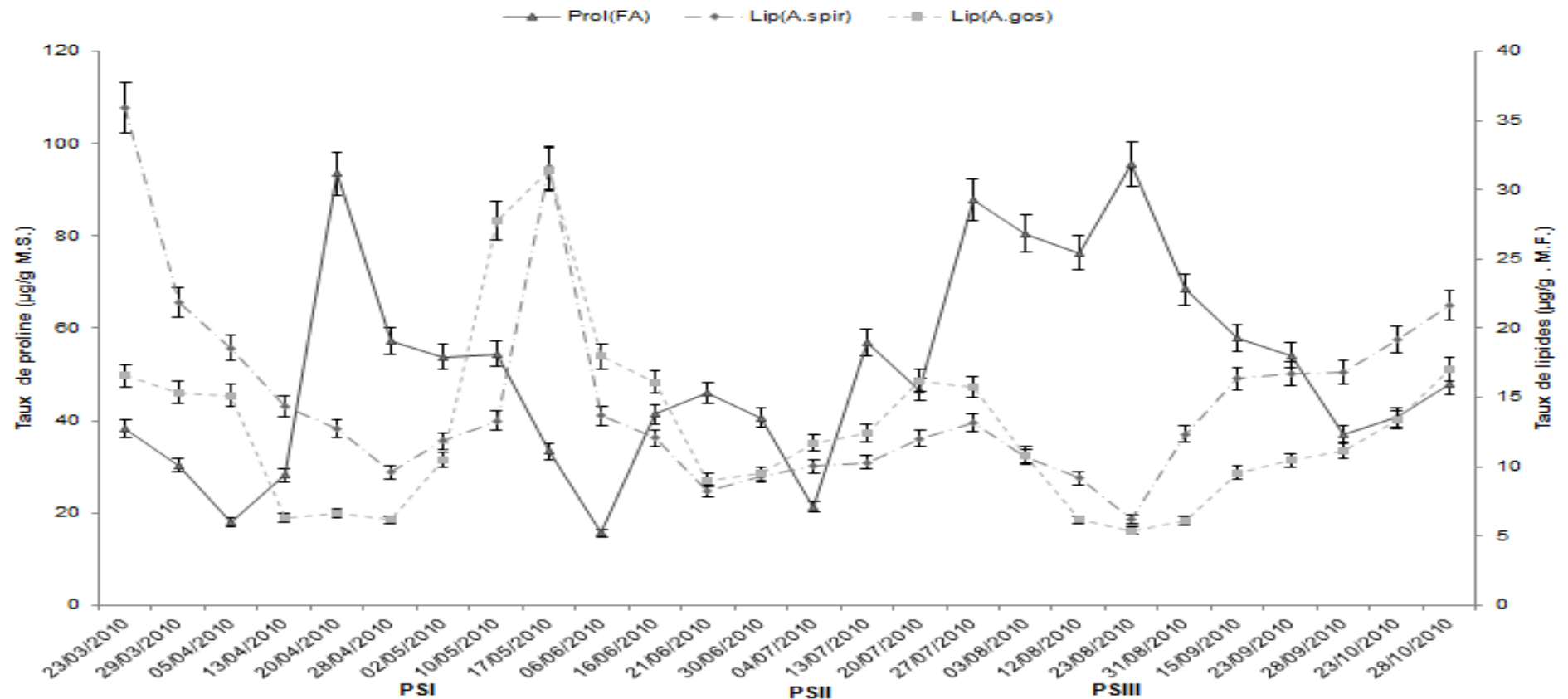


Figure G (9): Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques lipidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux de la proline des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE G (10)

