

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUE

MEMOIRE DE MAGISTERE

En science agronomiques
Spécialité : protection des plantes et l'environnement

Variation démographique de puceron vert d'agrume
Aphis citricola (Homoptéra, Aphididae) en fonction des
actions anthropique

Mm : Esserhane Ouarda

Devant le jury composé de :

S.A. SNOUSSI	PR	U.S.D.B	PRESIDENT
A. GENDOUIZ- BENRIMA	PR	U.S.D.B.	Examinatrice
L. ALLAL-BENFKIH	MCA	U.S.D.A	Promotrice
Z.E. DJAZOULI	MCA	U.S.D.A	Co-promoteur

BLIDA le 16 mars 2010

Variation démographique du puceron vert des agrumes *Aphis citricola* (Homoptera, Aphididae) en fonction des actions anthropiques.

Résumé

De tous les insectes ravageurs des agrumes, les pucerons constituent le groupe qui pose le plus de problèmes phytosanitaires. En effet, leur potentiel biotique prodigieux et leur extraordinaire adaptation à l'exploitation maximale du milieu par leur polymorphisme, en font les déprédateurs majeurs de ces cultures.

La présente étude, réalisée d'avril à décembre 2009, consiste à étudier les variations démographiques et structurales des populations saisonnières du puceron des agrumes *Aphis citricola* Ven Der Groot ravageur majeur polyphage et anholocyclique, dans un verger d'oranger (Thomson navel) de la Mitidja centrale, dans lequel des travaux d'entretien ainsi que des traitements insecticides ont été effectués.

On retrouve des générations essentiellement parthénogénétiques dont les abondances se distribuent variablement selon trois périodes distinctes, en fonction des variations pluviométriques: La première s'étale d'avril à fin mai, elle est marquée par des abondances maximales au début de mai. La seconde concerne la période estivale entre juin et août, elle se distingue par un déclin graduel des effectifs de la population. La troisième débute en octobre avec l'installation d'une population dont l'abondance atteint un maximum au début de novembre mais diminue par la suite avec l'abaissement des températures vers le début de la saison hivernale. Au sein de ces générations saisonnières cohabitent des formes larvaires, nymphales ainsi que les phénotypes ailés et aptères des adultes. Globalement, ces différentes formes semblent être affectées par les ressources alimentaires de la plante hôte, notamment pendant les périodes de poussées printanière et estivale. Nous avons discuté l'effet de l'exposition nord ou sud des frondaisons sur les abondances, des variabilités se présentent selon le stade biologique et la saison des poussées.

Parmi les auxiliaires aphidiphages recensés, le groupe des coccinelles représenté essentiellement par *Coccinella algerica* était le plus prépondérant. La quantification des réserves lipidiques des adultes aptères et ailés d'*A. citricola* met en évidence, notamment durant la période de poussée printanière, des teneurs faibles chez les aptères mais qui tendent à fluctuer chez les ailés ; des valeurs maximales sont observées au courant de la poussée d'automne en octobre. Une analyse en composantes principales nous a permis de montrer les interactions des effets des apports fertilisants réalisés, de l'irrigation et des applications insecticides sur les réponses métaboliques des formes adultes du puceron pendant les périodes de poussées, et les réponses métaboliques des coccinelles durant leur période d'occurrence dans le verger.

Mots clés : *Aphis citricola*, agrumes, Mitidja, phloémophage, variation démographique, pratiques culturales, traitements chimiques.

Population demography change in the aphid *Aphis citricola* (Homoptera, Aphididae) and influence of human actions.

ABSTRAT

The aphids group are considered among the insect pests that cause the most pest problems in citrus orchards. Indeed, their prodigious biotic potential and their adaptation by their polymorphism, to the environment exploitation, make them the major pests of these crops. We have studied in this work, from April to December 2009, the demographic and structural changes of the seasonal populations of the citrus aphid *Aphis citricola* Ven Der Groot, a major polyphagous and anholocyclic pest, in an orange orchard (Thomson navel) situated in the Central Mitidja, where maintenance activities and insecticide treatments were performed. Mainly parthenogenetic generations were found whose abundances are distributed variably in three distinct periods, in relation to pluviothermic parameters: The first one lasting from April to late May is marked by a maximum abundance in early May. The second one relates to the summer period between June and August, and is characterized by a gradual decline in the population size. The third period begins in October with the installation of a population whose abundance peaks in early November but then decreases with decreasing temperatures in early winter. Within these seasonal generations live larval forms, and nymph phenotypes winged and wingless adults. Overall, these various forms seem to be affected by food resources of the host plant, especially during periods of spring and summer sap flows. We discussed the effect of the north or south exposure of the foliage on the abundances, variability arises by life stage and season sap flows.

Among the aphidophagous auxiliary fauna recorded in the orchard, the beetles group mainly represented by *Coccinella Algerica* was the most predominant. Quantification of the lipid energy reserves of wingless and winged adults of *A. citricola* highlights, especially during the spring sap flow

period, low levels in wingless aphids but tend to fluctuate among the winged adults, the maximum values are observed during the autumn season in October. A principal component analysis highlights the interaction effects of fertilizer inputs made, irrigation and insecticide applications on the metabolic responses of adult aphid forms during periods of sap flows, and metabolic responses of the beetles during their period of occurrence in the orchard.

Keywords: *Aphis citricola*, citrus, Mitidja , phloem feeding, population demography change, crops practices, chemical treatments.

ملخص

التغيرات الديموغرافية لحشرة المن بسبب تأثيرات , الأعمال التقنية الزراعية و المواد الكيميائية.

- تعد حشرات المن من أخطر الحشرات التي تصيب الحمضيات لحجم الخسائر المتعددة التي, و تتمثل خطورتها في تأقلمها السريع و قدرتها على التكيف و التكاثر.

- هذا العمل الذي قمنا به من افريل 2009 إلى غاية ديسمبر 2009, يتمثل في دراسة التغيرات الديموغرافية و الهيكلية لمستعمرات الفصلية لحشرة من الحوامض *Aphis citricola* Ven Der Groot, في حقول طومسن نفال (Thomson navel), في سهول متيجة الوسطي أين تمت أعمال الصيانة و المعالجة بالمواد الكيميائية.

- من خلال الدراسة, وجدنا مستعمرات ذاتية التكاثر تتوزع علي ثلاثة مراحل مختلفة حسب العوامل الجوية (الحرارة الأمطار الرطوبية). الأولى تمتد من افريل إلى نهاية ماي, و تتميز بالتواجد المرتفع للمن في بداية ماي , أما الثانية و هي الفترة الصيفية الممتد من جوان إلى أوت, و التي تتميز بانخفاض في أعداد حشرة المن, الثالثة و التي تبدأ من شهر أكتوبر, و تتميز بارتفاع أعداد المن في المستعمرة , و تبلغ أوجها في شهر نوفمبر و تتناقص فيما بعد بانخفاض درجة الحرارة مع بداية فصل الشتاء.

- تتأثر حشرات المن في مختلف أطوار النمو البيولوجية, بتواجد الغذاء و خاصة فترات الربيع و الصيف.

- كما قمنا بدراسة تأثير الجهة الشمالية و الجنوبية للأشجار, علي حشرة المن البالغة و علي مختلف أطوارها البيولوجية في مختلف الفصول.

- من بين مختلف الحشرات التي تتغذى علي المن, و جدنا أن مجموعة الدعسوقة و المتمثلة اجملا في حشرة *Coccinella algerica* هي الأكثر تواجدا.

- إن قياس مخزون الدهون للحشرات البالغة, اظهر مستويات منخفضة في فترة الربيعية بنسبة للحشرات البالغة بدون الأجنحة, علي غرار الحشرات البالغة ذات الأجنحة التي أظهرت مستويات متذبذبة, والقيمة القصوى لمخزون الدهون لوحظت في شهر أكتوبر.

- إن تحليل العناصر الرئيسية (ACP), سمح لنا بإظهار تفاعلات الأسمدة , الري و مبيدات الكيميائية علي الإجابة الأيضية للمن البالغ في مختلف الفترات, و كذلك الإجابة الأيضية لدعسوقة.

الكلمات الأساسية

Aphis citricola, الحوامض, متيجة, phloémophage, التغير الديموغرافي, الأعمال التقنية الزراعية, المواد الكيميائية.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma promotrice, Madame Allal Benfekih Leila, Maitre de conférences à l'Université Saad Dahleb de Blida pour sa bienveillance, pour ses conseils précieux et son aide, ainsi qu'à mon co promoteur Monsieur Djazouli Zahreddine, Maitre de conférences à l'Université Saad Dahleb de Blida, pour sa disponibilité, son écoute, ses remarques pertinentes et ses orientations qui ont beaucoup contribué à l'enrichissement de ce travail.

Que Monsieur le professeur Snoussi Sid Ahmed trouve ici toute ma gratitude et mes remerciements les plus sincères pour m'avoir fait honneur en présidant le jury de cette thèse.

Mes plus vifs remerciements s'adressent également à Mme Benrima-Guendouz Atika, Maitre de conférences à l'Université Saad Dahleb de Blida, pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

Mes plus vifs remerciements et toute ma reconnaissance vont également à:

Tous les enseignants de département des sciences agronomiques qui ont contribué à ma formation ainsi que tous mes enseignants de mon cycle d'ingénieur et ma formation de magister en option protection des plantes et environnement.

M^{lle} DJEMAI Yamina, technicienne de laboratoire de zoologie, pour toute sa gentillesse et ses concessions.

Que tous mes amis et tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de profonde gratitude.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à

Mon très cher père

Ma très chère, douce et tendre maman

Mon mari qui m'a toujours soutenue et fait en sorte que mes études passent en priorité.

Mon petit ange Malak.

Mes sœurs et frères

Mon beau père, mes belles sœurs et mon beau frère.

Toute ma famille proche et lointaine.

Warda

TABLE DE MATIERES

RESUME	
ABSTRACT	
ملخص	
REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
SOMMAIRE	
LISTE DES ILLUSTRATIONS ET GRAPHIQUES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION.....	16
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA PLANTE HOTE.....	20
1.1. Introduction.....	20
1.2. Importance économique des agrumes.....	20
1.2.1. Dans le monde	20
1.2.2. En Algérie	21
1.2.3. A Blida.....	22
1.3. Systématique.....	22
1.4. Caractères généraux et phénologie.....	24
1.4.1. Cycle évolutif des agrumes.....	24
1.4.2. Phénologie.....	25
1.5. Exigences des agrumes.....	25
1.5.1. Les exigences climatiques.....	25
1.5.1.1. Température.....	25
1.5.1.2. La pluviométrie.....	26
1.5.1.3. L'humidité.....	26
1.5.1.4. Le vent.....	26
1.5.2. Exigences édaphique.....	26
1.5.2.1. Sol.....	26
1.6. Etat phytosanitaire des agrumes.....	27
1.6.1. Maladies cryptogamiques.....	27
1.6.2. Les maladies virales.....	28
1.6.3. Les maladies bactériennes (Bactériose).....	28

1.6.4. Les ravageurs des agrumes.....	29
1.6.4.1. Les nématodes.....	29
1.6.4.2. Les acariens	29
1.6.4.3. Les diptères.....	30
1.6.4.3.1. Lutte préventive	31
1.6.4.3.2. Lutte curative.....	31
1.6.4.4. Les homoptères.....	32
1.6.4.4.1. Les cochenilles	32
1.6.4.4.2. Les Aleurodes.....	33
1.6.4.4.3. Les pucerons	34
1.6.4.5. Les lépidoptères	35
CHAPITRE 2 : SYSTEMATIQUE, MORPHOLOGIE, ASPECT BIOECOLOGIQUE	
<i>D'APHIS CITRICOLA</i>	37
2.1. Systématique.....	37
2.2. La morphologie.....	37
2.3. Répartition géographique d'Aphis citricola	38
2.3.1. Dans le monde.....	38
2.3.2. En Algérie	40
2.4. Cycle biologique	40
2.5. Développement larvaire.....	41
2.6. Reproduction	42
2.6.1. Reproduction parthénogénèse	42
2.6.2. Reproduction sexuée	42
2.7. Plante hôte.....	43
2.8. Facteurs de développement des populations de pucerons	43
2.8.1. Les facteurs abiotiques	44
2.8.1.1. La température	44
2.8.1.2. La précipitation	44
2.8.1.3. Le vent	45
2.8.1.4. L'humidité relative de l'air	45
2.8.1.5. La durée d'insolation.....	45
2.8.2. Les facteurs biotiques	46
2.8.2. 1. L'alimentation	46
2.9. Les caractéristiques de puceron.....	46

2.9.1. Les caractéristiques propres à l'individu	46
2.9.2. Les facteurs intraspécifiques	46
2.9.3. Les ennemis naturels	47
2.9.3.1. Les prédateurs.....	47
2.9.3.1.1. Les Coccinellidae.....	48
2.9.3.1.2. Les Syrphidae.....	48
2.9.3.1.3. Les Chrysopidae	49
2.9.3.2. Les parasites et les parasitoïdes	49
2.10. Dégâts causés par les pucerons.....	50
2.10.1. Dégâts directe.....	50
2.10.2. Dégâts indirects.....	51
2.10.2.1. Mode de transmission des virus phytopathogènes.....	52
2.11. La lutte contre les pucerons.....	53
2.11.1. La lutte culturale.....	53
2.11.2. La lutte chimique.....	53
2.11.3. Lutte biologique.....	54
CHAPITRE 3 : INTERACTIONS COMPATIBLES PLANTES-PUCERONS.....	55
3.1. Introduction.....	55
3.2. Mécanisme d'alimentation du puceron	55
3.3. Les caractéristiques de la sève phloémienne.....	57
3.4. Les réponses de la plante à l'infestation.....	59
3.4.1. Réaction locale du phloème.....	59
3.4.2. Réaction globale de la plante.....	60
3.5. Manipulation de la plante par les pucerons.....	62
3.6. Altérations métaboliques.....	63
CHAPITRE 4 : APERÇU GENERAL SUR LES ACTIONS ANTHROPIQU.....	65
4.1. Introduction	65
4.2. Facteurs liés à la culture elle-même	66
4.3. Facteurs liés aux milieux adjacents.....	67
4.4. Les pratiques agricoles.....	68
4.4.1. La taille	69
4.4.1.1. La taille de fructification (après la récolte).....	69

4.4.1.2. La taille de restauration (pour rajeunir de vieilles charpentières).....	69
4.4.2. Effet de la conduite architecturale de l'arbre sur le développement des ravageurs	70
4.4.3. Fertilisation.....	70
4.5. Les produits phytosanitaires	71
4.5.1. Classification des produits phytosanitaires selon la nature de l'espèce nuisible	72
4.5.2. Principales familles d'insecticides et acaricides, principaux modes d'action et propriétés.....	73
4.5.2.1. Insecticides et acaricides neurotoxiques.....	73
4.5.2.1.1. Modulateurs du canal sodium	73
4.5.2.1.2. Inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (AchE).....	73
4.5.2.1.3. Agonistes et modulateurs du récepteur cholinergique.....	74
4.5.2.1.4. Antagonistes du canal chlore du récepteur GABA	75
4.5.2.1.5. Augmentation de la conductance aux ions chlore.....	75
4.5.2.2. Insecticides et acaricides de type régulateurs de croissance.....	76
3.5.2.2.1. Mimétiques de l'hormone juvénile	76
3.5.2.2.2. Agonistes de l'ecdysone	76
4.5.3. Impact des pesticides sur les arthropodes.....	76
CHAPITRE 5 MATERIEL ET METHODE.....	78
5.1. Objectif de l'étude.....	78
5.2. Présentation de la zone d'étude.....	78
5.2.1. Situation géographique	78
5.2.2. Caractéristiques climatiques	79
5.2.2.1. La température.....	79
5.2.2.2. La pluviométrie.....	80
5.2.2.3. Les vents	80
5.2.3. Synthèse climatique	81
5.2.4. Type de climat	82
5.2.6. Présentation et caractéristiques de la station d'étude.....	84
5. 3. Méthode d'étude.....	85
5.3.1. Sur terrain.....	85
5.3.2. Au laboratoire.....	86
5.4. Analyses statistiques des données	87

5.4.1. Analyses de variance	87
5.4.2. L'analyse en composantes principales : (ACP) (PAST vers. 1.9).....	88
CHAPITRE 6 : RESULTAT	89
6.1. Evolution de la population globale d' <i>Aphis citricola</i> dans le verger d'oranger variété Thomson.....	89
6.2. Structures et fluctuations saisonnières des populations d' <i>Aphis citricola</i>	90
6.2.1. Evolution des abondances des adultes en fonction de l'exposition durant les trois poussées de sève.....	90
6.2.2. Evolution des abondances des larves en fonction de l'exposition durant les trois poussées de sève.....	93
6.2.3. Evolution des abondances des nymphes en fonction de l'exposition durant les trois poussées de sève.....	95
6.3. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des différentes formes biologiques	96
6.3.1. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des populations larvaires	96
6.3.2. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des populations nymphales.....	99
6.3.3. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des populations des adultes.....	102
6.4. Analyse globale de la variation démographique et temporelle du puceron <i>Aphis citricola</i> et de ses prédateurs durant les trois poussées de sève.....	105
6.4.1. Analyse globale de la variation démographique du puceron <i>Aphis citricola</i> selon les poussées de sève.....	105
6.4.2. Analyse globale de l'abondance des auxiliaires observés avec <i>A. citricola</i> au courant des différentes de poussées de sève.....	107
CHAPITRE 7: DISCUSSION GENERALE	121
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	144
APPENDICE.....	147
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	152

LISTE DES ILLUSTRATION, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 2. 1	<i>Aphis citricola</i> ven der goot 1912.....	39
Figure 2. 2	adulte aptère et ailé <i>Aphis citricola</i> ven der goot 1912....	39
Figure 2. 3	Cycle biologique des aphides.....	40
Figure 2. 4	cycle biologique d' <i>Aphis citricola</i> ven der goot 1912	41
Figure 2. 5	Dégâts causés par puceron	51
Figure 3.1	Anatomie des pucerons.....	56
Figure 3.2	Photo d'un puceron au microscope électronique à Balayage.....	56
Figure 3.3	Voies de signalisations déclenchées chez les plantes par des agressions d'insectes phloémophages tels que les pucerons.....	61
Figure 3.4	Les quatre salives des pucerons détectées par EPG	63
Figure 4.1	Schéma représentant l'importance des interactions existantes entre la diversité animale et la diversité botanique qui commande les chaînes alimentaires.....	66
Figure 4.2	Représentation schématique d'un neurone et d'une synapse cholinergique avec les cibles principales des insecticides.....	74
Figure 4.3	Représentation schématique d'une synapse GABAergique avec les cibles principales des insecticides.....	75
Figure 5.1	Limite géographique de la Mitidja.....	79
Figure 5.2	Diagramme ombrothermique de la région de Mitidja pour la période 2008-2009.....	81
Figure 5.3	Diagramme ombrothermique de la région de Mitidja pour la période 1998-2008.....	82
Figure 5.4	Localisation de la Mitidja sur le climagramme D'EMBERGER.....	83
Figure 5.5	Situation géographique de station d'étude à Oued El Alleug.....	85

Figure 6.1	Evolution de la population globale d' <i>Aphis citricola</i> dans le verger d'orange Thomson.....	89
Figure 6.2	Variations temporelles et structurales des populations d' <i>Aphis citricola</i> dans le verger d'oranger étudié en 2009.....	90
Figure 6.3 a	Occurrence temporelle des adultes ailés et aptères d' <i>A. Citricola</i> selon l'exposition nord.....	91
Figure 6.3 b	Occurrence temporelle des adultes ailés et aptères d' <i>A. citricola</i> selon l'exposition sud.....	92
Figure 6.4	Fluctuations saisonnières des abondances larvaires d' <i>Aphis citricola</i>	94
Figure 6.5	Fluctuations saisonnières des abondances nymphales d' <i>Aphis citricola</i>	95
Figure 6.6	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances larvaires durant la poussée de sève printanière.....	97
Figure 6.7	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances larvaires durant la poussée de sève estivale.....	98
Figure 6.8	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances larvaires durant la poussée de sève automnale.....	99
Figure 6.9	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances nymphale durant la poussée de sève printanière.....	100
Figure 6.10	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances nymphales durant la poussée de sève estivale.....	101

Figure 6.11	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances nymphale durant la poussée de sève automnale.....	102
Figure 6.12	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances adultes durant la poussée de sève printanière.....	103
Figure 6.13	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances adultes durant la poussée de sève estivale.	104
Figure 6.14	Influence de la date et de l'exposition sur les abondances adultes durant la poussée de sève automnale.....	105
Figure 6.15a	Projection des variables formes biologiques d' <i>A.citricola</i> et périodes des poussées de sève sur les axes 1 et 2 de l'AFC.....	106
Figure 6.15b	Classification ascendante hiérarchique montrant les groupes structurés à partir des variables formes biologiques d' <i>A.citricola</i> et les périodes de poussées.....	107
Figure 6. 16	Evolution temporelle des auxiliaires aphidiphages prédateurs dans la parcelle échantillonnée.....	108
Figure 6.17a	Projection des variables formes biologiques d' <i>A.citricola</i> des périodes des poussées de sève et les abondances des prédateurs aphidiphages sur les axes 1 et 2 de l'AFC.....	109
Figure 6.17b	Classification ascendante hiérarchique montrant les groupes structurés à partir des variables formes biologiques d' <i>A.citricola</i> les périodes de poussées et l'abondance des coccinelles, des chrysopes et des syrphes.....	110
Figure 6.18	Variation temporelle des teneurs lipidiques du complexe adultes d' <i>A.citricola</i> - coccinelles aphidiphages.....	111

Figure 6.19	Variations des lipides chez les adultes d' <i>A. citricola</i> durant les périodes de poussées et d'interpoussées.....	113
Figure. 6.20	Variation temporelle des réserves lipidiques chez les adultes aptères et ailés d' <i>A. citricola</i> et son prédateur <i>C. algerica</i>	114
Figure 6.21	Projection des variables sur le plan d'ordination axe1 et axe2 de l'ACP, représentation des dendrogrammes et des groupes de variables issus de l'analyse de la CAH et coefficients de corrélation linéaire de Pearson des différents paramètres environnementaux de la station d'étude, des abondances des adultes et leurs teneurs lipidiques respectives.....	116
Figure 6.22	Projection des périodes de poussées et d'interpoussées ainsi les paramètres anthropiques sur les axe 1 et 2 de l'ACP.....	118
Figure 6.23	Projection sur les axes 1 et 2 de l'ACP et distances euclidiennes des différentes variables pour la période du 10 avril au 19 juin 2009.....	120
Figure 7.1	Variation des paramètres climatiques (températures, quantités de pluie et vitesses du vent) durant la période étudiée.....	122
Figure 7.2	Fluctuations temporelles des abondances comparées des populations de <i>A. citricola</i> et <i>C. algerica</i> dans le verger d'oranger.....	133
Figure 7. 3	Principaux « modes d'action » joués par le miellat a l'égard des insectes auxiliaires.....	137
Tableau 1.1	la répartition de la production agrumicole algérienne par espèce.....	22
Tableau 2.1	Principales phases d'un cycle de transmission.....	52

Tableau 5.1	variation de la température et de la pluviométrie de la région de Mitidja pendant l'année 2009.....	80
Tableau 6.1	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances larvaires selon l'exposition durant la poussée printanière(période du 10 avril au 5 mai).....	97
Tableau 6.2	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances larvaires selon l'exposition durant la poussée estivale.....	97
Tableau 6.3	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances larvaires selon l'exposition durant la poussée automnale.....	98
Tableau 6.4	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances nymphales selon l'exposition durant la poussée printanière.....	99
Tableau 6.5	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances nymphale selon l'exposition durant la poussée estivale.....	100
Tableau 6.6	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances nymphale selon l'exposition durant la poussée automnale.....	101
Tableau 6.7	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances des adultes selon l'exposition durant la poussée printanière.....	102
Tableau 6.8	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances des adultes selon l'exposition durant la poussée estivale.....	103
Tableau 6.9	Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances des adultes selon l'exposition durant la poussée automnale.....	104

Tableau 6.10	Modèle GLM de l'anova relatif à l'effet période des poussées et du phénotype de l'adulte d' <i>A. citricola</i> sur la variation des teneurs en lipides.....	112
Tableau 6.11	Modèle GLM de l'anova relatif à la variation des teneurs en lipides du complexe <i>A. citricola-Coccinella algerica</i> du 24 avril au 19 juin.....	113
Tableau 6.12.	Actions d'entretien et phytosanitaire réalisées durant la période des poussées dans le verger d'oranger en 2009.....	114
Tableau 6.13	Corrélations des abondances et teneurs en lipides des adultes avec les paramètres anthropiques.....	117
Tableau 6.14	Corrélations des abondances et teneurs en lipides des adultes d' <i>A.citricola</i> et de <i>C.algerica</i> avec les paramètres environnementaux durant la période du 10 avril au 19 juin 2009.....	119

INTRODUCTION

On donne le nom générique d'agrumes aux arbres appartenant au genre botanique des *Citrus*. Cette appellation d'origine italienne, désigne les fruits comestibles et par extension les arbres qui les portent. A cette catégorie d'arbre appartiennent les oranges, les mandariniers, les citronniers, les cédratiers, les pamplemoussiers, [1].

Les agrumes présentent un intérêt vital pour un grand nombre de pays de part leur importance économique, notamment les revenus appréciables qu'elles génèrent d'une part, et les emplois qu'elles occupent ainsi que les produits d'exploitation et de transformation en divers dérivés, d'autre part.

L'Algérie figure parmi les grands pays méditerranéens producteurs d'agrumes, avec une superficie de 41380 Hectares. Mais la production nationale n'a cessé de régresser au cours de dernières années [2].

D'après REBOUR [3], l'agrumiculture algérienne est la proie de nombreux problèmes, liés parfois à des facteurs climatiques naturels, qu'on ne peut que subir, ou encore aux facteurs humains par ignorance et plus grave encore par négligence. Suite à cette situation, de nombreuses maladies et ravageurs animaux ont pu s'installer en détruisant non seulement nos vergers mais surtout notre production.

Dans le passé, les bulletins d'avertissement diffusés par les services agricoles, permettaient de déclencher au moment opportun un programme de traitement régional, assurant ainsi la réduction du potentiel biotique des ravageurs tout en minimisant le nombre de traitements chimiques avec un meilleur résultat. Malheureusement, ce n'est pas le cas durant plusieurs décennies et actuellement, les augmentations des traitements chimiques font inexorablement élever le taux

de résidus d'insecticides néfastes aux utilisateurs, consommateurs mais surtout à l'environnement, [4].

L'efficacité de l'action toxique d'un produit, tout comme sa capacité à atteindre un certain stade de l'organisme ciblé, sont largement fonction de sa persistance dans le milieu, et donc des processus et de la vitesse de sa dégradation. On a constaté depuis quelques décennies que certains pesticides très employés présentent une remarquable stabilité dans le temps, [5]

L'application de ces produits par les opérateurs professionnels se fait en parfaite ignorance des risques qui en sont liés. Les dangers sont méconnus des utilisateurs et les problèmes pouvant découler de leur usage sont souvent minimisés. Ce qui fait que de nombreuses pratiques malsaines et non conformes sont observées principalement dans le domaine du stockage, de la manipulation et de l'utilisation des produits chimiques, en plus de l'apparition d'insectes résistants, la pollution de la biosphère et les perturbations des mécanismes de régulation des insectes proies et de leurs prédateurs, [6].

De tous les insectes ravageurs des agrumes, les pucerons constituent le groupe qui pose le plus de problèmes. Les particularités biologiques et éthologies de ces insectes, notamment leur potentiel biotique prodigieux et leur extraordinaire adaptation à l'exploitation maximale du milieu par leur polymorphisme, en font les déprédateurs majeurs des cultures. Leur fécondité élevée, leurs modes de reproduction divers et leurs cycles biologiques complexes, constituent autant de facteurs majeurs de leur importante bioagression sur l'ensemble des plantes cultivées.

Les pucerons provoquent des dégâts considérables sur l'agrumiculture, dus en particulier à la transmission de viroses comme c'est le cas pour *Toxoptera aurantii* B.D.F. et *Aphis citricola* Ven Der Groot . De plus, l'excrétion du miellat constitue une source d'attraction pour la cératite, les guêpes et les fourmis, et favorise certaines espèces fongiques, [7,8].

Cette importance des dégâts occasionnés par les pucerons surtout dans la région agrumicole caractérisant la Mitidja a suscité l'intérêt de différents auteurs et multiples travaux d'ingénieurs qui de recherches en bioécologie des pucerons et leur complexe parasitaire, se penchent de plus en plus sur la compréhension des stratégies adaptatives et de résistance des pucerons a différents facteurs de l'environnement abiotiques, biotiques, sans oublier les effets des réponses métaboliques des arbres d'agrumes aux infestations et réciproquement comment les pucerons modulent leur métabolisme face a ces défenses. [9, 10, 11, 12, 13].

Les pucerons par ailleurs, constituent une nourriture pour tout un cortège d'espèces prédatrices telles que les Coccinellidae, Syrphidae, Cecidomyiidae, Chrysopidae, Hemerobidae, Anthocoridae et Miridae, et des espèces parasitoïdes représentées par les Hyménoptères Aphelinidae et Braconidae, ainsi que des champignons entomopathogènes. Ces agents naturels contribuent à maintenir un équilibre biologique, [10].

L'objectif de notre étude a pour principal but d'étudier l'influence des actions anthropiques sur les formes biologiques du puceron des agrumes *Aphis citricola* Ven Der Goot, et la structuration de ces populations évoluant sur les orangers, à travers deux volets essentiels.

Dans le premier volet, nous nous sommes focalisés sur l'évolution des abondances des différentes formes biologiques de ce puceron en relation avec les périodes de poussée de sève et l'impact des paramètres climatiques de l'année d'étude. Dans le second volet, nous apportons des explications hypothèses à la variation démographiques et structurales des populations de chaque forme biologique considérée en relation avec les différentes activités culturales et phytosanitaires apportées et l'occurrence des prédateurs Coccinellidae dans le verger d'oranger étudié. Enfin, nous avons envisagé de voir s'il y avait une relation entre les teneurs en réserves des lipides des adultes aptères et ailés et leurs aphidiphages prédateurs (coccinelles) avec leurs abondances selon les poussées.

Notre travail a été scindé en deux parties : La première partie bibliographique comprend 4 chapitres concernant un aperçu général sur les

agrumes et les aléas de l'agrumiculture, la présentation du bioagresseur *Aphis citricola* ainsi que les mécanismes d'interactions entre la plante hôte et l'effet de l'alimentation aphidienne et enfin un aperçu sur les actions anthropiques dans les cultures et en particulier les vergers.

La seconde partie traitera de 3 chapitres : la méthodologie de l'étude, les résultats et la discussion générale des données. Nous terminerons par une conclusion générale.

CHAPITRE 1

PRESENTATION DE LA PLANTE HOTE

1.1. Introduction

Le mot agrume, d'origine italienne est un mot collectif, qui désigne les fruits comestibles et par extension, les arbres qui les portent ; appartenant au genre *Citrus*.

Selon LOUSSER [1], les agrumes sont originaires des pays du sud-est asiatique où leur culture se confond avec l'histoire des civilisations chinoises, car ces derniers furent attirés par le parfum et la couleur des huiles essentielles des feuilles, des fleurs et des fruits.

Au niveau méditerranéen les agrumes jouent un rôle très important et essentiel dans l'alimentation et la santé humaine, l'industrie agro alimentaire et le revenu économique par le biais de l'exportation.

1.2. Importance économique des agrumes

1.2.1. Dans le monde

Les agrumes sont les fruits les plus produits dans le monde, ils sont cultivés sur les cinq continents (Afrique, Amérique, Asie, Europe, Australie). En 1981, la production mondiale d'agrumes a dépassé les 55 millions de tonnes, [1].

De la production mondiale totale d'agrumes, l'orange douce (*Citrus sinensis*) constitue la plus importante proportion qui dépasse les deux tiers de la zone de couverture mondiale, [14].

Plus de 104 millions de tonnes d'agrumes sont produites et environ 15 millions de tonnes sont échangées [10]. En Afrique, la superficie totale de la production d'agrumes est de 1,3 millions d'hectares, dont 44 000 ha est en Afrique du Sud et 4 500 ha en Éthiopie [14].

Les premiers pays producteurs d'agrumes sont : le Brésil avec 18,5 millions de tonnes, les États-Unis avec 14,9 millions de tonnes et la Chine avec 9,3 millions de tonnes [15].

Dans le bassin Méditerranéen, l'agrumiculture s'étend sur une superficie de 600,000 hectares pour une production moyenne de 9 à 10 millions de tonnes et présente une part de marché sur les exportations mondiales d'agrumes de près de 55% [16].

Les plus importants producteurs d'agrumes du bassin Méditerranéen par ordre décroissant sont : l'Espagne, l'Italie, l'Égypte, la Turquie, le Maroc, la Grèce, l'Algérie, la Tunisie, le Chypre, le Liban et le Portugal.

1.2.2. En Algérie

Comme pour de nombreux pays, les agrumes présentent en Algérie une importance économique considérable du moment qu'ils constituent une source d'emploi et d'activité aussi bien dans le secteur agricole que dans diverses branches auxiliaires (conditionnement, emballage, transformation...etc.) [17].

Les vergers de *Citrus* couvrent en Algérie une superficie totale de 45,979 hectares soit 0,6% de la surface agricole et 11% de la surface arboricole [18].

Au cours de la campagne 2001-2002, les superficies en production (en rapport) ont représenté 80,16% de la superficie arboricole [19]. Avec un rendement de 117,9Qx / Ha [20].

Tableau 1.1 : La répartition de la production agrumicole algérienne par espèce [19].

Variété	Production en Qx
Oranges (<i>C. sinensis</i>)	3 270 830
Clémentines (<i>C. climentina</i>)	907 350
Citron (<i>C. limon</i>)	316 440
Mandarine (<i>C. reticulata</i>)	193 520
Pomelos (<i>C. paradisi</i>)	11 460

1.2.3. A Blida

La superficie totale de l'arboriculture fruitière dans la wilaya a augmenté, quoique modestement. L'agrumiculture, dont les orangeries, y occupe 54% avec une superficie de 16.970 ha dont 14.520 ha en production.

A elle seule, la wilaya de Blida assure 37% de la production nationale d'oranges. Pour autant, si la production de l'année dernière a été bonne, selon un responsable de la DSA de Blida, en 2010 elle a chuté et devrait être moyenne, ce qui explique les faibles quantités des variétés précoces mises sur le marché.

La production de la campagne 2008-2009 a atteint 2,6 millions de quintaux, dépassant ainsi les contrats de performance du ministère de l'Agriculture avec 115%, [21].

Les variétés les plus produites sont les navels qui représentent plus de 50% des vergers, puis viennent les clémentines et les mandarines avec 20%. Par contre la production des citronniers et des variétés tardives reste faible. Mais, pour 2010, il y a une nette diminution des rendements. Pour l'instant, 30% de la production des variétés précoces ont été récoltés [21].

1.3. Systematique

La systématique des agrumes est très complexe, en effet, le concept d'espèce surtout à l'intérieur du genre *Citrus* n'est pas universel [22] et [23].

Selon PRALORAN [24], les agrumes appartiennent à :

- L'ordre des Gétraniales
- La famille des *Rutaceae*
- La sous- famille des *Arantioideae*
- La tribu des *Citreae*
- La sous tribu des *Citrinae*
- Il existe trois genres : *Poncirus*, *Fortunella* et *Citrus*.

Selon REBOUR [25], les principales espèces d'agrumes implantées en Afrique du nord sont :

- *Citrus aurantium* (Linné) : Oranger amer.
- *Citrus limon* (Linné) : Citronnier.
- *Citrus paradisi* (Macferlane) : Pomelo au faux pamplemoussier.
- *Citrus reticulata* (Bllanco) : Mandarinier.
- *Citrus medica* (Linné) : Cédratier.
- *Citrus aurantifolia* (Linné) : Lime.
- *Citrus grandis* (Linné) : Pamplemoussier
- *Citrus margarita* (lour) : kumquat.
- *Citrus clémentina* (Clément) : Clémentinier
- *Citrus sinensi* (Linné) : Oranger doux.

D'après PRALORAN [24] et LOUSSERT [26], L'oranger : *Citrus sinensis* (Linné), du genre *Citrus*, est l'espèce la plus importante tant par le nombre de variétés qu'elle renferme que par l'importance de ces produits.

L'arbre est de taille et vigueur moyenne, ses fruits sont de forme et de coloration variable suivant les variétés, le fruit est de forme globuleuse ou légèrement ovale parfois aplatie aux pôles, de couleur orange, sa pulpe est croquante, bien coloré, juteuse avec une faible acidité [27, 28].

La *Thomson Navel* : les fruits de cette variété sont à maturation précoce, à peau fine (plus grande fragilité au transport), ses fruits ont une chair plus glissière et moins juteuse, ces deux variétés sont surtout cultivée en Algérie et au Maroc [29].

La *Valencia Late* : les fruits de cette variété sont à maturation tardive, à peau épaisse et de qualité gustative moyenne [29].

1.4. Caractères généraux et phénologie

La production commence 4 à 5 ans après la plantation, et donne de 200 à 600 fruits par an. Les récoltes se font toute l'année, mais il y a deux grandes périodes de maturité d'octobre à décembre, puis en mars-avril.

Les principales variétés d'agrumes sont les suivantes : (bergamotier, calamondin, cédratier, citronnier, clémentinier, combava, kumquat, kugli, lime, limequat, mandarinier, oranger, pamplemoussier...etc.) [29].

1.4.1. Cycle évolutif des agrumes

On distingue les trois périodes classiques de toutes les cultures arbustives :

Période de jeunesse et de croissance :

L'arbre se caractérise par son incapacité à fleurir et à fructifier. Le jeune plant pousse avec vigueur et fournit une ramification abondante.

Période de production, de reproduction et de maturité :

Elle commence avec la floraison et la fructification. La végétation se régularise, l'arbre fruitier atteint alors un équilibre entre les organes à fruits et les organes à bois.

Période de décrépitude et vieillesse ou sénescence :

Cette période se manifeste par une baisse de vigueur générale de l'arbre. La formation des rameaux à bois diminue puis cesse, la production de fruits baisse également [26].

1.4.2. Phénologie

La croissance végétative se manifeste sur les jeunes ramifications au cours des trois périodes :

Au printemps (de la fin de février au début mai), se manifeste la poussée de printemps. Les ramifications s'allongent, il se développe des jeunes feuilles de coloration vert clair, très distinctes des autres feuilles plus âgées, colorées en vert sombre. Sur ces nouvelles ramifications, apparaissent en avril-mai les pousses fructifères qui sont les boutons floraux, puis les fleurs [26].

En été, (courant juillet- Août), se développe la poussée d'été qui est la deuxième poussée de sève, plus au moins vigoureuse suivant les températures, les irrigations et la vigueur des arbres. Cette poussée est en général moins importante que les deux autres poussées [26].

En automne (d'octobre à la fin de novembre), apparait la troisième poussée d'automne. Elle assure en partie le renouvellement du feuillage.

Les trois poussées citées sont le résultat de trois flux de sève qui commande le développement végétatif de l'arbre. Ces trois flux de sève se traduisent par une intense activité d'absorption au niveau du système racinaire et une intense activité des synthèses chlorophylliennes au niveau de la frondaison [26].

1.5. Exigences des agrumes

1.5.1. Les exigences climatiques

1.5.1.1. Température

Les agrumes n'exigent pas des températures élevées pour leur croissance. Les températures moyennes favorables au développement 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 ; au delà de 30°C on constate un arrêt de la végétation des arbres [26].

1.5.1.2. La pluviométrie

Selon REBOUR [25], les agrumes sont le plus souvent sous régime de l'irrigation. La pluviométrie de la région de culture n'a pas une grande importance et on les exploite en effet même dans les régions les plus arides, en plein désert. Mais les eaux des pluies donnent des récoltes plus intéressantes que les eaux d'irrigation.

Une quantité annuelle en eau s'élevant à environ 1200mm dont la moitié au cours de l'été [27; 28]. Il est considéré qu'une eau est de bonne qualité lorsque le taux de chlorure de sodium est inférieur à 0,5g/l et la dose de magnésie ne dépasse pas 0,05g/l [27; 28].

1.5.1.3. L'humidité

Selon REBOUR [28], l'humidité élevée est un facteur non négligeable qui, dans certaines circonstances peut endommager l'arbre et la production et cela en favorisant les attaques des champignons et des ravageurs. Une humidité basse ou insuffisante provoque une intense respiration du végétal et ainsi les besoins en eau augmentent.

1.5.1.4. Le vent

Selon REBOUR [25], le vent est le facteur le plus défavorable dans une culture d'agrumes, il cause des dégâts inestimables sur les jeunes plantations, donc il faut éviter les régions très exposées aux courants aériens, surtout les parties qui font face aux vents dominants (ouest ou nord-ouest).

1.5.2. Exigences édaphiques

1.5.2.1. Sol

La perméabilité est la qualité essentielle d'un sol agrumicole, une grande perméabilité provoque le phénomène de lessivage des principaux fertilisants à

l'inverse une faible perméabilité provoque la stagnation de l'eau et l'asphyxie des racines, donc c'est la perméabilité moyenne qui est à rechercher [1].

D'après LOUSSERT [29], la partie active des racines des agrumes se trouve entre 0 et 1m de profondeur; la profondeur minimale du sol pour l'implantation d'une orangerie doit être d'environ 1m. Alors que dans les sols lourds (argileux), le système racinaire ne dépasse pas les 50 cm, il se développe latéralement.