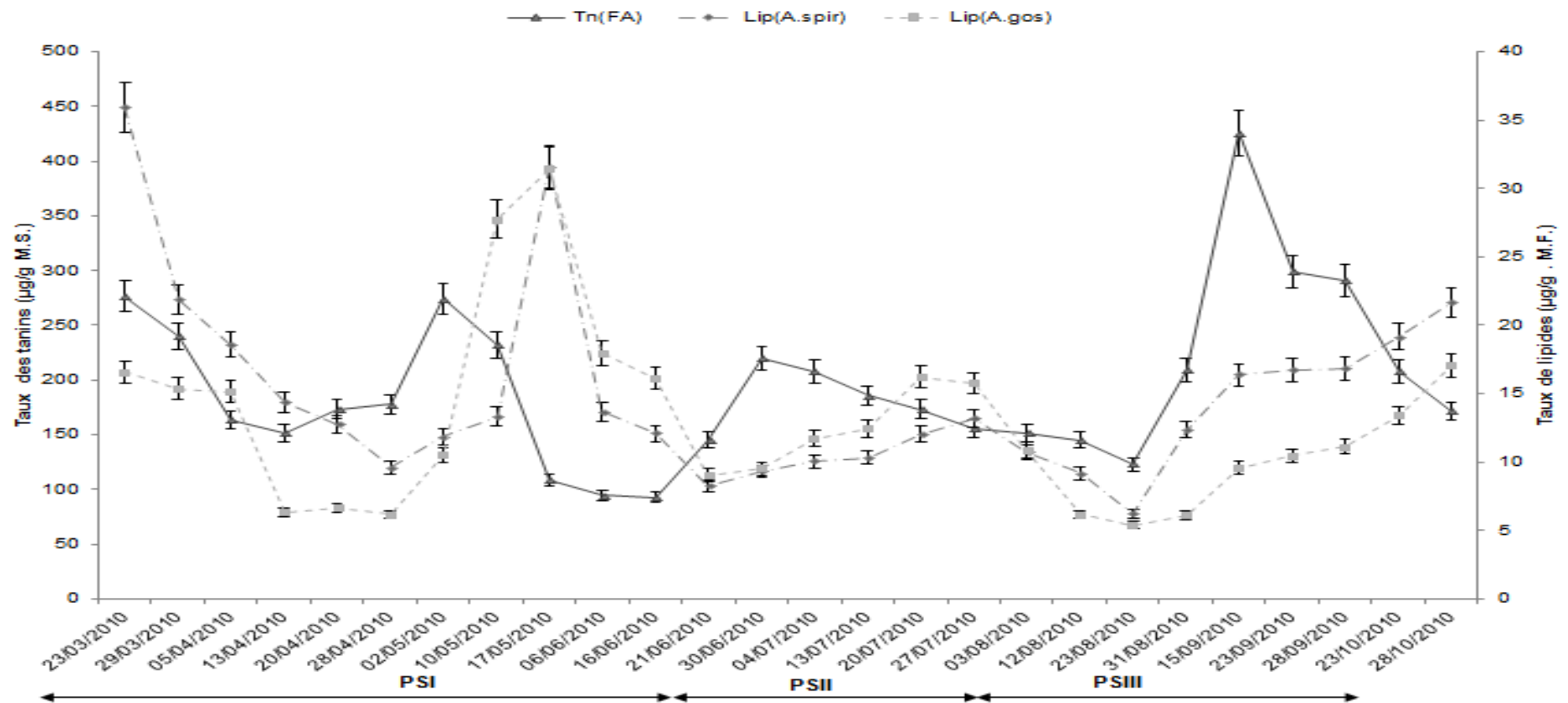


Figure G (10) Comparaison de la variation temporelle des réserves énergétiques lipidiques d'*Aphis spiraecola* et *Aphis gossypii* avec les taux des tannins condensés des feuilles attaquées de clémentinier.

APPENDICE H (1)

Espèces inventoriés au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Ordre : Araneae

Famille : Amaurobiidae



Amaurobiidae sp

Famille : Clubionidae



Clubiona genevensis (Wagner, 1887)

Famille : Gnaphosidae



Gnaphosidae sp



Gnaphosidae sp2

Famille : Heteropodidae



Heteropodidae sp

Famille : Oonopidae



Oonopidae SP

Famille : Uloboridae



Uloboridae sp

Famille : Pholcidae



Pholcidae sp

Famille : Salticidae



Salticidae sp1

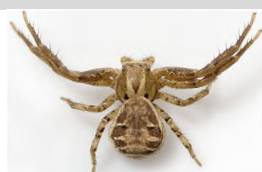


Salticidae sp2

APPENDICE H (2)

Espèces inventoriés au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Ordre : Araneae	
Famille : Thomisidae	Famille : Titanoecidae



Thomisidae sp

Titanoecidae sp

Ordre : Coleoptera	
Famille : Cantharidae	Famille : Coccinellidae



Cantharis fusca (Linnaeus, 1758)



Hippodamia variegata (Goeze, 1777)