Des teneurs en matière organique de 2 à 3% dans les 20 premiers centimètres sont jugées comme bonnes. Une teneur inférieure à 1% laisse à présager un déficit en matières organiques [29].

Une forte teneur en calcaire (supérieur à 10%) peut bloquer l'assimilation de certains éléments, les troubles observés sont des chloroses (décoloration des feuilles).

LOUSSERT [29], estime que les agrumes préfèrent les sols à PH neutre ou légèrement acide (voisin de PH : 6,5 à 7).

Selon REBOUR [28], il est nécessaire de fournir aux agrumes adultes 0,5 kg d'azote sous forme organique, par arbre et par an. Un arbre adulte en plein apport, a besoin de 1 Kg à 1,5 Kg d'azote par an. L'utilisation de l'azote par l'arbre dépend de deux conditions très importantes qui sont une bonne disponibilité dans le sol autour des racines, et une bonne photosynthèse ainsi qu'une bonne respiration [30].

1.6. Etat phytosanitaire des agrumes

1.6.1. Maladies cryptogamiques

Les principales maladies cryptogamiques susceptibles de causer des dégâts sur la partie aérienne ou souterraine des agrumes sont:

- La gommoze parasitaire (*Phytophthora sp*).
- Alternariose (*Alternaria sp*).

- L'antracnose (*Colletotrichum gloeosporoides*).
- La fumagine (*Capnodium citri*). [1].

1.6.2. Les maladies virales

Ce sont les maladies les plus graves susceptibles d'affecter les agrumes. En région méditerranéenne, elles sont responsables de troubles qui diminuent, non seulement la productivité des arbres, mais aussi leur longévité. Ces maladies virales sont persistantes, généralisées, transmissibles et occasionnent des symptômes variables qui peuvent apparaître à tout moment de la vie de l'arbre [31].

Il existe actuellement un grand nombre de maladies insidieuses, parmi lesquelles il faut retenir les plus dangereuses :

- La Tristeza (*Citricolletotrichum viatoris*)
- Le Stuborne (*Citricolletotrichum pertinaciae*)
- La psorose (*Citricolletotrichum psorosis*) [31].

1.6.3. Les maladies bactériennes (Bactérioses)

Bien que les maladies bactériennes soient assez nombreuses, elles sont peu répandues sur les agrumes des pays méditerranéens. Une seule est cependant observée comme relativement importante dans certaines circonstances, [32].

Selon LAVILLÉ. et *al.* [32], le flétrissement à bactériose est une grave maladie inféodée aux agrumes, elle est due à l'action de *Pseudomonas syringae* Van Hall. La maladie se caractérise par l'apparition des taches de couleur noirâtre sur le pétiole des feuilles, la nécrose gagne l'ensemble du rameau, et le limbe de la feuille se dessèche. Dans certains cas, l'agent pathogène peut aussi s'attaquer aux fruits [32].

L'attaque de cette bactériose est peu importante et ne justifie pas d'intervention bactéricide spécifique. Si besoin, le recours à des traitements à base de produits cupriques peuvent être utilisées pour limiter l'extension de la maladie [32].

1.6.4. Les ravageurs des agrumes

Le nombre d'espèces animales qui se développent et se nourrissent au détriment des agrumes est extrêmement nombreux et varié, pour cela nous allons présenter seulement les espèces qui causent d'importants dégâts à ces derniers. [33].

1.6.4.1. Les nématodes

Ce sont de minuscules vers de moins d'un millimètre de long. Leur taille extrêmement réduite ne permet pas de les distinguer à l'œil nu.

En région méditerranéenne une seule espèce de nématode est à signaler sur agrumes : *Tylenchulus semipenetrans* Cobb. ou nématode des agrumes. Ses attaques sont localisées sur les racines et les radicelles des arbres sur lesquelles elles provoquent des nécroses [1].

1.6.4.2. Les acariens

Les acariens sont des minuscules araignées, de très petites tailles, ils mesurent entre 0.1 à 0.5 mm de long, s'attaquent aux organes verts, détruisent les végétaux et freinent le développement de la végétation jusqu'à entraîner dans certains cas la chute des feuilles, des bourgeons, des fruits et le dépérissement des organes aériens et souterrains [34]. Parmi les espèces d'acariens qui sont à l'origine de ces dégâts, nous avons :

Hemitarsonemus latus, connu sous le nom d'acarien ravisseur, c'est une espèce polyphage qui se développe sur les zones littorales. Les dommages apparaissent sur les feuilles, les brindilles, les bourgeons terminaux et les fruits. La lutte demande une surveillance continue et nécessite une intervention immédiate, les dégâts n'étant visibles que bien après l'apparition du ravageur [34].

Aceria sheldoni, appelé communément acarien des bourgeons, attaque essentiellement les citronniers. Les organes attaqués sont les bourgeons, les fleurs et les fruits qui présentent des déformations hypertrophiques. La lutte contre l'acarien de bourgeons n'est pas facile, puisqu'il est protégé par le végétal [34].

L'efficacité des traitements acaricides est étroitement liée au mode et à la qualité des applications. Les pulvérisations doivent être abondantes et à forte pression et en deux traitements correspondant aux plus grandes périodes d'activité du ravageur en mars et au mois de juillet [34].

Tetranychus cinnabarinus, appelé communément acarien tisserand, il a été recensé sur les agrumes en Mitidja par BOULEFEKHAR [34]. Les premiers symptômes sont observés à la fin de l'hiver sur les jeunes pousses. Au cours du printemps les attaques deviennent de plus en plus fréquentes avec l'apparition d'une coloration jaunâtre qui correspond à l'emplacement des colonies d'acariens.

L'acarien tisserand ayant tendance à envahir en premier lieu la végétation adventice, l'observation régulière de celle-ci est un moyen pratique de fixer l'époque éventuelle des traitements, car ce ravageur se propage assez rapidement [34].

1.6.4.3. Les Diptères

Parmi les diptères, deux espèces peuvent être nuisibles aux agrumes, *Ceratitis capitata*, appelée communément mouche méditerranéenne des fruits. C'est un insecte très polyphage qui cause des dégâts considérables, il hiberne sous forme de pupes dans le sol et évolue en plusieurs générations annuelles, de 5 à 7 générations en Algérie [35].

Cette espèce de Diptère s'attaque aux fruits de divers *Citrus* à savoir : les mandariniers, clémentiniers, et Thomson navel, les pomelos et les orangers, tandis que les citronniers sont pratiquement indemnes [35].

Selon DRIDI [35], les dégâts provoqués par cette mouche sont de deux types :

- Des dommages causés par les larves qui se développent à l'intérieur des fruits entraînant leur pourriture et les rendant impropres à la consommation.
- Des dommages causés par des piqûres des femelles provoquant la pourriture de la pulpe de fruit.

Si aucune solution n'existe actuellement pour lutter de façon satisfaisante contre la Cératite, celle-ci peut toutefois être combattue efficacement par une lutte raisonnée qui évite de perturber les équilibres existant au niveau des vergers [36, 37].

1.6.4.3.1. Lutte préventive

Dès l'entrée en production du verger il est vivement recommandé de mettre en place des pièges pour mouches des fruits. Ceux-ci appâtés avec des attractifs sexuels sont d'une utilisation pratique. Grâce à des relevés fréquents tous les deux jours, il est possible de déterminer le début de l'infestation d'un verger [38].

1.6.4.3.2. Lutte curative

- Epoque et cadence de traitement :

Le début de la protection insecticide est déterminé par les deux facteurs suivants :

- L'augmentation des populations de mouches dans les vergers (piégeage)
- La réceptivité des fruits aux piqûres.

- Technique de traitement :

La cératite ayant besoin de sucres pour la maturation de ses œufs, l'adjonction d'un attractif sucré à l'insecticide permet non seulement de mieux détruire le ravageur, mais en plus il permet de diminuer la quantité de pesticide et cela en utilisant la technique de l'épandage partiel : traitement d'une rangée d'arbres sur trois ou quatre.

Les pulvérisations sur les brise-vents sont également recommandées. Les fruits tombés devraient être régulièrement ramassés et enfouis profondément dans le sol [33, 38].

1.6.4.4. Les homoptères

1.6.4.4.1. Les cochenilles

Les cochenilles ou coccidés apparaissent après la mouche méditerranéenne des fruits, comme l'un des problèmes majeurs des Citrus [39].

Selon PRALORAN [24], les cochenilles sont les ennemis les plus importants des agrumes tant par les dépréciations qu'elles causent aux fruits que par l'affaiblissement qu'elles entraînent sur les arbres ou elles pullulent à savoir :

- Les dépréciations d'ordre quantitatif. Elles touchent à la production annuelle ou future des vergers, ce sont les cas des chutes prématurées des fruits enregistrés au printemps lors des sévères attaques d'*Aonidiella aurantii*, de *Saissetia oleae* ou de *Pseudococcus sp.* Cette défoliation accompagnée d'un dessèchement plus au mois poussé de rameaux et de branches charpentières avec un effet plus lointain, une réduction sensible et plus ou moins rapide de la production au cours des quelques années suivantes [39] .
- Les dépréciations qui touchent la qualité des fruits récoltés. Ces dégâts prennent souvent un caractère explosif et généralisé, qui immédiatement sera observé en station d'emballage et qui constitue pour les producteurs les dégâts à éviter [39].

L'agrumiculteur qui n'a pas décelé à temps la présence de ces cochenilles sécrétrices de miellat sur lequel se développe la fumagine, verra une partie de sa récolte déclassée du fait de la difficulté à faire disparaître le noircissement sur les fruits après récolte [24, 39].

Le traitement en station de conditionnement nécessite de récolter les fruits sans feuilles pour les passer dans la chaîne trempage- brossage- ressuyage, ce qui représente alors une moins-value de la récolte [24].

Actuellement, en Algérie, la protection contre les différentes cochenilles est assurée par des pulvérisations à fort volume dans le courant de l'été, dirigée contre les jeunes larves après la période d'éclosion [39]. Ces traitements, correctement réalisés avec des produits tels que les huiles blanches d'été, sont suffisants pour maintenir les différentes espèces à un niveau très bas.

L'utilisation d'un insecticide ou du mélange huiles blanche d'été et un insecticide est également répandue [38].

Une deuxième période de traitement peut se situer en début d'année après la taille et avant le départ en végétation. Ce traitement correctif est réalisé si l'on a observé de la fumagine sur les fruits lors de la récolte.

A cette période de l'année, on bénéficie d'une meilleure pénétration de la bouillie dans les arbres qui viennent d'être taillés et l'on se trouve au départ de la végétation de l'arbre et de la reprise d'évaluation des larves après l'hiver [38].

1.6.4.4.2. Les Aleurodes

Ce sont de petits homoptères qui se rapprochent beaucoup des cochenilles, surtout par leurs stades larvaires. La famille des Aleurodes a de nombreux représentants : sur les agrumes trois espèces ont été principalement dénombrées :

Dialeurodes citris (ASHMEAD), elle a été signalée depuis 1960 par PIGEUT [40]. Cette espèce affaiblit l'arbre par son prélèvement continu de sève et le développement associé de la fumagine inféodée aux agrumes [40, 41].

Aleurothrixus floccosus (MASKELL), introduite accidentellement en Algérie. Elle a été signalée pour la première fois dans l'ouest en 1892 [39]. C'est un

déprédateur très dangereux causant des dégâts très importants. Cette espèce développe quatre générations annuelles en Algérie [17].

Parabemesia myricae (KUWANA), c'est une espèce très polyphage que l'on peut rencontrer sur un grand nombre de plantes hôtes ligneuses ; plus petite que les deux premières et dont les larves produisent un miellat abondant qui tombe sur la face supérieure des feuilles situées sous l'infestation. Elle a été signalée pour la première fois en Algérie en 1990 [42].

La lutte contre les aleurodes, et en particulier contre *Dialeurodes citri*, pose encore des problèmes car ce ravageur présente plusieurs générations dans l'année et les larves sont toutes situées à la face inférieure des feuilles, et plus difficiles à atteindre.

Le traitement dirigé contre les jeunes larves de la première génération en fin de printemps est très important car c'est la seule période de l'année où toute la population évolue de façon synchrone. Plus tard en saison, les divers stades sont présents en même temps, ce qui rend la lutte plus délicate [42].

La pulvérisation avec l'huile de pétrole en émulsion s'est relevée très efficace contre *Dialeurodes citri*. Il est utilisé deux fois par an durant les deux périodes. BAILLY, 1980 in [42].

1.6.4.4.3. Les pucerons

Les pucerons se caractérisent par leurs apparitions massives sous forme de colonies denses serrées. On les observe le plus souvent sur les feuillages et les jeunes pousses qui s'enroulent. Les pucerons sont connus comme vecteurs de maladies virales [43].

Le verger agrumicole de Mitidja est infesté par *Toxoptera aurantii*, *Aphis citicola*, *Aphis gossipii* ; *Myzus persicae* et *Brachycondus helichrysi*. Seulement les deux premières espèces se montrent particulièrement nuisibles. [9].

1.6.4.5. Les Lépidoptères

On distingue les espèces suivantes :

- *Prays citri*, est un micro-lépidoptère de la famille des *Tortricidae* dont la chenille est nuisible aux pousses tendres et aux jeunes fruits des divers *Citrus*. Elle provoque des dégâts importants à la production avec une préférence marquée pour le citronnier et le cédratier [44].

- *Phyllocnistis citrella* (Stainton) qui est un micro-lépidoptère de la famille des *Gracillariidae*, inconnue, jusque là, dans les pays du bassin méditerranéen. Elle a été signalée au début de l'été 1994 dans les vergers agrumicoles proches du littoral algérien. Les dégâts se manifestent par des galeries sur les feuilles et les bourgeons en croissance. Les feuilles se déforment et s'enroulent et les tissus affectés par la galerie se nécrosent, décollant la partie endommagée et provoquant dans certains cas la chute des feuilles. Les bourgeons attaqués présentent les mêmes symptômes qu'une attaque de pucerons [45]. Les dégâts occasionnés peuvent favoriser l'apparition et le développement du chancre citrique dû à la présence d'une bactérie *Xanthomonas compestris* pv *citri*.

ABBASSI [46], considère que les dégâts sont plus importants sur pomelo et citronnier ensuite viennent les variétés à petits fruits (mandarines) et enfin les variétés d'orangers ; la sensibilité serait liée à la taille des feuilles.

Les mesures de protection entreprises par les agrumiculteurs se limitent aux moyens chimiques dans le but de maintenir les populations de la mineuse des agrumes à un niveau économiquement tolérable jusqu'à la récolte [46].

Les difficultés d'une lutte chimique contre la mineuse résident dans le fait que le ravageur développe un nombre de générations élevé amenant un chevauchement entre les stades larvaires et les stades prénymphaux et les chrysalides [46].

Ces premiers stades larvaires sont atteints par la pulvérisation tandis que les autres stades (prénympe et chrysalide) échappent dans leur grande majorité au contrôle phytosanitaire et contribuent à la ré-infestation de nouvelles pousses qui émergent après le traitement [46].

Les huiles minérales, malgré leur efficacité peu élevée, sont utilisées en lutte préventive de 0.25-0.5% .Elles empêchent les femelles adultes de pondre sur les jeunes feuilles de la poussée d'été quand elles sont appliquées 6 à 10 jours d'intervalle sur 4 semaines [46].

CHAPITRE 2

SYSTEMATIQUE, MORPHOLOGIE, ASPECTS BIOECOLOGIQUES *D'APHIS CITRICOLA*

2.1. Systématique

D'après BALACHOWSKY et MESNIL [47], *Aphis citricola* ou puceron vert de l'oranger est classé dans le super ordre des Hémiptéroïdes et appartient à l'ordre des *Homoptera*, sous-ordre des *Aphidina*, la super famille des *Aphidoidea*, à la famille des *Aphididae*, à la sous famille des *Aphidinae* et au genre *Aphis*.

Aphis citricola est appelé également *Aphis spiraecola* Patch, par BRAWDEN [48] et PROLORAN [24]

2.2. La morphologie (Figure 2.1 et 2.2)

Les virginipares aptères d'*Aphis citricola*, de couleur jaune-citron à vert pomme, presque de la même couleur que les jeunes feuilles de *Citrus*, présentent un corps arrondi, pyriforme, mesurant 1,5 et 2 mm, d'après ACCODJI [49], et environ 1,53 d'après AROUN [9].

Les yeux sont noirs, les antennes sont jaunâtres à la base et enfumées à leurs extrémités sur le cinquième et le sixième article et mesurent 0,85mm de long d'après AROUN [9] et 1,09 mm de long selon MOHAMMEDI [50].

Les cornicules noires et cylindriques, de 0,22mm de long d'après [6] et 0,33 d'après BARBAGALLO [51], et 0,32 d'après MOHAMMEDI [50].

La cauda arrondie à l'extrémité, présente un étranglement au tiers basal. Elle est munie de 6 à 10 soies caudales [50], mesure entre 0,15 mm et 0,17 mm.

Les pattes sont jaunes, portent des fémurs enfumés et des tibias de teintes brunâtres à brun-noires, et mesurent respectivement 0,36 mm et 0,63mm d'après AROUN [9], et entre 0,35 mm et 0,65 mm d'après MOHAMMEDI [50].

Les virginipares ailés d'*Aphis citricola* sont généralement de taille plus grandes que les aptères, de couleur brune foncée à noire, avec un abdomen de couleur vert, d'après AROUN [9], leur corps mesure 1,87 mm.

Les antennes claires mesurent environ 1mm de long et entre 0,93 mm et 0,95 mm d'après MOHAMMEDI [50]. Le troisième article antennaire porte 7 sensorias secondaires, les cornicules de forme cylindrique et de couleur noire mesurent 0,69 mm.

La cauda arrondie à son extrémité, présente un étranglement au tiers basal. Elle mesure entre 0,15 mm et 0,17 mm d'après AROUN [9], et de 0,19 mm à 0,20 mm [50].

2.3. Répartition géographique d'*Aphis citricola*

2.3.1. Dans le monde

Suite à une large dissémination dans les régions tropicales et subtropicales parallèlement au développement de l'agrumiculture [52]; cette espèce a été observée en Grèce par ARGYRIOU en 1970. Elle se rencontre en zone tempérée et subtropicale, dans les steppes et partout sous les tropiques.

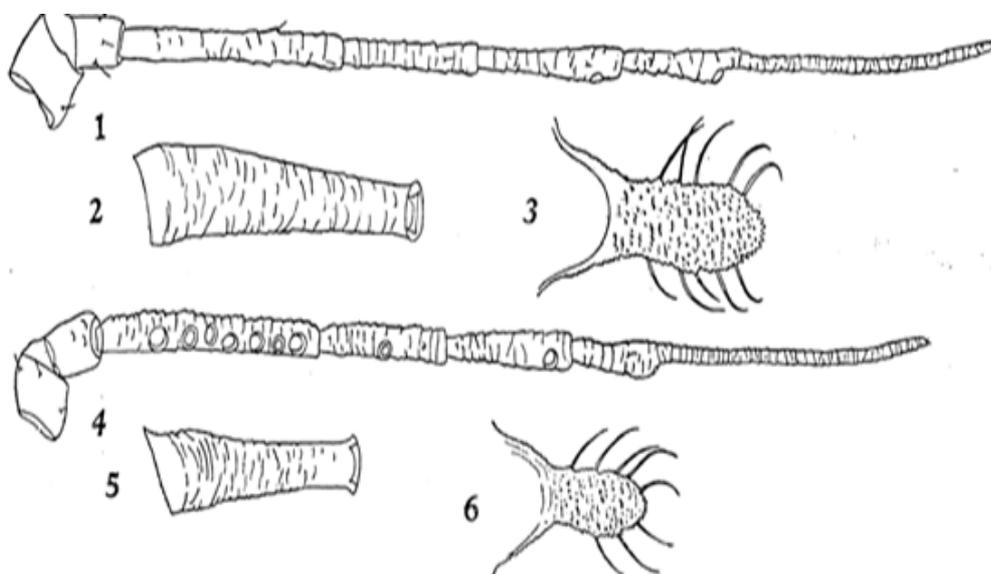


Figure 2.1 : *Aphis citricola* ven der goot 1912 [52]. 1. 2. 3. Antenne, cornicule et cauda d'un adulte aptère, 4. 5. 6. Antenne, cornicule et cauda d'un adulte.

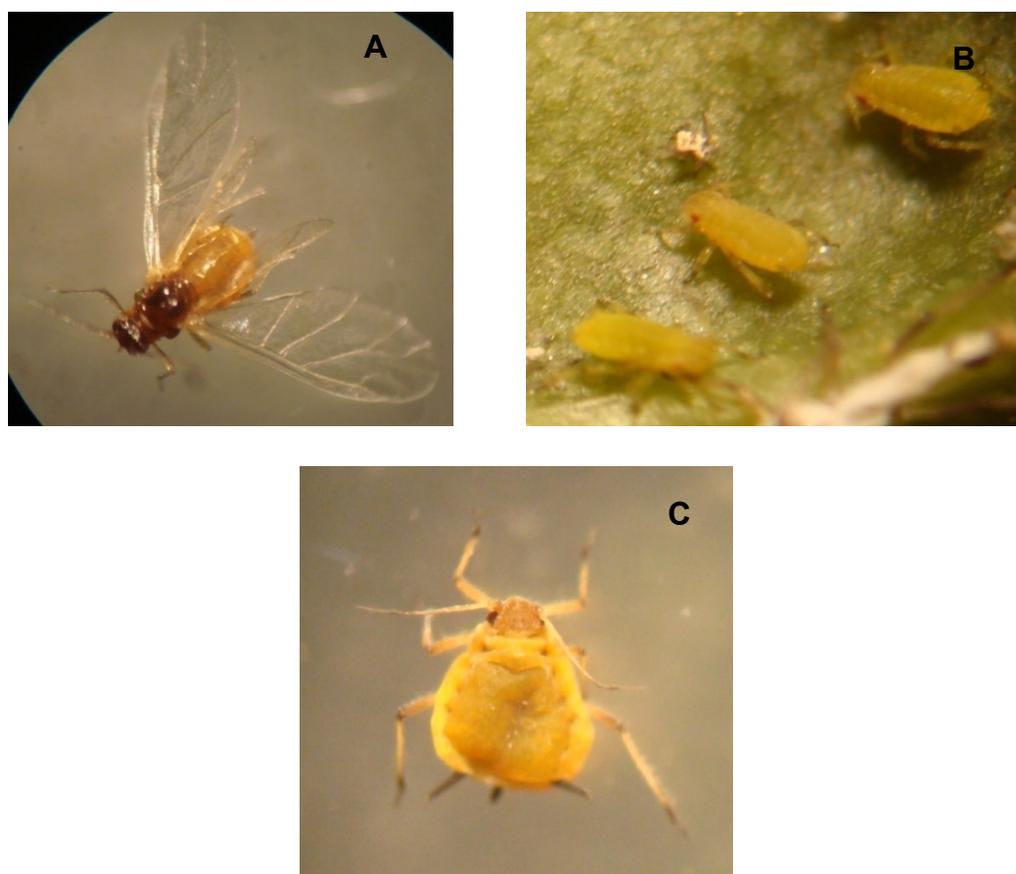


Figure 2.2: *Aphis citricola* ven der goot A : Adulte ailé, B : larve, C : Adulte aptère.(Personnelle).

2.3.2. En Algérie

Aphis citricola serait abondant dans toute la zone du Tell. Cette espèce est très abondante en Mitidja : Chebli, Mouzaia, Boufarik et Rouïba [9].

2.4. Cycle biologique

Aphis citricola est une espèce polyphage et cosmopolite. Ce ravageur est originaire d'Amérique du nord [53, 54] où il est considéré comme le plus dangereux parmi les espèces qui s'attaquent aux agrumes.

Dans les régions tropicales et subtropicales Asie, et dans le bassin méditerranéen, *Aphis citricola* développe un cycle biologique anholocyclique (fig.2.3 et 2.4), avec une reproduction parthénogénétique et une hibernation au stade de femelles parthénogénétiques sur d'autres plantes hôtes secondaires [55].

Dans la Mitidja, *Aphis citricola* développe un cycle anholocyclique avec une hibernation au stade de femelles parthénogénétiques sur les *Citrus* au printemps et en automne. Cette espèce présente des colonies parthénogénétiques denses sur *Citrus* ; par contre en été, les populations diminuent et deviennent beaucoup moins importantes que celles observées au printemps et en automne [9].

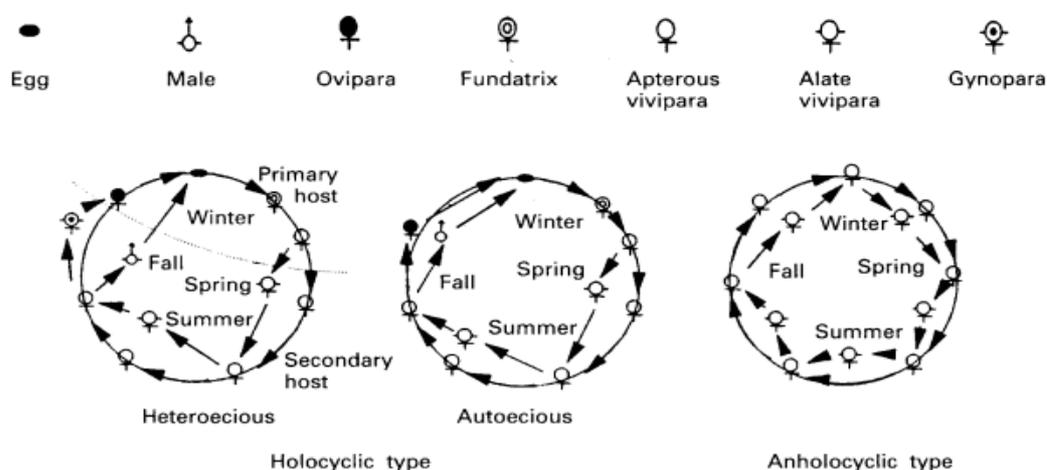


Figure 2.3. Cycle biologique des aphides, KOMAZAKI, [56].

2.5. Développement larvaire

D'après les travaux qui ont été réalisés par ACCODJI [49], la durée moyenne de développement larvaire d'*Aphis citricola*, dépend de la température, de l'humidité, de la durée moyenne d'éclairage et enfin, de la plante hôte. Il a été démontré que la durée moyenne de développement larvaire de cette espèce en salle climatisée à 20°C de température, à un taux de 75% d'humidité relative et avec 17 heures d'éclairage est de : 12 jours sur *Solanum melongena*, 9 jours sur *Apium graveolens*, et 7 jours sur *Viburnum tinus*.

Il a été démontré que quelque soit la plante hôte utilisée et la température à laquelle l'expérimentation est menée, la durée de vie de chaque stade larvaire va en augmentant du premier au quatrième stade larvaire.

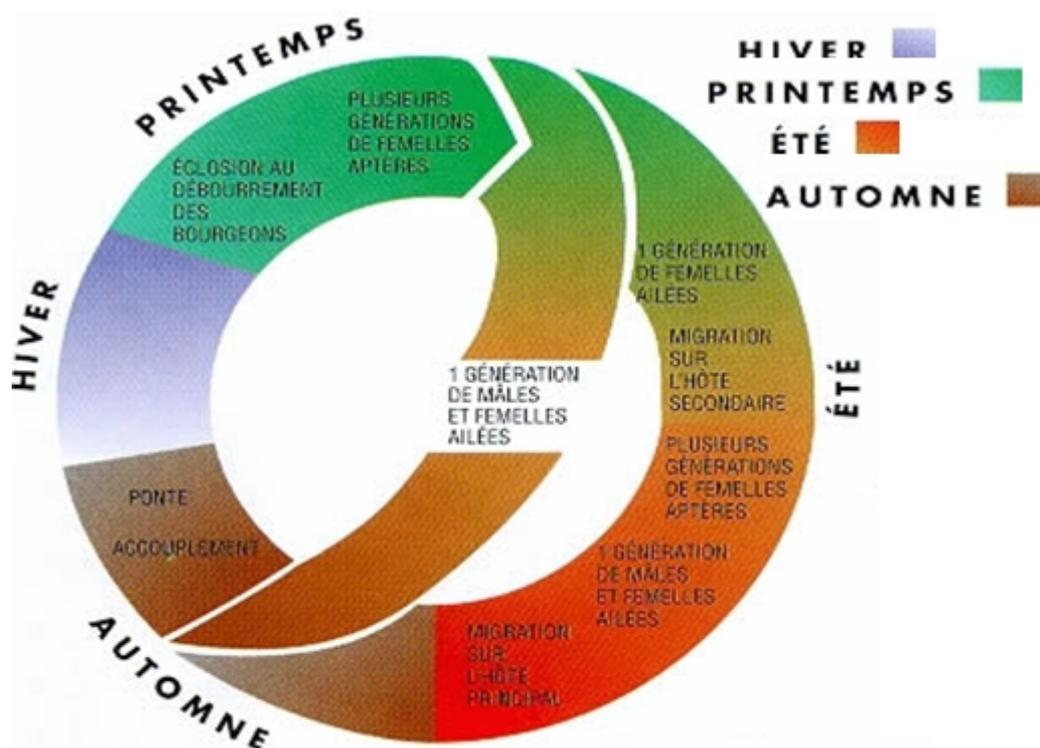


Figure 2.4 : Cycle biologique d'*Aphis citricola* ven der goot 1917 [53].

2.6. Reproduction

2.6.1. Reproduction parthénogénétique

La multiplication parthénogénétique est très fréquente chez quelques espèces comme *Myzus persicae* et *Macrosiphum euphorbiae*.

En général, au printemps, en été et en automne, mais également en hiver lorsque les conditions abiotiques sont favorables, [9]. C'est le cas d'*Aphis citricola*.

2.6.2. Reproduction sexuée

Les pucerons ont toujours gardé la possibilité d'effectuer un cycle annuel complet ou holocyclique, c'est-à-dire comportant la génération amphisexuelle :

- L'œuf fécondé est pondu à l'automne, il est diapausant et constitue pour l'espèce une forme de survie durant les conditions climatiques défavorables de l'hiver [55].

- L'œuf éclot au début du printemps afin de donner naissance à un individu femelle qu'on appelle fondatrice. Elle est presque toujours aptère, c'est une femelle parthénogénétique donnant des descendants par voie agame [47], qui engendre des femelles aptère ou ailés qu'on appelle les fondatrigènes [54]. Les fondatrigènes ailées quittent la plante sur laquelle elles se sont développées et vont s'alimenter sur les végétaux de la même espèce ou d'espèce différentes, sur lesquelles, elles engendrent un certain nombre de générations d'individus femelles parthénogénétiques, alternativement aptères ou ailés, appelés virginogènes [55].

A l'automne, apparaissent des femelles parthénogénétiques appelées sexupares qui donnent naissance à des males et à des femelles ovipares. Les males sont souvent ailés et les femelles ovipares presque toujours aptères si bien

que la rencontre des sexes a presque toujours lieu sur la plante portant la femelle ovipare. Une fois fécondée, celle-ci pond ses œufs sur les parties lignifiées de la plante hôte [55].

2.7. Plantes hôtes

D'après MOHAMMEDI [50], *Aphis citricola* a été observé dans la province de Castellon en Espagne sur plusieurs plantes ; *Citrus sinensis*, *citrus reticulata*, *citrus limon* et sur *Prunus domestica* L. Ces plantes sont considérées comme plantes hôtes primaires, sur lesquelles se développent la femelle aptère, la fondatrice et les fondatrigènes aptères et ailés.

LECLAN [52], signalait cette espèce dans la région méditerranéenne sur différentes espèces de plantes hôtes appartenant à dix familles botaniques très différentes.

En Mitidja, *Aphis citricola*, est très abondant sur oranger (*Citrus sinensis*), sur clémentinier (*citrus clémentinia*) et sur bigaradier ou oranger amer (*Citrus aurantium*) au printemps et en automne et à un degré moins important en hiver et en été [9].

En hiver *Aphis citricola* se présente sous forme de femelles parthénogénétiques sur de nombreuses plantes hôtes secondaires : *Oxalis sp*, *Rumex spinosa*, et sur *Lavatera cretica*. [9].

2.8. Facteurs de développement des populations de pucerons

Plusieurs facteurs interviennent dans le développement des populations de pucerons. Ils peuvent être favorables ou défavorables, selon l'intensité de leurs actions. Ces facteurs sont de deux types : les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques. [9].

2.8.1. Les facteurs abiotiques

2.8.1.1. La température

La température est un facteur des plus importants dans le développement, la durée de la vie, la fécondité et l'envol des pucerons.

AROUN [9], montre que la durée du développement larvaire des pucerons varie en fonction de la température.

La température conditionne la longévité des pucerons [55]. La fécondité des pucerons qui est, en général, très élevée, dépend de la température. Ainsi chez *T. Aurantii* dans les conditions optimales de température, une génération évolue en une semaine et un adulte peut engendrer jusqu'à 50 ou 60 larves [50].

Selon ROBERT [55], les températures extrêmes peuvent être un facteur létal important ; ceci est très net à 30°C, température à laquelle aucun puceron n'émet plus de larve viable et à laquelle sa propre survie est minimale. Le froid constitue aussi un facteur limitant.

La température joue un rôle dans la détermination de l'envol des ailés celui-ci a lieu quand la température est comprise entre 15 et 30°C [50].

2.8.1.2. Les précipitations

Les pluies interviennent par leur durée, leur intensité, le moment où elles se produisent en empêchant ou non le vol [9], les pluies de forte intensité peuvent détruire une grande proportion de populations ailées ou aptères, entraînant ainsi une limitation des populations de pucerons. Par contre, les pluies de faible intensité, même de longue durée, n'empêchent pas le vol des ailés, pourvu que la température de l'air ne soit pas inférieure à la température-seuil de l'envol [57, 9].

2.8.1.3. Le vent

Le vent agit sur le vol et sur la dispersion des ailés par sa vitesse et sa direction [57]. Si le vent souffle fort, il peut modifier la distribution verticale et horizontale des individus sur les plantes et ceci en délogeant les formes les plus instables [50]

La vitesse propre d'un puceron étant inférieure à 1 mètre par seconde en général, celui-ci n'aura que peu de possibilité de voler activement contre un courant aérien [57].

2.8.1.4. L'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air peut faciliter ou inhiber le vol des ailés. Les vols sont fréquents pour une humidité inférieure à 75% et une température comprise entre 20 et 30 °C. Ces vols sont, par contre, rares lorsque l'humidité est supérieure à 75% et la température inférieure à 13°C [10].

2.8.1.5. La durée d'insolation

La durée d'insolation influe sur le développement du puceron, favorise les possibilités d'envol des pucerons et donc, indirectement, la contamination des cultures. Il a été démontré que *Brevicoryne brassicae* L, le puceron cendré du chou, s'envole respectivement : 43, 20 et 11 fois par minute selon que le temps est ensoleillé, légèrement nuageux ou très nuageux. La plupart des espèces cessent de voler la nuit, [8, 10].

2.8.2. Les facteurs biotiques

2.8.2. 1. L'alimentation

La préférence des pucerons pour les oranges en voie de croissance, pousses et jeunes feuilles à l'inverse des feuilles sénescents, est bien connue [9].

D'après CHABOSSOU [57], un tel « préférendum » paraît en relation avec la richesse de la sève ou des tissus foliaires en substances solubles et notamment en acides aminés libres.

Selon LAAMARI [10], les plantes sont la plupart du temps dotées d'un revêtement naturel de poils qui servent à former un bouclier contre les divers prédateurs.

2.9. Les caractéristiques du puceron

2.9.1. Les caractéristiques propres à l'individu

Il a été démontré que dans de nombreux cas, le nombre de larves émises par un adulte est proportionnel au poids de celui-ci avant qu'il ne commence à déposer ces larves.

Il a également été démontré que pendant les vingt premiers jours de ponte, les aptères pondent un plus grand nombre de larves que les ailés [54].

2.9.2. Les facteurs intraspécifiques

Selon ROBERT [55], les pucerons peuvent réguler eux même leurs populations par les mécanismes interspécifiques de deux ordres :

La formation d'ailés, sous l'action d'effet de groupe et /ou une diminution de la qualité nutritionnelle de la sève. Le départ de ces ailés entraîne dans l'immédiat une régression naturelle des populations du fait d'une production globale plus réduite de nouvelles larves. [55].

La modulation du poids, sous l'effet de comportements agrégatifs intra spécifiques et l'effet direct de modification de la composition de la nourriture par ces prélèvements de sève. Ceux-ci entraînent en conséquence la modulation de la fécondité des adultes [13].

2.9.3. Les ennemis naturels

Selon AROUN [9], en conditions naturelles, l'efficacité des ennemis naturels est très variable d'une saison à l'autre, d'une année à l'autre, et d'une région à l'autre.

En général, les prédateurs et les parasites n'ont d'influence que s'ils sont suffisamment nombreux au début de la multiplication [55, 57].

2.9.3.1. Les prédateurs

Les prédateurs sont des organismes vivants, libres à l'état adulte et larvaire, attaquant d'autres êtres vivants pour les tuer et se nourrir de leurs substances. Ils dévorent successivement plusieurs proies au cours de leur vie [52].

Les pucerons font l'objet d'une prédation par des groupes très divers. Les plus connus sont les coléoptères Coccinellidae, les diptères Syrphidae et les névroptères Chrysopidae [58].

2.9.3.1.1. Les Coccinellidae

Les coccinellidae constituent le groupe de prédateurs prépondérant dans la lutte contre les Aphididae [59]. Environ 90 % des espèces recensées jouent un rôle indiscutable dans la réduction des populations naturelles d'Homoptères [60].

SAHRAOUI [61] à recensé 43 espèces en Algérie, réparties en deux principales sous-familles, celle des Epilachninae, numériquement presque insignifiante regroupant seulement deux espèces phytophages, et celle des Coccinellinae, quantitativement plus importante, qui comprend 41 espèces, toutes susceptibles de jouer un rôle dans la protection des cultures contre certains de leurs ravageurs (pucerons, cochenilles, acariens). Les aphidiphages sont les plus représentées avec 24 espèces.

La voracité des coccinelles varie selon les espèces et la proie [62, 9, 10]. Les adultes de *C. septempunctata* ont consommé 21,7 de pucerons par 24 heures, et les adultes de *H. axyridis* en ont consommé en moyenne de 31,9 pucerons par 24 heures, même le sexe de *H. axyridis* influe significativement sur la voracité [60].

2.9.3.1.2. Les Syrphidae.

Les adultes des Syrphidae sont floricoles, contribuant à la pollinisation des plantes, les larves ont des habitudes variées suivant les espèces dont le plus grand nombre est caractérisé par des aphidiphages au stade larvaire, ils appartiennent aux genres *Syrphus*, *Metasyrphus* et *Sphaerophoria* [63].

Dans la guildes des prédateurs aphidiphages, les Syrphidae occupent une place importante dans les agro-écosystèmes. Les espèces de syrphes prédatrices représentaient 63% de cette guildes [63]. Une réduction de 40 pucerons avait observée par jour et par larve de syrphe. [64] et chaque larve peut consommer de 400 à 700 pucerons au cours de sa vie qui dure de 8 à 15 jours [64].

Epistrophe balteata, et *Ischiodon scutellaris* sont les espèces les plus abondantes en Mitidja [9, 64].

2.9.3.1.3. Les Chrysopidae

Les chrysopes appartiennent à la guildes des insectes aphidiphages et présentent de ce fait un intérêt certain pour les agriculteurs et gestionnaires de parcs et jardins. Le régime alimentaire des larves ne se limite pourtant pas aux pucerons. En effet, de nombreuses espèces présentent des régimes alimentaires variés : des Homoptères, des œufs et des jeunes larves de Lépidoptères, d'Hyménoptères, de Coléoptères, de Diptères, de Thysanoptères et d'acariens [65].

Les larves de chrysopes sont le plus souvent très voraces, une larve de chrysope mange 500 pucerons sur 15 à 20 jours [65, 66, 67]

Selon SAIGHI [43]. Les espèces de chrysopes aphidiphages sont *Chrysopa carnea* Stephens et *Chrysopa chrysoperla* Linné. En Mitidja, AROUN [9].a démontré que *Chrysopa septempunctata*, participe à la limitation des populations de pucerons.

2.9.3.2. Les parasites et les parasitoïdes

Les parasites diffèrent des prédateurs dans la mesure où en général, un individu vit aux dépend d'un nombre très limité d'individus ou même un seul individu hôte.

Les parasites de pucerons les plus importants sont des hyménoptères appartenant à deux familles : les Ahelinidae et les Aphidiidae avec le genre *Praon*, *Aphidius*, *Ephedrus*, et *Trioxys* [66, 68].

2.10. Dégâts causés par les pucerons

Les pucerons figurent parmi les ennemis les plus importants des plantes cultivées. Les dégâts sont produits à tous les stades phénologiques de la plante. Les dommages causés par ces arthropodes sont de deux ordres : les dégâts directs et les dégâts indirects [69]. Les deux ont pour origine le mode de nutrition des pucerons [52, 69] :

2.10.1. Dégâts directs

Les pucerons, insectes piqueurs suceurs, se nourrissent en effet, en prélevant et en absorbant la sève de leurs hôtes. Leurs modes d'alimentation, l'opophagie, est particulier. Ils insèrent généralement leurs stylets dans les tissus de l'hôte et prélèvent une alimentation constituée de sève élaborée. Il s'ensuit un affaiblissement général de la plante qui végète mal et flétrit [69, 70].

Les pucerons ont aussi une action irritative et toxique. La salive émise lors des piqures d'alimentation entraîne une réaction du végétal qui se traduit par :

Une déformation des feuilles qui se plient, s'enroulent, se gaufrant, se crispent, s'épaississent, se cloquent, se boursoufflent, s'ondulent, changent ou non de couleur (fig. 2.5) [69].

Une inhibition de développement des pousses qui deviennent rabougries ou tordues, les entre-nœuds courts, les fleurs avortent et se dessèchent. Les feuilles tombent et les fruits bosselés grossissent mal et manquent de saveur. L'apparition de chancres survient sur les rameaux ou sur les racines, des galles se forment sur les feuilles ou sur les tiges protégeant ainsi les pucerons contre les ennemis naturels et les conditions climatiques défavorables. [69].

2.10.2. Dégâts indirects

Ces dégâts sont de deux types :

- *Miellat et fumagine* : Pour subvenir à leurs besoins en protéines, les pucerons ingèrent une grande quantité de sève élaborée, très riche en sucre, mais pauvre en acide aminés.

Le produit de la digestion, très riche en sucre, s'accumulent dans la partie dilatée du rectum avant d'être rejeté à l'extérieur. Ce produit constitue le miellat, milieu de culture très favorable pour le développement de champignons saprophytes, les fumagos, provoquant la fumagine et une brûlure de feuillage LECLANT [52]. D'après AROUN [9], cette fumagine entrave la respiration et l'assimilation chlorophyllienne, souille les fruits et les déprécie.



Figure 2.5 : Dégâts causés par puceron Personnel

- *Transmission des virus*

Les pucerons occupent en effet un rôle important dans la dissémination des maladies virales, tant par le nombre de virus qu'ils sont susceptibles de transmettre, que par le nombre d'espèces impliquées [69]. En effet, près de 200

espèces d'aphides ont été reconnues vectrices, tel que *Myzus persicae*, qui est capable de transmettre, à lui seul, plus de 120 maladies virales et donc quelques individus suffisent pour entraîner des dégâts irréversibles, dus aux virus phytopathogènes [9].

2.10.2.1. Mode de transmission des virus phytopathogènes

Selon LECLANT [69], c'est la prise de nourriture qui occasionne l'acquisition et la transmission des virus. La durée de rétention par le vecteur a constitué la caractéristique essentielle de virus phytopathogènes [9]. Ils sont qualifiés de non-persistants, de persistants et de semi-persistants aux propriétés intermédiaires [48]. Les principales phases d'un cycle de transmission et les principales propriétés des virus transmises par les aphides sont indiqués dans les tableaux 2.1 et 2.2.

Tableau 2.1. : Principales phases d'un cycle de transmission

Acquisition	Le vecteur se charge en virus dans une plante malade
Latence	Laps de temps qui s'écoule entre l'acquisition et le moment précis où le vecteur sera apte à infecter une plante saine. Il deviendra alors infectieux. La latence concerne le vecteur.
Rétention	Laps de temps durant le quel le vecteur demeure infectieux après un « repas » contaminant.
inoculation	le vecteur infectieux introduit le virus dans la plante.
transmission	Ensemble des évènements qui commencent à l'acquisition du virus par le vecteur dans une plante malade et se termine à l'inoculation de pathogène dans une plante saine.
incubation	Laps de temps qui s'écoule entre l'inoculation et l'extériorisation des symptômes sur la plante.

LECLANT [69]

2.1.1. La lutte contre les pucerons

2.1.1.1. La lutte culturale

La taille donne non seulement la vigueur à la plante et donc une résistance aux maladies, mais aussi l'élimination certaine des foyers d'hivernation des ravageurs, se trouvant sur rameaux, branches et feuilles. En effet, elle permet d'éviter la création d'un microclimat favorable à la pullulation de pucerons [9].

Selon CHABOUSSOU [57], les labours augmentent la résistance de la plante. En effet, une déficience dans l'aération des racines accroît le niveau des acides aminés des feuilles, par conséquent, la pullulation du ravageur, en l'occurrence les pucerons. Ainsi que l'élimination de la végétation spontanée qui s'avère très importante, car les pucerons colonisent la végétation spontanée des zones non labourées ou non binées. Ces plantes sont souvent la source des pucerons ailés qui vont s'installer dans les cultures réceptives [43].

2.1.1.2. La lutte chimique

Les attaques des pucerons sont combattues avec des produits polyvalents ou des aphidicides spécifiques [38].

SAIGHI [43], évoque que la lutte contre les pucerons doit s'orienter vers les insecticides systémiques, car ces derniers sont protégés par les feuilles dont ils ont provoqué la déformation. Pour éviter le phénomène d'accoutumance, il est nécessaire de changer fréquemment la famille de la matière active.

Comme mesure prophylactique, il est utile de penser à la destruction des mauvaises herbes. Ces derniers servent de refuges de puceron en hiver et en été [38].

2.11.3. Lutte biologique

La lutte biologique est considérée comme l'une des stratégies de lutte des plus appréciées pour réguler les populations de pucerons [70].

Le puceron possède plusieurs prédateurs naturels très performants comme les coccinelles, une coccinelle adulte mange de 50 à 60 pucerons par jours ; les chrysopes : une larve de chrysope mange 500 pucerons sur 15 à 20 jours et les syrphes : une larve de syrpe en consomme 400 à 700 individus sur 10 jours [71, 72].

CHAPITRE 3

INTERACTIONS COMPATIBLES PLANTES-PUCERONS

3.1. Introduction

Les aphides sont munis de pièces buccales piqueuses-suceuses. Ils sont fortement dommageables pour une multitude d'espèces végétales. [73].

D'après CAROLAN [74], ces insectes ingèrent la sève alors qu'elle circule dans les vaisseaux du phloème, grâce à des pièces buccales modifiées en stylets souples (figure. 3.1 et 3.2) percés d'un canal alimentaire et d'un canal salivaire. Ce dernier leur permet d'injecter dans les tissus végétaux des sécrétions salivaires jouant un rôle fondamental dans la recherche, l'acceptation et la manipulation physiologique des tissus cibles.

Depuis 400 millions d'années de coévolution avec les plantes, les insectes ont développé divers mécanismes de résistance pour faire face aux défenses naturelles des plantes [75].

3.2. Mécanisme d'alimentation du puceron

Le puceron insère ses stylets dans les tissus végétaux et les fait pénétrer entre les cellules jusqu'à atteindre le phloème. Au cours de ce transit, il réalise diverses activités et prélèvements extracellulaires, mais également des ponctions intracellulaires dans des tissus non nourriciers. Ces prélèvements, qui s'accompagnent toujours d'une injection de salive, sont déterminants dans le choix de la plante hôte, ainsi que pour la localisation des stylets dans les tissus végétaux. [76].

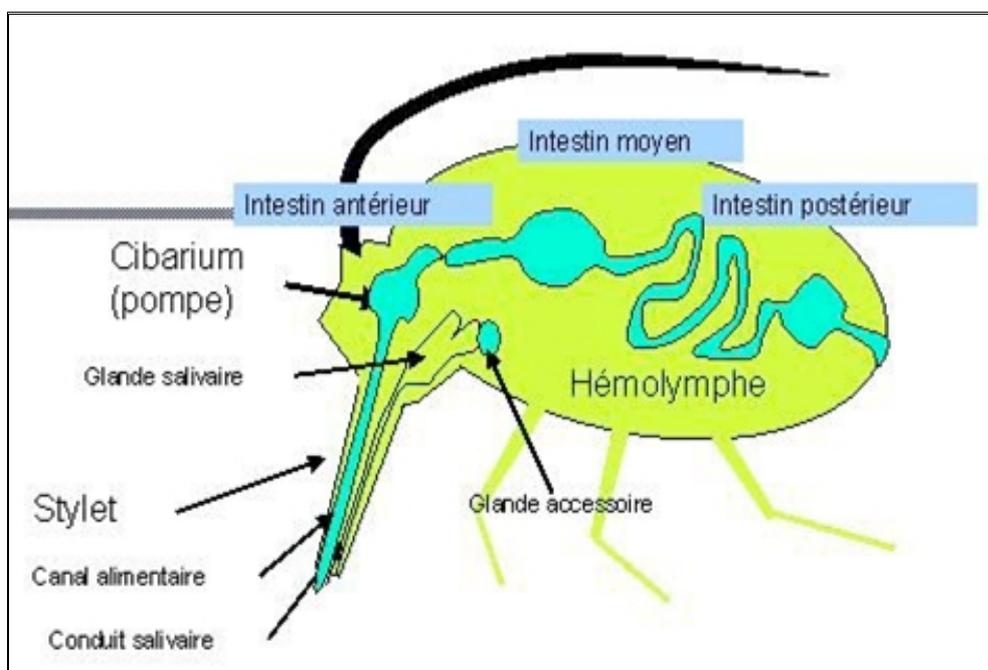


Figure 3.1: Anatomie des pucerons [74].

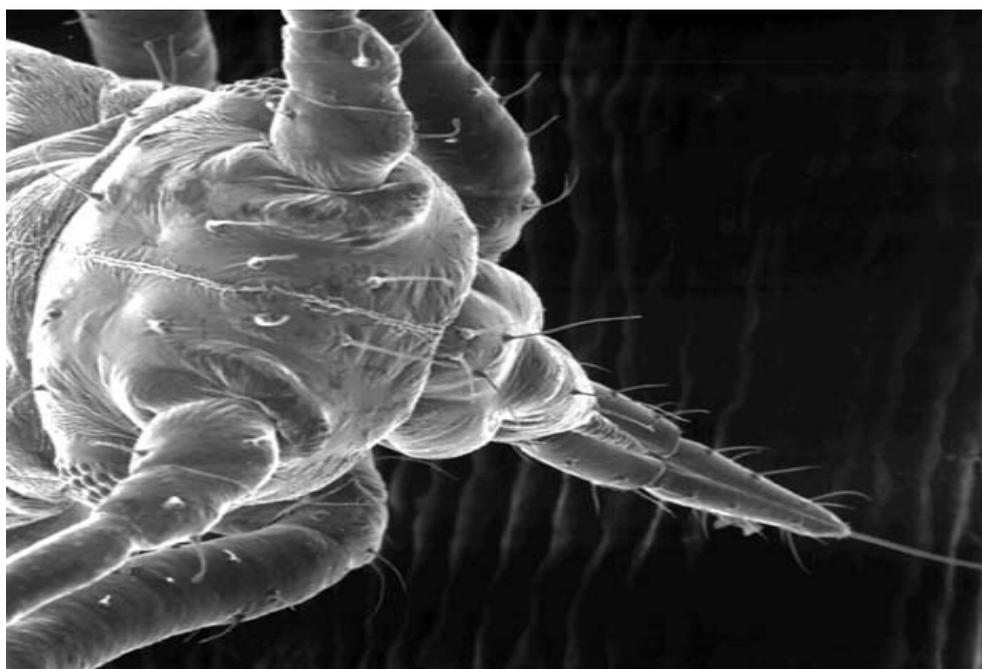


Figure 3.2 : Photo d'un puceron au microscope électronique à balayage (de droite à gauche: les stylets (sortis), le rostre, le clypeus, le front, les tubercules antennaires). [74].

Les cellules bordant les vaisseaux phloémiens sont plus ponctionnées que celles des autres tissus, indiquant une recherche du phloème par échantillonnage et la capacité de l'insecte à reconnaître la composition chimique des différents types cellulaires rencontrés. [77].

Durant cette phase, les organes de l'épipharynx situés dans la cavité buccale jouent un rôle fondamental dans la perception gustative. Les principaux stimuli potentiels d'identification du phloème sont le pH, la teneur en certains sucres et acides aminés, ainsi que le potentiel redox (résultant de la réactivité des composés chimiques en présence) [77].

3.3. Les caractéristiques de la sève phloémienne

Le phloème est un tissu vivant dont les éléments fonctionnels majeurs sont les cellules des tubes criblés, qui transportent les produits de la photosynthèse. Ils constituent donc une manne métabolique pour qui saura les localiser et les exploiter durablement de manière concurrentielle par rapport aux autres tissus de la plante (racines, fruits, méristèmes...). [78].

Les caractéristiques majeures de la sève phloémienne, qui façonnent l'ensemble des adaptations métaboliques des pucerons, sont les suivantes [79]

- C'est un fluide intracellulaire, particularité rare pour l'aliment exclusif d'un animal, les herbivores s'alimentant généralement aux dépens des tissus et organes des plantes. Outre les conséquences en termes de composition, la structure de ce tissu nourricier induit de fortes contraintes quant à la taille des pièces buccales, et donc de l'animal. Par ailleurs, les conséquences de la quasi-stérilité de cet aliment sont évolutivement importantes, [79].

- C'est un milieu généralement pauvre en protéines. Il en découle une importance très secondaire de la digestion protéique, et en retour une sensibilité potentielle de ces insectes aux toxines protéiques.
- C'est un milieu subissant de grandes variations compositionnelles, d'origine physique (lumière, saison...) ou physiologique (stade végétatif, position architecturale...), [79].
- C'est un milieu de transport extrêmement riche en sucres (source non limitante de carbone et d'énergie), proche de celui des fruits et des nectars. Cette ponction à la source du carbone photosynthétique pose des problèmes majeurs de compatibilité physiologique (gestion de l'eau et des composés dissous), [79].
- C'est un milieu éventuellement riche mais très déséquilibré en acides aminés et particulièrement limité en acides aminés essentiels non synthétisables par les animaux. Cette contrainte, aux conséquences métaboliques fortes, restreint l'utilisation de cette source trophique aux insectes disposant d'une flore microbienne symbiotique pouvant compléter cette déficience, [79].
- C'est enfin un milieu quasi exempt de lipides, dont certains sont également essentiels pour les cellules animales. Contrairement au cas de la gestion de l'azote, les pucerons semblent avoir trouvé par eux mêmes la solution aux problèmes biosynthétiques posés par les lipides et les pigments qui y sont apparentés (aphines polycycliques responsables de certaines de leurs couleurs prononcées, hors spectre jaune couvert par des caroténoïdes). Leur stricte dépendance vis-à-vis de certains composés végétaux (stéroïdes) pour la synthèse de leurs hormones impliquées dans les processus de croissance et de développement des larves reste cependant un mystère non résolu, [79].

Chacune de ces caractéristiques constitue une barrière évolutive importante que les pucerons ont su lever, seuls ou avec l'aide de partenaires microbiens, [79].

3.4. Les réponses de la plante à l'infestation

Le puceron et la plante se reconnaissent très vite 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. La première couche cellulaire est ponctionnée, ainsi que les cellules bordant le trajet vers le phloème, tout comme les fluides du compartiment intercellulaire, [80, 81].

Les activités des stylets durant la recherche du phloème (salivations extra- et intracellulaires, ponctions cellulaires) peuvent induire des réactions de la plante dans les quelques minutes suivant la piqûre. C'est le cas de melons exprimant un gène de défense [82, 83]. Sur lesquels les pucerons présentent des comportements alimentaires très perturbés, conduisant finalement à l'abandon de la plante après l'atteinte du phloème [78].

3.4.1. Réaction locale du phloème

Le phloème, quant à lui, contient de nombreuses protéines phloémiennes (protéines P) intervenant dans le colmatage des blessures de ce tissu. De la callose peut également se déposer après plusieurs minutes et obstruer les vaisseaux, ralentissant fortement le flux de sève et empêchant la prise alimentaire des pucerons. [84, 77].

L'insertion des stylets dans des cellules phloémiennes pauvres en calcium s'accompagne au point d'insertion d'un influx de calcium (figure 3.3), amplifié par l'induction des canaux calciques facilitant le passage de l'ion à travers la membrane. [78]. Cet influx calcique peut initier des cascades de signalisation à longue distance et ainsi réguler la réponse systémique de la plante (réponse généralisée à la plante entière), [81].

Il est cependant très probable que la signalisation calcique associée à la balance redox et aux molécules d'oxygène réactives (H₂O₂, OH-...) soit les

éléments majeurs contrôlant réponse et tolérance des cellules du phloème à l'alimentation des pucerons [77]. L'influx de Ca^{++} a également un effet direct sur la production de callose, polymère glucidique (1,3- β - glucane, également majoritaire dans la paroi cellulaire des champignons) qui est impliqué dans la défense à la blessure, et synthétisé par une enzyme régulée par le calcium, [85].

3.4.2. Réaction globale de la plante

L'insertion des stylets s'accompagne également de la libération dans le phloème de molécules d'oxygène réactives responsables de l'induction d'une réponse de défense systémique et spécifique, et ce patron de réaction semble s'appliquer à toutes les dicotylédones [80, 84].

En revanche, l'attaque par un pathogène (virus transmis par exemple par une espèce aphidienne, bactérie ou champignon) s'accompagne de la production de radicaux oxygénés actifs et induit les voies de signalisation du salicylate. Elle conduit également à la production locale ou systémique de « *pathogenesis-related proteins* » (ou protéines PR), et s'accompagne dans certains contextes génétiques de réactions d'hypersensibilité, incluant un syndrome de mort cellulaire programmée qui limite l'extension de l'infection, [87].

Par comparaison aux deux réactions précédentes, l'agression par les pucerons peut activer partiellement les deux voies de signalisation décrites (figure. 3.3), mais privilégie la voie salicylate, se traduisant par la production de protéines PR, avec cependant de nombreux cas d'hypersensibilité sous contrôle génétique simple. [78].

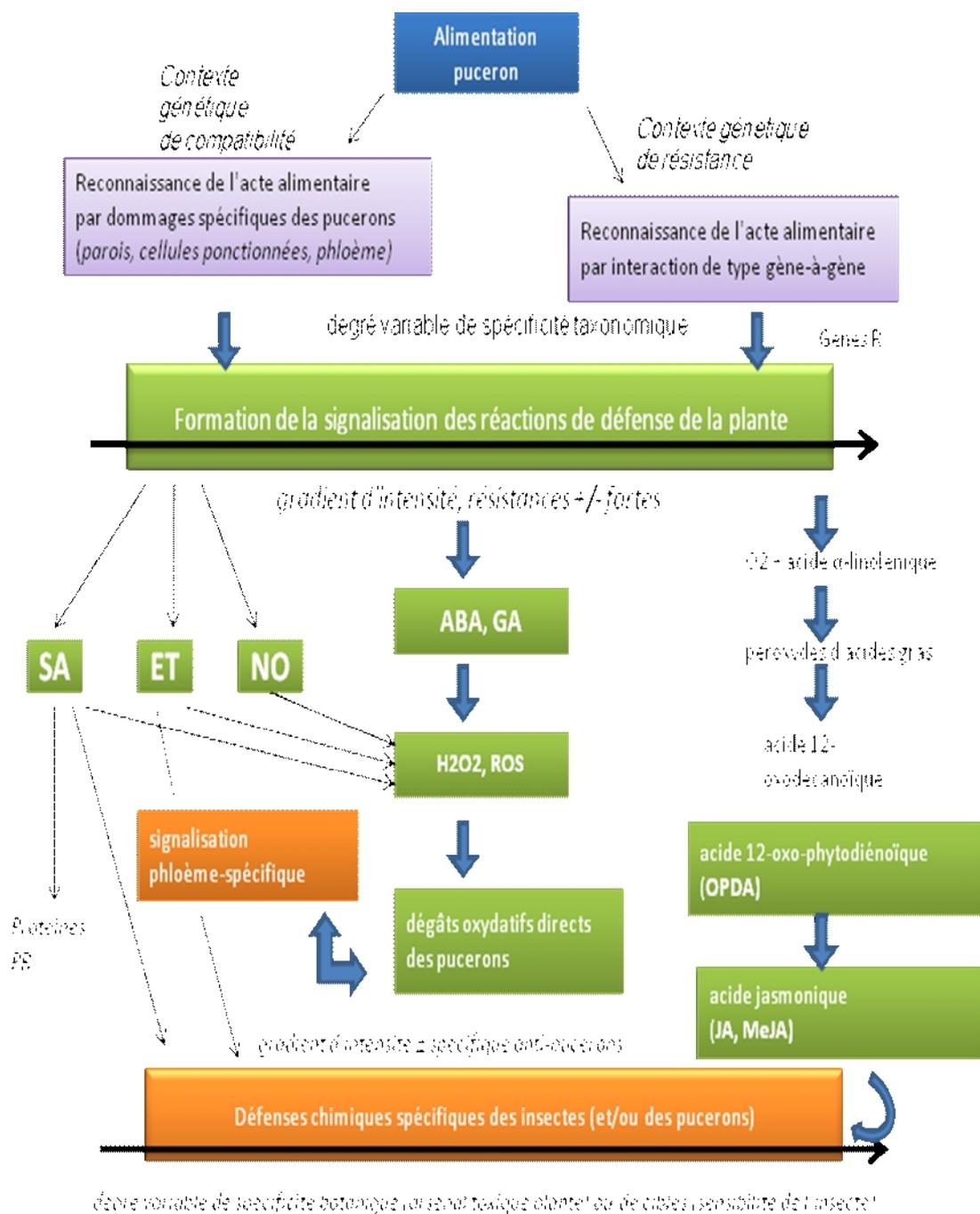


Figure 3.3 : Voies de signalisations déclenchées chez les plantes par des agressions d'insectes phloémophages tels que les pucerons. (Les métabolites clefs de signalisation figurent en noir (SA : acide salicylique ; ET : éthylène ; NO : oxyde nitrique ; ABA : acide abscissique ; GA : acide gibbérellique ; ROS : espèces réactives de l'oxygène ; MeJA : ester méthylique de l'acide jasmonique). Certains gènes de résistance (« gènes R ») contrôlant le déclenchement des cascades de défenses sont mentionnés en vert. [86].

En plus de l'implication majeure de l'une de ces deux voies canoniques, d'autres gènes activés montrent une réponse systémique spécifique au compartiment phloémienne de la plante. Ainsi, malgré la similitude avec la réponse aux pathogènes, l'agression aphidienne semble induire chez la plante une réponse spécifique qui reste à déchiffrer. Sensibles à divers effecteurs de la voie des jasmonate/éthylène, comme certaines enzymes ou inhibiteurs de protéases, les pucerons tentent d'en limiter l'induction, [78].

3.5. Manipulation de la plante par les pucerons

Il se produit un contournement des défenses induites lors des phases de piqûres et de pénétration dans le phloème. Les pucerons relarguent plusieurs types de salive (figure. 3.4) jouant un rôle fondamental dans l'acceptation de la plante hôte. À la surface de la plante, les pucerons déposent une petite quantité de salive gélifiante; cette salive, sécrétée ensuite en continu lors du cheminement des stylets entre les cellules, forme une gaine qui isole ces derniers des tissus de la plante [77].

Outre un hypothétique rôle mécanique, cette gaine joue un rôle de barrière chimique limitant les flux calciques transmembranaires impliqués dans la réponse rapide des plantes à la pénétration des stylets dans les vaisseaux phloémiens, mais probablement également aux espèces réactives de l'oxygène. La salive liquide constitue le deuxième type de salive produit par les pucerons. Lorsqu'un puceron effectue une ponction, par exemple de sève élaborée, il injecte en premier lieu ce type de salive dans les vaisseaux du phloème. À cet instant, la valve du canal alimentaire se ferme, empêchant l'ingestion de sève [78].

La salive liquide joue une part importante dans le contournement des défenses immédiates de la cellule végétale. Elle pourrait se lier au calcium ou à l'oxygène actif, inhibant ainsi leur rôle dans la coagulation des protéines phloémiennes ou les dépôts de callose. [88]. Elle pourrait également inhiber directement la coagulation des protéines phloémiennes ou même hydrolyser la callose. Une fonction digestive est par ailleurs soupçonnée pour cette salive, car

une fraction du flux sécrété dans la cellule phloémienne est vraisemblablement ingérée par l'insecte *via* le flux alimentaire entrant [78]. (figure.3.4).

3.6. Altérations métaboliques

Afin de compenser en partie les carences compositionnelles de la sève phloémienne, les pucerons sont capables d'accroître le flux de phloème, mais aussi d'induire une augmentation systémique des taux d'acides aminés circulants, dont les acides aminés essentiels, [89].

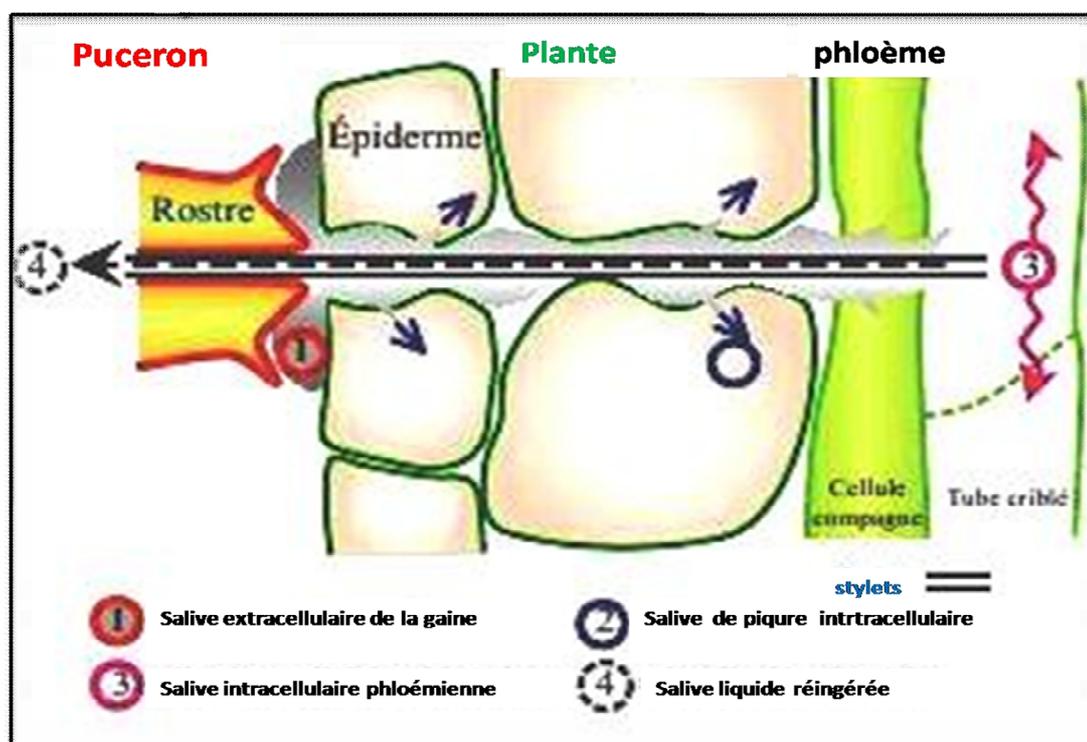


Figure 3.4. Les quatre salives des pucerons détectées par Electropénétrographie d'après Tjallingii [78]. Une salive géliifiante extracellulaire (cercle plein) et trois salives liquides injectées dans les cellules (cercles vides). Seule l'une d'entre elles possède une fonction digestive potentielle (4).

En outre, ils semblent également capables d'induire une accumulation phloémienne locale de glucides, aux dépens des autres tissus de la plante. Cette manipulation trophique se manifeste de façon exacerbée dans le cas des pucerons galligènes, étudiés depuis longtemps pour leur manipulation locale et

systémique de la signalisation hormonale de l'hôte. [90]. C'est parce qu'ils s'alimentent exclusivement aux dépens de la sève élaborée des plantes, que les pucerons ont développé tout un arsenal d'adaptations tant morphologiques que physiologiques leur permettant d'exploiter cette ressource trophique difficilement accessible, aux propriétés physico-chimiques très particulières et siège de l'expression des mécanismes de résistance systémique induite (distribution des signaux de défense à l'échelle de la plante). [91]. Du fait de l'intimité de cette interaction, le modèle puceron-plante constitue un exemple maintenant bien étudié de coévolution plante-insecte.

CHAPITRE 4

INFLUENCE DES ACTIVITES HUMAINES SUR LES CULTURES EN VERGERS ET LA BIODIVERSITE

4.1. Introduction

L'agriculture est l'ensemble des travaux qui permettent la production des végétaux et des animaux utiles à l'homme. C'est un domaine d'action fortement interactif : tout changement subi par un élément déterminé se répercute directement ou indirectement sur les autres composantes du système [92].

L'agriculture est le secteur d'activité humaine le plus concerné par la biodiversité. Le milieu vivant est en effet à la base des productions : l'agriculture occupe plus de la moitié de l'espace terrestre et elle a une influence très forte sur la biodiversité : elle est à la fois créatrice de biodiversité du vivant, demandeur de ses mécanismes de régulation, élément répressif de la biodiversité et ce suivant les systèmes et leur mode de conduite [93]. (Figure 4.1).

Si la biodiversité est le matériau de base de l'agriculture sans lequel il serait impossible d'obtenir des productions variées et adaptées à de nombreuses utilisations, elle est aussi une source de contraintes que l'agriculteur doit gérer. En effet, les ravageurs, les mauvaises herbes et les invasions biologiques menacent les cultures et la production. Les espèces envahissantes s'adaptent, s'implantent et peuvent menacer les espèces locales. Elles sont parfois la conséquence de la transformation des écosystèmes, notamment par l'agriculture. Avec la modernisation des pratiques agricoles, les travaux culturaux (figure 4.1) et intrants chimiques se sont substitués aux régulations écologiques. De fait, les engrais remplacent la décomposition des matières organiques, les pesticides la régulation entre populations de ravageurs et d'auxiliaires.

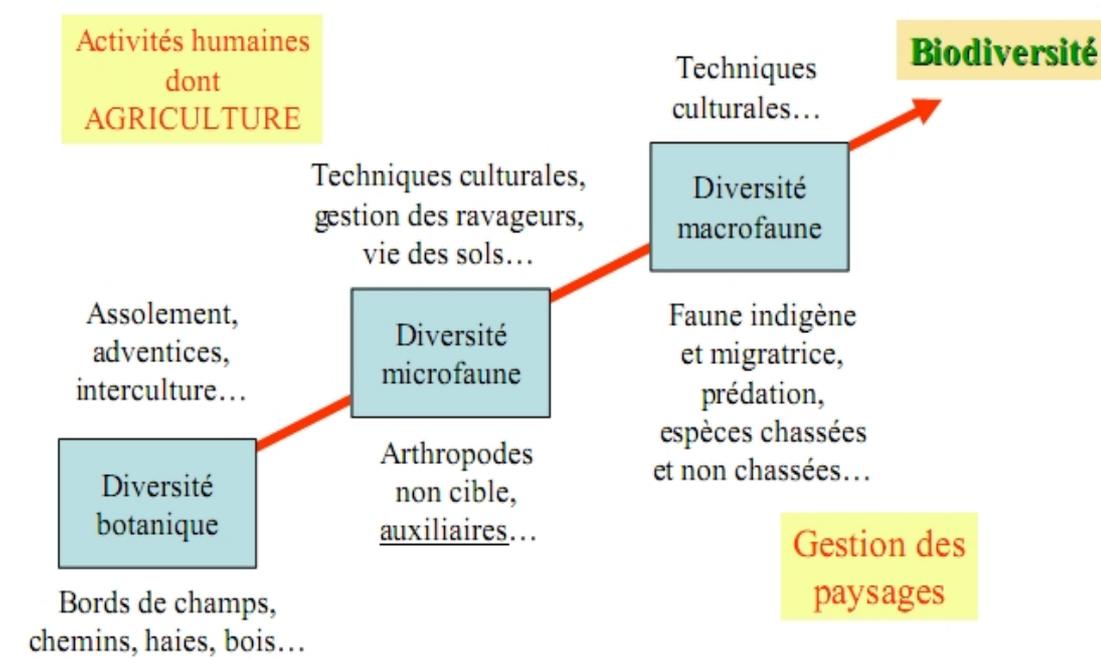


Figure 4.1 : Schéma représentant l'importance des interactions existantes entre la diversité animale et la diversité botanique qui commande les chaînes alimentaires, [93].

4.2. Facteurs liés à la culture elle-même :

En agriculture, les monocultures sont plus sensibles à l'attaque des ravageurs. Certaines hypothèses ont été avancées pour expliquer pourquoi les agroécosystèmes plus diversifiés (polycultures) sont plus stables. Parmi elles, on retrouve l'hypothèse des ennemis naturels, selon laquelle l'abondance et la diversité des ennemis naturels des ravageurs sont plus élevées dans les polycultures que dans les monocultures, [94]. parce que ces milieux offrent une plus grande diversité de proies/hôtes et de microhabitats. Des populations de prédateurs généralistes peuvent donc s'y maintenir et mieux contrôler les ravageurs présents dans la culture. Aussi, la fluctuation de l'abondance des prédateurs spécialistes y est moindre car le refuge créé par l'environnement complexe permet à leurs proies d'éviter une annihilation générale, [95].

Ainsi, des habitats diversifiés offrent plusieurs ressources importantes pour les prédateurs et parasitoïdes adultes, comme le nectar et le pollen, qui sont moins disponibles dans une monoculture annuelle, ce qui diminue l'émigration ou l'extinction locale, [92]. Or, un verger de monoculture pérenne; empêche l'utilisation de certaines méthodes, comme la rotation des cultures utilisée dans les monocultures annuelles, mais certains aménagements peuvent néanmoins être réalisés dans le verger pour favoriser l'activité des prédateurs et parasitoïdes. Par exemple, l'utilisation de couvre-sols fleuris de *Bromus hordeaceus* (Poaceae) en vignobles limite la croissance des mauvaises herbes tout en attirant des prédateurs comme les coccinelles et constitue une source de nourriture pour les parasitoïdes adultes, [96].

4.3. Facteurs liés aux milieux adjacents :

L'homogénéisation des paysages, la hausse massive de l'utilisation des intrants, la spécialisation des bassins de production nuisent à la biodiversité. A l'inverse, des aménagements, usages des terres et pratiques diversifiés participent au maintien de la biodiversité au niveau du nombre des espèces. Ils favorisent aussi les fonctions utiles qu'elle rend à l'agriculture : rendement et qualité des productions, fertilité des sols, maîtrise des ravageurs des cultures et pollinisation, recyclage des matières organiques, [97].

Outre la surface en culture, les milieux avoisinants peuvent influencer les populations d'insectes présents dans la culture, tant les ravageurs que les ennemis naturels.

En effet, les habitats naturels qui entourent une culture sont souvent considérés comme un facteur critique de la diversité et de l'abondance des ravageurs, [97]. Ainsi, en 1948, Dambach avait conclu que plus les plantes en bordure sont apparentées à celles constituant la culture, plus il y a de risques que

ces plantes de bordure constituent une source potentielle d'infestation par des insectes nuisibles à la culture. [97].

Les boisés adjacents aux vergers, exempts d'applications d'insecticides, pourraient donc constituer des «réservoirs» de ravageur, à partir desquels des individus coloniseraient l'intérieur des vergers. Par ailleurs, les habitats en périphérie des cultures jouent aussi un rôle important comme réservoirs d'ennemis naturels des ravageurs, [98].

Ces milieux peuvent fournir un refuge, [99], un site d'hibernation [100], de la nourriture [101, 102]. Ou encore des proies à ces ennemis naturels. Ainsi, les milieux adjacents aux vergers, comme les boisés, peuvent abriter des populations d'ennemis naturels. Dans ces lieux, ils sont également à l'abri des insecticides appliqués dans les vergers et peuvent disposer de ressources alimentaires autres que celles qu'ils trouvent en verger, [103].

4.4. Les pratiques agricoles

L'intensification de l'agriculture ces cinquante dernières années, par l'utilisation massive des fertilisants et des pesticides a contribué à la dégradation de la biodiversité des milieux ; elle a privilégié dans le même temps les espèces les mieux adaptées, [92].

Les pratiques agricoles dans la parcelle sont déterminantes pour la faune peu mobile et les végétaux à reproduction locale. Les pratiques agricoles entraînent la transformation des habitats naturels pour de nombreuses espèces de plantes, d'insectes, d'oiseaux et de mammifères, [92].

L'intensification et l'organisation de l'agriculture ont souvent favorisé la spécialisation d'espèces adaptées à ces environnements particuliers. Ces transformations ont ainsi favorisé la sélection de ravageurs, mauvaises herbes ou agents pathogènes, la disparition de leurs prédateurs ou parasites et l'émergence de résistances vis-à-vis des pesticides, [93].

4.4.1. La taille

La taille est le plus souvent destinée à enlever le bois mort et permettre aux différents traitements de parvenir au cœur de l'arbre pour obtenir des fruits plus gros en limitant la quantité, [104].

La meilleure période de taille est située en février-mars, juste avant le redémarrage de la végétation et de la mise à fleur. Elle consiste principalement à éliminer les gourmands, à supprimer les bois morts et les rameaux qui se croisent. La taille permet également de maintenir une dimension raisonnable pour les agrumes cultivés en pots, [104].

4.4.1.1. La taille de fructification (après la récolte)

Un agrume laissé à l'abandon a tendance à former de nombreuses branches charpentières qui se gênent; sa ramure s'épaissit, devient trop touffue et son centre se dégarnit. Les gourmands non supprimés se développent au détriment de la ramure. De nombreux rameaux meurent en garnissant l'arbre de nombreuses brindilles sèches, et la fructification diminue considérablement, [104].

4.4.1.2. La taille de restauration (pour rajeunir de vieilles charpentières)

Cette opération doit être faite lors de la période de reprise en végétation, sous irrigation et fertilisation, [104].

Les agrumes émettent facilement des gourmands sur le vieux bois. Il est donc possible de couper sévèrement les branches charpentières pour reconstituer une nouvelle ramure, en les ramenant à 40 cm environ du tronc. Il est nécessaire d'appliquer un mastic cicatrisant sur les plaies, [104].

Dans les années qui suivent cette intervention, il faut assurer le suivi des opérations d'éclaircies et de pincements pour reformer parfaitement la ramure, [104].

4.4.2. Effet de la conduite architecturale de l'arbre sur le développement des ravageurs

La conduite architecturale de l'arbre fruitier est un moyen essentiel de contrôle de la régularité et de la qualité de la production. Par ailleurs, l'effet de la conduite de l'arbre sur le développement des ravageurs est notamment étudié par rapport à la réaction de croissance de l'arbre à des opérations de taille, [105].

L'ensemble de ces opérations modifie l'architecture de l'arbre, la proportion respective des rameaux, , leur répartition spatiale dans l'arbre, ainsi que leur rythme de croissance, [106]. Ces modifications agissent potentiellement sur le micro-climat de l'arbre et la ressource des ravageurs, [107].

L'attractivité de la plante-hôte et les conditions au sein de la frondaison (microclimat, disponibilité et accès aux ressources, aux sites de reproduction et à des espaces sans prédateurs) peuvent par ailleurs être significativement modulés par la conduite de l'arbre, [108]. Celle-ci peut être déterminante pour le développement des ravageurs et probablement aussi pour le niveau de prédation/parasitisme des auxiliaires en verger. De manière globale, au-delà d'effets saisonniers ou liés à la biologie des d'arthropodes impliqués, la complexité de l'architecture de l'arbre favorise les insectes phytophages et est défavorable à la recherche de proies pour la plupart des auxiliaires. Les traits d'architecture à privilégier vont donc varier en fonction des cultivars, de la pression des ravageurs présents, et des méthodes de lutte directe possibles. [109].

4.4.3. Fertilisation

La fertilisation est un facteur de production d'une importance capitale. Cette technique ancestrale pratiquée depuis l'âge d'or par l'apport de matière organique sous forme de fumier, s'est effacée aujourd'hui au profit de la fertigation. Cette technique se base sur l'apport quotidien de petites doses d'engrais via l'eau d'irrigation, pour plus d'économie mais aussi de performances de la part de la culture (rendement et qualité), [110].

Cependant, pour bon nombre d'exploitations, les apports d'engrais se font en l'absence de toute démarche scientifique. Ce qui se traduit souvent par, [111].

- des apports insuffisants dont les conséquences sont très connus.
- des apports excessifs aboutissant à des risques de salinisation des sols et de déséquilibre entre les différents éléments nutritifs, [111].

Les agrumes sont de gros consommateurs d'azote. Bien qu'ils survivent sans apport d'engrais, ils végètent, et produisent peu de fruits [112].

Une fertilisation technique nécessitera de l'azote pour favoriser la végétation au printemps et en été, et de la potasse en automne pour favoriser la croissance des fruits et un engrais fort en acide phosphorique en hiver pour l'enracinement. Une fertilisation adéquate est parfois nécessaire pour donner aux plantes un certain niveau de résistance aux ravageurs, [113].

L'efficacité des engrais peut être considérablement affectée par des maladies comme le *Phytophthora*. Mais la nutrition minérale peut aussi avoir une incidence sur les parasites: le potassium limite leur propagation alors que l'azote augmente leur sensibilité aux maladies. [113].

La croissance des jeunes pousses, la floraison, la formation des feuilles et des fruits dépendent principalement des réserves minérales contenues dans le tronc, les branches, les racines et les feuilles. Ces réserves doivent être renouvelées régulièrement. [113].

4.5. Les produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires sont des substances synthétisées pour tuer les organismes cibles, également susceptibles de provoquer des effets toxiques sur la faune, la flore et le sol. [114].

Le terme général des produits phytosanitaires recouvre différentes substances à usage précis dont nous citerons les familles les plus courantes :

- Les organo-chlorés ; famille où l'on trouve le D.D.T. et ses dérivés , les lindane , interdits en France du faite de leur persistance et des risques d'accumulation dans le sols , les tissus végétaux et les graisses animales . Seuls restent autorisés : le diénochlorure et l'endosulfan, [114].
- Les organo-phosphorés ; groupe chimique développé à partir de 1944 avec le parathion (parathion éthyl et parathion méfhyl), [114].
- Les carbamates ; groupe chimique très important qui comprennent également un grand nombre de fongicides et d'herbicides, [114].
- Les pyréthrinoides de synthèse ; produits qui présentent, en général, une toxicité moindre que les organophosphorés et carbamates, une faible persistance et s (emploi à faibles doses (quelques grammes de substance active à l'hectare), [114].
- Les carbinols ; groupe voisin du D.D.T., ne comprenant pratiquement que des acaricides spécifique, [114].
- Les sulfones et sulfonates ; utilisés seulement comme acaricides. [114].
- D'autres familles découvertes plus récemment peuvent être amenées dans les années futures à se développer, et autres substances dérivées des molécules végétales des herbicides, et des fongicides dont le comportement et les effets écotoxicologiques sont très différents, [114].