Famille :Coccinellidae	
------------------------	--



Brumus quadrimaculatus (Linnaeus, 1758)



Chilocorus bipunctatus (Linné, 1758)



Chilocorus bipustulatus (Linné, 1758)



Clitostethus arcuatus (Rossi, 1794)



Coccinella algerica (kovar, 1977)



Cryptolaemus montrouzieri
(Mulsant, 1853)

APPENDICE H (3)

Espèces inventoriés au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Ordre : Coleoptera
Famille :Coccinellidae



Nephus peyerimhoffi (Sicard, 1923)



Pharoscymnus setulosus (Chevrolat, 1861)



Psyllobora vigintiduopunctata (Linnaeus, 1758)



Rodolia cardinalis (Mulsant, 1850)



Rhyzobius lophantae (Blaisdell, 1892)



Scymnus mediterraneus (Iablokoff-Khnzorian, 1972)



Scymnus subvillosus (Goeze, 1777)



Stethorus punctillum (Weise, 1891)

Ordre : Coleoptera
Famille :Staphylinidae



Tachyporus obtusus (Linnaeus, 1767)

Ordre : Dermaptera
Famille : Forficulidae



Forficula auricularia (Linné, 1758)

APPENDICE H (4)

Espèces inventoriés au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Ordre : Diptera

Famille : Cecidomyiidae



Aphidoletes aphidimyza (Rondani, 1847)

Famille : Syrphidae



Episyrphus balteatus (De Geer, 1776)

Ordre : Hemiptera

Famille : Pentatomidae



Acrosternum fieberi



Pentatomidae sp

Ordre : Hymenoptera

Famille : Aphelinidae



Aphelinus mali (Haldeman, 1851)



Aphytis chrysomphali (Mercet, 1912)



Aphytis hispanicus (Mercet, 1912)



Aphytis melinus (DeBach, 1959)



Cales noacki (Howard, 1907)



Encarsia sp

APPENDICE H (5)

Espèces inventoriés au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Ordre : Hymenoptera

Famille : Aphelinidae



Eretmocerus sp

Famille : Encyrtidae



Metaphycus flavus (Howard, 1881)

Famille : Encyrtidae



Metaphycus helvolus (Compere, 1926)



Microterys cneus (Trjapitzin et Sugonjaev, 1976)

Famille : Formicidae



Syrphophagus aphidivorus (Mayr, 1876)



Camponotus sp (Mayer, 1861)

Famille : Formicidae

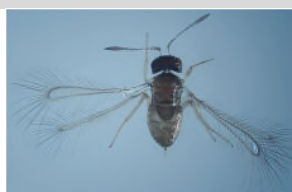


Messor barbarus (Linnaeus, 1767)



Tapinoma nigerimum (Forster, 1850)

Famille : Myrmecidae



Alaptus sp



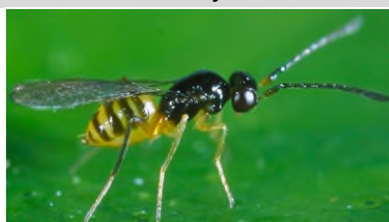
Anagrus atomus (Linnaeus, 1767)

APPENDICE H (6)

Espèces inventoriés au niveau des vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.

Ordre : Hymenoptera

Famille : Mymaridae



Gonatocerus sp

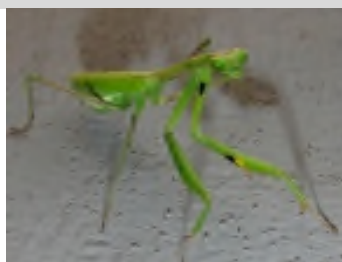
Famille : Pteromalidae



Pachyneuron aphidis (Bouché, 1834)

Ordre : Mantodea

Famille : Mantidae



Sphodromantis viridis (Forsk., 1775)

Ordre : Neuroptera

Famille : Chrysopidae



Chrysoperla carnea (Stephens, 1836)

Famille : Coniopterygidae



Semidalis aleyrodiformis (Stephens, 1836)