4.5.1. Classification des produits phytosanitaires selon la nature de l'espèce nuisible

Les pesticides sont classés selon plusieurs groupes : les herbicides, les insecticides, les fongicides, les molluscides (contre les limaces), les nématicides (contre les nématodes), les rodenticides (contre les taupes et les rongeurs) et les corvicides (pour lutter contre les oiseaux nuisibles). Les trois types de produits

phytosanitaires les plus importants sont les herbicides, les insecticides et les fongicides, [114].

Les insecticides sont des substances actives destinées à protéger les cultures et le bétail contre les insectes. On distingue les insecticides de contact, d'ingestion ou d'inhalation, [114].

4.5.2. Principaux modes d'action et propriétés des insecticides

4.5.2.1. Insecticides neurotoxiques

4.5.2.1.1. Modulateurs du canal sodium

La perturbation de la fermeture du canal sodium voltage-dépendant et la dépolarisation consécutive de la membrane nerveuse de l'axone est un des premiers modes d'action utilisés puisqu'il concerne les pyréthrinés naturels et leurs analogues de synthèse, les pyréthrinés (deltaméthrine, lambda-cyhalothrine...) et les diphenyléthanes ou analogues du DDT. Les éthers aromatiques ou pyréthrinés non esters ont le même mode d'action. Les oxadiazines (indoxacarbe) agissent sur la même protéine cible, mais avec un effet inverse de blocage de l'ouverture du canal, [114].

4.5.2.1.2. Inhibiteurs de l'acétylcholinestérase (AChE)

Les organophosphorés (chlorpyrifos-éthyl, malathion,...), les carbamates (carbofuran, méthomyl...) et les carbamyl-triazoles (triazamate) sont de puissants inhibiteurs de l'AChE (figure.4.2), mécanisme peu sélectif compte tenu de l'homologie de cette enzyme au sein du règne animal et se traduisant par une toxicité souvent importante pour de nombreux invertébrés et vertébrés. Ils restent cependant des produits extrêmement importants sur le marché mondial, [115].

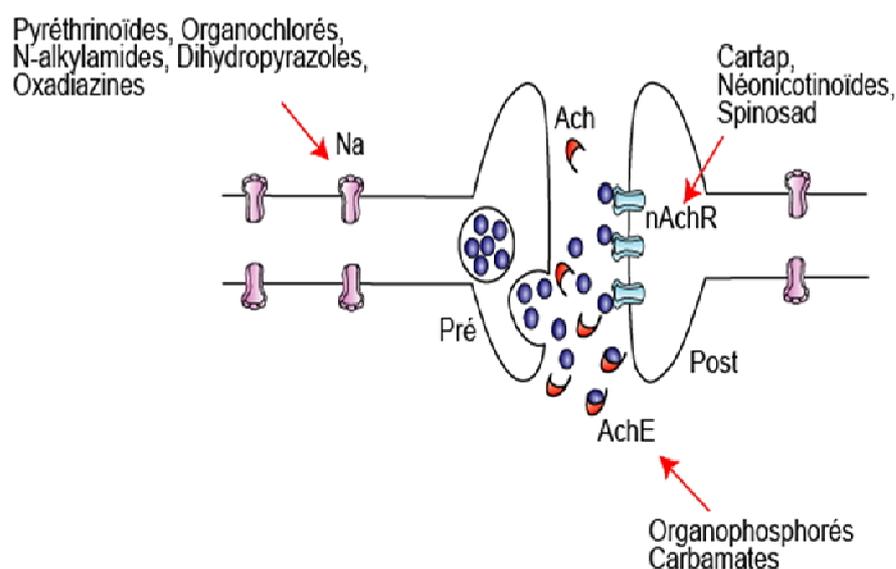


Figure 4.2 : Représentation schématique d'un neurone et d'une synapse cholinergique avec les cibles principales des insecticides, [115].

ACh : acétylcholine ; AChE : acétylcholinestérase ; AChR : récepteur cholinergique de type nicotinique. N : noyau ; Na : canal sodium ; Pré : élément présynaptique ; Post : élément postsynaptique ; RyR : récepteur à ryanodine

4.5.2.1.3. Agonistes et modulateurs du récepteur cholinergique

Le récepteur spécifique de l'acétylcholine, ou récepteur cholinergique est la cible de la nicotine et surtout des néonicotinoïdes (imidaclopride, acétamipride) ; ils se substituent à l'acétylcholine au niveau du récepteur et déclenchent l'ouverture du canal ionique associé (propriétés agonistes). Ce même récepteur est également la cible, mais avec un autre type d'interaction, des spinosynes (spinosad), toxines extraites d'un Actinomycète, [114].

4.5.2.1.4. Antagonistes du canal chlore du récepteur GABA

Les cyclodiènes (endosulfan) et les phénylpyrazoles (fipronil) agissent sur les synapses inhibitrices GABA (figure. 4.3) ; en se fixant sur le récepteur, ils empêchent l'ouverture du canal chlore qui lui est associé. , [115].

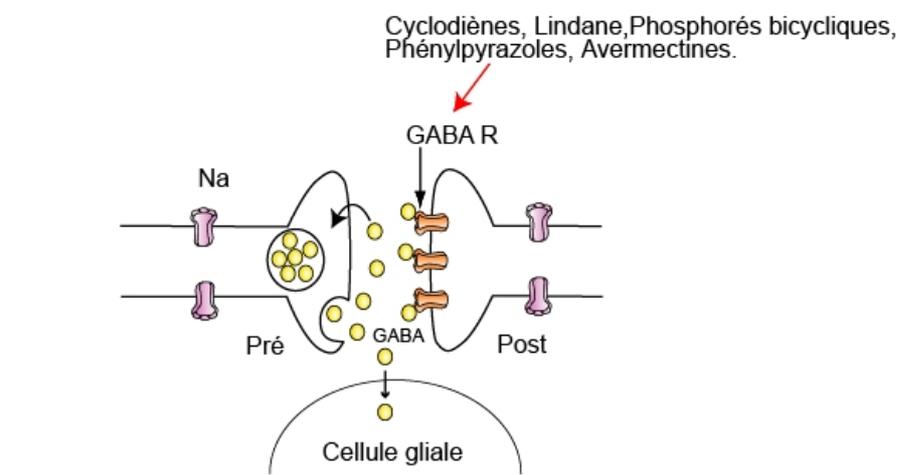


Figure 4.3 : Représentation schématique d'une synapse GABAergique avec les cibles principales des insecticides, [115].

GABA : acide g-aminobutyrique ; GABA R : récepteur au GABA ; Na : canal sodium ; Pré : élément présynaptique ; Post : élément postsynaptique.

4.5.2.1.5. Augmentation de la conductance aux ions chlore

Les avermectines (abamectine et milbemectine), toxines extraites de divers Streptomyces augmentent la conductance aux ions chlore soit par une action de type agoniste du GABA et/ou une modulation des récepteurs glutamates, [116].

4.5.2.2. Insecticides de type régulateurs de croissance

4.5.2.2.1. Mimétiques de l'hormone juvénile

Le fénoxycarbe (carbamate non neurotoxique) et le pyriproxyfène (Pyridines) montrent des effets juvénilisants du type de ceux observés avec des analogues d'hormones juvéniles (sur larves), mais aussi des effets ovicides. Bien que ces produits soient beaucoup plus spécifiques que les neurotoxiques vis-à-vis des vertébrés, ils ne sont pas sans risque pour certains auxiliaires comme l'abeille ou le ver à soie, [116].

4.5.2.2.2. Agonistes de l'ecdysone

Les benzhydrazides (tébufénozide) agissent au niveau des récepteurs spécifiques de l'ecdysone essentiellement chez les Lépidoptères, et déclenchent une mue prématurée entraînant la mort de l'insecte, [116].

Les benzoyl-urées (diflubenzuron, flufénoxuron,...) représentent la famille la plus importante de régulateurs de croissance d'insectes. Ils interfèrent avec la mise en place de la chitine au niveau de la cuticule pendant les mues, [117].

4.5.3. Impact des pesticides sur les arthropodes

Les pesticides engendrent fréquemment un déséquilibre dans les relations prédateur-proie. La destruction des populations de prédateurs est habituellement apparente quelques temps après l'application du traitement et seulement lorsque les espèces bénéfiques constituent un facteur important dans le contrôle des populations de nuisibles. Les effets néfastes des produits chimiques sur les populations de prédateurs peuvent être directs (mort immédiate de l'arthropode) ou indirects par une réduction de la fertilité et de la fécondité, de la survie des larves ou par tout autre mécanisme. Plusieurs effets sublétaux des pesticides ont été observés chez les arthropodes, affectant aussi bien les aspects physiologiques que

comportementaux. L'impact nuisible des pesticides sur les complexes d'arthropodes prédateurs peut être observable sur une longue période de temps et ce même à faible dose. Les impacts des pesticides sur les populations de prédateurs peuvent être aussi engendrés par une modification de leur environnement, due à l'emploi de ces produits. Les traitements chimiques peuvent inhiber le développement de certains organismes, tels les champignons, les mousses ou les lichens, qui peuvent constituer une source de nourriture alternative aux proies ou un refuge pour les prédateur, [118].

CHAPITRE 5

MATERIELS ET METHODES

5.1. Objectifs de l'étude

L'objectif visé dans ce travail est d'analyser l'influence des actions anthropiques sur les structures populationnelles du puceron vert d'agrumes (*Aphis citricola*). Quelles peuvent être alors les allocations des réserves énergétiques lipidiques des formes adultes assurant la dispersion de l'espèce, à travers les générations saisonnières ?. Nous essaierons également de répondre à la question de savoir si les pucerons ailés ou aptères en présence de leurs prédateurs coccinelles sont influencés via leurs réponses métaboliques et leurs abondances par les paramètres environnementaux climatiques et anthropiques.

5.2. Présentation de la zone d'étude

5.2.1. Situation géographique

La Mitidja est la plus vaste plaine sub-littorale d'Algérie, elle s'étend sur 140.000 hectares, s'étirant sur une centaine de kilomètres de long, et 5 à 20 kilomètres de large. Elle est isolée de la mer par la ride de Sahel, prenant appui sur le vieux massif de Chenoua.

A l'est d'Alger entre l'Oued Réghaia et l'Oued Boudouaou au sud et sur les marges orientales et occidentales, la Mitidja est bornée par tout un ensemble de montagnes. Au nord-ouest et à l'ouest, le Djebel Chenoua et la retombée de la chaîne de Boumaad avec le Djebel Zaccar ferment la plaine. Au sud, l'Atlas Mitidjien constitue une barrière continue. A l'est, le relais est pris par les premières chaînes de calcaire du massif Kabyle (Djebel Bouzegza). Enfin, ce sont les

hauteurs et les collines de Basse Kabylie qui ferment la plaine à l'est, [119].

La plaine ne s'ouvre directement sur la mer que sur quelques kilomètres séparant l'Oued Réghaia et l'Oued Boudouaou bordée de collines et de montagnes, elle constitue de vastes carènes dissymétriques sur fond incliné. Cette inclinaison est particulièrement nette dans la partie centrale. Sur la lisière méridionale, les altitudes dépassent toujours les 160 mètres, atteignent les 260 mètres à Blida, pour s'abaisser vers le nord. Ainsi, dans la basse plaine, le point le plus bas est à 16 mètres. Par contre, aux deux extrémités, les altitudes se relèvent jusqu'à 60 à 70 mètres à l'est [120].

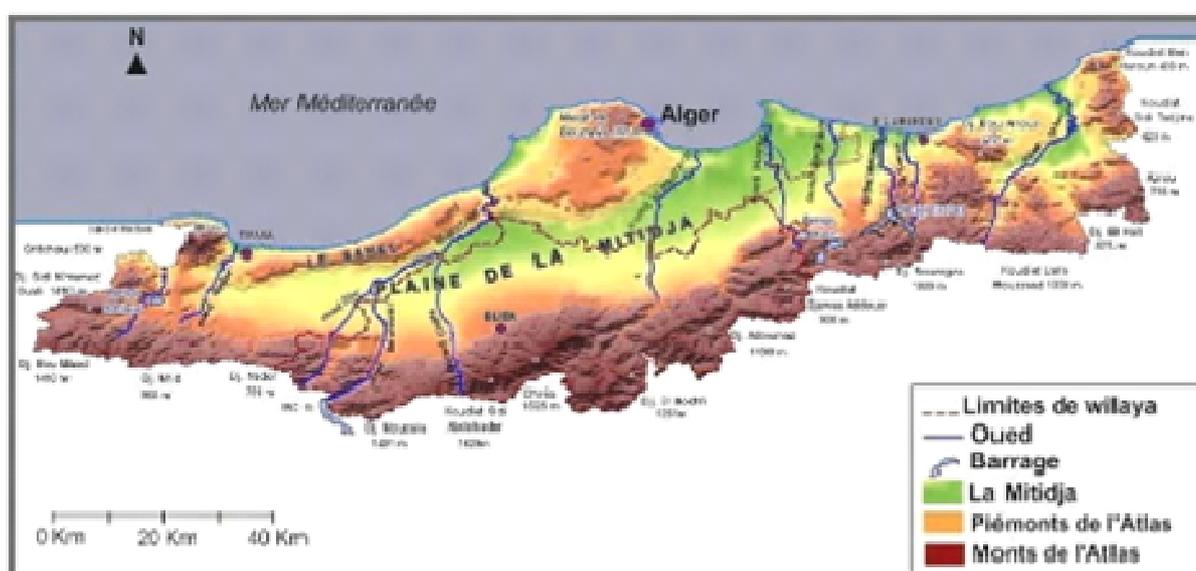


Figure 5.1: Limite géographique de la Mitidja. [121].

5.2.2. Caractéristiques climatiques

Le climat est un élément important pour la vie. Il est connu que les êtres vivants ne peuvent se maintenir en vie que sur des limites bien précises de température, d'humidité et de pluviosité [122].

5.2.2.1. La température

Les données thermiques, à savoir, les températures minimales (m), maximales (M) et moyennes mensuelles $[(m + M)/2]$ au cours des années 1998 à

2008, sont recueillies auprès de l'A.N.R.H (Agence Nationale des ressources hydrauliques, Tableau 5.1) (figure 5.2). L'analyse des températures, fait ressortir que les basses températures sont enregistrées aux mois de janvier et février. Les hautes températures sont notées durant les mois de juillet et août. Les moyennes des minimas du mois le plus froid sont enregistrées au mois de janvier de l'année 2005 avec une température de 1,5 °C, et les moyennes des maximas du mois le plus chaud sont notées au mois d'août 2005 avec 40 °C.

5.2.2.2. La pluviométrie

Les précipitations mensuelles en Mitidja ont un régime typiquement méditerranéen avec un maximum en hiver et un minimum en été [123], varient entre 600 et 900 mm en fonction de la région considérée (localisation géographique et l'altitude) [61]. Cette distribution inégale des précipitations au cours du cycle annuel et l'alternance saison humide et saison sèche joue un rôle régulateur des activités biologiques des ravageurs. [124]. (A.N.R.H)

Les données recueillies auprès de l'agence nationale des ressources hydrique (A.N.R.H) on fait l'objet de l'étude de la synthèse climatique.

Tableau 5.1 : Variation de la température et de la pluviométrie de la région de la Mitidja (Oued El Alleug), pendant l'année 2009.

Parametre	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
T.moy. (°C)	23.75	20.6	14.3	10.5	10.9	11.0	14	15.3	22.9	26.9	29.8	28.4
P.v .(mm)	50.2	131.9	111.1	150.3	167.2	20.4	65.5	83.1	28.7	0.3	1.7	1.3

5.2.2.3. Les vents

Le vent est un facteur secondaire. En Mitidja, les vents soufflent en toute saison avec une légère dominance hivernale [125].

5.2.3. Synthèse climatique

BAGNOULS et GAUSSEN définissent le mois sec lorsque la somme des précipitations moyennes exprimées en (mm) est inférieure au double de la température de ce mois ($P < 2 T$). Ils ont proposé un diagramme où on juxtapose les précipitations et les températures. Lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous de cette dernière, nous avons une période sèche.

Le diagramme Ombrothermique des années (1998 - 2008) obtenu (Figure 5.3) montre l'irrégularité du climat au cours de cette période. On remarque l'apparition d'une à deux périodes sèche qui s'étalent parfois sur huit mois de Mars à la mi Octobre, et la période humide qui s'étale sur sept mois de la mi Octobre au début Mars. Pour l'année 2008, la figure 5.2 montre une variation assez marquée d'où les constatations d'une saison froide et humide de la mi Octobre à Avril et une saison chaude et sèche de Mai à Septembre, les plus accentuées entre Juin et Août.

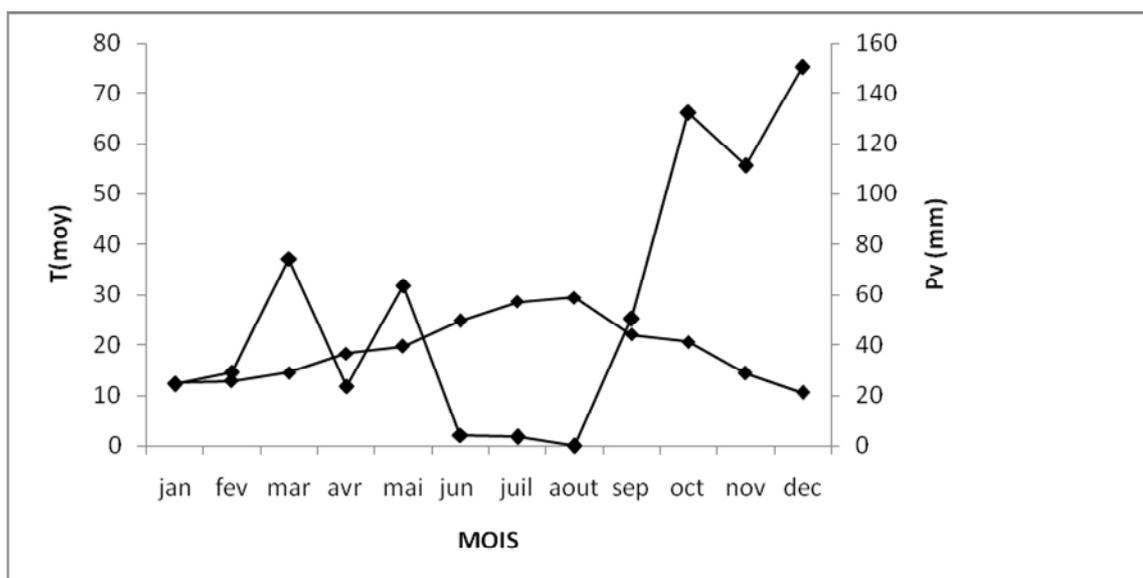


Figure 5. 2 : Diagramme ombrothermique de la région de Mitidja pour la période 2008-2009.

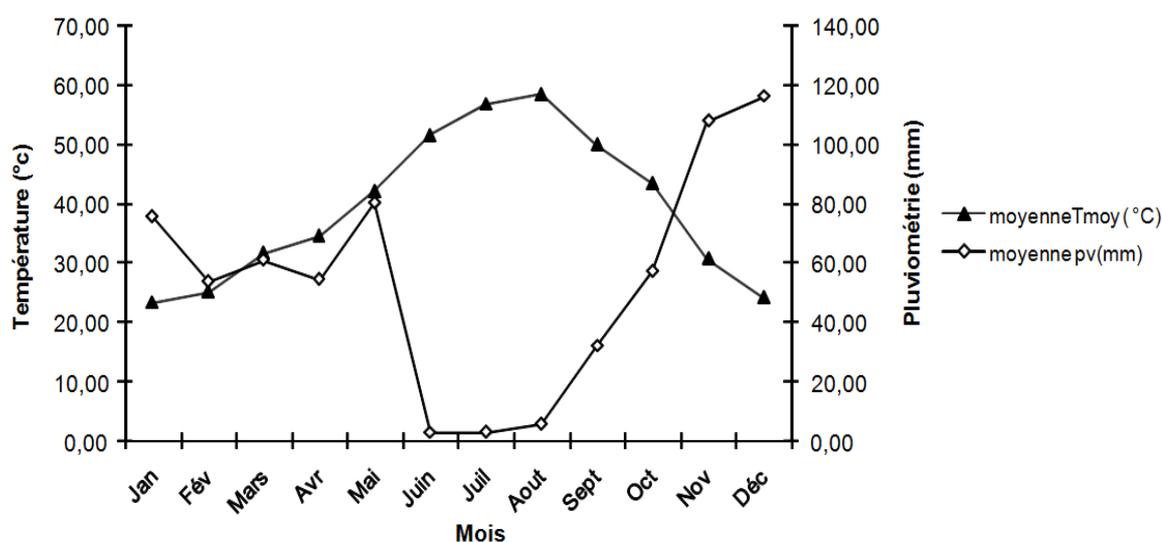


Figure 5. 3 : Diagramme ombrothermique de la région de Mitidja pour la période 1998-2008.

5.2.4. Type de climat

Pour identifier le climat de la région de Mitidja, nous avons fait appel au quotient pluviométrique d'Emberger qui se base sur le régime des précipitations et des températures et permet la caractérisation des climats et leurs classifications dans les différents étages bioclimatiques. Le coefficient pluviométrique d'Emberger est calculé selon la formule adaptée par Stewart [126].

Avec : **P** : pluviométrie annuelle (mm) ; **M** : Moyennes des températures maximale du mois le plus chaud ;
m : Moyennes des températures minimales du mois le plus froid.

$$Q_2 = 3,43 \frac{P}{M-m}$$

En plaçant les valeurs (T_{\min} ; Q_2) sur le diagramme d'EMBERGER, nous avons défini l'étage bioclimatique pour notre région d'étude et qui se situe dans l'étage sub –humide à hiver frais pour les dix ans de 1998 à 2008, ainsi pour l'année 2009 où nous constatons une augmentation des températures minimales (fig. 5.4)

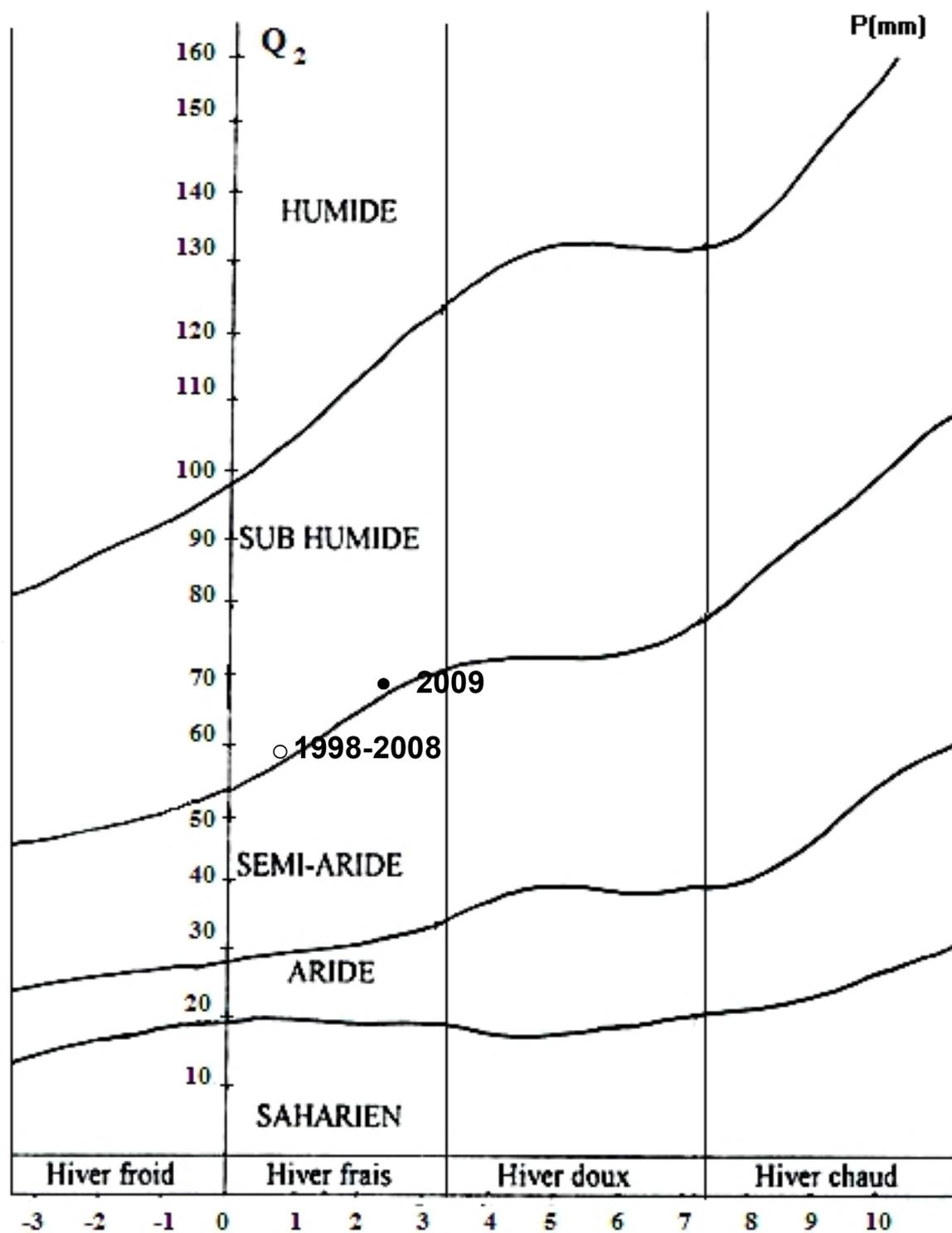


Figure 5. 4: Localisation de la Mitidja sur le climagramme D'EMBERGER de 1998 à 2008 et en 2009.

5.2.6. Présentation et caractéristiques de la station d'étude

Notre étude a été réalisée dans la région d'Oued El Alleug située au niveau de l'Atlas Blidéen dans la Mitidja centrale, dans une station d'étude privée : la ferme privé RAHOU Sid ali. Cette station s'étale sur 10 ha de superficie (fig. 5.5), elle se situe à environ 4 Km de la ville de Oued El Alleug en empruntant la route allant vers Guergour. Le verger est limité, à l'Est et l'Ouest par des brise-vent constitués de cyprès (*Taxodium distichum*).

La station expérimentale est composée de plusieurs parcelles d'agrumes (fig. 5.5) comprenant des orangers de variété Thompson Navel. Notre travail de terrain a été réalisé sur une parcelle de 2 ha de Thompson Navel dont le porte greffe est le Bigaradier, la distance de plantation étant de 6 m sur la ligne et de 6 m entre les lignes, l'âge des arbres est de plus de 30 ans.

La taille d'entretien a été réalisée pendant le mois de mai ainsi qu'un désherbage manuel et un travail du sol avec alternance du cover-crop et du cultivateur à dents. L'irrigation se fait à la raie. Un amendement minérale a été effectué avec un apport de l'urée 46% à raison de 3 qx / ha au mois de juin et de l'engrais 15.15.15 vers la fin du mois de septembre à raison de 4 qx / ha.





Figure 5.5 : Situation géographique de la station d'étude à Oued El Alleug.

5.3. Méthodes d'étude

5.3.1. Sur le terrain

La période d'échantillonnage s'est étendue au début d'avril 2009 à la fin du mois de décembre 2009. Nous avons réalisé 2 sorties par mois, soit au total 19 sorties.

L'échantillonnage a été effectué sur les individus des pucerons *Aphis citricola* ven de goot, évoluant sur les feuilles de Thompson navel des poussées de sève printanière, estivale et automnale. Pour chaque sortie, nous avons choisi 10 arbres au hasard, pour chaque arbre nous avons prélevé 4 feuilles : 2 feuilles au sud et 2 feuilles au nord des frondes. Les individus de pucerons d'agrumes *Aphis citricola* sont comptés par échantillons prélevés à chaque sortie, et sont mis par unités de dix (10) dans des tubes Eppendorf de 1,5 ml puis conservé à - 20°C,

pour être analysés ultérieurement. Chaque forme biologique est soigneusement observée à l'aide d'une loupe binoculaire. Pour chaque sortie, on établit ainsi le nombre total de larves, de nymphes (déterminées par la présence des ptérothèques, ce sont les futures ailés), les adultes ailés et les adultes aptères.

Nous avons comptabilisé les différentes catégories d'aphidiphages de la même manière que celle utilisée pour l'échantillonnage des pucerons.

5.3.2. Au laboratoire

L'essentiel de notre travail a consisté à quantifier les taux des lipides des formes adultes d'*A. citricola*: les ailés d'une part et les aptères d'autre part à chaque sortie d'observation. D'autre part, nous avons considéré un individu de coccinelle par date d'observation et de présence pour mesurer les teneurs lipidiques. Parmi les aphidiphages observés, seules les coccinelles étaient très fréquentes par rapport aux autres prédateurs chrysopidae et syrphidae. Les matériels utilisés pour ces quantifications sont un Spectrophotomètre, une Centrifugeuse (NUVE), des micro pipettes et des Tubes Eppendorf de 1.5ml.

L'extraction des lipides a été réalisée selon la méthode de VAN BRUMMELEN et SUIJFZAND [127] :

Les lipides étant les macromolécules les plus hydrophobes, (caractéristique chimique unique des lipides), ils peuvent être extraits sélectivement au moyen de solvant organique. Un mélange monophasique 1 :2 :0.8 (chloroforme : méthanol : eau bidistillée) est versé dans les tubes contenant les pucerons et est utilisé comme solution d'extraction. Ainsi :

- ✓ 400µ du mélange monophasique sont versés dans les tubes Eppendorf contenant les 10 individus d'*Aphis citricola*.
- ✓ Les tubes sont en suite mis à centrifuger pendant 5 minutes à 14000 tours/min.

- ✓ on rajoute du chloroforme dans chaque tube, ce qui induit la séparation du mélange en deux phase, puis agiter à la main pendant 1minute ;
- ✓ On attend que l'extrait se sépare en deux phases, celle contenant les lipides dans le chloroforme se trouve au fond des tubes ;
- ✓ On récupère ces culots (3 fois 1ml de chloroforme) avec des pipettes pasteur et on les met en commun, puis on les faire sécher sur du sulfate de sodium ;
- ✓ Le sulfate de soduim est en suite rincé avec 4 fois 1ml de chloroforme ;
- ✓ Le chloroforme est évaporé sous flux d'azote ;
- ✓ On ajoute 300 μ de H₂SO₄ au résidu issu de l'évaporation, puis les mettre à l'étuve à 100°C pendant 10 minute ;
- ✓ Après refroidissement, rajouter 2,5 ml de la solution de vanilline ;
- ✓ Lire la densité optique à l'aide du spectrophotomètre à 540 nm au bout de 10 minutes.

5.4. Analyses statistiques des données

5.4.1. Analyses de variance

Lorsque on veut savoir si une variable quantitative varie significativement selon des conditions qui l'entoure, il est préconisé de réaliser une analyse de la variance. Dans les conditions paramétriques (ANOVA pour *ANalysis Of VAriance*), la distribution de la variable quantitative doit être normale. Nous avons utilisé le modèle GLM de l'analyse de la variance quand il s'agissait d'étudier l'effet des

facteurs séparément sur la variable dépendante. Les différentes analyses de variance ont été réalisées à l'aide du logiciel Past version 1.91 de HAMMER [128]

5.4.2. L'analyse en composantes principales : (ACP) (PAST vers. 1.9)

L'analyse en composantes principales est la méthode de base de l'analyse multidimensionnelle. On l'utilise lorsqu'on a mesuré p variables numériques jouant toutes le même rôle sur n individus ou unités. On cherche alors les variables qui expliquent le mieux les différences entre eux ou elles.

Pour notre étude les variables numériques sont représentées par les travaux d'entretien, la fertilisation et les traitements phytosanitaires réalisés (codifiés par 1 ou 2, voir chapitre résultats), l'abondance des individus d'*Aphis citricola* et les dates de dénombrement de chaque sortie d'échantillonnage que nous avons regroupé selon les explications en périodes de poussée de sève. Les teneurs des réserves lipidiques représentent les variables quantitatives.

CHAPITRE 6

RESULTATS

6.1. Evolution de la population globale d'*Aphis citricola* dans le verger d'orange variété Thomson

Les fluctuations temporelles globales (tous stades confondus) d'*Aphis citricola* sont marquées par l'évolution d'effectifs importants caractérisée par deux pics d'abondance au début de mai et au début de novembre de l'année d'étude (Figure 6.1). On remarque par contre une période de déclin graduel des populations séparant ces abondances maximales, durant la période estivale à partir de juin jusqu'à la fin août. Vers la fin de novembre, les effectifs diminuent notablement en dessous de 50 individus.

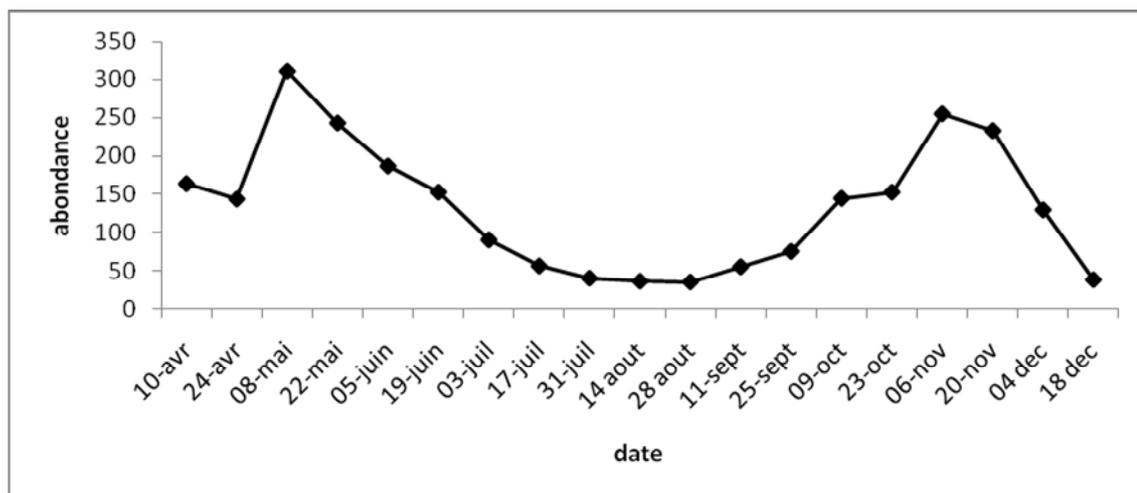


Figure 6.1 : Evolution de la population globale d'*Aphis citricola* dans le verger d'orange Thomson

6.2. Structures et fluctuations saisonnières des populations d'*Aphis citricola*

De manière générale, les populations d'*A. citricola* présentent des fluctuations temporelles, saisonnières et selon l'exposition. Les populations des trois périodes d'abondance démographique observées se structurent en trois formes biologiques larvaires, nymphales et adultes. Les distributions temporelles des abondances des différentes populations selon le nord ou le sud des frondaisons (Figure 6.2) sont analysées dans les paragraphes ci-après.

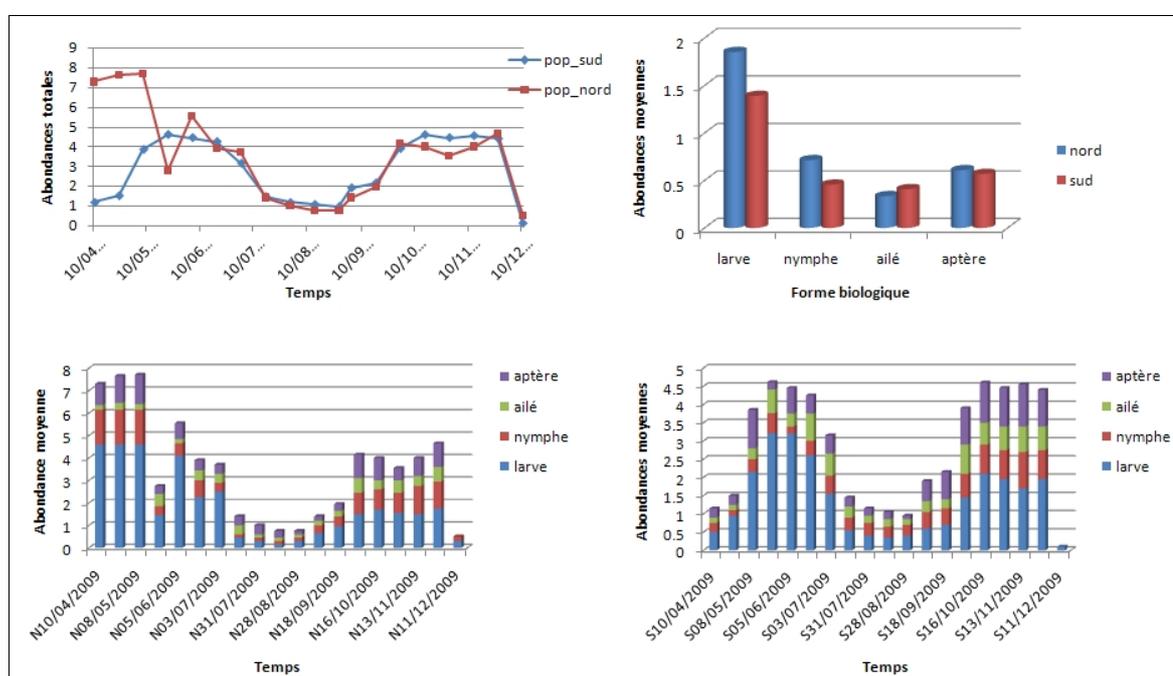


Figure 6.2 : Variations temporelles et structurales des populations d'*Aphis citricola* dans le verger d'oranger étudié en 2009. (en haut à gauche : Evolution temporelle des populations globales au nord et au sud, en haut à droite : Abondances moyennes des différentes formes biologiques d'*Aphis citricola* au nord et au sud ; en bas : Répartition temporelle des différentes formes biologiques d'*Aphis citricola* au nord (à gauche) et au sud (à droite).

6.2.1. Evolution des abondances des adultes en fonction de l'exposition durant les trois poussées de sève.

Pour donner une idée de l'évolution des adultes en tenant compte séparément des formes ailées et aptères, nous avons mis en évidence les variations temporelles des abondances de ces deux phénotypes selon la poussée de sève et de l'exposition (Figure 6.3 a et b). On observe la même tendance de

variation des abondances que dans la figure 6.1. Les populations ailées et aptères d'*Aphis citricola* situées selon l'exposition nord ou sud des arbres sont beaucoup plus abondantes durant les poussées de sève printanière et automnale comparés à celles observées pendant la poussée estivale.

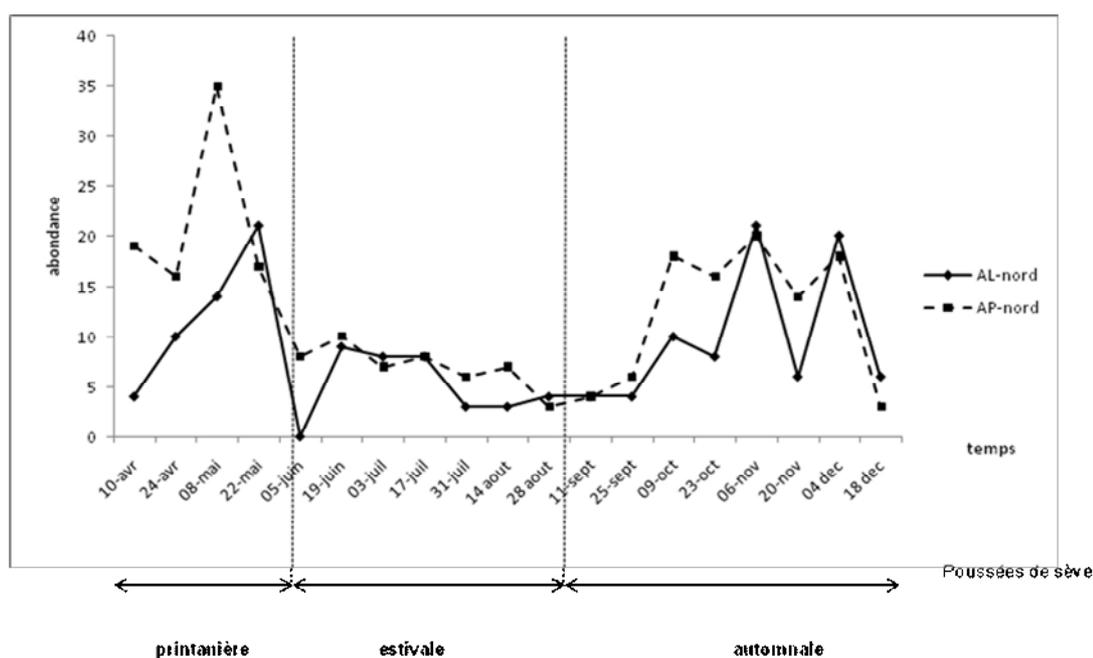


Figure 6.3 a : Occurrence temporelle des adultes ailés et aptères d'*A. Citricola* selon l'exposition nord.

La figure 5.3a représente, les abondances des aptères et des ailées que nous avons échantillonné dans la partie nord des frondaisons. Au courant de mai surtout, on observe des abondances maximales des deux formes aptères et ailées. Les aptères sont plus importants que les ailées en effectifs et on observe un décalage temporel d'occurrence des ailées de 2 semaines par rapport aux aptères. Alors que le nombre des aptères diminue au courant de mai, on voit apparaître progressivement les ailées jusqu'à la fin mai. On assiste par la suite à une diminution drastique des abondances des deux phénotypes adultes.

Pour ce qui est des abondances estivales, on constate une variation très faible des effectifs entre le début de juin et la fin d'aout.

Pendant la période de poussée automnale, on observe des abondances plus faibles comparées à celles de la poussée de printemps (Figure 6.3a). On peut distinguer trois phases de fluctuations des ailées et des aptères simultanément : la première pratiquement très stable est caractérisée par des effectifs faibles en septembre. La deuxième phase est une phase d'augmentation du nombre d'A. *citricola* au début d'octobre, mais qui a tendance à varier très faiblement en novembre-début décembre notamment pour les aptères. Les populations ailées montrent cependant des pics de présence plus importants vers le début de novembre et le début de décembre. La troisième phase se caractérise par une chute des abondances durant tout le mois de décembre

La figure 6.3b représente, les abondances des aptères et des ailées que nous avons échantillonné dans la partie sud des frondaisons. Durant la période de poussée printanière, au début de mai, on observe une abondance maximale des aptères. Le maximum d'effectifs des ailées, plus faible, n'est cependant noté que vers la fin de ce mois. On remarque également une différence d'apparition dans le temps différée à 2 semaines pour les ailées, période pendant laquelle le nombre des aptères diminue parallèlement à l'apparition progressive des formes migratrices jusqu'à la fin mai.

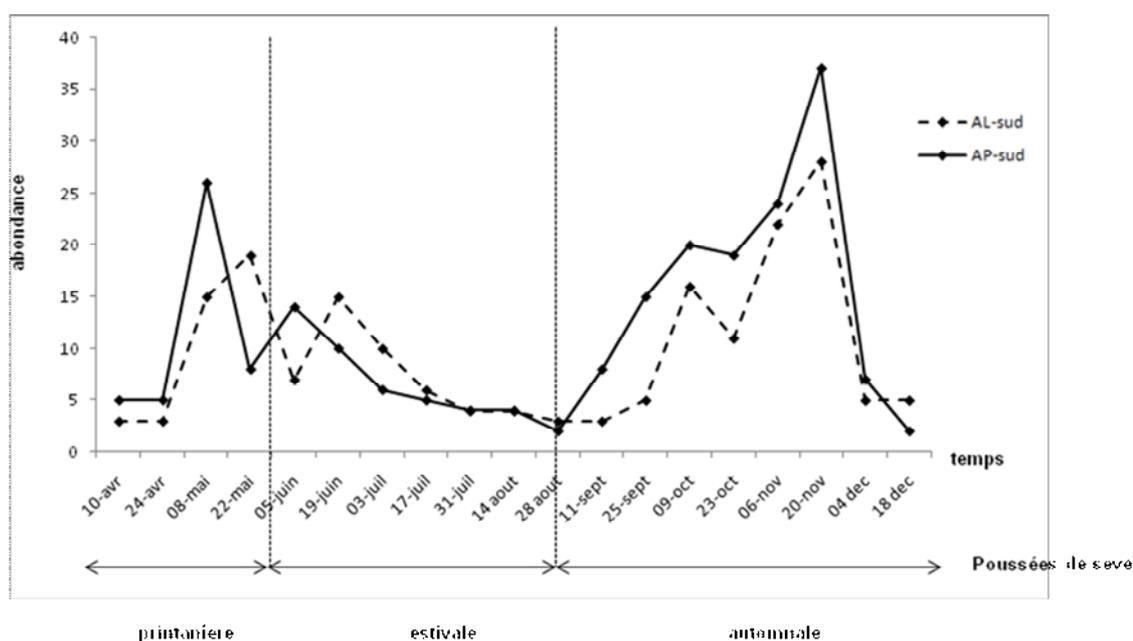


Figure 6.3 b : Occurrence temporelle des adultes ailés et aptères d'*A. citricola* selon l'exposition sud.

Durant la poussée estivale, on constate une variation très faible des effectifs entre le début de juin et la fin d'août. Les abondances ne dépassent pas les 15 individus entre début et mi juin pour les deux formes avec des pics de présence décalés d'une dizaine de jours entre les ailées et les aptères. A partir de mi juin, les abondances populationnelles chutent rapidement avec quelques rares individus entre juillet et août.

Pendant la période de poussée automnale, on observe des abondances plus élevées comparées à celles de la poussée de printemps (Figure 6.3b). On remarque une augmentation du nombre d'individus de la forme aptère dès la fin d'août jusqu'à fin novembre suivie d'une chute drastique des effectifs. Le premier pic d'abondance des ailées sur la partie sud des arbres est par contre noté d'abord vers le début d'octobre puis vers la fin de novembre. Le nombre des ailées diminue rapidement en fin de saison automnale, durant tout le mois de décembre.

6.2.2. Evolution des abondances des larves en fonction de l'exposition durant les trois poussées de sève.

Les fluctuations des abondances larvaires d'*A. citricola* ont été appréhendées pour chaque poussée de sève et en fonction de leur occurrence au nord et au sud de la frondaison des arbres de clémentinier (Figure 6.4).

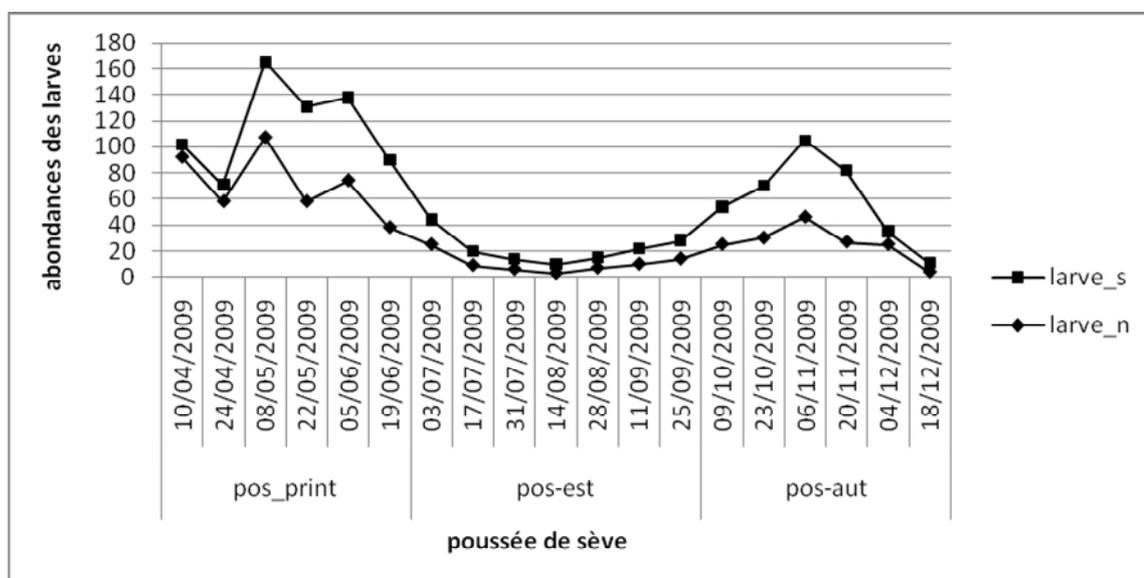


Figure 6.4 : Fluctuations saisonnières des abondances larvaires d'*Aphis citricola*.

D'une manière globale, nous avons trois constatations :

- 1- Les abondances larvaires exposées au sud sont élevées en effectifs par rapport à celles des feuilles des Thomson exposés au nord.
- 2- Le nombre de larves observé au courant des poussées printanière et estivale est élevé par rapport à celui des populations estivales plutôt très faible.
- 3- Les abondances larvaires printanières sont plus marquées que les abondances des larves observées en automne entre octobre et fin novembre.

Durant la poussée de sève printanière qui s'étale, selon les travaux de Lousser dans la Mitidja, entre fin février et début mai, on constate des pics d'abondance sur les deux expositions qui coïncident avec la fin de cette poussée (Figure 6.4). L'abondance des larves est élevée en avril mais elle tend à diminuer jusqu'à la fin de ce mois, puis augmente de nouveau vers le début du mois de mai.

Au-delà du début mai jusqu'à la fin de juin, les abondances des populations larvaires sont variables et chutent progressivement à des effectifs compris selon

l'exposition nord ou sud entre 20 et 40 individus environ respectivement. Pendant la poussée d'été qui s'étale entre juillet et août, les abondances sont faibles, notamment vers la mi août où les larves sont très rares.

Entre octobre et la fin de novembre, période qui correspond à la poussée de sève automnale, les larves présentent des occurrences maximales au début du mois de novembre, entre 20 et 100 individus au nord et au sud respectivement. Les populations larvaires commencent à diminuer par la suite jusqu'à la fin de l'échantillonnage vers le début de la période hivernale.

6.2.3. Evolution des abondances des nymphes en fonction de l'exposition durant les trois poussées de sève.

Les fluctuations des abondances nymphales d'*A. citricola* ont été analysées pour chaque poussée de sève sur les deux expositions (Figure 6.5).

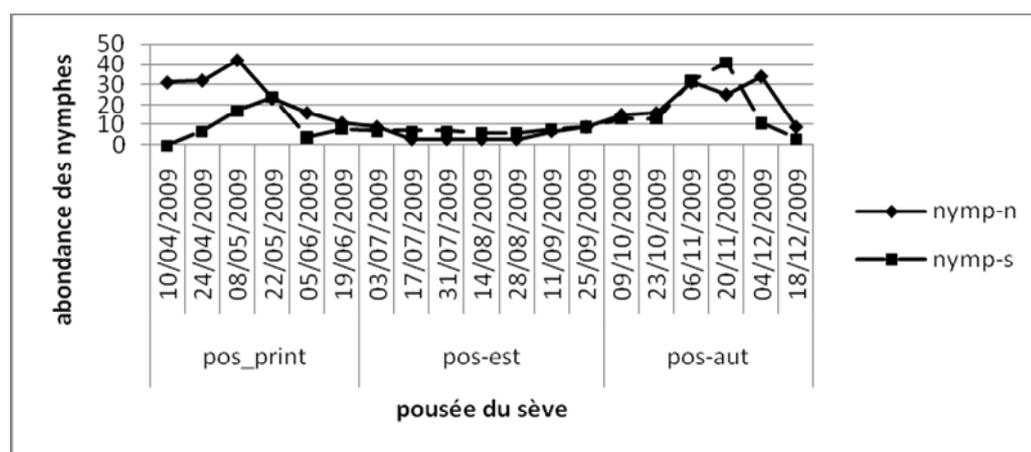


Figure 6.5 : Fluctuations saisonnières des abondances nymphales d'*Aphis citricola*.

- 1- Les abondances nymphales exposées au nord sont élevées en effectifs par rapport à celles des feuilles de Thomson exposés au sud pendant la poussée printanière.
- 2- Le nombre de nymphes observé au courant des poussées printanière et automnale est élevé par rapport à celui des populations estivales nettement plus faible.

Durant la poussée de sève printanière les effectifs des formes nymphales du nord et du sud augmentent rapidement (Figure 6.5).

Les maximums de présence sont notés avec un décalage de 14 jours entre le 8 et le 22 mai. On observe par la suite, une diminution des nymphes dès le début mai au nord et bien plus tard vers le début juin pour les nymphes du sud des frondaisons.

Pendant la poussée estivale, on remarque que les abondances des populations nymphales sont très faibles à rares. Cependant, les populations regagnent de densité à partir 11 septembre.

La population nymphale durant la poussée de sève d'automne est caractérisée par un maximum d'effectifs de 40 individus au sud durant le 3eme semaine de novembre, et un maximum de 35 individus au nord au début de décembre.

On remarque comme pour la poussée de printemps, un décalage de présence de nymphes de 14 jours.

6.3. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des différentes formes biologiques

Nous avons expliqué les différences de présence et d'abondance des populations d'*A. citricola* par des analyses de variance en tenant compte des facteurs période (poussée de sève) et exposition séparément.

6.3.1. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des populations larvaires

Dans les tableaux 6.1, 6.2 et 6.3 ainsi que les figures 6.6 ; 6.7 et 6.8, nous présentons les résultats relatifs aux analyses de variance de la comparaison des moyennes des abondances durant les trois périodes de poussées.

Tableau 6.1 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances larvaires selon l'exposition durant la poussée printanière (période du 10 avril au 5 mai).

Source	Somme écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
EXPOSITION	5162.667	1	5162.667	25.041	0.038
DATE	2294.333	2	1147.167	5.564	0.152
Erreur	412.333	2	206.167		

Les populations larvaires au nord d'après la figure 6.6 b sont significativement différentes de celles du sud ($P = 0.03 < 5\%$, tab. 6.1) avec des abondances nettement élevées. Par contre, malgré que l'abondance des larves est importante au début mai par rapport au courant d'avril (Figure 6.6a), il n'y a pas de variation significative entre les abondances larvaires des périodes de prélèvement, ($p = 0.15 > 5\%$, tab. 6.1)

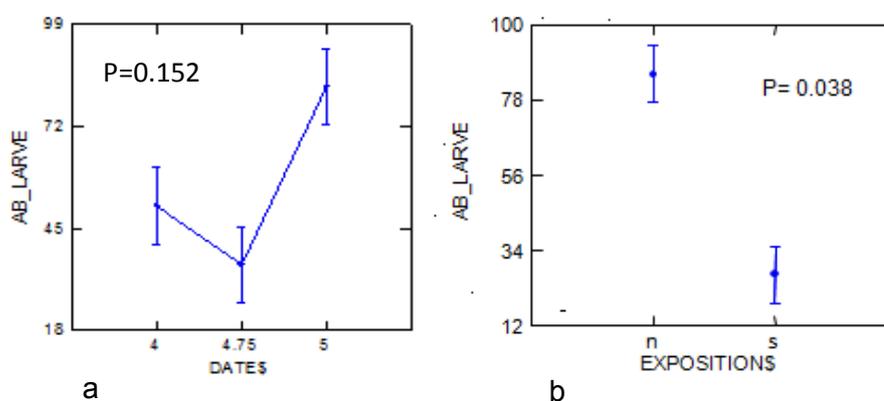


Figure 6.6 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances larvaires durant la poussée de sève printanière.

Tableau 6.2 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances larvaires selon l'exposition durant la poussée estivale.

Source	Somme des écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
EXPOSITION	1.786	1	1.786	0.349	0.576
DATE	390.429	6	65.071	12.712	0.003
Erreur	30.714	6	5.119		

Le modèle GLM de l'analyse de la variance présente une différence non significative de l'abondance des larves par rapport à l'exposition ($p=0,57 > 5\%$), mais une différence significative par rapport à la date ($p=0.003, < 5\%$, tab. 6.2).

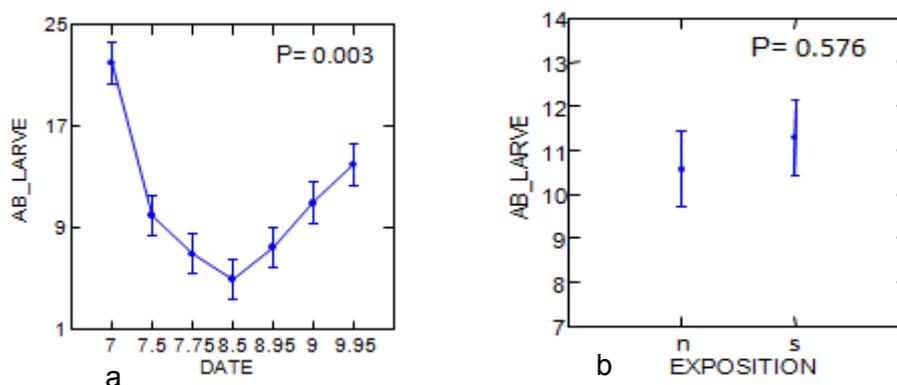


Figure 6.7 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances larvaires durant la poussée de sève estivale.

D'après la figure 6.7a, l'abondance des larves est très élevée au début de juillet, elle tend à diminuer jusqu'à la moitié du mois d'août pour réaugmenter par la suite jusqu'à la fin de septembre. A cette date, l'abondance larvaire apparaît plus faible. Les larves se répartissent de manière similaire du nord au sud des frondaisons avec des valeurs comprises entre 10 et 11 individus (Figure. 6.7b).

Nous avons consigné dans le tableau 6.3 et la figure 6.8, les résultats de l'analyse des abondances larvaires pendant la poussée automnale.

Tableau 6.3: Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances larvaires selon l'exposition durant la poussée automnale

Source	Somme des écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
EXPOSITION	160.000	1	160.000	1.314	0.316
DATE	1423.400	4	355.850	2.923	0.162
Erreur	487.000	4	121.750		

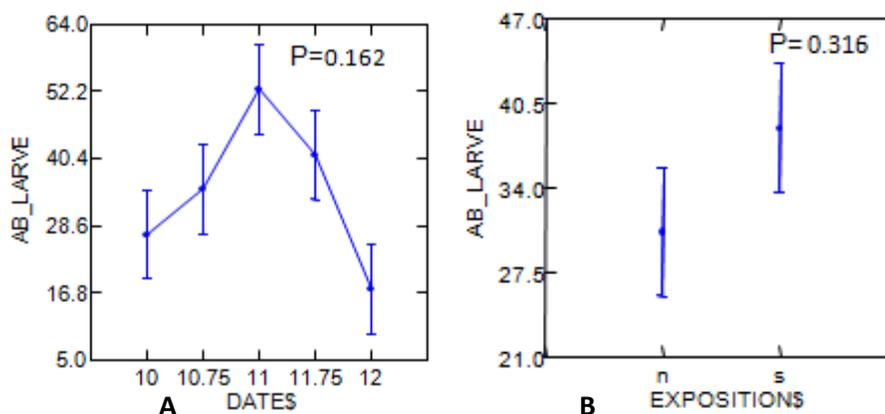


Figure 6.8 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances larvaires durant la poussée de sève automnale.

Nous remarquons que ni la date, ni l'exposition n'ont une influence sur l'abondance des larves durant cette poussée de sève (tab. 6.3, $p > 5\%$). En effet les différences entre les moyennes des abondances ne sont pas significatives, malgré que un nombre élevé et maximal de larves est constaté au début novembre, par rapport au début du mois d'octobre (Figure. 6.8a). Les présences larvaires sont différentes du nord au sud mais ne sont pas significatives. On constate plus de larves au sud qu'au nord cependant (Figure 6.8b).

6.3.2. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des populations nymphales

Dans les tableaux 6.4 6.5 et 6.6 ainsi que les figures 6.9 ; 6.10 et 6.11, nous présentons les résultats relatifs aux analyses de variance de la comparaison des moyennes d'abondance pour les trois poussées.

Tableau 6.4 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances nymphales selon l'exposition durant la poussée printanière

Source	Sum-of-Squares	df	Mean-Square	F-ratio	P
EXPOSITION	1093.500	1	1093.500	182.250	0.005
DATE	208.000	2	104.000	17.333	0.055
Erreur	12.000	2	6.000		

Les populations nymphales au nord, d'après la figure 5.9 et le tableau 5.4, ont des abondances hautement significativement ($P= 0.005 < 1\%$). On retrouve nettement plus de nymphes au nord ; par rapport à l'exposition sud où les individus sont plutôt rares (Figure. 5.9b). On note, en outre, une augmentation des abondances plus ou moins faible durant le mois d'avril et presque le double de la 3eme semaine d'avril au début mai (Figure. 5.9a).

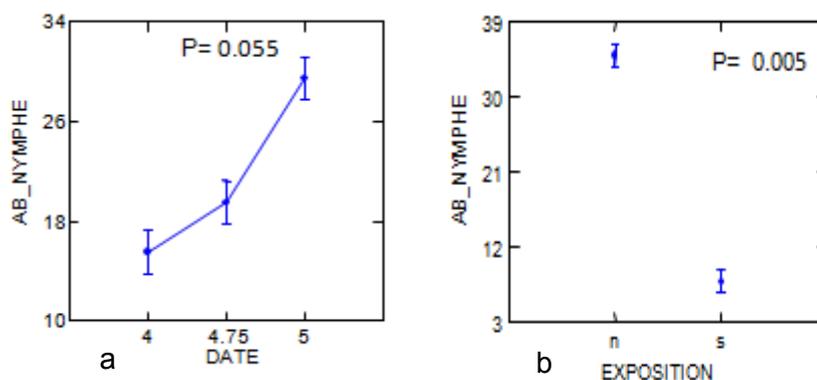


Figure 6.9. Influence de la date et de l'exposition sur les abondances nymphales durant la poussée de sève printanière.

Le modèle GLM de l'analyse de la variance reflète une différence non significative de l'abondance des nymphes par rapport à la date, et marginalement significative par rapport à l'exposition (tab.6.5).

Tableau 6.5 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances nymphale selon l'exposition durant la poussée estivale

source	Somme des écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
EXPOSITION	12.071	1	12.071	4.694	0.073
DATE	42.857	6	7.143	2.778	0.120
Erreur	15.429	6	2.571		

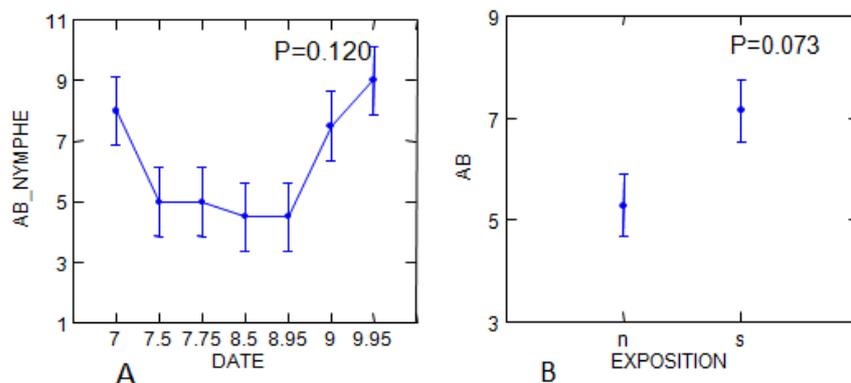


Figure 6.10 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances nymphales durant la poussée de sève estivale.

D'après la figure 6.10a, nous avons trois périodes d'occurrence des nymphes d'*A. citricola*. La première correspond à une diminution des effectifs du début au mi juillet ; la seconde se caractérise par une stabilisation du nombre de nymphes du mi juillet à la fin d'aout, la troisième enfin est marquée par une augmentation très rapide de la population nymphale durant tout le mois de septembre.

Tableau 6.6 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances nymphale selon l'exposition durant la poussée automnale

source	Somme des écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
EXPOSITION	12.100	1	12.100	0.125	0.742
DATE	651.400	4	162.850	1.681	0.313
Erreur	387.400	4	96.850		

Durant la poussée automnale, la période de prélèvement ainsi que l'exposition n'ont pas d'effet sur les abondances des populations nymphales ($p > 5\%$). L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas de significativité de l'exposition et de la date sur l'abondance des nymphes (tab. 6.6).

Les abondances les plus marquées des nymphes sont observées au courant de novembre, elles diminuent au-delà, alors qu'elles sont faibles en

octobre, ne dépassant pas les 13 individus en moyenne (Figure. 6.11a). Or, l'abondance nymphale bien que plus importante sur l'exposition nord n'est significativement pas différente de celle du sud (tab. 6.6 et Figure. 6.11b).

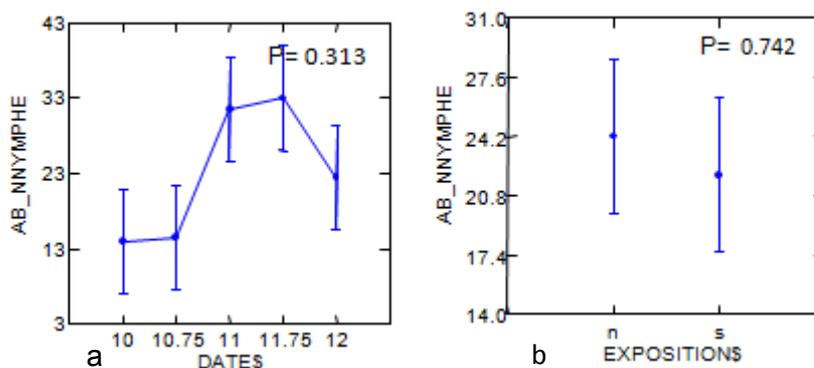


Figure 6.11 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances nymphales durant la poussée de sève automnale.

6.3.3. Influence de la poussée de sève et de l'exposition sur les variations d'abondance des populations des adultes

Nous nous sommes posé la question de savoir si les abondances des phénotypes ailés et aptères différaient d'une part par rapport au phénotype lui-même et par rapport à l'exposition durant nos périodes d'échantillonnage correspondant à chaque poussée de sève respective. Les tableaux 6.7, 6.8 et 6.9 ainsi que les figures 6.12, 6.13 et 6.14, présentent les résultats des analyses GLM et des évolutions des abondances pour chaque cas.

Tableau 6.7 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances des adultes selon l'exposition durant la poussée printanière.

Source	Somme des écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
ADULTE	270.750	1	270.750	12.002	0.010
EXPOSITION	140.083	1	140.083	6.209	0.041
DATE	552.167	2	276.083	12.238	0.005
Erreur	157.917	7	22.560		

Les résultats de l'analyse de la variance tenant en compte l'effet des facteurs forme de l'adulte, le facteur exposition et le facteur période séparément montrent une différence hautement significative de la date sur l'abondance des adultes, ($p=0,005$, $p<1\%$, tab.6.7), et des différences significatives par rapport au phénotype et à l'exposition ($p=0,01$ et $0,04$ $p<5\%$, tab.6.7).

Les populations des ailés durant la poussée de printemps sont doublement abondantes au nord par rapport au sud (Figure. 6.12a), il ya plus d'aptères que d'ailés à cette période (Figure 6.12b) et l'abondance des adultes est progressive et rapide entre la troisième semaine d'avril et le début mai (Figure. 6.12c).

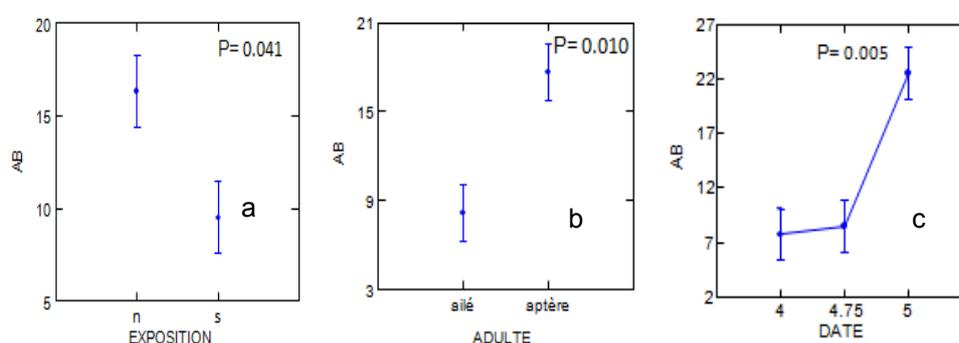


Figure 6.12 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances adultes durant la poussée de sève printanière.

Durant la poussée d'été, il n'y a pas de différence significative entre les abondances des ailées et des aptères et entre les adultes eux-mêmes selon l'exposition ($p=0.23$, $p=0.76$, $> 5\%$); l'effet de la période de prélèvement est marginalement significatif ($p=0.084$, $<5\%$, tab. 6.8).

Tableau 6.8 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances des adultes selon l'exposition durant la poussée estivale.

Source	Somme des écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
ADULTE	9.143	1	9.143	1.533	0.231
EXPOSITION	0.571	1	0.571	0.096	0.760
DATE	80.000	6	13.333	2.236	0.084
Erreur	113.286	19	5.962		

Le nombre moyen des adultes diminue durant tout le mois de juillet, leur abondance varie faiblement en août puis elle augmente rapidement au courant du mois de septembre (Figure. 6.13a). Il ya par ailleurs autant d'adultes ailés qu'aptères (Figure. 6.12b), au courant de cette poussée.

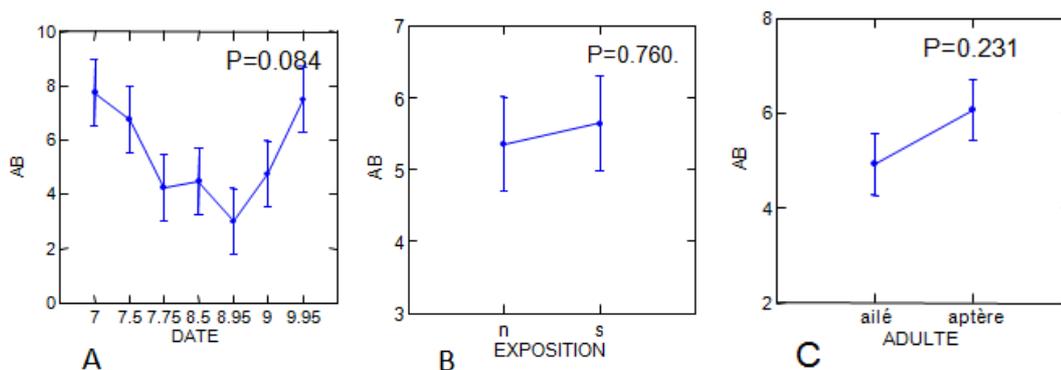


Figure 6.13 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances adultes durant la poussée de sève estivale.

L'analyse de la variance sans interactions montre que les facteurs (date, exposition et adulte) de la période automnale présentent une différence non significative sur l'abondance des adultes ($p=0.18$, $p=0.27$, $p=0.30 > 5\%$, tab.6.9).

Tableau 6.9 : Modèle GLM appliqué à la comparaison des moyennes des abondances des adultes selon l'exposition durant la poussée automnale

source	Somme des écarts	ddf	Ecart-type	F-ratio	P
ADULTE	105.800	1	105.800	1.933	0.188
EXPOSITION	72.200	1	72.200	1.319	0.271
DATE	296.500	4	74.125	1.354	0.303
Erreur	711.500	13	54.731		

On remarque une légère diminution de la population adulte en octobre suivie par une augmentation au courant de novembre puis une diminution très rapide jusqu'en décembre (Figure. 6.14a), mais cette variabilité n'est pas significative. Par ailleurs, l'abondance des aptères est supérieure à celle des ailées et il ya plus d'adultes au sud qu'au nord (Figure. 6.14b et c respectivement).

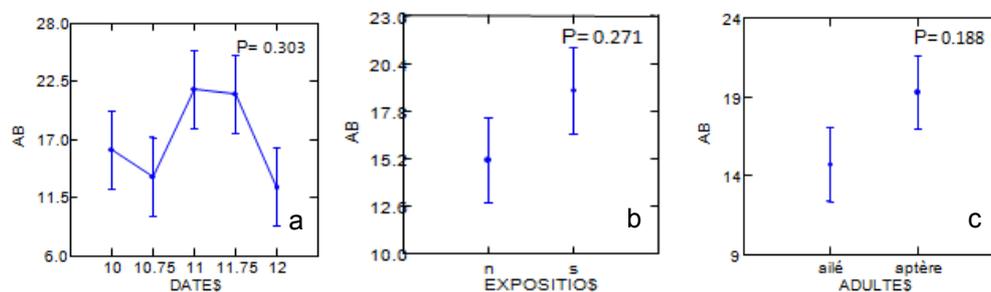


Figure 6.14 : Influence de la date et de l'exposition sur les abondances adultes durant la poussée de sève automnale.

6.4. Analyse globale de la variation démographique et temporelle du puceron *Aphis citricola* et de ses prédateurs durant les trois poussées de sève

Nous avons pris en considération le complexe *Aphis citricola* et ses principaux auxiliaires aphidiphages rencontrés pour expliquer les tendances de la variation démographique de l'espèce de puceron étudiée par rapport aux périodes de poussées d'une part, et l'occurrence des prédateurs, d'autre part.

6.4.1. Analyse globale de la variation démographique du puceron *Aphis citricola* selon les poussées de sève

Nous avons réalisé une analyse factorielle des correspondances suivie d'une classification ascendante hiérarchique (Figure. 6.15a et 6.15b) basée sur la projection des coordonnées des variables formes biologiques des deux expositions et les dates. Les différentes sorties ont été regroupées par poussée de sève, tel que mentionné dans la bibliographie, pour mieux expliquer la distribution des différentes formes et en analyser une démographie particulière des populations selon l'exposition.

La projection sur le plan d'ordination axe1-axe2 de l'AFC réalisée avec Past version 1.95 [128] donne plus de 70% de la variance exprimés sur les deux premiers axes (6.15a).

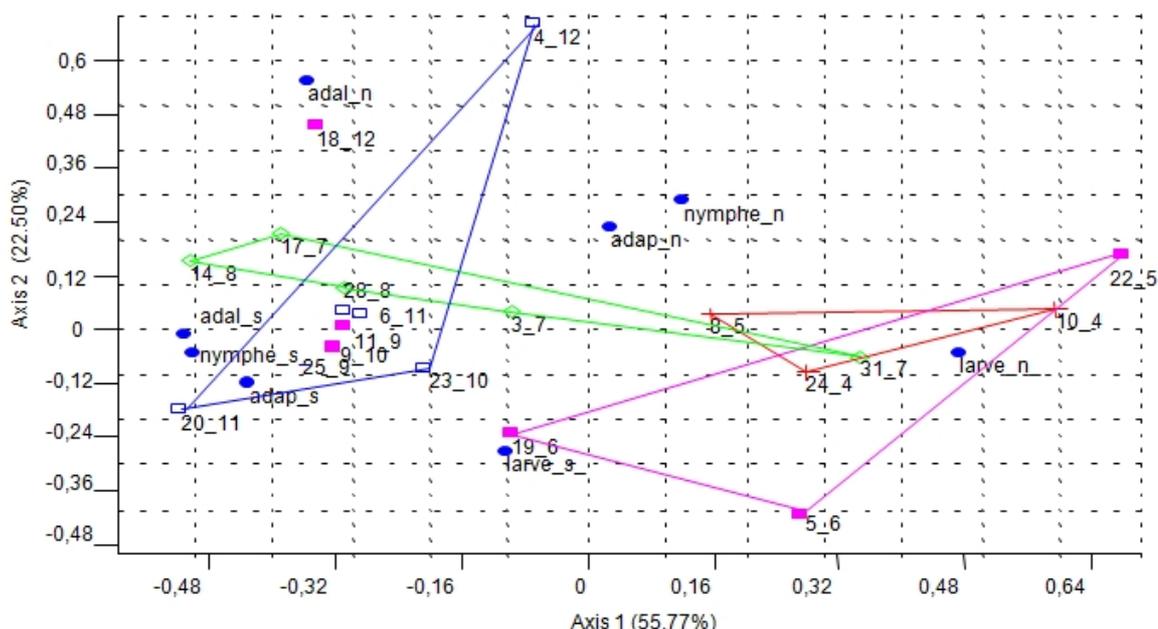


Figure 6.15a : Projection des variables formes biologiques d'*A.citricola* et périodes des poussées de sève sur les axes 1 et 2 de l'AFC. (Les enveloppes représentent les poussées de sève telles qu'elles ont été spécifiées dans la bibliographie : rouge, poussée printanière, verte, poussée estivale, bleue, poussée automnale, l'enveloppe en violet concerne les dates inter-poussées).

D'après la classification hiérarchique ascendante basée sur les mesures de similarité à partir du calcul des distances euclidiennes entre les différentes variables étudiées des trois poussées de sève avec les différentes formes biologiques d'*Aphis citricola*, on distingue la présence de quatre groupes de statuts constitutifs différents (Figure. 6.15b).

Le groupe 1 comprend les nymphes et les adultes aptères d'*A.citricola* n'ayant pas d'installation temporelle préférée selon l'exposition nord.

Le groupe 2 explique que les larves situées au nord des arbres sont omniprésentes durant toute la poussée printanière mais on peut les retrouver sur la même exposition vers la fin de la poussée estivale et sont indifférentes à l'exposition, en dehors de ces deux poussées vers le début juin.

Le groupe 3 est le plus important. Il est caractérisé par la présence de toutes les formes biologiques d'*A. citricola* installées selon l'exposition sud notamment, durant la poussée estivo-automnale.

Le groupe 4 : comprend seulement les adultes de la forme ailée installés selon l'exposition nord de la frondaison.

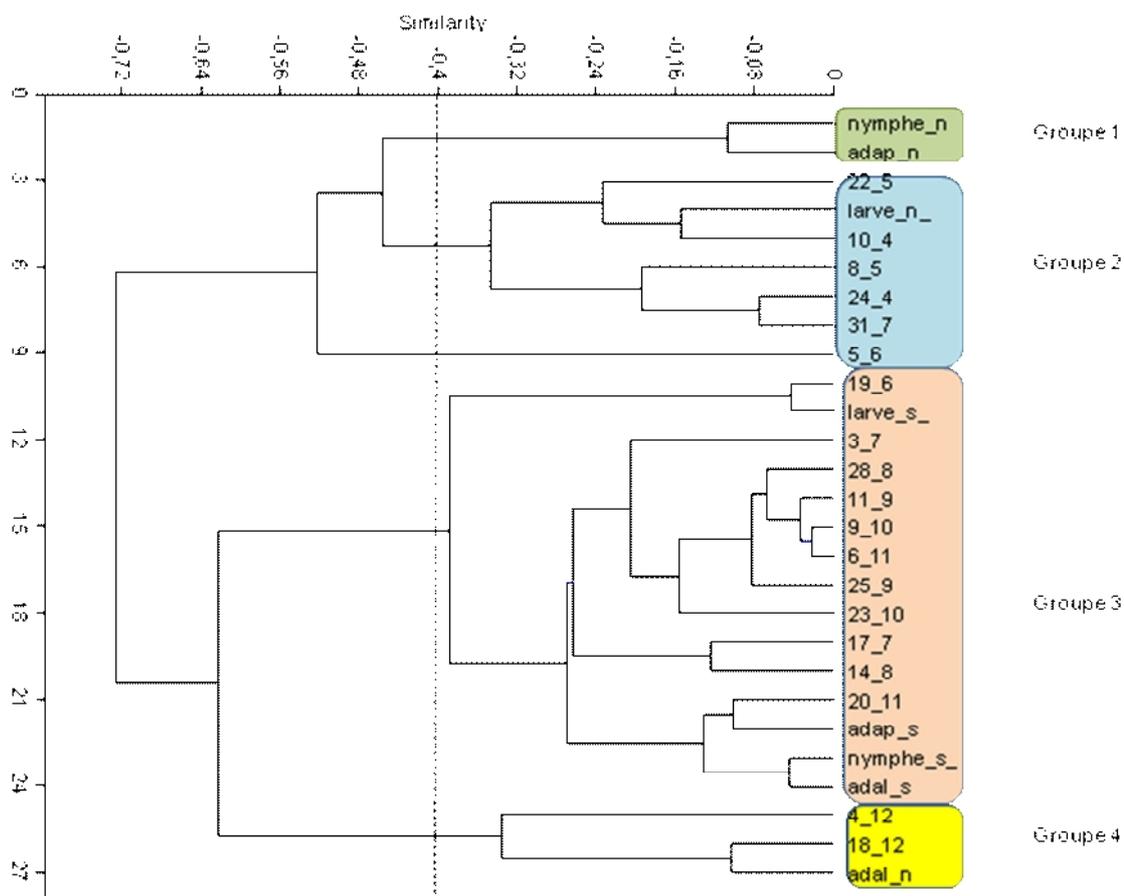


Figure 6.15b : Classification ascendante hiérarchique montrant les groupes structurés à partir des variables formes biologiques d'*A. citricola* et les périodes de poussées.

6.4.2. Analyse globale de l'abondance des auxiliaires observés avec *A. citricola* au courant des différentes de poussées de sève.

Parmi les prédateurs rencontrés tout le long de notre échantillonnage, nous avons surtout observé des coccinelles en l'occurrence *Coccinella algerica*, des syrphes et des chrysopes. La figure 6.16 nous présente l'évolution de l'abondance temporelle de ces trois catégories d'aphidiphages.

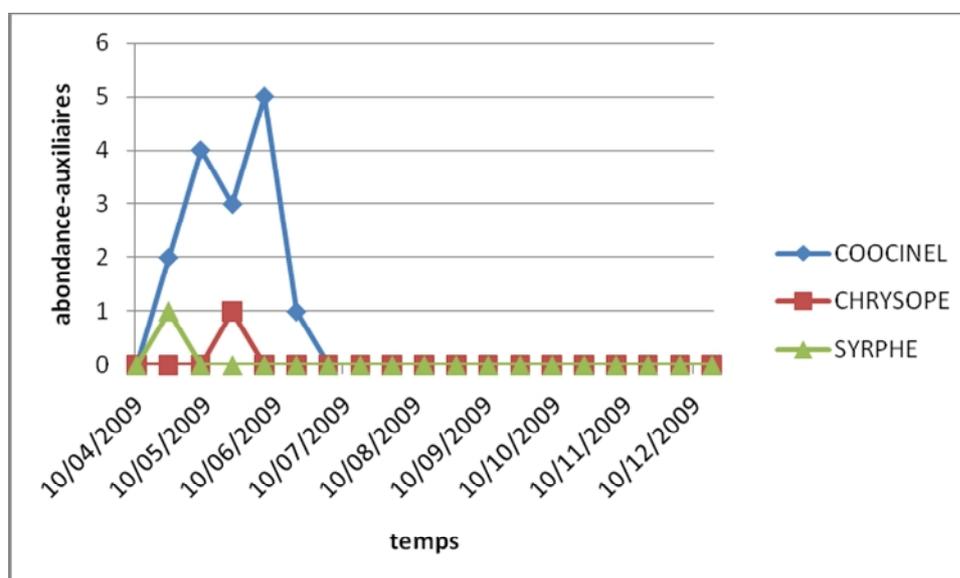


Figure 6.16 : Evolution temporelle des auxiliaires aphidiphages prédateurs dans la parcelle échantillonnée.