TABLE DE MATIERES

RESUME.....	I
ABSTRACT.....	II
ملخص.....	III
REMERCIEMENTS.....	IV
DEDICACES.....	V
SOMMAIRE.....	VI
LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
INTRODUCTION GENERALE.....	23
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DES AGRUMES ET DE LA REGION AGRICOLE DE LA MITIDJA.....	26
1. Classification, origine et cycle de développement des agrumes.....	26
1.1. Classification des agrumes.....	26
1.2. Origine et diffusion des agrumes et du clémentinier.....	27
1.3. Cycle de développement des agrumes.....	28
2. Importance des agrumes.....	30
2.1. Production mondiale.....	30
2.2. Production en Algérie.....	32
3.3. Production dans la région de la Mitidja.....	33
3. Les conditions environnementales.....	36
3.1. Les exigences climatiques.....	36
3.2. Les exigences édaphiques.....	37
3.3. Les principaux bioagresseurs des agrumes.....	38

4.	Présentation de la région agricole de la Mitidja.....	39
4.1.	Situation géographique.....	39
4.2.	Pédologie et hydrologie.....	40
4.3.	Conditions climatiques.....	41
4.3.1.	Température.....	42
4.3.2.	Pluviométrie.....	43
4.3.3.	Etage bioclimatique et diagramme ombrothermique.....	44
4.3.4.	Humidité et gelées.....	46
4.3.5.	Vents.....	47
CHAPITRE 2 : LES PUCERONS DES AGRUMES.....		49
1.	Systématique et caractéristiques morphologiques.....	49
1.1.	Systématique.....	49
1.2.	Caractéristiques morphologiques.....	52
1.2.1.	Tête et système sensoriel.....	52
1.2.2.	Le thorax.....	54
1.2.3.	L'abdomen.....	54
2.	Biologie des pucerons.....	55
2.1.	Cycle biologique des aphides	55
2.2.	Polymorphisme et polyphénisme.....	58
3.	Facteurs de développement.....	61
3.1.	Facteurs abiotiques.....	61
3.1.1.	Température et humidité.....	61
3.1.2.	La pluviométrie.....	61
3.1.3.	Vent et lumière.....	62
3.2.	Les facteurs biotiques.....	62
3.2.1.	La plante hôte.....	62
3.2.2.	Les pucerons.....	63
3.2.3.	Les ennemis naturels.....	63
3.3.	Comportement chimique : les phéromones d'alarme et les phéromones sexuelles.....	65
3.4.	Comportement social.....	65
3.4.1.	Le mutualisme.....	65
3.4.2.	Les symbiontes.....	66

3.4.3. La compétition.....	66
4. Présentation des principaux aphides des agrumes.....	67
4.1. <i>Aphis spiraecola</i> Patch, 1914 ou <i>A. citricola</i> van der Goot, 1912...	69
4.2. <i>Aphis gossypii</i> Glover, 1877.....	70
4.3. <i>Toxoptera aurantii</i> Boyer de fonscolombe, 1841.....	71
4.4. <i>Toxoptera citricida</i> Kirkaldy, 1907.....	71
4.5. <i>Myzus persicae</i> Sulzer, 1776	72
5. Dégâts causés par les pucerons et méthodes de lutte.....	73
5.1. Les dégâts directs.....	73
5.2. Les dégâts indirects.....	74
5.2.1. Rejet de miellat et apparition de fumagine.....	74
5.2.2. Transmission de virus.....	75
5.3. Méthodes de lutte.....	75
CHAPITRE 3 : INTERACTIONS PLANTES – INSECT	
PHYTOPHAGES – AUXILIAIRES.....	77
1. Le régime phytophage.....	77
1.1. Besoins nutritifs des insectes.....	78
1.1.1. Les protéines, et les acides aminés.....	78
1.1.2. Les glucides.....	79
1.1.3. Les lipides.....	80
1.2. Balance nutritionnelle et allocation des réserves énergétiques....	82
1.3. Réserves énergétiques considérées comme biomarqueurs.....	85
1.4. Choix et stratégies d'approches et d'acceptation d'une plante	
hôte.....	88
1.5. Utilisation et rôle de l'information chimique.....	91
1.5.1. Information chimique émise par la plante.....	91
1.5.2. Information chimique émise par l'insecte.....	92
2. Résistance des plantes aux phytophages affectant le processus de	
colonisation.....	95
2.1. Systèmes de défense directe ou constitutive.....	96
2.2. Systèmes de défense indirecte ou induite.....	97
2.3. Rôle des métabolites secondaires.....	98