On remarque que les populations des aphidiphages sont d'effectifs faibles notamment pour les chrysopes et les syrphes où très souvent un seul individu a été rencontré. De manière générale, l'activité de ces prédateurs se focalise durant la période printanière entre le 10 avril et le 10 juin. En dehors de cette période, nous n'avons pas observé d'auxiliaires jusqu'à la fin de nos échantillonnages. L'abondance des coccinelles est plus élevée par rapport à celle des chrysopes et des syrphes. La population des coccinelles augmente tout le long du mois d'avril, elle atteint une abondance maximale au début mai puis au début de juin.

Les résultats obtenus à travers l'AFC et la CAH établies à partir des évolutions des abondances des différentes formes biologiques des deux expositions et les abondances des trois prédateurs selon la période de poussée sont indiquées dans la figure 6.17a et 6.17b.

La projection sur le plan des deux premiers axes est satisfaisante car elle rend compte de plus de 60% de contribution de variance aux informations.

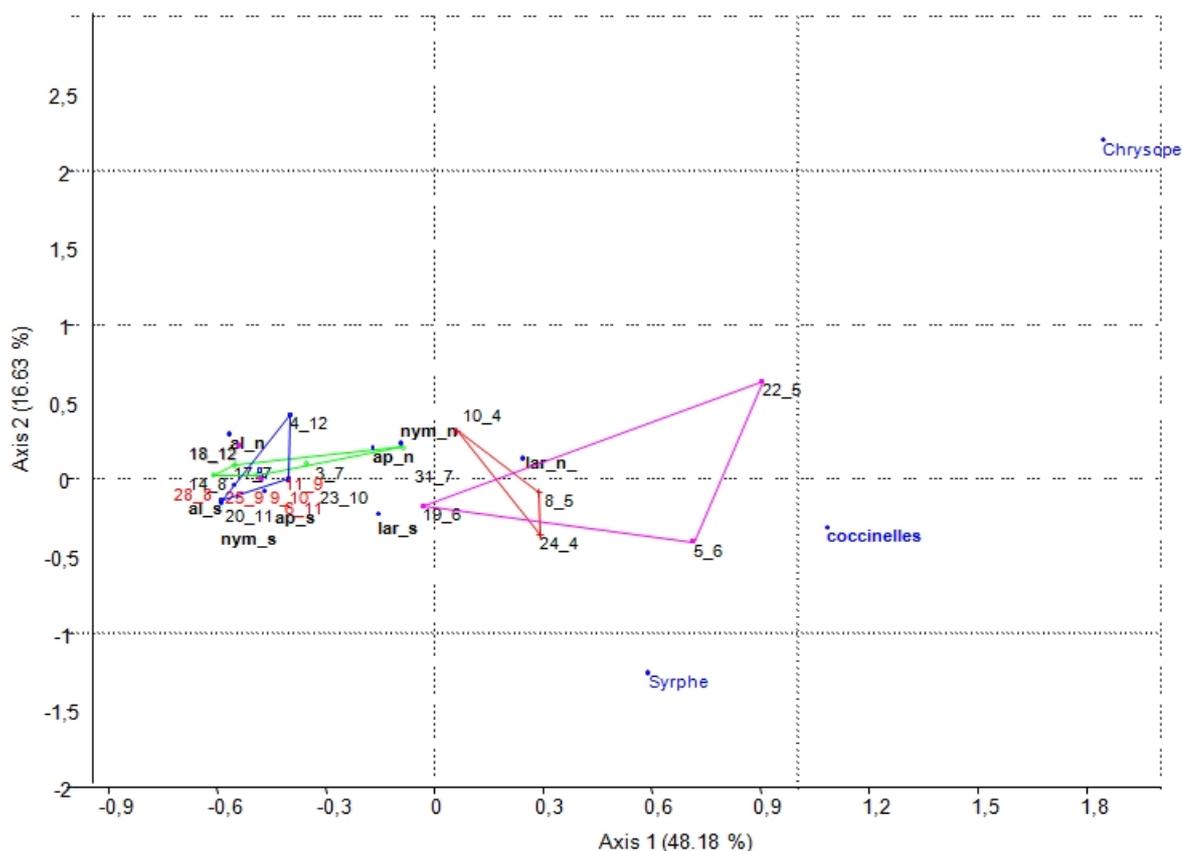


Figure 6.17a : Projection des variables formes biologiques d'*A.citricola* des périodes des poussées de sève et les abondances des prédateurs aphidiphages sur les axes 1 et 2 de l'AFC. (Les enveloppes représentent les poussées de sève telles qu'elles ont été spécifiées dans la bibliographie : rouge, poussé printanière, verte, poussée estivale, bleue, poussée automnale, l'enveloppe concerne les dates inter-poussées).

On distingue comme pour la figure 6.15a une présentation similaire des enveloppes des poussées. D'une part, l'enveloppe caractérisant la poussée de sève printanière constitue un ensemble à part. Les enveloppes caractérisant les poussées estivale et automnale se chevauchent d'autre part. Durant cette période estivo-automnale, la structure de la population d'*A. citricola* se compose essentiellement des différentes formes larves, nymphes, adultes aptères et adultes ailés particulièrement abondants selon l'exposition sud.

Les groupes des chrysopes et des syrpes constituent des groupes isolés car leurs effectifs sont très faibles à rares (Figure. 6.16) et ne sont présents qu'en avril et juin mais sans relation avec les périodes de poussée et la population aphidienne en elle-même (Figure. 6.17a et b).

Le groupe des coccinelles se rapproche de la période de poussée printanière mais leur faible abondance (Figre. 6.16) ne permet pas d'avancer une quelconque activité aphidiphage effective au niveau des arbres échantillonnés. La Cah établie dans la figure 5.17b montre en effet que les coccinelles sont présentes au début de juin et vers la fin de mai sans figurer pour autant dans le complexe démographique des formes biologiques observées au cours des trois poussées (Figure. 17a et 17b).

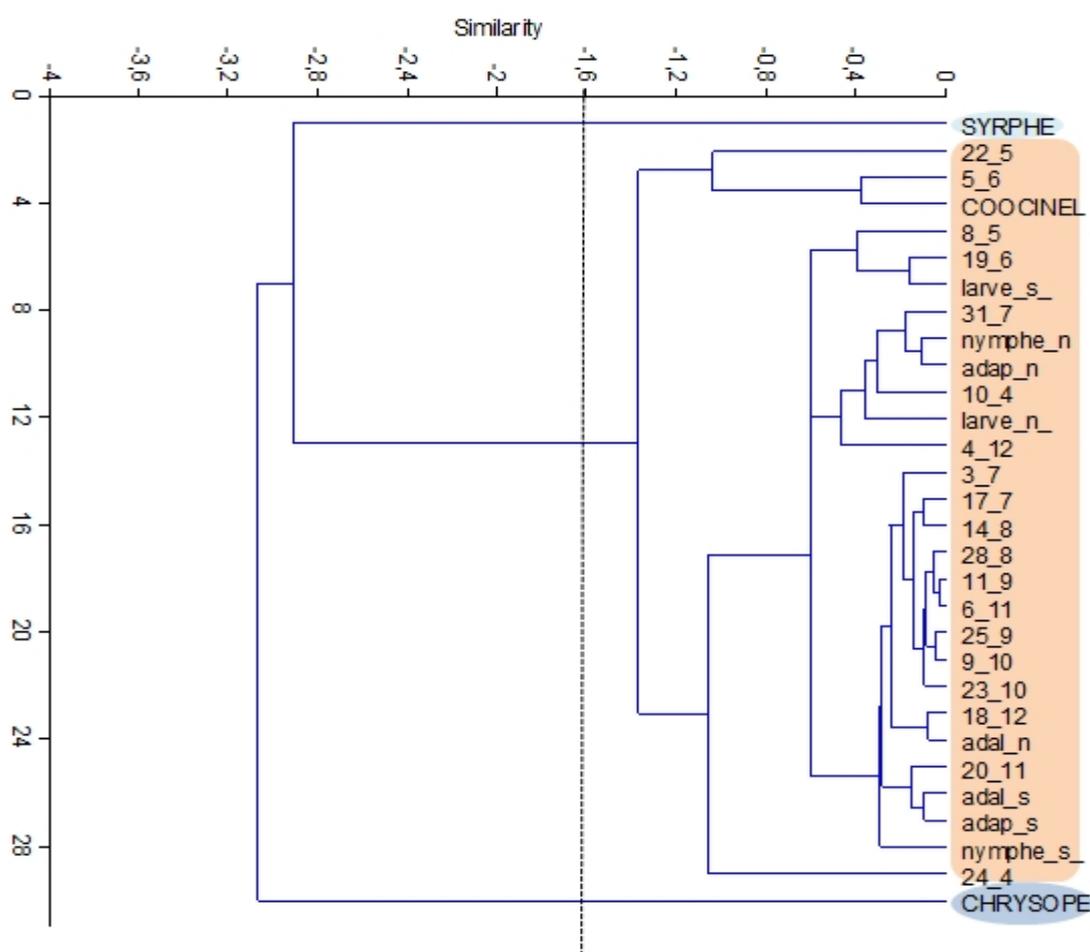


Figure 6.17b. Classification ascendante hiérarchique montrant les groupes structurés à partir des variables formes biologiques d'*A.citricola*, les périodes de poussées et l'abondance des coccinelles, des chrysopes et des syrphes.

6.5. Variation temporelle des teneurs énergétiques lipidiques des adultes d'*A. citricola* et de leurs prédateurs coccinelles.

Chez les animaux, les principales formes de stockage de l'énergie sont le glycogène et autres polysaccharides ainsi que les lipides. Les lipides proviennent des hydrates de carbone issus de l'alimentation et sont synthétisés dans le corps gras [129]. 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 [130].

C'est parce que leur disponibilité est indispensable pour faire face à un stress environnemental ou pour allouer de l'énergie aux processus de croissance, de reproduction et de maintenance des espèces [131,132], que nous avons pris en considération l'étude des réserves lipidiques dans ce travail. Nous avons pour cela analysé la variation du taux de réserves en lipides des adultes aptères et ailées ainsi que ceux des coccinelles en fonction des différentes périodes de poussée (Fig. 6. 18, 6.19 et 6. 20).

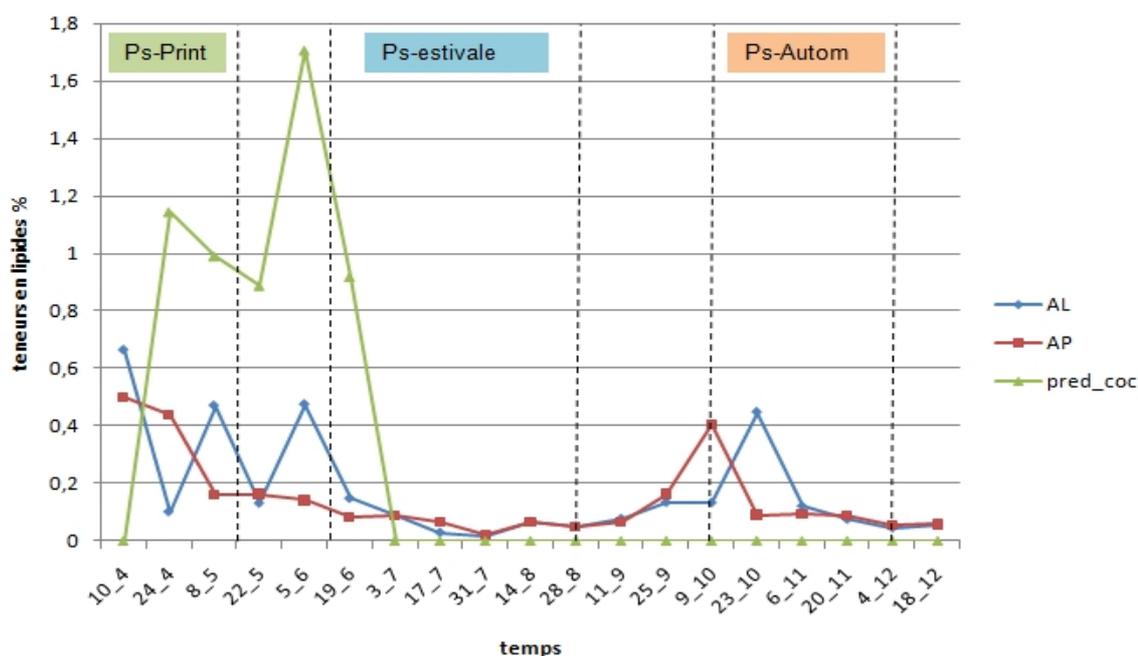


Figure 6.18 : Variation temporelle des teneurs lipidiques du complexe adultes d'*A.citricola*- coccinelles aphidiphages.

La figure 6.18. montre les variations temporelles des réserves énergétiques du puceron d'agrumes *A. citricola* et de son prédateur *Coccinela algerica*. Pendant la poussée printanière du 10 avril au 5 mai et jusqu'au 19 juin, date à laquelle, les coccinelles ont commencé à se raréfier, on remarque que le taux des lipides des aptères d'*A. citricola* diminue d'abord jusqu' à début mai, puis il tend à se stabiliser jusqu' à début juin pour rester très faible par la suite. Les taux des réserves en lipides des ailées fluctuent cependant en passant alternativement par des baisses et des augmentations entre le 10 avril et le 19 juin. Les Lipides des coccinelles sont plus importants, relativement par rapport à leur taille beaucoup plus grande que celle d'un puceron et vraisemblablement par rapport à leur nourriture consommée notamment durant la 3eme semaine d'avril puis au début juin où on constate des teneurs très élevées. Au delà de cette date, nous n'avons plus observé de coccinelles sur les arbres échantillonnés. Les populations estivales des ailées et des aptères et celles du mois de septembre manifestent des teneurs lipidiques très faibles. Des valeurs maximales des quantités en lipides sont quantifiées au début d'octobre chez les aptères puis vers la fin de ce mois chez les ailées, (fig. 6.18).

Nous avons comparé les teneurs en lipides des deux formes des adultes d'*A. citricola* par des analyses de variance sans les interactions entre les facteurs période des poussées et les phénotypes eux-mêmes (tab. 6.10).

Tableau 6.10. Modèle GLM de l'anova relatif à l'effet période des poussées et du phénotype de l'adulte d'*A. citricola* sur la variation des teneurs en lipides.

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
Forme Adulte	0.007	1	0.007	0.440	0.512
Poussée	0.474	5	0.095	5.660	0.001
Erreur	0.520	31	0.017		

Il n'ya pas de différence significative entre les lipides des adultes aptères et les adultes ailées, mais les réserves lipidiques sont très significatives ($p < 1\%$) entre les périodes de poussées et d'interpoussées (tab. 6.10 et fig.6.19).

Il est clair que les teneurs sont importantes pendant la poussée de printemps, elles diminuent au fur et à mesure que l'on avance dans la saison estivale mais elles ont tendance à augmenter faiblement en automne.

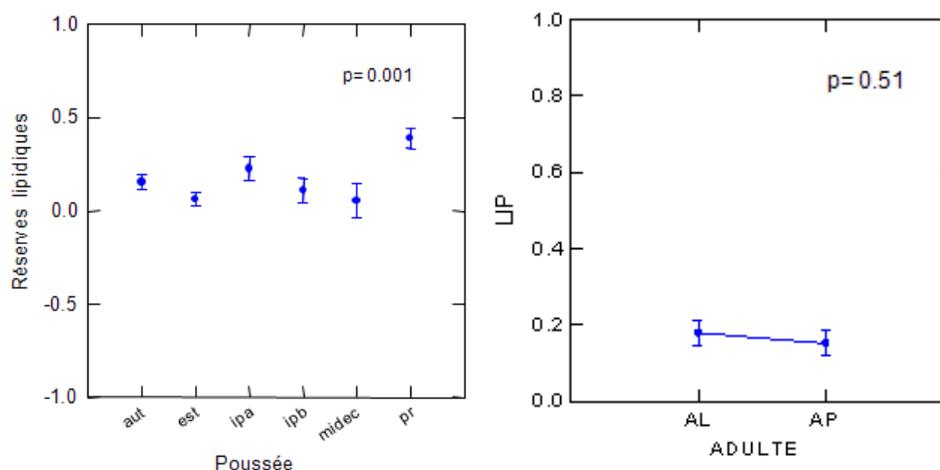


Figure 6.19 : Variations des lipides chez les adultes d'*A. citricola* durant les périodes de poussées et d'interpoussées. (aut : poussée automnale, est : poussée estivale, ipa : période inter poussée printanière et estivale, ipb : période d'inter poussée estivale et automnale, midéc : date du 18 décembre caractérisée par de très faibles effectifs)

Etant donné que les coccinelles n'ont été observées que dans la période avril-juin du 24 avril au 19 juin précisément, les lipides ont été quantifiés seulement dans cette période. Nous nous sommes posé la question de savoir si les réserves énergétiques varient de la même façon ou non pour les adultes d'*A. citricola* et pour les coccinelles. Les résultats de l'analyse du modèle GLM sont représentés dans le tableau 6.11 et la figure 6.20.

Tableau 6.11 : Modèle GLM de l'anova relatif à la variation des teneurs en lipides du complexe *A. citricola-Coccinella algerica* du 24 avril au 19 juin.

Source	somme des carrés	ddl	carrés moyens	F-ratio	P
FORME	2.703	2	1.352	28.816	0.000
PERIODE	0.304	4	0.076	1.619	0.260
Erreur	0.375	8	0.047		

La variation des lipides est très hautement significative ($p = 0.000 < 1\%$) entre les ailées, les aptères d'*A. citricola* et leurs prédateurs coccinelles durant la période de poussée de printemps.

Cependant, il n'ya pas d'effet temporel significatif au sein de cette poussée sur la production des lipides (tab. 6.11 et fig. 6.20).

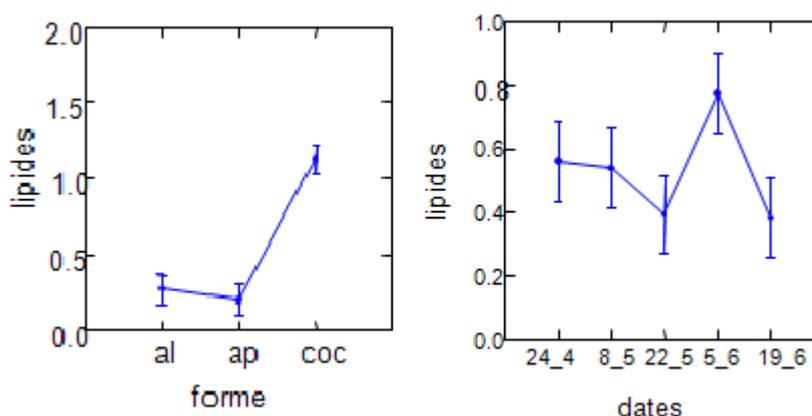


Figure. 6.20 : Variation temporelle des réserves lipidiques chez les adultes aptères et ailés d'*A. citricola* et son prédateur *C. algerica*.

Les quantités de lipides diminuent quand on avance dans la saison printanière, la teneur maximale observée vers la mi juin est celle quantifiée chez les coccinelles.

6.6. Corrélations entre les variations des teneurs en lipides et des abondances.

6.6.1. Corrélations entre les variations temporelles des teneurs en lipides, des abondances aphidiennes et les variables environnementales du verger d'oranger étudié.

Nous avons mentionné les différentes pratiques culturales et les traitements phytosanitaires réalisés durant nos périodes d'observation dans le tableau 6.12 ci-après.

Tableau 6.12. Actions d'entretien et phytosanitaire réalisées durant la période des poussées dans le verger d'oranger en 2009.

mois	entretien				traitement		
	Taille	irrigation	fertilisat ion	date	Date	Produit	dose/h a
avril	Néant						
mai					15-5	Ultracide	1l
juin		5	Urée 64%	22-6			4qx
juillet		10_21			23-7	Mondial	1l
aout		3_15_28					

septembre		7_22	NPK 15-15- 15	3-9			
octobre	Néant						
Novembre	Néant						

A chaque variable (irrigation, fertilisation et traitement), nous avons attribué un code de présence-absence (1 : absent ou 2 : présent), de manière à étudier les corrélations pouvant exister entre ces variables, les abondances des pucerons adultes d'*A.citricola*, celles des coccinelles et leurs teneurs lipidiques respectives.

L'entretien du verger moyennant les irrigations, les apports d'engrais ainsi que les interventions insecticides ont été effectués entre mai et septembre. Le verger a été irrigué une fois par mois de mai à septembre. Les intrants en fertilisants ont été apportés deux fois : vers la fin juin avec un apport d'urée et au début de septembre avec un apport mixte de NPK (azote 15, phosphore 15 et potassium 15) (tab.6.12). Par ailleurs, deux traitements insecticides ont été réalisés : l'un à base d'Ultracide 40 vers la mi mai, l'autre à la fin de juillet à base du produit insecticide Mondial.

L'analyse en composantes principales est satisfaisante dans la mesure où plus de 50% de la variance contribuent aux axes 1 et 2 (fig. 6.21). Les vecteurs iri (irrigation) et fert (fertilisation) sont orientés dans la même direction et ont des coefficients de corrélations positives sur l'axe 1. Il en est de même pour le vecteur des lipides des ailées qui a un coefficient de corrélation positive sur l'axe 2. Les vecteurs des abondances des ailées et des aptères sont par contre corrélés négativement à l'axe 2. Le vecteur caractérisant les traitements est isolé des autres et court montrant sa faible corrélation avec les autres variables (fig. 6.21).

Pour les dates d'observation elles mêmes, du 10 avril au 18 décembre, leurs positions respectives sur le plan d'ordination de l'ACP montrent que de juillet à août, au début de juin, à la mi septembre et à la mi décembre, nous avons de faibles valeurs des abondances et des teneurs en lipides des ailées et des aptères. De la mi avril à début mai, vers la mi juin, et durant octobre et novembre, nous avons une disparité des abondances avec les teneurs en lipides : cela peut être dû à l'application d'un traitement phytosanitaire.

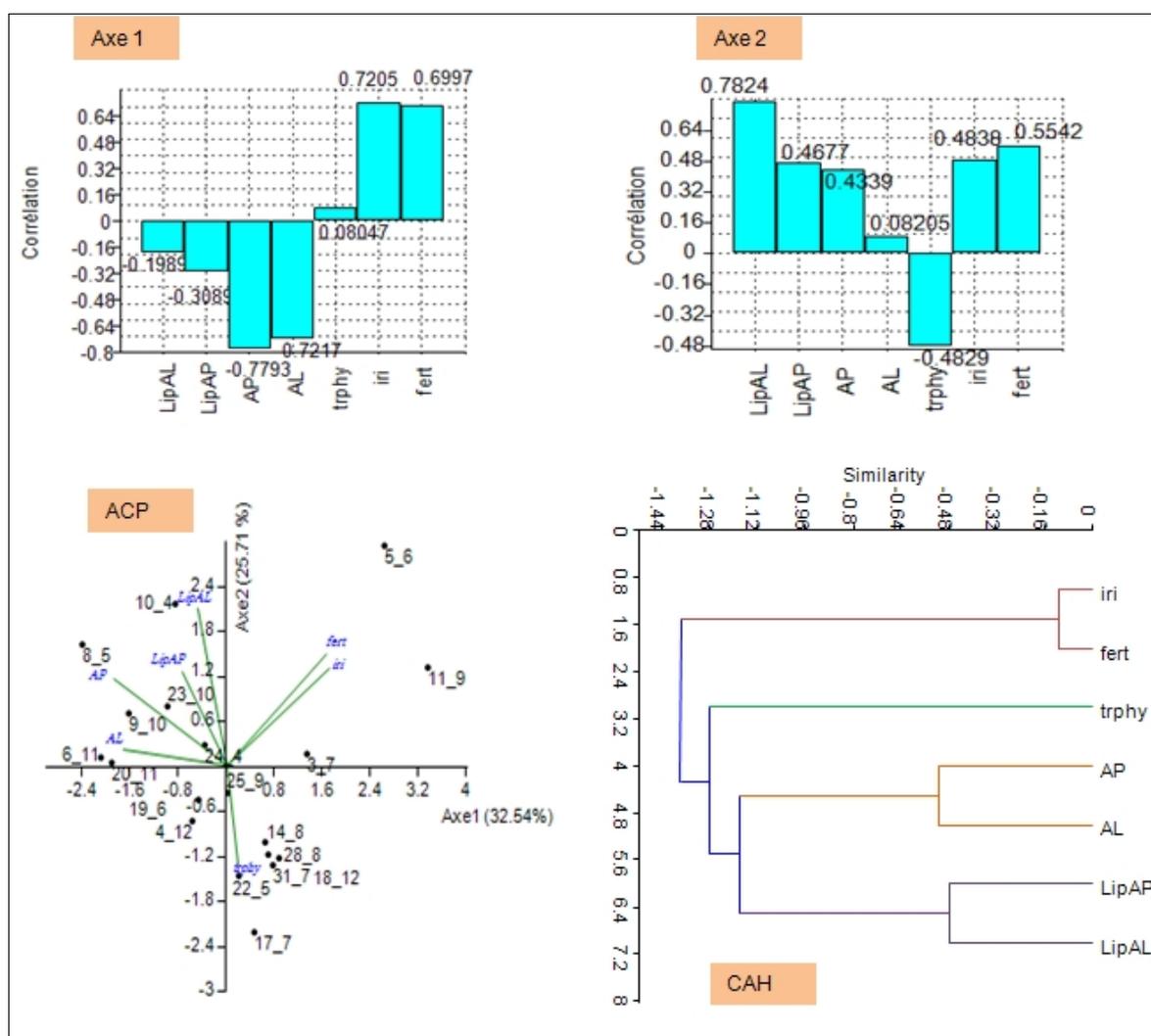


Figure 6.21 : Projection des variables sur le plan d'ordination axe1 et axe2 de l'ACP, représentation des dendrogrammes et des groupes de variables issus de l'analyse de la CAH et coefficients de corrélation linéaire de Pearson des différents paramètres environnementaux de la station d'étude, des abondances des adultes et leurs teneurs lipidiques respectives.

La CAH basée sur les distances euclidiennes entre les différentes variables indique 4 groupes structurés (fig. 6.21). Le 1^{er} groupe caractérise les irrigations et fertilisations, le 2^{ème} groupe nettement séparé concerne les traitements insecticides réalisés, le 3^{ème} groupe regroupe les abondances des adultes et enfin le 4^{ème} groupe indique leurs teneurs lipidiques respectives.

La matrice de corrélation établie entre les différents paramètres avec Past vers. 1.91, montre les valeurs ayant un risque inférieur à 0.05 (tab. 6.13). Les variations en teneurs lipidiques sont très corrélées entre les deux phénotypes des adultes ($p=0.005$). L'abondance des aptères est marginalement reliée aux teneurs en lipides des adultes ailées et des aptères ($p=0.08919$ et $p=0.086107$). En outre, l'abondance des ailées est corrélée marginalement à celle des aptères ($p=0.096929$). Enfin, les irrigations et les fertilisations sont très corrélées ($p=0.0071987$), (tab. 6.13).

Tableau 6.13. Corrélations des abondances et teneurs en lipides des adultes avec les paramètres anthropiques.

	LipAL	LipAP	AP	AL	trphy	iri	fert
LipAL	-	0.0058005	0.08919	0.71746	0.97634	0.67588	0.92446
LipAP	<u>0.93715</u>	-	0.086107	0.71128	0.58768	0.54039	0.75679
AP	<u>0.74509</u>	0.74974	-	0.096929	0.69361	0.54508	0.77277
AL	0.19067	0.19495	<u>0.7337</u>	-	0.65334	0.2573	0.38557
trphy	0.015772	-0.28238	-0.20723	-0.23546	-	0.44523	0.65799
iri	-0.21961	-0.31703	-0.31355	-0.55085	0.38955	-	0.0071987
fert	-0.050402	-0.1636	-0.15267	-0.43755	0.23218	<u>0.9299</u>	-

LipAL : teneurs en lipides des ailées, LipAP : teneurs en lipides des aptères, AP : abondance des aptères, AL : abondance des ailées, trphy : traitements phytosanitaires, iri : irrigation, fert : fertilisation. En dessous de la ligne en diagonale figurent les coefficients de corrélations, ceux supérieurs à 0.50 sont soulignés, les probabilités associées sont au dessus de la diagonale).

6.6.2. Corrélations entre les variations des paramètres d'abondances et anthropiques et les teneurs lipidiques des adultes d'*A. citricola* selon les périodes des poussées et d'inter-poussées

En regroupant les différentes dates en périodes de poussées et d'inter-poussées, nous obtenons les valeurs moyennes des différentes variables étudiées. La projection des coordonnées de ces variables sur le plan de l'ACP est représenté sur la figure 6.22.

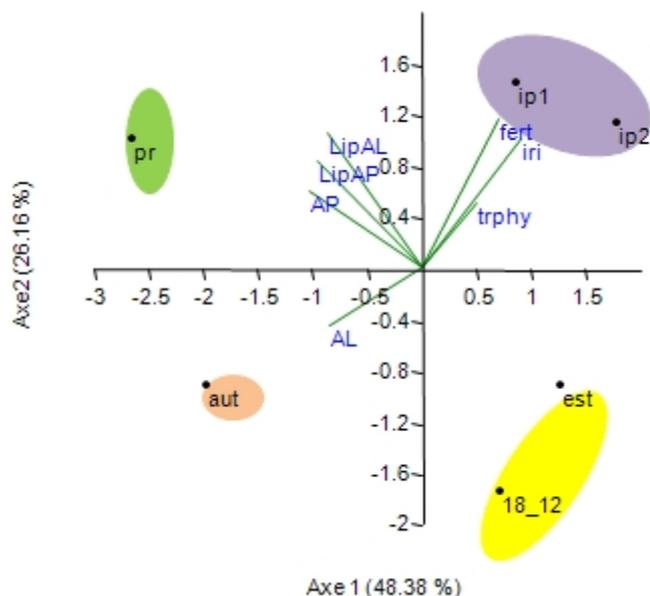


Figure 6.22 : Projection des périodes de poussées et d'inter-poussées ainsi les paramètres anthropiques sur les axe 1 et 2 de l'ACP.

Nous avons retenu les axes 1 et 2 car ils reflètent plus de 7% des informations. On retrouve que les vecteurs lipides des ailées, lipides des aptères et abondance des aptères sont très proches, de même que les vecteurs irrigation, fertilisation et traitement phytosanitaire. Ce dernier est très court ce qui explique sa très faible corrélation avec les autres variables.

Les périodes des poussées et inter-poussées sont nettement séparées, car les projections de leurs points sont éloignées. Les inter-poussées printano-estivale (ip1) et estivo-automnale (ip2) se caractérisent par de faibles valeurs d'abondances des ailées.

La poussée automnale est corrélée en revanche avec l'abondance des ailées bien que faible. La poussée printanière est corrélée à de fortes valeurs des abondances des aptères et des teneurs en lipides des adultes aptères et ailées. Contrairement, la poussée estivale et la mi décembre (fin de notre échantillonnage) sont corrélées à de faibles valeurs des aptères et de leurs teneurs lipidiques (fig. 6.22).

6.6.3. Corrélations entre les variations des paramètres d'abondances et anthropiques avec les teneurs lipidiques des adultes d'*A. citricola* et de *C.algerica* durant la période du 10 avril au 19 juin 2009

En tenant compte de la période du 10 avril au 19 juin 2009, l'analyse de la matrice de corrélation des paramètres anthropiques, des paramètres des réserves lipidiques, et des abondances d'*A.citricola* et de son prédateur coccinellidae, met en évidence les valeurs ayant un risque associé inférieur à 0.05 (tab.6.14).

Tableau 6.14. Corrélations des abondances et teneurs en lipides des adultes d'*A.citricola* et de *C.algerica* avec les paramètres environnementaux durant la période du 10 avril au 19 juin 2009.

	LipAL	LipAP	AP	AL	trphy	iri	fert	lipcoc	Abcoc
LipAL	-	0.52	0.31	0.62	0.51	0.26	0.26	0.30	0.07
LipAP	-0.39	-	0.90	0.44	0.82	0.72	0.72	0.95	0.77
AP	0.57	-0.08	-	0.21	0.75	0.67	0.67	0.70	0.53
AL	0.31	-0.45	0.68	-	0.50	0.50	0.50	0.44	0.78
trphy	-0.40	-0.14	-0.20	-0.40	-	0.69	0.69	0.51	1.00
iri	0.62	-0.22	-0.26	-0.40	-0.25	-	1.20E-15	0.01	0.18
fert	0.62	-0.22	-0.26	-0.40	-0.25	<u>1.00</u>	-	0.01	0.18
lipcoc	0.58	0.04	-0.23	-0.45	-0.40	<u>0.96</u>	<u>0.96</u>	-	0.22
Abcoc	<u>0.85</u>	-0.18	0.37	-0.17	-	0.71	0.71	0.67	-

LipAL : teneurs en lipides des ailées, LipAP : teneurs en lipides des aptères, AP : abondance des aptères, AL : abondance des ailées, lipcoc : teneurs en lipides des coccinelles, Abcoc : abondance des coccinelles. En dessous de la ligne en diagonale figurent les coefficients de corrélations, ceux supérieurs à 0.50 sont soulignés, les probabilités associées sont au dessus de la diagonale).

Nous remarquons que peu de valeurs ont un risque associé inférieur à 0.05. L'abondance des coccinelles est reliée marginalement aux lipides des ailées ($p=0.07$).

Les lipides des coccinelles sont corrélés à l'irrigation et à la fertilisation ($p=0.01$). La fertilisation et l'irrigation sont étroitement corrélées, la probabilité associée est inférieure à 1‰ (tab. 6.14).

L'analyse en composantes principales représentée dans la figure 6.23, nous a permis d'interpréter les plus grandes interactions entre les abondances et réserves lipidiques d'*A.citricola* et de son prédateur *C. algerica* avec les paramètres anthropiques. Le plan 1,2 est retenu car il rend compte d'une contribution maximale de la variance sur les deux axes (axe1=83.23% et axe 2= 11. 05%) et les corrélations existantes entre les variables étudiées.

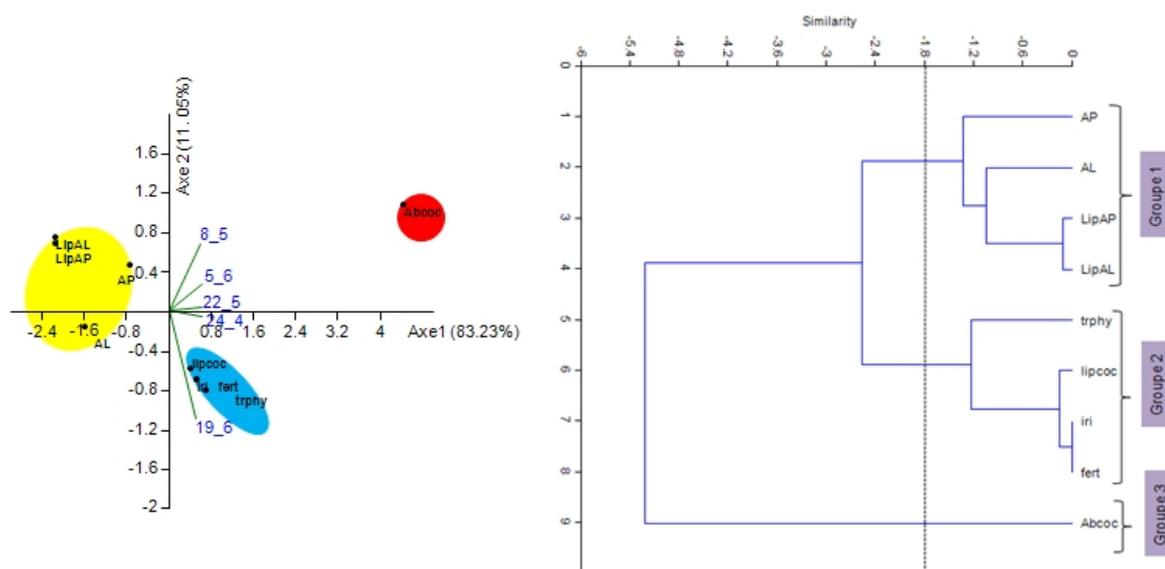


Figure 6.23 : Projection sur les axes 1 et 2 de l'ACP et distances euclidiennes des différentes variables pour la période du 10 avril au 19 juin 2009.

Les plus fortes contributions à l'axe 1 concernent les abondances des coccinelles, les plus faibles situées du côté négatif sont les teneurs en lipides et les abondances des ailées et des aptères. Sur l'axe 2, on retrouve les teneurs lipidiques des coccinelles et les différents paramètres d'entretien et de traitement du côté négatif. Du côté positif de l'axe 2, nous avons de faibles contributions les abondances des aptères. Ces trois groupes de variables sont structurés à travers la CAH (fig. 6.23). L'abondance et l'occurrence des coccinelles est corrélée à la période s'étalant entre la fin avril et la fin de mai. Les teneurs lipidiques des coccinelles semblent reliés au activités anthropiques dans le verger vers la mi juin. Celles des ailées et des aptères de *A. citricola* ne sont corrélées en aucun cas aux vecteurs temporels de la période du 10 avril au 19 juin 2009, (fig. 6.23).

CHAPITRE 7

DISCUSSION GENERALE

L'objet essentiel de la démographie est l'étude des descripteurs quantitatifs qui caractérisent une population. Dans une population, les individus naissent, se reproduisent et meurent. Ils sont dépendants de leurs géniteurs, s'occupent de leur progéniture et, quand ils sont dépendants, ils peuvent être pris en charge par leur parentèle. Une population, c'est d'abord un nombre d'individus à un instant donné (Pt). Les effectifs dans une population fluctuent au cours du temps. Ces fluctuations sont essentiellement dépendantes de deux grandeurs : l'accroissement naturel et les migrations. Ainsi, le taux de natalité dépend de la structure démographique de la population, qui varie presque toujours chez les insectes avec la saison, et la fécondité des femelles,[132].

Différents facteurs peuvent influencer l'abondance des insectes. Parmi les facteurs abiotiques, il y a les variables météorologiques telles les températures, précipitations ainsi que l'humidité et le vent), [133 ; 134].

Les populations du puceron des agrumes observées sur l'oranger à Oued El Alleug, région subhumide de la Mitidja centrale, sont caractérisées par des effectifs faibles par mois et par stade ne dépassant pas les 3.5 individus en moyenne chez les larves (fig. 7.1). Au sein de ces populations, les stades larvaires dominant en proportions par rapport aux autres stades les nymphes, puis les adultes : les phénotypes aptères étant chaque fois prépondérants, comparés aux phénotypes ailés. Au début de la période de poussée estivale et à la fin de la période de poussée automnale, les abondances des deux phénotypes se retrouvent similaires. Durant la saison de poussée printanière, il s'agirait de femelles parthénogénétiques fondatrigenes entre avril et juin. Ces dernières

donnent par voie asexuée des virginogènes pendant la période estivale de juillet à mi septembre qui vont elles mêmes engendrer d'autres virginogènes puis des sexupares à la saison automnale entre fin septembre et fin novembre.

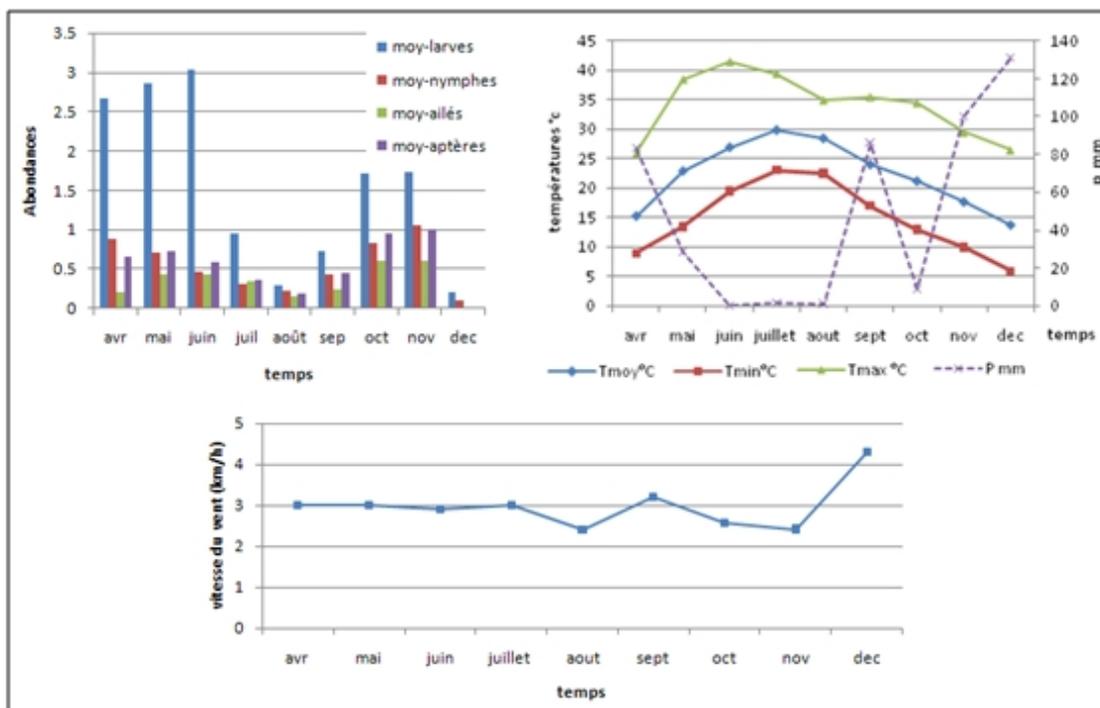


Figure 7.1 : Variation des paramètres climatiques (températures, quantités de pluie et vitesses du vent) durant la période étudiée.