2.4.	Réponse adaptative des insectes face à la résistance des plantes.....	104
3.	La compétition interspécifique.....	104
3.1.	Interactions insectes / insectes.....	104
3.2.	Interaction de l'hôte avec des prédateurs.....	105
3.2.1.	Définition de la prédation.....	105
3.2.2.	Prédateur et compétiteur : la prédation intragilde.....	105
3.2.3.	La prédation intragilde en lutte biologique.....	107
CHAPITRE 4: OBJECTIFS ET DEMARCHE EXPERIMENTALE..		109
1.	Contexte et objectifs.....	109
2.	Démarche expérimentale.....	111
2.1.	Présentation des vergers d'étude.....	111
2.2.	Caractérisation de l'entomofaune.....	114
2.3.	Caractérisation phytochimique du clémentinier en réponse à l'infestation par les pucerons.....	114
CHAPITRE 5: MATERIELS ET METHODES.....		116
1.	Caractéristiques des vergers d'étude.....	116
1.1.	Verger d'Oued El-Alleug.....	116
1.2.	Verger de Boufarik.....	119
1.3.	Verger d'El-Affroun.....	120
1.4.	Verger de Chiffa.....	120
1.5.	Verger du Domaine Zouaoui à Oued Alleug.....	121
2.	Méthodologies d'échantillonnage.....	122
2.1.	Echantillonnage des insectes et des feuilles de clémentinier dans le verger d'Oued El Alleug.....	122
2.2.	Méthode de capture de l'entomofaune.....	123
2.2.1.	Au niveau des vergers de Boufarik, Oued El Alleug et El Affroun.....	123
2.2.2.	Au niveau du verger de Chiffa.....	124
2.2.3.	Au niveau des vergers de Domaine Zouaoui et Oued El Alleug.....	126
2.3.	Identification des taxons au laboratoire.....	126

3.	Dosages biochimiques chez les pucerons.....	126
3.1.	Quantification des réserves lipidiques.....	126
3.2.	Quantification des réserves glucidiques.....	127
4.	Dosages biochimiques dans les feuilles de clémentinier.....	127
4.1.	Quantification des glucides solubles totaux.....	128
4.2.	Quantification de la callose.....	128
4.3.	Quantification de la proline libre.....	129
4.4.	Quantification des acides aminés libres totaux.....	129
4.5.	Quantification des tannins condensés.....	129
5.	Exploitations des données.....	130
5.1.	Indices écologiques.....	130
5.2.	Tests statistiques.....	132
CHAPITRE 6: RESULTATS.....		135
1.	Relations entre support nourricier et pucerons.....	
1.1.	Variation temporelle de métabolites foliaires du clémentinier.....	135
1.1.1.	Fluctuation temporelle des métabolites des feuilles non attaquées.....	136
1.1.2.	Variation quantitative des métabolites entre les feuilles attaquées et non attaquées.....	136
1.2.	Effets de l'allocation des réserves énergétiques sur la dynamique aphidiennes.....	140
1.2.1.	Variation temporelle des réserves énergétiques aphidiennes.....	144
1.2.2.	Effets des métabolites foliaires sur le remaniement des réserves énergétiques aphidiennes.....	148
2.	Relations entre pucerons et paramètres abiotiques et biotiques.....	157
2.1.	Dynamique des populations aphidiennes en relation avec les variations climatiques	157
2.1.1.	Structuration et fluctuations temporelles des populations d'aphides.....	157
2.1.2.	Effet des précipitations et des températures sur les fluctuations annuelles aphidiennes.....	165