Les fluctuations temporelles globales d'*Aphis citricola* se caractérisent par trois périodes démographiques distinctes. La première s'étale d'avril à fin mai, elle est marquée par des abondances maximales au début de mai. La seconde concerne la période estivale entre juin et août, elle se distingue par un déclin graduel des effectifs de la population. La troisième débute en octobre avec l'installation d'une population dont l'abondance atteint un maximum au début de novembre mais diminue par la suite avec l'abaissement des températures vers le début de la saison hivernale.

Durant la période des deux poussées printanière et estivale, les températures augmentent entre mi avril et mi août (fig.7.1), et la quantité de précipitations diminue. En revanche, les températures diminuent durant toute la

poussée automnale, pendant laquelle on remarque une succession de deux périodes climatiques : l'une humide d'une durée d'un mois du début septembre à début octobre qui a favorisé une augmentation graduelle de la population aphidienne, l'autre sèche durant le reste du mois d'octobre où l'abondance a continué d'augmenter.

Au mois de novembre, au cours de la poussée automnale, on se retrouve avec une diminution démographique drastique qui serait due selon notre observation climatique à des températures minimales très basses avoisinant les 5°C et une augmentation des chutes de pluies qui ont dépassé les 100 mm (fig.7.1). Selon LAAMARI [10], dès que la température dépasse 5°C, les pucerons commencent à se multiplier. Cependant, cette multiplication se trouve freinée en hiver par l'absence des jeunes feuilles et par les précipitations qui constituent un facteur limitant. Selon BONNEMAISON [135], des précipitations fréquentes et une humidité relative élevée diminuent la fertilité des pucerons et augmentent leur mortalité. ROBERT [55] et ONILLON [136], ont noté que la température a une grande influence sur les pucerons car elle agit sur la vitesse de leur croissance, sur leur longévité et leur fertilité.

Par ailleurs, la population s'est maintenue à un niveau démographique très bas pendant toute la période de poussée estivale de la mi juillet à la fin août.

On peut émettre deux hypothèses pouvant être complémentaires : la susceptibilité de la plante vis-à-vis des variations thermo-hydriques caractérisées dans notre cas par l'enchaînement d'une période humide entre début avril et début mai puis une durée de trois mois de mi mai à mi août où il ya pratiquement absence de pluies (fig. 7.1). En effet, cette situation de stress hydrique pour la plante peut influencer la composition de la sève, d'autant plus que le feuillage de la plante se rapproche de la phase de maturation [137 ; 57 ; 138]. La seconde hypothèse serait attribuée à une action anthropique caractérisée par l'application d'un produit phytosanitaire autrement dit un stress chimique pour la plante, et dont l'effet s'est répercuté sur les densités des pucerons.

Aphis citricola est un puceron polyphage déjà signalé par LECLANT [52], dans la région méditerranéenne. Cet aphide a été retrouvé sur différentes plantes fruitières, en Tunisie BENHALIMA-KAMEL et BENHAMOUDA, [8] incluant les citrus : *Citrus sinensis*, *C. clementina*, et *C. aurantium*, ainsi que les amandiers, les pommiers et les néfliers.

Très abondant sur oranger en Mitidja [9 ; 139], cette espèce développe un cycle anholocyclique avec l'installation de plusieurs générations de femelles parthénogénétiques sur les *Citrus* au printemps : successivement des femelles aptères ou ailées qu'on appelle les fondatrigènes [54] puis d'autres femelles alternativement aptères ou ailées, appelés virginogènes [55]. Les femelles parthénogénétiques sont le plus souvent ovovivipares : elles donnent directement naissance à des larves issues d'œufs qui ont éclos à l'intérieur de leur abdomen. A l'automne, apparaissent des femelles parthénogénétiques appelées sexupares. La perception des modifications du rythme circadien est un élément déclencheur du passage de l'asexualité à la sexualité. Elle modifie probablement la production d'hormones qui influent à leur tour sur le devenir du développement sexué ou asexué des ovocytes, [140].

La multiplication parthénogénétique est très fréquente au printemps, en été et en automne, [135]. Les lignées asexuées (ou anholocycliques), ont perdu la phase sexuée de leur cycle et continuent leur développement parthénogénétique durant tout l'hiver lorsque les conditions abiotiques sont favorables, la parthénogenèse est alors qualifiée d'obligatoire. Le phénotype de dispersion (ailé ou aptère) des femelles parthénogénétiques dépend des conditions environnementales (ou polyphénisme qui reflète la plasticité phénotypique des pucerons) [141].

L'évolution des abondances des adultes en fonction de l'exposition durant la poussée de sève printanière, montre à partir de la deuxième quinzaine du mois d'avril, un début de pullulation de pucerons, malgré les chutes des pluies enregistrées pendant ce mois. Ceci peut être expliqué par le fait que ces pluies

n'ont pas été de forte intensité. La reconstitution des populations à la belle saison, est en relation d'une part avec l'apparition des jeunes feuilles, des boutons floraux et les fleurs de la poussée de sève printanière qui a débuté le 23 mars 2009 et d'autre part avec l'élévation des températures moyennes qui sont comprise entre 15,3 et 22,9°C entre le mois d'avril et le mois de mai (fig.7.1).

Le nombre des aptères diminue au courant de mai, on voit apparaître progressivement les ailées jusqu'à la fin mai. La régression des populations des aptères et des peut être due non seulement aux vols de dissémination des ailés à la fin de la poussée de sève de printemps mais aussi à la diminution de la qualité nutritionnelle de la plante hôte.

Les pucerons sont sensibles à la qualité de la nourriture, [142]. L'absence des toxines ou d'autres substances antinutritionnelles agissent également sur la pullulation des aphides. La surpopulation des individus aptères engendre par ailleurs une formation d'ailés et une réduction de la fertilité des femelles affectant leurs performances, [10 ; 55].

Au début de mai, on observe une abondance maximale des aptères. Il s'agit en fait d'une période de développement massif de la forme aptère qui va donner par la suite des formes virginogènes ailés prête pour les vols de dissémination vers d'autres plantes et arbres d'autres variétés d'agrumes avoisinants.

Le vol de contamination a connu une diminution des effectifs pour atteindre un minimum 5 individus ailés le 10 juin 2009. Cette régression peut s'expliquer par l'élévation des températures et par l'absence de la majorité des plantes hôtes secondaires due au désherbage mécanique de la parcelle, elle peut être aussi justifiée par l'action des ennemis naturels. En effet, la faculté de production périodique d'ailés chez les aphidae dépend du climat, de la présence de plante hôte adéquate et du cortège parasitaire [10]. A partir de la mi juin, les abondances populationnelles chutent rapidement avec quelques rares individus

entre juillet et aout. Cela est du probablement à l'utilisation des pesticide à base d'ultracide 40, dont le mode d'action est par contact.

Durant la poussée estivale, les abondances des deux formes biologiques d'*A. citricola*, montre une variation très faible des effectifs selon nos observations, entre le début de juin et la fin d'aout malgré que les températures à cette période sont très élevées de 28,75°C et 29,5°C. Il a été démontré qu'une diminution de la taille des individus réduisait la fécondité des femelles ainsi que le taux de croissance des populations. Au cours de l'été, l'augmentation de la densité de population induit une diminution de la taille des individus et l'apparition de pucerons plus pâles [143 ; 144 ; 145].

Les populations ailées se caractérisent par des pics de présence importants vers le début de novembre et le début de décembre, période qui correspond aux vols de migrations avec le recrutement d'individus allochtones provenant de différents hôtes secondaires vers leur hôte primaire pour passer l'hiver, [13].

L'humidité relative de l'air peut faciliter ou inhiber le vol des ailés. Les vols sont fréquents pour une humidité inférieure à 75% et une température comprise entre 20 et 30 °C. Ces vols sont, par contre, rares lorsque l'humidité est supérieure à 75% et la température inférieure à 13°C [10]. Le vent agit sur le vol et sur la dispersion des ailés par sa vitesse et sa direction [57]. Les pluies interviennent par leur durée, leur intensité, le moment où elles se produisent en empêchant ou non le vol [9], les pluies de forte intensité peuvent détruire une grande proportion de populations ailées ou aptères, entraînant ainsi une limitation des populations de pucerons. Par contre, les pluies de faible intensité, même de longue durée, n'empêchent pas le vol des ailés, pourvu que la température de l'air ne soit pas inférieure à la température-seuil de l'envol [57; 9].

Il a également été démontré que pendant les vingt premiers jours de ponte, les aptères pondent un plus grande nombre de larves que les ailés [54]. En outre, la modulation du poids, sous l'effet de comportements agrégatifs intra spécifiques

et l'effet direct de modification de la composition de la nourriture par les prélèvements de sève entraînent en conséquence la modulation de la fécondité des adultes [9].

Le mode d'apparition des formes ailées diffère selon les espèces de pucerons. Il dépend de facteurs comme l'effet de groupe, la mauvaise qualité nutritionnelle de la plante hôte ou la température. L'effet de groupe est lié à la surpopulation [146 ; 147].

Les pucerons peuvent réguler eux même leurs populations par des mécanismes interspécifiques [55]. La formation d'aillés, sous l'action d'effet de groupe et /ou une diminution de la qualité nutritionnelle de la sève. Le départ de ces ailés entraîne dans l'immédiat une régression naturelle des populations du fait d'une production globale plus réduite de nouvelles larves. La surpopulation des individus aptères engendre une formation d'aillés et une réduction de la fertilité des femelles, cette régression des populations peut être également due aux vols de dissémination des ailés ou à la fin de la poussée de sève de printemps [55].

Dans certains cas, c'est la surpopulation d'une génération qui entraîne l'apparition d'aillés à la génération suivante. Dans d'autres, c'est la forte densité des très jeunes larves qui les fait évoluer directement en larves à ptérothèques (les nymphes) donnant des adultes ailés, la production de formes ailées étant positivement corrélée à la densité des populations [148]. Cependant, la production d'aillés serait retardée dans la saison par la présence de [149]. Enfin, ce sont les stimulations tactiles répétées entre larves ou entre mères et filles, dues à la densité du groupe ou à une grande mobilité des individus, qui entraînent l'apparition d'adultes ailés. Outre cela, la présence d'une trace olfactive laissée par un prédateur comme la coccinelle induisait dans les colonies de certaines espèces de pucerons l'apparition d'aillés, seuls capables de fuir ce danger [146].

Nous avons observé une variabilité de la distribution des différentes formes biologiques selon la saison et l'exposition. Ainsi, les larves se trouvent durant la poussée de printemps au nord de la fronde, leur distribution paraît indifférente à

l'exposition en été, contrairement à leur abondance qui tend à diminuer progressivement le long de la saison. Les nymphes sont influencées par les parties foliaires exposées au nord, leur abondance croit vers la fin de la période de poussée de printemps, en été, elles préfèrent le feuillage orienté au sud. Enfin, les abondances des adultes sont influencées par l'exposition nord et par la poussée de printemps. Ces variabilités temporelles des densités de chaque phénotype s'expliquent par le fait que différentes parties du feuillage de la plante hôte manifestent au cours des poussées, une qualité nutritive différente en fonction vraisemblablement des flux de sève circulant dans la plante.

Ainsi, *A. citricola* commencerait à pulluler sur toutes les orientations de l'arbre vers le début d'avril. Cette reconstitution des populations sur toutes les orientations est en relation d'une part avec l'apparition des jeunes pousses, des jeunes feuilles, des boutons floraux de la poussée de sève printanière, et d'autre part avec les températures moyennes comprise entre 18°C et 24°C entre le mois d'avril et le mois de juin. L'élévation du niveau des populations en automne, sur les rameaux du centre semble d'une part être favorisée par des températures assez élevées, et d'autre part par les rejets, qui se développent sur le tronc et les branches principales [50].

La connaissance de conditions environnementales favorables, les ressources nécessaires ainsi que les effets d'interactions intra et interspécifiques sont autant de facteurs indispensables à la compréhension de la distribution spatiotemporelle des espèces. Les études de BEGON [150] et de HUNTER et ELKINTON [151], ont montré que le potentiel biotique des bioagresseurs phytophages peut être modifié en fonction de la modulation de la qualité phytochimique des plantes sous l'effet des facteurs abiotiques d'une part, et la synchronisation de ces phytophages avec le développement de la plante hôte d'autre part.

La reproduction et la survie des organismes dépendent de leurs traits d'histoire de vie. Ces traits vont déterminer la fitness (ou valeur sélective) des

individus pour un environnement donné, autrement dit l'efficacité qu'ont ces individus à transmettre leurs gènes au sein de générations successives.

Par ailleurs, ces organismes vivent dans des environnements variables dans le temps ou/et dans l'espace. Leur fitness sera d'autant plus stable et élevée qu'ils seront capables de réajuster finement la combinaison de leurs traits d'histoire de vie, face à ces environnements hétérogènes [152].

Les Pucerons, sont des insectes aux morphologies, comportements et fécondités variables suivant les générations en fonction des conditions de vie. Les plantes pérennes étant cultivées plusieurs années de suite, les populations de pucerons peuvent demeurer sur l'hôte et s'y multiplier durant de nombreuses générations. Du fait de la variabilité temporelle plus faible des cultures pérennes, les pucerons sont soumis à des contraintes environnementales et écologiques moins variées et à une pression de sélection en faveur d'une forte variabilité génétique moins importante, permettant aux lignées asexuées (parthénogénétiques) de s'y maintenir et de bénéficier de l'avantage démographique considérable conféré par ce mode de reproduction [141].

En effet, une lignée asexuée de femelles parthénogénétiques peut doubler son effectif à chaque génération. Or, les coûts associés à la production de morphes ailés mesurés chez les femelles parthénogénétiques incluent un temps de développement plus long, une taille adulte réduite et une fécondité moindre que les morphes aptères NEWTON et DIXON 1990 [153] ce qui conforte l'explication de nos observations des générations démographiques saisonnières d'*A. citricola* sur l'oranger. [153 ; 154].

Les espèces de pucerons polyphages comme *Aphis citricola* ou encore *Aphis gossypii*, sont soumises à un environnement hétérogène agricole (distribution spatiale des cultures et leurs cycles annuels). Ils doivent constamment s'adapter au mieux à de nouvelles ressources afin de

contrecarrer la baisse de « fitness » engendrée par cette hétérogénéité environnementale.

Plusieurs études récentes ont démontré que l'importance de la dépendance de la densité des pucerons peut varier entre les plantes hôtes. [155 ; 156 ; 157 ; 158].

Le fort potentiel biotique des pucerons, est expliqué en grand partie par le télescopage des générations [152], car dans une même mère, l'embryon de sa petite fille se développe déjà dans la fille. En parallèle, la relation qui existe entre leur temps de génération court (7 jours en moyenne) et la pérennité de la plante fait que pour le puceron son environnement est stable. Donc, face à cette stabilité, La mère aura tout intérêt à transmettre les indices et facteurs environnementaux nécessaires à sa progéniture : c'est le concept de l'effet maternel qui va conférer à la descendance une plasticité phénotypique transgénérationnelle [152].

Les effets maternels sont depuis longtemps connus chez les pucerons dans la formation d'individus ailés (liée à des populations trop élevées ou à la présence de prédateurs) [159 ; 160] ou sexués (liée à la photopériode et à la température). Les effets maternels ont aussi des implications démographiques d'une part, car ils introduisent un temps de retard dans la réaction des populations aux variations environnementales. Ceci peut en partie expliquer le décalage d'apparition des ailés de chaque fois deux semaines après les adultes aptères d'après nos observations. D'autre part, les effets maternels agissent sur la dispersion de la progéniture pouvant amener à des cycles réguliers dans une dynamique populationnelle [161].

Parmi les facteurs biotiques qui peuvent aussi favoriser ou non l'abondance des populations, la disponibilité des ressources alimentaires, les interactions de compétition pour cette nourriture ou pour d'autres ressources sont des plus importants [162 ; 163 ; 164].

La plupart des pucerons sont strictement inféodés à la sève phloémienne où ils puisent les carbohydrates : le sucrose [164] et l'azote sous forme de protéines et d'acides aminés libres, [165 ; 166] leur permettant de subvenir à leurs besoins alimentaires.

L'alimentation des pucerons nécessite l'inhibition des réponses des plantes, depuis l'occlusion des tubes criblés et l'activation des voies de signalisation phytohormone-dépendantes jusqu'à l'expression des molécules anti-insectes. Parallèlement, les pucerons peuvent manipuler le métabolisme primaire de leur plante hôte afin que la composition de la sève qu'ils ingèrent couvre mieux leurs besoins nutritionnels, soit une réallocation des ressources, [167 ; 168].

Les phloémophages se localisent sur les parties tendres de l'arbre (feuilles, pousses) particulièrement riches en glucides solubles, car en dehors des oligosaccharides et notamment du saccharose, du raffinose et du maltose, l'équipement osidasique des opophages ne leur permet d'utiliser que deux polysaccharides : l'amidon et la pectine.

Durant la période de poussée estivale, la rareté des pluies et l'absence des irrigations provoquent un sorte de déficit hydrique qui va directement affecter le métabolisme des hydrates de carbone, [169] ; avec une accumulation des sucres et d'autres composés organiques au niveau de la plante. Cette dernière va puiser de l'azote pour contrecarrer cette situation et synthétiser des métabolites de défense qui auront un impact considérable sur les populations des insectes dans la mesure où ils peuvent permettre à l'insecte de reconnaître les structures lui servant de nourriture [170 ; 171].

RHAINDS [172]. signalent que lors de sa croissance, le plant de soya induit la production de composés secondaires à l'intérieur du phloème, qui ont un impact sur la dynamique de population du puceron du soya. Le

taux intrinsèque de croissance des populations de ce puceron diminuait avec l'âge des plants.

GIORDANENGO [173]. ajoutent que pour éviter les composés de défense des plantes ou lors d'un état de déshydratation des insectes après le vol de colonisation, ou encore après un jeune prolongé, les pucerons peuvent être amenés à ingérer la sève xylémienne, dans le cas de plantes résistantes

Selon MARSCHAL, [174] et MARSCHAL, [175], d'autres facteurs influencent la composition minérale des feuilles tels que le porte-greffe, le choix du rameau, l'âge des feuilles, et l'application d'engrais.

Dans ce travail, nous avons étudié les variations d'abondance des populations adultes de *Coccinella algerica* (Kovar, 1977) et leurs interactions avec leurs proies sur l'oranger, culture d'agrumes très répandue et économiquement très importante en Algérie, en vue d'apprécier leur rôle entomophage à Oued Alleug sur l'oranger.

Pour vérifier si l'abondance des populations est en relation avec le niveau des ressources trophiques [176], nous avons établi dans la figure 7.2 les évolutions temporelles comparées des adultes de *Coccinella algerica* et celles des populations biologiques d'*Aphis citricola*.

Nous avons vu dans le chapitre résultats que *C.algerica* présente une fréquence de présence maximale de la fin avril à la mi juin (fig. 7.2), ce qui correspond comparativement, durant la même période, à des effectifs faibles des adultes aptères et ailés, mais à des effectifs moyens beaucoup plus élevés des larves. Or, la réduction de la population larvaire à partir du début mai pourrait justement coïncider avec l'activité aphidiphage de *C. algerica* : les abondances des coccinelles et de leur puceron proie sont très corrélées avec une probabilité hautement significative (fig. 7.2).

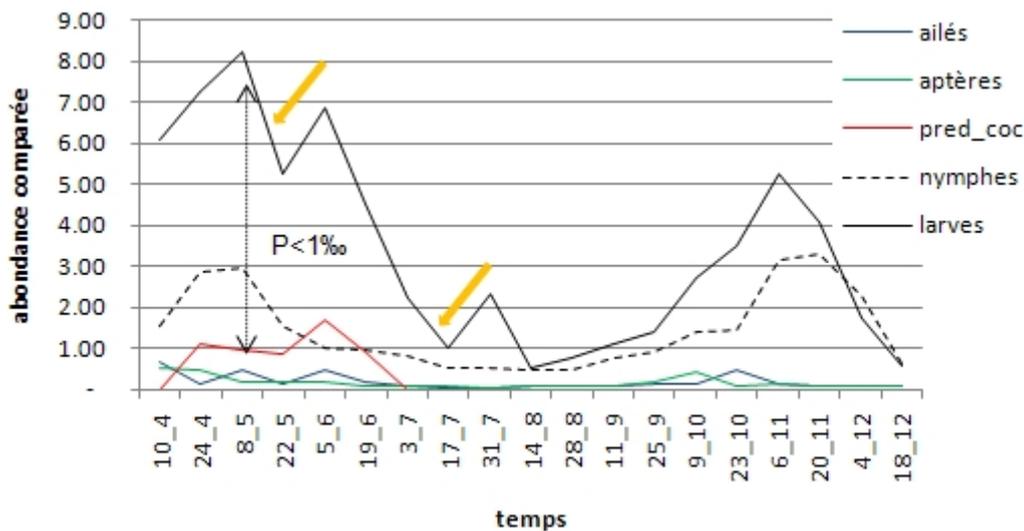


Figure 7.2 : Fluctuations temporelles des abondances comparées des populations de *A. citricola* et *C. algerica* dans le verger d'oranger. (La flèche indique la relation entre l'abondance des larves et celle des coccinelles : (les flèches en orange indiquent les traitements insecticides réalisés le 15 mai a base d'Ultracide 40 et le 23 juillet a base du Mondial, dont les matières actives agissent par contact ingestion).

La densité et l'activité des coccinelles sont en relation avec la densité de leurs proies qui se développent aux dépens d'une végétation fraîchement élaborée, celle de la période de poussée printanière. En effet, de tout le peuplement des ennemis naturels des pucerons inféodés aux agrumes, dans la Mitidja orientale à Rouiba, les Coccinellidae sont dominants avec 48.1 %, la majorité se reproduisant aux dépens des pucerons de la première poussée de sève, de la fin avril au début de juin, [177]. Dans la régulation des populations de ravageurs, les prédateurs doivent aussi être capables de développer leurs capacités de prédation sur de faibles effectifs de la proie [178].

Il arrive que l'activité des aphidiphages soit instable en raison des variations de la nourriture disponible, qui varie elle même selon l'abondance des poussées de sève, ainsi que les conditions climatiques et microclimatiques spatiales, notamment durant la période verno-estivale, [177].

En effet, l'abondance de la nourriture peut être favorisée par une végétation fraîche exubérante, générée par la pratique des cultures intercalées et les irrigations estivales. L'absence des irrigations entraîne des perturbations dans la survenue des poussées de sève, par conséquent une faible biomasse de nourriture qui va se répercuter sur l'activité des coccinelles, surtout celles de grande taille [179], comme c'est le cas pour l'activité aphidiphage de *C. algerica* dans les conditions de notre étude. Le manque d'entretien et l'abandon des vergers par les agriculteurs entraîneraient ainsi un retard dans l'arrivée des poussées de sève et une rareté de la nourriture.

Wang et Ba [180] ont évalué l'effet de 11 critères de pratiques agricoles (date de semis, intercalaires sur un même rang, bandes alternées, fertilisant, engrais solides) sur l'abondance du puceron du soya. Ils ont démontré que les critères de cultures intercalaires et les bandes alternées procuraient le meilleur rendement, une plus grande abondance d'ennemis naturels et significativement moins de puceron du soya que les autres paramètres à l'étude.

D'après BENHALIMA-KAMEL ET BENHAMOUDA [8], certaines techniques culturales doivent être mieux appréhendées tel l'évitement du système de production en polyculture permettant un développement sans interruption de l'aphide durant toute l'année. Le désherbage précoce, ainsi que l'apport azoté qui influence la fertilisation sont également recommandés [181].

Plusieurs pratiques culturales peuvent affecter ainsi les populations de ravageurs dans les agroécosystèmes [182] : la fertilisation [183 ; 184], les labours qui augmentent la résistance de la plante. En effet, une déficience dans l'aération des racines accroît le niveau des acides aminés des feuilles, par conséquent, la pullulation du ravageur, en l'occurrence les pucerons, [185 ; 186], la date de semis [187 ; 188], l'espacement des plants [189], l'aménagement des parcelles [190], et la structure ainsi que la composition du paysage agricole [191 ; 192].

Au-delà des influences climatiques saisonnières ou des traits d'histoire de vie des insectes activant dans les vergers, la complexité de l'architecture de l'arbre favoriserait les insectes phytophages et est défavorable à la recherche de proies pour la plupart des auxiliaires [193 ; 194 ; 195]. La conduite de l'arbre peut être déterminante pour le développement des ravageurs et probablement aussi pour le niveau de prédation/parasitisme des auxiliaires en verger. Ainsi, l'attractivité de la plante-hôte, le microclimat au sein de la frondaison, l'accès aux ressources et leur disponibilité ainsi que l'accès aux sites de reproduction et à des espaces sans prédateurs sont autant de paramètres qui peuvent être significativement modulés par la conduite de l'arbre [196].

La taille donne non seulement la vigueur à la plante et donc une résistance aux maladies, mais aussi l'élimination certaine des foyers d'hivernation des ravageurs, se trouvant sur rameaux, branches et feuilles. En effet, elle permet d'éviter la création d'un microclimat favorable à la pullulation des pucerons [9 ; 55]. Dans les conditions observées au courant de l'étude à Oued El Alleug, aucune opération de taille des arbres d'oranger n'a été réalisée dans le verger.

En parlant d'interactions, on sait que les interactions environnementales entre les plantes et les insectes phytophages reposent sur trois niveaux trophiques (la plante, le ravageur et l'ennemi naturel [197 ; 198 ; 199]. Il est par ailleurs bien connu que les prédateurs et les parasitoïdes réagissent aux sémiochimiques émis par les plantes attaquées mais aussi à ceux libérés par les ravageurs [200].

Les auxiliaires sont également attirés par des kairomones de faible volatilité (rejets métaboliques ou sécrétions glandulaires) et déposées par leurs proies/hôtes sur le végétal. [200].

Ainsi, le miellat riche en sucres et en acides aminés, constitue une source de nourriture pour de nombreux auxiliaires mais agit également comme une kairomone volatile et de contact [201] (fig. 7.3). D'une part, les composés volatils

issus du miellat guident les auxiliaires vers une source de nourriture, de proies ou d'hôtes mais stimulent aussi certains comportements de recherches, de localisations et d'attaques de proies/hôtes, mais aussi d'oviposition [201]. (fig.7.3).

La perception du miellat a été démontrée pour les larves de *Coccinella septempunctata* [202 ; 203], et les adultes, qui en présence de miellat, déposent beaucoup plus d'œufs [204].

Certaines espèces de pucerons augmentent la quantité de phloème ingérée [205 ; 206 ; 207 ; 208], pour adapter la quantité et la qualité de leur miellat aux demandes des fourmis et leur en faciliter la récolte [209]. En échange, les fourmis changent leur comportement initial de prédateurs pour devenir éleveuses de pucerons [210 ; 211 ; 212 ; 213], car elles vont y trouver une source de sucres nécessaires à leur survie [214 ; 215]. Ainsi, elles protègent les pucerons contre leurs prédateurs, dont les coccinelles [216 ; 217] et participent activement à l'hygiène de la colonie [218].

Ainsi, les larves de stade 2 et 4 *Harmonia axyridis* coccinelle prédatrice active, sont victimes de comportements agressifs de la part des fourmis. Contrairement, les larves de la cécidomyie aphidiphage *Aphidoletes aphidimyza* ne sont en aucun attaquées en raison de leur lent déplacement, ce qui semble être un mécanisme permettant de déjouer la vigilance des fourmis, [219].

L'activité des fourmis trophobiontes n'a été que très peu relatée dans les travaux sur la dynamique des populations des pucerons des agrumes en Algérie. Le complexe des fourmis trophobiontes et non trophobiontes a été appréhendé par [220] dans l'étude du puceron du peuplier *Chaitophorus leucomelas* dans la région de Soumâa (Blida). Nous n'avons pas observé de colonies de fourmis sur les arbres échantillonnés durant l'année d'étude.

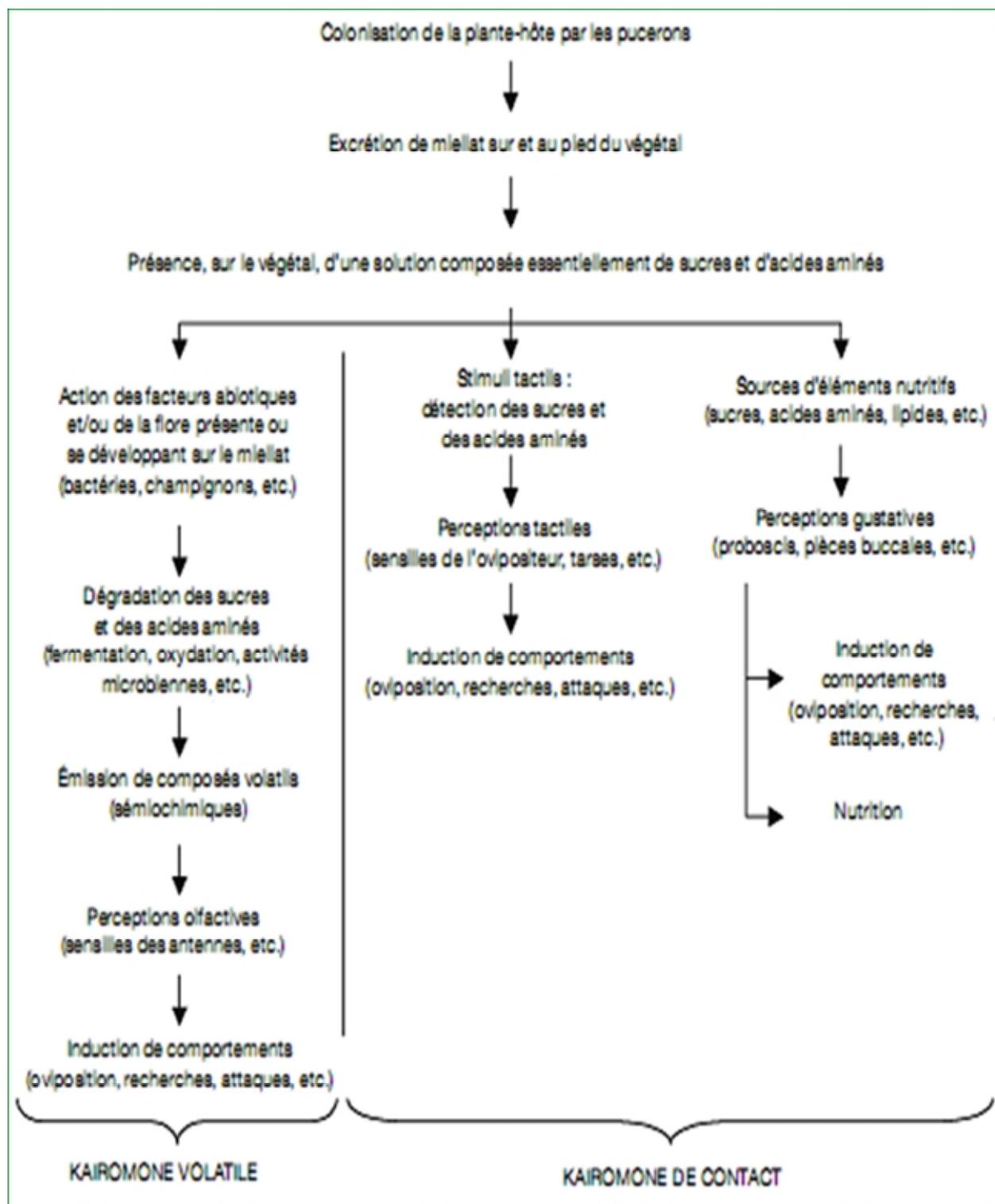


Figure 7. 3 : Principaux « modes d'action » joués par le miellat à l'égard des insectes auxiliaires [201].

A notre sens, de par les abondances temporelles enregistrées des différentes formes biologiques d'*Aphis citricola*, les niveaux d'infestation ne sont pas pour autant assez élevés, donc les productions de miellat ne sont pas assez importantes pour attirer les fourmis, si bien qu'il faut éliminer l'hypothèse que la faible abondance de *Coccinella algerica* soit attribuée à des agressions de fourmis empêchant leur activité aphidiphage. Cette activité qui a été très limitée, d'après nos observations dans le verger, serait vraisemblablement due à l'effet des traitements phytosanitaires réalisés en mai et juillet, induisant une régression des populations des coccinelles qui ont été particulièrement absentes à partir de la 3^{ème} semaine de juin (fig. 7.2).

Malgré qu'elles ne devraient se faire qu'en dernier recours, lorsque les seuils de perte économique ont été atteints et que les populations de pucerons sont en hausse, les pulvérisations d'insecticides engendrent fréquemment un déséquilibre dans les relations prédateurs-proies [221]. Leur impact nuisible sur le complexe arthropodes-prédateurs peut ainsi être observable sur une longue période de temps et ce même à faible dose. [182]. D'une part, l'emploi de pesticides engendrant une baisse soudaine de la densité de population des espèces phytophages proies, peut provoquer un taux de mortalité élevé dans les populations des prédateurs due au manque de nourriture [222]. La consommation de proies contaminées peut avoir des incidences sur la mortalité et la fécondité des prédateurs d'autre part [223 ; 224].

Par ailleurs, à cause de la plus grande sensibilité des insectes entomophages et de la résistance des pucerons aux insecticides utilisés des recrudescences de pucerons peuvent fréquemment survenir [225].

La compétition entre les différentes formes biologiques aphidiennes se fait à travers la rapidité d'utilisation de l'énergie disponible d'allocation [226]. Les réserves énergétiques sont importantes à considérer dans les traits d'histoire de vie d'une espèce. Elles élucident en effet le mécanisme d'allocation des ressources destinées à la croissance et aux performances reproductrices [226;

227; 228]. Les stratégies démographiques des Insectes, leur mortalité, leur natalité et les différents postes de dépense de leur énergie, semblent essentiellement dépendre des solutions adoptées pour maîtriser les difficultés liées à la dissémination des ressources et aux fluctuations des conditions de vie [229].

Nous avons vu à travers une ACP que les abondances des adultes aptères et ailées d'*A. citricola* sont conditionnées par les variations temporelles des poussées de sève printanière et automnale. Durant ces périodes de poussée, le verger a subi des actions anthropiques dont l'impact de la fertilisation et de l'irrigation sur les arbres semblent avoir été déterminant sur la qualité de la sève, vraisemblablement en teneurs des acides aminés. Parallèlement, les teneurs en réserves lipidiques respectives des adultes aptères et ailées subissent l'influence de ces variations.

Durant la période de poussée de printemps, les lipides des aptères sont d'abord importants. Ces quantités peuvent être expliquées par une accumulation des lipides synthétisés au début de la saison printanière suite à une alimentation de qualité optimale, en raison de conditions de température favorables. Ces ressources seraient destinées à la performance de la reproduction des virginogènes aptères.

Etant de très petite taille, l'âge adulte des insectes en l'occurrence les pucerons, peut être atteint rapidement et les générations peuvent se succéder à une fréquence élevée. Il en résulte un accroissement du potentiel reproducteur lié à la vitesse de renouvellement des populations beaucoup plus qu'à la survie des individus adultes. Ce taux d'accroissement élevé suppose des dépenses démographiques et une mobilisation énergétique rapide, donc une nourriture très accessible [229].

La diminution progressive des taux de réserves énergétiques lipidiques au cours de la saison, semble être due à l'exposition de ces femelles virginogènes aux matières actives des insecticides utilisés à cette période dans le verger. On

suppose que la diminution des populations suite à l'utilisation de la matière active de l'ultracide 40, est due à l'effet de choc de cette dernière sur le potentiel biotique d '*Aphis citricola*. CHEROUX [230], signale que lorsque l'insecte reçoit une certaine quantité d'insecticide par contact, l'organisme s'organise pour essayer de neutraliser ces substances. Une première partie de l'insecticide sera éliminée par voie naturelle et une deuxième partie sera métabolisée par l'insecte pour rendre le composé moins toxique. Ce mécanisme appelé détoxification, joue un rôle très important dans la manifestation de l'effet de choc, mais coûte en énergie et en ressources qui ne sont alors plus disponibles pour la construction des réserves énergétiques [231]. C'est ce qui explique que les lipides des aptères régressent, d'autant plus que s'ajoute l'effet de la qualité nutritive de la plante au fur et à mesure que la saison de croissance avance.

Durant la période de poussée automnale, l'augmentation des teneurs lipidiques des femelles aptères, les sexupares, pourrait s'expliquer par un gain d'énergie pour la croissance des larves, ou pour une accumulation de ces réserves pour atteindre rapidement la maturité sexuelle [232]. Nos résultats sur ces fluctuations des réserves lipidiques rejoignent ceux obtenus par MOSTEFAOUI [230] sur *A. citricola* infestant les clémentiniers à Oued El Alleug.

Ainsi, les fluctuations des réserves énergétiques peuvent s'expliquer globalement par la disponibilité et la variabilité des éléments nutritifs (eau et hydrates de carbone) et des composés de défense en fonction des variations saisonnières des températures qui vont agir sur le cycle biologique du puceron [234] et vont moduler l'optimum écologique des femelles [235].

Contrairement aux aptères, on remarque que les teneurs en lipides des ailés fluctuent au cours de la saison de poussée printanière. Les fluctuations de ces réserves se caractérisent par des alternances entre augmentations et diminutions des teneurs. Les augmentations des lipides ont eu lieu de fin avril à début mai, puis de fin mai à début juin, ce qui pourrait s'expliquer par une allocation de ces réserves énergétiques au vol des femelles virginogènes ailées apparues à la suite d'une surpopulation, et émigrantes vers d'autres hôtes potentiels ou occasionnels [236].

GILLON [229] explique que les Insectes dans leur forme ailée, fondent leur stratégie démographique sur l'exploitation de ressources discontinues. Les difficultés d'approvisionnement peuvent être liées aux caractéristiques physicochimiques de la nourriture ou à l'intensité de la compétition et sont atténués par la dissémination. [229].

Le coût des migrations est élevé à cause des dépenses énergétiques individuelles liées au vol. La fécondité des femelles est partiellement sacrifiée aux avantages que procurent ces dépenses individuelles.

La constitution de l'appareil de vol, ailes et muscles alaires, draine une partie de la production de croissance. Chez les pucerons ailés, une partie de l'énergie peut être récupérée par l'histolyse des muscles alaires, qui marque évidemment la fin de leurs migrations [237 ; 238]. Au vol lui-même est associée une dépense musculaire dont le carburant doit être pris sur les réserves corporelles lorsqu'il n'y a pas alimentation. L'augmentation de densité entraînerait une élévation exponentielle du taux de mortalité, tandis que le taux de natalité, s'abaisserait du fait des nombreuses limitations physiologiques et comportementales en cas de surpopulation [239].

Les variations en teneurs lipidiques sont très corrélées entre les deux phénotypes des adultes. L'abondance des aptères est marginalement reliée aux teneurs en lipides des adultes ailées et des aptères. En outre, l'abondance des ailées est corrélée marginalement à celle des aptères, ainsi que les lipides des coccinelles sont plus importants, notamment durant la poussée printanière, et ils sont corrélés à l'irrigation et à la fertilisation.

Les teneurs lipidiques des coccinelles semblent reliés aux activités anthropiques dans le verger vers la mi juin, sachant que pendant cette période, le verger a été irrigué et les intrants en fertilisants ont été apportés avec un apport

d'urée, Cela peut être expliqué par le fait que la qualité nutritionnelle de la sève est très riche en azote et les sucres solubles qui sont deux groupes de composés nutritifs qui jouent un rôle primordial dans la croissance et le développement des insectes phytophages, ce qui permet aux pucerons de gagner du poids grâce à la qualité nutritionnelle de la sève, ce qui explique l'importance des teneurs lipidiques des coccinelles.

MATTSON [240], ont montré que l'azote était la seule variable dans la composition biochimique du feuillage de l'arbre à être reliée de façon constante et positive à la croissance, la vitesse de développement de l'insecte [241 ;242]. Mattson [243]; Shaw [244]; Bidon [245]; Mason [246] montrent une corrélation positive entre le poids des larves et l'azote.

Les acides gras, les phospholipides et les stérols sont des éléments de la membrane cellulaire et peuvent avoir des fonctions spécifiques. Plusieurs insectes ont besoin d'une source d'acides gras polyinsaturés et de stérols indispensables à leur croissance [247].

Les minéraux comme le potassium, le phosphore et le magnésium constituent des nutriments essentiels aux réactions biochimiques et aux fonctions physiologiques de l'insecte [247 ; 248].

Une fertilisation azotée favorise généralement les populations d'insectes comme ceux qui réagissent positivement à l'accroissement de vigueur de leur plante hôte. Les effets positifs sur les performances des insectes sont reliés à une augmentation de la croissance de la plante et particulièrement à des concentrations foliaires plus élevées en azote [249]. Une fertilisation azotée, appliquée sur des peuplements d'*Abies balsamea* et d'*Abies grandis*, entraîne respectivement une augmentation du poids pupal de *C.* [250] et de *Choristoneura occidentalis* [251].