2.2.	Coïncidence spatiotemporelles aphides-auxiliaires (cécidomyies, coccinelles, parasitoïdes chrysopes)	171
2.2.1.	Fluctuations annuelles des cortèges aphidiphages.....	171
2.2.2.	Comparaison de la variation temporelle des aphides et leurs cortèges aphidiphages sur le clémentinier.....	173
3.	Composition de l'arthropodofaune auxiliaire associée au clémentinier dans la Mitidja centrale.....	176
3.1.	Aspects qualitatif et quantitatif de l'arthropodofaune bénéfique..	176
3.1.1.	Analyse de l'inventaire quantitatif	176
3.1.1.1.	Richesse et abondance des taxons.....	182
3.1.2.	Analyse de l'inventaire qualitatif (trophique et écologique).....	185
3.1.2.1.	Statut alimentaire.....	185
3.1.2.2.	Statut trophique	187
3.1.3.	Analyse écologique du peuplement d'insectes récoltés dans les vergers agrumicoles dans la région de la Mitidja centrale.....	188
3.1.3.1.	Evaluation de la biodiversité globale.....	188
3.1.3.2.	Constance des espèces.....	189
3.1.3.2.	Analyse de la fréquence d'abondance et d'occurrence des insectes recensés dans les vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.....	190
3.2.	Distribution temporelle de l'arthropodofaune agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.....	192
3.2.1.	Diversités temporelles.....	192
3.2.2.	Distribution temporelle des abondances	193
3.2.3.	Activité temporelle des coccinelles.....	195
3.3.	Analyse des assemblages trophiques	197
3.3.1.	Analyse globale saisonnière des communautés	197
3.3.2.	Comparaison des diversités et des richesses des communautés trophiques	201

3.3.3.	Diagramme rang fréquence des communautés fonctionnelles.....	202
3.3.4.	Similitudes des assemblages trophiques (ANOSIM/SIMPER).....	207
CHAPITRE 7 : DISCUSSION GENERALE.....		211
1.	Relations entre support nourricier et pucerons.....	213
1.1.	Variation temporelle de métabolites foliaires du clémentinier.....	213
1.2.	Effets de l'allocation des réserves énergétiques sur la dynamique aphidiennes.....	217
1.2.1.	Variation temporelle des réserves énergétiques aphidiennes.....	217
1.2.2.	Remaniement des réserves énergétiques aphidiennes en relation avec les variations des métabolites des feuilles de clémentinier	221
1.2.2.1.	Influence des glucides solubles.....	222
1.2.2.2.	Influence des acides aminés.....	223
1.2.2.3.	Influence de la proline.....	223
1.2.2.4.	Influence des tannins condensés.....	224
1.2.2.5.	Effet des réserves énergétiques sur l'abondance aphidienne.....	225
2.	Relations entre pucerons et paramètres abiotiques et biotiques.....	229
2.1.	Dynamique des populations aphidiennes en relation avec les variations climatiques	229
2.1.1.	Structuration et fluctuations temporelles des populations d'aphides.....	229
2.1.2.	Effet des précipitations et des températures sur les fluctuations annuelles aphidiennes.....	233
2.2.	Coïncidence spatiotemporelles aphides-auxiliaires (cécidomyies, coccinelles, parasitoïdes chrysopes)	236
2.2.1.	Fluctuations annuelles des cortèges aphidiphages.....	236
2.2.2.	Comparaison de la variation temporelle des aphides et leurs cortèges aphidiphages sur le clémentinier.....	236

3.	Composition de l'arthropodofaune auxiliaire associée au clémentinier dans la Mitidja centrale.....	239
3.1.	Aspects qualitatif et quantitatif de l'arthropodofaune bénéfique..	239
3.1.1.	Analyse de l'inventaire quantitatif	239
3.1.1.1.	Richesse et abondance des taxons.....	240
3.1.2.	Analyse de l'inventaire qualitatif (trophique et écologique).....	241
3.1.2.1.	Statut alimentaire.....	241
3.1.2.2.	Statut trophique	244
3.1.3.	Analyse écologique du peuplement d'insectes récoltés dans les vergers agrumicoles dans la région de la Mitidja centrale.....	246
3.1.3.1.	Evaluation de la biodiversité globale.....	246
3.1.3.2.	Constance des espèces.....	248
3.1.3.3.	Analyse de la fréquence d'abondance et d'occurrence des insectes recensés dans les vergers d'étude dans région de la Mitidja centrale.....	248
3.2.	Distribution temporelle de l'arthropodofaune agrumicole dans la Mitidja centrale en 2012-2013.....	251
3.2.1.	Diversités temporelles.....	251
3.2.2.	Activité temporelle des coccinelles.....	253
3.3.	Analyse des assemblages trophiques	255
3.3.1.	Analyse globale saisonnière des communautés	255
3.3.2.	Diagramme rang fréquence des communautés fonctionnelles.....	257
3.3.3.	Similitudes des assemblages trophiques (ANOSIM/ SIMPER).....	259
	CONCLUSION.....	262
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	271
	APPENDICE.....	321

TABLE DE MATIERE..... 351