Par ailleurs, GERSHENZON[252] , indique que la fertilisation azotée tend à faire baisser les composés phénoliques et les glucosinolates. OHMART [253] ; BRYANT [254]; WARING et PRICE [255] Rapportent qu'une diminution en composés phénoliques ou tannins suite à une fertilisation azotée, favorise les performances biologiques de plusieurs espèces d'insectes.

Des carences en azote, phosphore, potassium et soufre favorisent en général la production de composés phénoliques, ce qui semble permettre aux plantes de survivre à certaines attaques d'insectes et de champignons pathogènes lorsque les conditions stationnelles sont pauvres en nutriments [252]. La fertilisation affecterait l'état physiologique de la végétation au sol et les caractéristiques du sol en même temps que l'état physiologique des arbres. Le faisant, l'abondance et l'activité des organismes.

L'eau peut limiter la croissance des insectes [256 ; 257]. Par exemple, Scriber [256] montre que des larves de *Hyalophora cecropia* L. (Lepidoptera : Saturnidae), nourries de feuillage de *Prunus serotina* Ehrh. à faible teneur en eau (49.12%) ont des taux de croissance et de conversion en biomasse larvaire plus bas que celles nourries de feuillage à forte teneur en eau (69.97%) lorsque les insectes de ces deux traitements consomment une quantité identique de feuillage.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude, montrent qu'on ne peut contrôler le climat qui influe sur la phénologie de la plante et les fluctuations des populations du puceron d'agrumes *A. citricola*.

Les niveaux d'infestation du puceron des agrumes enregistrés sur l'oranger, entre avril et début décembre 2009 à Oued El Alleug, sont faibles mensuellement. Au sein des populations, les stades larvaires dominant en proportions par rapport aux stades préimaginaux et adultes. Les phénotypes aptères sont chaque fois prépondérants, comparés aux phénotypes ailés.

Les fluctuations temporelles globales d'*Aphis citricola* se caractérisent par trois périodes démographiques distinctes. La première est marquée par des abondances maximales au début de mai. La seconde se distingue par un déclin graduel des effectifs de la population pendant la période estivale entre juin et août. La troisième débute en octobre et se caractérise par une abondance maximale de la population au début de novembre.

Les variations démographiques d'*A.citricola* sont influencées pour la plus grande part par la performance reproductrice des générations printanières estivales et automnales, elle même dépendante de la qualité nutritionnelle des flux de sève circulant dans la plante durant les trois périodes de poussée, notamment en fonction des températures saisonnières, mais aussi à l'exposition du feuillage selon la direction cardinale nord ou sud.

Outre cela, les épisodes de régression et d'augmentation des populations sont dus simultanément à des impacts abiotiques, particulièrement la quantité et l'intensité des pluies, mais aussi à des influences biotiques. En terme de fluctuations des abondances des populations aphidiennes et celles de leurs coccinelles prédatrices *Coccinella algerica*, nous avons constaté que les intrants

fertilisants ainsi que l'application de matières actives agissant par contact et ingestion influent sur le potentiel biotique des populations de part et d'autre. Ainsi, l'abondance des larves conditionne vraisemblablement l'activité aphidiphage de la coccinelle dont les effectifs augmentent notamment durant la période de fin de poussée printanière. Cette situation s'explique par un apport fertilisant et des irrigations bénéfiques pour la qualité nutritionnelle de la plante qui s'est traduit par conséquent par une meilleure performance des virginogènes aptères à cette période et par une disponibilité de nourriture pour les coccinelles caractérisée par une abondance des larves de pucerons proies. Cependant, à notre sens, malgré l'occurrence de *C. algerica*, la régression des populations aphidiennes ne pourrait être expliquée par l'activité aphidiphage de ce prédateur. Cette diminution démographique serait beaucoup plus due à l'effet de choc des insecticides utilisés et à l'apparition des virginogènes ailées qui vont quitter la population autochtone.

La surpopulation conséquente à une densité importante des jeunes larves et des individus aptères engendre en effet une formation de nymphes évoluant en ailés et une réduction de la fertilité des femelles affectant leurs performances. L'élévation des températures et l'absence de la majorité des plantes hôtes secondaires due au désherbage mécanique de la parcelle à partir de la mi juin, a influé sur le vol de contamination qui a connu une diminution des effectifs.

Les variations des teneurs en lipides chez les adultes aptères et ailées ne varient pas significativement par rapport au phénotype lui-même. On peut dire cependant que la variation est beaucoup plus saisonnière. Ces réserves énergétiques sont différentes pendant la période de poussée printanière et automnale, les teneurs sont très faibles en été. Selon la disponibilité de ces réserves, les femelles aptères les utilisent pour leur fitness reproductive. Leur disponibilité insuffisante pourrait être surtout attribuée à des effets anthropiques dus aux traitements chimiques. Les fluctuations des quantités lipidiques chez les femelles ailées virginogènes et sexupares sont dus à des exploitations discontinues des ressources phloémiennes d'où des allocations différentes selon la capacité de ces femelles à affronter les difficultés en approvisionnement.

Les réserves lipidiques des coccinelles sont à notre sens tributaires des variations de la disponibilité des pucerons proies, eux-mêmes conditionnés par les niveaux de fertilisation et d'irrigation affectant la sève phloémienne dans la plante. Il faudrait enfin tenir compte des variations démographiques des coccinelles pendant les différentes périodes de poussée de sève influençant les populations d'*A. citricola* pour envisager les modulations des allocations des réserves lipidiques sur le devenir biotique des formes biologiques des coccinelles.

Les premières orientations que nous nous proposons de dégager à travers cette étude seraient d'étudier les variations démographiques comparées des populations aphidiennes et de leurs prédateurs pour deux raisons. D'abord, il serait judicieux d'entrevoir les périodes d'activité maximale des coccinelles avec ou sans apports fertilisants, en irrigation, afin de favoriser l'action de ces ennemis naturels. Ensuite, on doit orienter les actions de sensibilisation des agriculteurs vers une utilisation des pesticides plus rationnelle tout en cherchant à améliorer la technique de traitement sur seuil.

APPENDICES A

date	P ailé	P aptér	coccinelle
10/04/2009	0,664	0,498	0
24/04/2009	0,1	0,439	1,144
08/05/2009	0,4703	0,159	0,99
22/05/2009	0,13	0,162	0,887
05/06/2009	0,475	0,141	1,706
19/06/2009	0,147	0,081	0,918
03/07/2009	0,088	0,088	0
17/07/2009	0,028	0,064	0
31/07/2009	0,015	0,022	0
14/08/2009	0,066	0,065	0
28/08/2009	0,051	0,048	0
11/09/2009	0,076	0,067	0
25/09/2009	0,133	0,163	0
09/10/2009	0,132	0,404	0
23/10/2009	0,448	0,09	0
06/11/2009	0,12	0,095	0
20/11/2009	0,074	0,087	0
04/12/2009	0,044	0,055	0
18/12/2009	0,054	0,058	0

APPENDICES B

	COOCINEL	CHRYSOPE	SYRPHE
10/04/2009	0	0	0
24/04/2009	2	0	1
08/05/2009	4	0	0
22/05/2009	3	1	0
05/06/2009	5	0	0
19/06/2009	1	0	0
03/07/2009	0	0	0
17/07/2009	0	0	0
31/07/2009	0	0	0
14/08/2009	0	0	0
28/08/2009	0	0	0
11/09/2009	0	0	0
25/09/2009	0	0	0
09/10/2009	0	0	0
23/10/2009	0	0	0
06/11/2009	0	0	0
20/11/2009	0	0	0
04/12/2009	0	0	0
18/12/2009	0	0	0

APPENDICES C

	larve_n	nymphes_n	adal_n	adap_n	larve_s	nymphes_s	adal_s	adap_s
10_4	4,6	1,55	0,2	0,95	1,5	0	0,15	0,25
24_4	4,6	1,55	0,2	0,95	2,65	1,3	0,15	0,25
8_5	5,35	2,1	0,7	1,75	2,9	0,85	0,75	1,3
22_5	4,6	1,55	0,2	0,95	0,65	0	0,15	0,25
5_6	3,7	0,8	0	0,4	3,2	0,2	0,35	0,7
19_6	1,9	0,55	0,45	0,5	2,6	0,4	0,75	0,5
3_7	1,25	0,45	0,4	0,35	0,95	0,35	0,5	0,3
17_7	0,45	0,15	0,4	0,4	0,55	0,35	0,3	0,25
31_7	1,9	0,15	0,15	0,3	0,4	0,35	0,2	0,2
14_8	0,15	0,15	0,15	0,35	0,35	0,3	0,2	0,2
28_8	0,35	0,15	0,2	0,15	0,4	0,3	0,15	0,1
11_9	0,5	0,35	0,2	0,2	0,6	0,4	0,15	0,4
25_9	0,7	0,45	0,2	0,3	0,7	0,45	0,25	0,75
9_10	1,25	0,75	0,5	0,9	1,45	0,65	0,8	1
23_10	1,5	0,8	0,4	0,8	2	0,65	0,55	0,95
6_11	2,3	1,55	1,05	1	2,95	1,6	1,1	1,2
20_11	1,35	1,25	0,3	0,7	2,75	2,05	1,4	1,85
4_12	1,25	1,7	1	0,9	0,5	0,55	0,25	0,35
18_12	0,2	0,45	0,3	0,15	0,35	0,15	0,25	0,1

APPENDICE D

Matériels d'étude du dosage utilisé au laboratoire

- Pipettes pasteurs, entonnoirs en Pyrex, laine de verre, verre à pied de 100 ml,
- tubes Eppendorf Polylabo (1,5ml), pince entomologique,
- Micropipette de 20-200 μ l, et celui de 100- 1000 μ l, pipette 1ml, 5ml, et 25ml,
- loupe binoculaire OPTECH, étuve MEMMERT, centrifugeuse N-VE,
- balance de précision KERN 770,
- Bouteilles en verre brun, ballons en verres de petites tailles,
- Évaporateur sous flux d'azote, spectrophotomètre JENWAY,
- Bouteille es en verre brun ; broyeur en téflon pour tubes eppendorf ;
- Papiers filtres, mortier, évaporateur sous flux d'azote, bain marie,
- tubes à essais, spatule, vortex.

APPENDICES E

Caractéristiques des produits insecticides utilisés dans la parcelle expérimentale

Ultracide®40EC

Insecticide polyvalent contre les ravageurs des arbres fruitiers: pou de Californie, cochenille plate, cochenille virgule, pou rouge, pou noir, cochenille noire, pou de San José et autres cochenilles, ainsi que contre le carpocapse, les aleurodes et puceron.

Composition:

1 litre d'Ultracide®40 EC contient 420 g de méthidathion*

*dithiophosphate de-S-(2,3-dihydro-5-méthoxy-2-oxo-1,3,4-thiadiazol-3-yl-méthyle) et de 0,0-diméthyle.

Formulation:

Concentré émulsionnable (EC).

Caractéristiques techniques:

Ultracide® 40 EC agit fortement par contact et ingestion; son pouvoir de pénétration est important; ses propriétés largement indépendantes de la température, permettent les traitements de préfloraison; sa persistance d'action est de 2 à 3 semaines; il est rapidement métabolisé dans la plante. Son efficacité est optimale sur les cochenilles des cultures; elle inclut tous les insectes suceurs et broyeurs.

Mondial Ec

Substance active : 200g/l chlorpyriphos éthyl + 20g/l cyperméthrine

Famille chimique : Combinaison de deux familles des pyréthrinoides et organophosphorés

Mode d'action : agit par contact et ingestion sur de nombreux insectes dont il inhibe la chaîne de sodium et le phosphore.

Utilisation : Puceron/ mouche blanche des agrumes 100 à 125ml/h

REFERENCES

1. **LOUSSERT R., 1989** – Les agrumes, production. *Ed. Sci. Univ., Vol2, Liban, 280p.*
2. **ANONYME a, 2008** - les statistiques : campagne agricole 2008, direction des services agricoles – wilaya de Blida.
3. **REBOUR H., 1945** –Les agrumes. *Ed. Union des syndicats de production d'agrumes, Alger, 485 p.*
4. **CHAICHI R., 2004-** Incidence des traitements phytosanitaires sur la dynamique des populations de *Cératites capitata* (Diptéra ; Trypidae), *Phyllocnistis citrila* (lepidoptera ; graciilidae) et *aleurotrexus filicosus* (homoptéra ; aleurodidae) dans un verger de clémentinier en Mitidja. *Th. Ing. Agro. Inst.. Agro., Blida, 82 p.*
5. **BRUN A., PICAREL J. et PLOUZANE M., 2003-** les sous- produits de dégradation des produits phytosanitaires. Bull. Office International de l'eau, Montpellier, 17p.
6. **BRUNEL E. et RABBASSE J.M. , 1975-** Influence de la forme et de dimension de pièges à eau colorée en jaune dans une culture de carotte. Cas particulier des diptères. *Ann. Zool. Ecol. Anim., Vol . 12, n3 . Ed I. N. R. R. : 345-364.*
7. **KFOURY L. et EL-AMIL R., 1998** – Les insectes ravageurs des agrumes au Liban, la situation en 1997. *Rev. Phytoma. La défense des végétaux. n° 508 : 38-39.*
8. **BEN HALIMA K. M. et BEN HAMOUDA M. H., 2005-** A propos des pucerons des arbres fruitiers de tunisie. *Notes faunique de Gembloux 85 : 11-16.*

9. **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 p.*

10. **LAAMARI M. 2004-** Etude éco biologique des pucerons des cultures dans quelques localités de l'est algérien. These doctorat. Inst. Nat. Agro. El Harrach, 203p.

11. **MOHAND OUALI H. et RAHMANI N., 1998-** inventaires des pucerons et contribution à l'étude des fluctuations d'aphis spireacola patch, 1914 et toxoptera aurantii boyer de fonscolombe, 1814(Homoptéra, aphididae) dans un verger de citrus clémentina (valeté ordinaire) à oued- aissi (Tizi-ouzou). Mem.Ing. Inst. Ensei. Sup.Tiziou-zou , 146p.

12. **DJAZOULI Z. E., DOUMINDJI-MITICHE B., ZAMOUM M. et NOWBAHARI E., 2008** – Les protéines totaux et les éléments minéraux des feuilles de différents groupes du peuplier expliquent – ils la dynamique des populations de *Chaitophorus leucomelas* koch 1854 (Homoptera, Aphididae) et *Phyllocnistis unipuctella* Stph (Lepidoptera, Phyllocnitidae) ? Recueil des résumés 3eme journées nationales sur la protection des végétaux 7et 8 avril 2008. INRA El Harrach, Algérié.

13. **BENOUFELLA-KITOUS K., DOUMANDJI-MITICHE B. et SAHRAOUI L., 2008** – inventaire des pucerons des agrumes à Oued Aïssa (Tiz Ouzou). Recueil des résumés 3^{eme} journées nationales sur la protection des végétaux 7et 8 avril 2008. INRA El Harrach, Algérié.

14. **F.A.O. ,2004** – système de production de plants d'agrumes sains à Cuba. Ed. Food. Agri. Orga. (F.A.O.), La Havane, 18p.

15. **F.A.O. ,2004** – production 2001. Collection F .A.O. Statistique n° 170. Vol. 55. Rome. 259p. 11

16. **M. A. P. 1997-** programme de réhabilitation et de développement e l'agrumiculture. Ed. Mini. Agri. Péch. , Alger, 20p.

17. **BERKANI A., 1989** – Possibilités de régulation d'*Aleurothrixus floccosus* MASK (Hom. *Aleurodidae*) en Algérie. Thèse Doc.Sci.3^{ème} cycle. Univ. Marseille, Paris, France, 140p.
18. **BOUGHANI M., 2000** – inventaire qualitatif et quantitatif des insectes inféodés aux agrumes dans un verger de Tabouker (Tizi-Ouzou). Diplôme d'Etat supé. Bio. ani. Inst. Scie.natu., Univ. Tizi-Ouzou. 14p.
19. **M.A.D.R., 2003a** - statistique agricole série A. Ed. Mini. Agri. Déve. rur. Alger, 17p.
20. **M.A.D.R., 2003b** - statistique agricole série B. Ed. Mini. Agri. Déve. rur. Alger, 59p
21. **ANONYME b, 2008** – Perspectives de développement des agrumes. *I.T.A.F.V., Alger, 8 p.*
22. **CHAPOT., 1963** – *La clémentine*. El Awamia, n°7, rabat pp134.
23. **VAN DERWEYEN R., 1983** – Contribution à l'étude de la gommose à phytophthora des agrumes au Maroc. *Rev. Fruits*, Vol.37, n°7-8, pp 435 - 439.
24. **PRALORAN J.C., 1971**- Les agrumes. *Ed. Maisonneuve et Larose, France, 565 p.*
25. **REBOUR H., 1950** – Les agrumes en Afrique du nord. *Ed. Union des syndicats de production d'agrumes Alger, 485p.*
26. **LOUSSERT R., 1985** – Les agrumes, Arboriculture. *Ed. Bail ére, Paris, 136p.*
27. **BLONDEL L., 1959** – La culture des agrumes en Algérie. Station expérimentale d'arboriculture de Boufarik. *Bul ., (176) : 25p.*

28. **REBOUR H., 1966** – Les agrumes .Manuel de culture des citrus pour bassin méditerranéen. *Ed. J.B. Bail ier et fils, Paris, 178p.*
29. **LOUSSERT R., 1987** – Les agrumes, production. *Ed. Sci. Univ., Vol2, Liban, 151p.*
30. **PATRICK S., 1999** – Fertilisation des vergers : environnement et qualité. *Ed. Techniques & Documentation, Paris, 86 p.*
31. **CORNUET P., 1987-** la transmission des virus, élément de virologie. Ed. Hachette, Paris, 206p.
32. **LAVILLE E. et VOGEL R. 1984-** Les attaques de pourridié dans les vergers d'agrumes de corse. *Rev. Fruits, n° 369, pp. 34-36.*
33. **ANONYME 1976** – La protection phytosanitaires des agrumes en Algérie. Ed Ciba Geicy, Alger, 159p.
34. **BOULEFEKHAR H., 1985-** inventaires des citrus Mitidja et étude bio écologique de tetranychus tukestani dans un verger d'oranger « VALANCIA LATA » à Rouïba. *Thes. Mag. Sci. Agro., El – Hrrach. 78p.*
35. **DRIDI B., 1995** – la mouche méditerranéenne de fruits, ceratitis capitata. Cycle biologique origine, aire de répartition et importance économique. *Journées technique sur la lutte contre la mineuse et la cératite des agrumes I.N.P.V., 10p.*
36. **BOUGHNOU N., 1998** – Etude des pucerons et leurs ennemis naturels dans un verger d'oranger dans la région de Oued Aissi (Tizi Ouzou). *Thèse .Ing. Agro. Univ. Tizi-Ouzou. 86p.*
37. **ETIENNE J. et VILARDEBO A., 1978-** notes sur les principaux ravageurs des agrumes de l'île de la reunion. *Ed , fruits , jol . ang. , Vol .*

33, n°12, pp.873 -876.

38. **BRUN P., 1973-** les ravageurs animaux et les moyens de lutte en agrumiculture. Bull. SO. MI., VAC., 68(3), pp. 87-93.
39. **BENASSY C. et SORIA F., 1964-** Observation écologiques sur les cochenilles diapinnes nuisibles aux agrumes en Tunisie. An. I.N.R.A., tunisie, pp. 193- 222.
40. **PIGEUT P., 1960-** Les ennemis animaux des agrumes en Afrique du nord. Soc. Shell, Algerie, 117p.
41. **BOUKHALFA H. et BONAFONTE P.1979** – observation des populations de l'aleurode de citrus, *Dialeurode citri* ashmed (homoptera- aleurodae) dans la plaine de Mitidja pendant la periode hivernale et post hivernale. 38p.
42. **ZEGHOUD, 1987-** Bio ecologie de l'aleurode floconneux et ces ennemis naturels *Cales noakihoward* dans le domaine d' EL-Djemhouria, en Mitidja. These Ing. Inst . nati. Agro. El – Harrach, 87p.
43. **SAIGHI., 1998-** Biosystématique des Aphides et de leurs ennemis naturels dans deux stations d'étude. Le jardin du Hamma et le parc de l'institut national agronomique d'el Harrach .Thèse Mag. Agro. Inst. Nat. Agro. ,El Harrach,312p.
44. **CARLEES L. 1984-** La tiegne des agrumes. Rev. Fruits, n° 361, pp. 42-43.
45. **BOUALEM M., VILLEMANT C. & BERKANI A.** – Présence en Algérie de trois nouveaux parasitoïdes (Hymenoptera, Eulophidae) de la Mineuse des agrumes, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera, Gracillariidae) (3). pp. 381-386
46. **ABBASSI M. 1996-** rapport de mission : symposuim sur la gestion du problème de la mineuse des agrumes. Oralando, Florida, USA, 22-23

Avril, 25p.

47. **BALACHOWSKY A. et MESNIL L., 1936** – Les insectes nuisibles aux plantes cultivées. Ed Meryl, Paris, 1921p.
48. **BRAWDEN F.C., 1950**- Plant viruses and virus diseases. Chronic. Botania. Compagny. Waltman, MASS, USA. 335p.
49. **ACCOJI J.M.M., 1982**- contribution à la connaissance des aphidiens tropicaux: étude d'*Aphis citricola* ven der goot 1912 (Homop. Aphididae). Aspects bioécologiques, nuisibilité et résistance au parasitisme. Thes. Doc. 3ème cycle en parasitologie, pathologie et relation écophysiological. MONTPELLIER (Pris), 161p.
50. **MOHAMMEDI A. 1986**- inventaire de la faune entomologique et l'étude de la dynamique de population d'aphis citricola Van der Goot, 1912 (Homoptéra, A phididae) dans un verger d'agrumes du domaine EL-Djemhouria, en Mitidja. These Ing. Inst . nati. Agro. El – Harrach, 58p.
51. **BARBAGALO S., 1966**- aphidofauna degli agrumi in sicilia Annl dell' Inst. Di Ent. Agr. Della univ. di bar. Vol. II, pp. 201-260.
52. **LECLANT F., 1978**- Etude bioécologique des de la région méditerranéenne. Implications agronomiques. T. 1. These doctorat., Univ. Scie et rech. Languedoc. Montpellier. 135p.
53. **SEKKAT A., 2007** – Les pucerons des agrumes au Maroc Pour une agrumiculture plus respectueuse de l'environnement. *ENA 18 décembre 2007*.
54. **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.
55. **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.

56. **KOMAZAKI L., 1998** - Akitsu Branch, Fruit Tree Rasearch Station, Ministry of Agriculture, Forestry and fisheries, Akitsi, Hiroshima 729-24, Japan, 9p.
57. **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.*
58. **LYON J.P., 1979** – lâchers expérimentaux de chrysope, d'hyménoptères parasites sur pucerons en serres d'aubergines. *Ann.Zoll.Ecol.Anim. Vol. 11 (1) : 51-65.*
59. **FARZER B.D., 1988-** Coccinellidae. World Crop Pests, Aphids. Vol. 2B. Elsevier Science Publishers. New-York. 364p.
60. **PETRI G., 1978** – l'influence de l'alimentation sur la fécondité des coccinelles aphidiphages. *Ann.Zoll.Ecol.Anim. Vol. 10 (3) : pp 449-452.*
61. **SAHRAOUI L., 1998** - Les Coccinelles d'Algérie Inventaire préliminaire et régime alimentaire *Bul. Soc. Ent. France., 103 (3),pp 213 – 224*
62. **LUCAS E., 1993** – évaluation de l'efficacité de prédation des coccinelles, *Coccinella septempunctata* L. et *Harmonia axyridis* Pallas en tant qu'auxiliaires de lutte biologique en vergers de pommiers. Mémoire comme exigence partielle de la maitrise en biologie, univ. Qubec à monttréal.94 p.
63. **SCHNEIDER F., 1969** – Bionomics and physiology of aphidophagous syrphidae. *Ann. Rev. Entomol. 14: pp 103-124.*
64. **NIEHOFF B. et POEHLING H.M., 1995** – population dynamiques of aphids and syrphid larvae in winter wheat treated with different rates of pirimicarb. *Agric. Ecosyst. Environ. 52: pp 51-55*

65. **FRANCIS F., COLIGNON P., HASTIR P., HAUBRUGE E. et GASPAR C., 2001** – evaluation of aphidophagous ladybird populations in vegetable crop and implication as biological control. *Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent* 66 (2a) : pp 333-340.
66. **DEGUINE J.P. et LECLANT F., 1997** – *Aphis gossyii* Glover (Hemiptera, Aphididae). *Les déprédateurs decotonnier en Afrique tropicale et dans le reste de monde*. Ed. Cent. Inter. rech. Agro. Dév. (C.I.R.A.D.), n°11, Paris, 112p.
67. **PAULIAN M., 1999** – Les Chrysopes, auxiliaires contre des insectes divers. *Phytoma* 522 : pp 41-46.
68. **GRASSE P.P., 1951** – *Traité de zoologie. Anatomie. Systématique, Insecte Supérieurs et Hémiptéroïdes*. Ed. Masson et Cie. T. X, Fasc II, Paris, 1947p
69. **LECLANT F., 1982**- les effets nuisibles des pucerons sur les cultures. *jour. Info. Etud.* 2-4 mars 1981, Paris : 37- 56. 56
70. **LECLANT F., et MILAIRE H.G., 1975** – la lutte intégrée en vergers de pêcher dans le Sud-Est de France. *Ed. Orga. Inter. Lutte. Biol. (OILB)* : pp 181-189.
71. **HEMPTINNE J.L., 1989** - Ecophysiologie d'*Adalia bipunctata* (L.) (Coleoptera Coccinellidae). Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 156 p.
72. **PIOTTE C., TOURNIAIRE R., BRUN J., GAMBIER J., et FERRAN A., 1999** – La coccinelle *Harmonia axyridis* sédentaire. Une alliée plus efficace dans la lutte biologique contre les pucerons. *PHYtoma – Défense des cultures*, (516) : pp 45-48
73. **WALLIN L.L., 2000** - The myriad plant responses to herbivores. *J. Plant Growth Regul.*, **9**(19), pp 195-216.

74. **CAROLAN J.C. et al., 2009** - The secreted proteome of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* characterised by mass spectrometry. *Proteomics*, **9**(9), 2457- 2467.
75. **DAVIES T.G.E., FIELD L.M., USHERWOOD P.N.R. et WOLLIAMSON M.S., 2008** - DTT, pyrethrins, pyrethroids and insect sodium channels. *IUBMB Life*, **59**(3), 151-162.
76. **MILES P.W. et HARREWIJN P., 1991-** Discharge by aphids of soluble secretions into dietary sources. *Entomol. Exp. Appl.*, **59**(2), 123-134.
77. **CHERQUI A. et TJALLINGII W.F., 2000** - Salivary proteins of aphids, a pilot study on identification, separation and immunolocalisation. *J. Insect Physiol.*, **46**(8), 1177-1186.
78. **TJALLINGII W.F., 2006** - Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses. *J. Exp. Bot.*, **57**(4), 739-745.
79. **WILLT., TJALINGII W.F., THONNESSEN A. et VAN BEL A.J.E, 2007.** Molecular sabotage of plant defense by aphid saliva. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, **104**(25), 10536-10541.
80. **ZHU-SALZMAN K., BI J.L. et LIU T.X., 2005** - Molecular strategies of plant defense and insect counter-defense. *Insect Sci.*, **12**(1), 3-15.
81. **HARMUL N., Francis F., Haubruge É. & Giordanengo P., 2008a-** Physiologie des interactions entre pomme de terre et pucerons : vers une nouvelle stratégie de lutte basée sur les systèmes de défense de la plante. *Cah. Agric.*, **17**(14), 395-400.
82. **MUSSER R.O., 2006.** Ablation of caterpillar labial salivary glands: technique for determining the role of saliva in insect-plant interactions. *J. Chem. Ecol.*, **32**(5), 981-992.
83. **QUBBAJ T., REINEKE A. et ZEBITZ C.P.W., 2005.** Molecular

interactions between rosy apple aphids, *Dysaphis plantaginea*, and resistant and susceptible cultivars of its primary host *Malus domestica*. *Entomol. Exp. Appl.*, **115**(1), 145-152.

84. **THOMPSON G.A. et GOGGIN F.L., 2006.** Transcriptomics and functional genomics of plant defence induction by phloem-feeding insects. *J. Exp. Bot.*, **57**(4), 755-766.
85. **URBANSKA A., TJALLINGII W.F., DIXON A.F.G. et LESZCZYNSKI B., 1998.** Phenol oxidising enzymes in the grain aphid's saliva. *Entomol. Exp. Appl.*, **86**(2), 197-203.
86. **SMITH, C.M. et BOYKO E. V. 2007.** The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomol. Exp. Appl.* 122: 1–16.
87. **VOELCKEL C., WEISSER W.W. et BALDWIN I.T., 2004.** An analysis of plant-aphid interactions by different microarray hybridization strategies. *Mol. Ecol.*, **13**(10), 3187-3195.
88. **LI X., SCHULER M.A. et BERENBAUM M.R., 2007.** Molecular mechanisms of metabolic resistance to synthetic and natural xenobiotics. *Annu. Rev. Entomol.*, **52**, 231-253
89. **HARMEL N. FANCIS F., HAUBRUGE É. et GIORDANENGO P., 2008b.** Identification of aphid salivary proteins: a proteomic investigation of *Myzus persicae*. *Insect Mol. Biol.*, **17**(2), 165-174.
90. **MUSSER R.O., 2005.** Insect saliva: an integrative approach. *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, **58**(2).
91. **MUTTI N.S., 2008.** A protein from the salivary glands of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*, is essential in feeding on a host plant. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, **105**(29), 9965-9969.

92. **ALTIERI M.A., NICHOLL C., 2004-** Biodiversity and pest management in agroecosystems, 2nd edition, Food Products Press, New York, 236 p.
93. **BERNARD J.L 2009** - Production végétale : Compétitivité-Biodiversité est ce possible ? Conférence régionale « Pour une agriculture compétitive », AFPP, 19 janvier 2009, Picardie-Nord pas de Calais (France), 8p
94. **ROOT R.B. 1973-** Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). Ecological Monographs 43: 95-124
95. **RISCH S.J. 1981-** Insect herbivore abundance in tropical monocultures and polycultures: an experimental test of two hypotheses. Ecology 62: 1325-1340.
96. **ALTIERI M.A., NICHOLL C. et FRITIZ M., 2005-** Manage insects on your farm, a guide to ecological strategies. Sustainable Agriculture Network, Handbook Series Book 7, Beltsville, Maryland, É.-u. 119 p.
97. **SZENTKIRALYI F. et KOZAR F. 1991-** How many species are there in apple insect communities? Testing the resource diversity and intermediate disturbance hypotheses. Ecological Entomology 16 : 491-503.
98. **WARTTEN S.D. 1988-** The role of field margins as reservoirs of beneficial insects, p. 144-150, dans: Environmental Management in Agriculture. Park, J.R. (Ed.), London, Belhaven Press.
99. **KAWAI A. 1997-** Prospect for integrated pest management in tea cultivation in Japan. Japan Agricultural Research Quarterly 31 : 213-217.
100. **TOEPFER S., GU H. et DOM S., 1999-** Spring colonisation of orchards

by *Anthonomus pomorum* from adjacent forest borders. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 93 : 131-139.

101. **SMITH D. et PAPACEK D.F., 1991-** Studies of the predatory mite *Amblyseius victoriensis* (Acarina: Phytoseiidae) in citrus orchards in south-east Queensland: control of *Tegolophus australis* and *Phyllocoptruta oleivora* (Acarina: Eriophyidae), effects of pesticides, alternative host plants and augmentative release. *Experimental and Applied Acarology* 12 : 195-217.
102. **BOWIE M.H., GURR G.M., HOSSAIN Z., BAGGEN L.R. et. FRAMPTON C.M. 1999-** Effects of distance [rom field edge on aphidophagous insects in a wheat crop and observations on trap design and placement. *International Journal of Pest Management* 45 : 69-73.
103. **MALTAIS J., REGNIERE J., CLOUTIERI C., HEBERT C. et D.F. PERRY. 1989-** Seasonal biology of *Meteorus trachynotus* Vier. (Hymenoptera: Braconidae) and of its overwintering host *Choristoneura rosaceana* HalT. (Lepidoptera: Tortricidae). *The Canadian Entomologist* 121 : 745-756.
104. **ANONYME 2003-** la taille des agrumes, DIRECTION DU DEVELOPPEMENT RURAL Service des Productions Végétales et des Forêts Filière Fruits nouvelle-caledonie. 20p.
105. **HOLB I.J., GONDA I., BITSKEY K., 2001-**Pruning and incidences of diseases and pests in environmentally oriented apple growing systems: some aspects. *Int. J. Hort. Sci.* 7, 24-29.
106. **LAURI P.E., LESPINASSE J.M., 2000-** The Vertical Axis and Solaxe systems in France. *Acta Hort.* 513, 287-296.
107. **WILLAUME M., LAURI P.E., SINOQUET H., 2004-** Canopy architecture

manipulation in apple trees via centrifugal training optimizes light interception by fruiting laterals. *Trees - Structure and Function*. 18, 705-713.

108. **CHOUINARD G., HILL S.B., VINCEN C., 1994-** Spatial distribution and movements of plum curculio adults within caged apple trees. *Entomol. Exp. Appl.* 70, 129-142.
109. **CLOYD R.A., SADOFF S.S., 2000-** Effects of plant architecture on the attack rate of *Leptomastix dactylopii* (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the Citrus mealybug (Homoptera: Pseudococcidae). *Environ. Entomol.* 29, 535-541.
110. **TAGLIAVINI, M et MARANGONI, B. (2002)** - Major Nutritional issues in deciduous Fruit orchards of north Italy, *Hort Technology* n° 12, p. 26-31.
111. **ELKHAMASS M., OULAHCEN B., LEKCHIRI A., 1996** - L'irrigation fertilisante des agrumes et l'utilisation des engrais ordinaires. Actes Journées Nationales Scientifiques et Techniques sur les agrumes. Agadir 23-25 fév. Edit. CHA, BP. 18/S, Agadir-Maroc : 380p.
112. **SOING, P. 1999** - Fertilisation des vergers : environnement et qualité, Paris, CTIFL, 86 p.
113. **AIT HOUSSA A., IDRISSE L., LEKCHIRI A. 2002** - Logiciel de fertilisation raisonnée des agrumes au Maroc. SASMA, Aïn Sebaa, Casablanca, Maroc.
114. **AUBERTOT J.N., J.M. BARBIER A. CARPENTIER, GRIL J.J., GUICHARD L., LUCAS P., SAVARY S., SAVINI I., VOLYZ M., 2005** - Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref (France).11p.
115. **RAYMOND-DELPECH, V., MATSUDA, K., SATTELLE, B. M., RAUH, J.**

- J., SATTELLE, D. B., 2005** - Ion channels:molecular targets of neuroactive insecticides. *Invert Neurosci* 5: 119-33.
116. **BLOOMQUIST, J. R. 1996** - Ion channels as targets for insecticides. *Annu Rev Entomol* 41: 163-90p.
117. **PELHATE, M. , 1985** - L'axone géant de blatte, électrophysiologie-pharmacologie. Application à l'étude du mode d'action d'insecticides Mode d'action et utilisation des insecticides : Insectes, insecticides, santé. Publication A., Paris, pp 185-189.
118. **PENNETIER C. 2008** - Interactions entre insecticides non-pyréthroïdes et répulsifs pour la lutte contre *Anopheles gambiae* : Mécanismes, efficacité et impact sur la sélection de la résistance. DOCTEUR DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER I 65 p.
119. **MUTING. 1977** – La Mitidja décolonisation et espèces géographiques. *Ed. OPU, Alger, 607p.*
120. **LOUCIF Z. et BONAFONTE P., 1977** – Observation des populations du pou de San José dans la Mitidja. *Rev. Fruits*, N° 4 .Vol .32, pp.253-261.
121. **ANONYME, 2006-** Programme d'aménagement côtier (PAC).
122. **DAJOZ R., 1985** – Précis d'écologie. *Ed. Bordas, Paris, 505 p.*
123. **ANONYME., 1998** – Changement climatique et ressources en eau dans les pays du Magreb, Algérie, Maroc, Tunisie, en jeux et perspective. Dept. Env. Rabat, Maroc, 55p.
124. **ANONYME, 2010** - Relevés climatologiques (1998-2009). Manuscrit .A.N.R.H.9p.

125. **MUTIN G. 1969**- l'Algérie et ses agrumes. Extré de la revue de géo., Lyon, vol 441, 36p.
126. **STEWART P., 1969** – Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique ; Quelques réflexions. *Bul . Soc. Hist. Afri. Du nord*, pp. 24-27.
127. **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.
128. **HAMMER O., HARPER D.A.T. et RYAN P.D., 2001**- PAST vers. 1.34. Palaeontological Statistic software package for education and data analysis. <http://folk.uio.no/ohammer/past>, Palaeontologica Electronica 4(1): 9 pp.
129. **HOPKINS G.W. ET J.I. THACKER., 1999**- Ants and habitat specificity in aphids. *Journal of the Insect Conservation* 3: 25-31
130. **Gilbert L.I. et O'Connor J.D., 1970** - Lipid metabolism and transport in arthropods. *Chemical Zool.*, 5: 229-253
131. **Convey., P., 1972**- Seasonal lipid contents of Antarctic micro-artropods. *Exp. Appl. Acarol.* 15: 219-231.
132. **GILLON Y., 1976**, - Stratégies démographiques chez les insectes, leurs processus biologiques, Extrait du Bulletin de la Société Zoologique de France. Tome 101, no 4, p. 653.
133. **HATI S.R., SAHOO S.K., JHA S. ET A. SAHA. 2005**,- Population dynamics of mango hopper as influenced by abiotic factors in New Gangetic alluvial zone of West Bengal. *Environment and Ecology* 23, suppl. 2: 314

134. **SIDDIQUI I. ET J. SINGH. 2006,-** Population dynamics of red spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. on Brinjal as affected by abiotic factors. Environment and Ecology 24S, suppl. 2: 297- 298.
135. **BONNEMAISON L., 1953-** Les parasites animaux des plantes cultivées et de forêt. Ed. S.E.P. Paris 668p.
136. **ONILLON J.C., 1978** - lutte biologique et intégrée dans les vergers de citrus en zone méditerranéenne Station de Zoologie et de Lutte Biologique 37, Boulevard du Cap, 06606 Antibes (France) 14P.
137. **BOUAOUINA S., ZID E et HAJJI M., 2000** – Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). Option Méditerranéennes N°40, 239-243.
138. **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.
139. **KITOUS K. et LADDAOUI D., 1998-** Inventaire des pucerons et étude des fluctuations de *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe, 1841, (Homoptéra, aphididae) dans un verger d'agrumes oued-aissi (Tizi-Ouzou), mem. Ing. Ago., inst. Agro., univ., Tizi-Ouzou, 148p.
140. **TAGU D., LETERME N., SABATER-MUNÓZ B., BONHOMME J., SIMON J.C., 2003** - Etude du polyphénisme de reproduction chez les pucerons : catalogue de gènes exprimés chez le puceron des céréales *Rhopalosiphum padi*. Communications orales, XIVème Colloque de Physiologie de l'Insecte ; Amiens 14-16 avril 2003.
141. **FRANTZ A., 2006** - Spécialisation écologique du puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum*: différenciation génétique et phénotypique entre races d'hôte. Thèse PHD, UMR-INRA, Université de Rennes, 182 p.
142. **MASSONIE G. 1971-** L'élevage des aphides sur milieu synthétique. Ann.

Zol. Ecol. Anim. Vol 3 (1: 103-123).

143. **RAGSDALE DW, MCCORNACK B.P., VENETTE R.C., POTTER B., MACRAE IV, HODGSON E.W., O'NEAL M.E., JOHNSON K.D., O'NEIL R.J., DIFONZO C.D., HUNT T.E., GLOGOZA P.A. et CULLEN E.M. 2007,-** Economic threshold for soybean aphid (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 100, 1258-1267.
144. **RAGSDALE D., HODGSON E.W., MCCORNACK B.P., KOCH K.A., VENETTE R.C. ET POTTER B.D. 2006,-** Soybean aphid and the challenge of integrating recommendations within an IPM system. 2006 Illinois Crop Protection Technology Conference.
145. **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.
146. **CELINI L., 2001-** Le Puceron du cotonnier *Aphis gossypii* (Glover) et son parasite *Aphelinus gossypii* Timberlake en République centrafricaine. *Insectes*, n° 122, 2001, 3-10.
147. **CELINI L et VAILLANT J., 1999** – Répartition spatio-temporelle des présences d'ailés d'*Aphis gossypii* (Hemiptera : Aphididae) en culture cotonnière (Malvaceae) – *The Canadian Entomologist*, 131 : 813-824).
148. **KUNERT G., 2005-** Alarm pheromone mediates production of winged dispersal morphs in aphids. *Ecol. Lett.*, **8**, 596-603.
149. **EL-ZIADY S. et KENNEDY J.S., 1956** - Beneficial effects of the common garden ant, *Lasius niger*, on the black bean aphid, *Aphis fabae*. *Proc. Roy. Soc.*, **31**, 61-65.
150. **BEGON M., HARPER J.L. ET TOWNSEN C.R., 1996** – Ecology individuals. Populations and communities. Oxford University press, Ontario, 360p.

151. **HUNTER A.F.** et **ELKINTON J.S.**, 2000 – Effect of synchrony with host plant on population of spring feeding lepidopteran. *Ecology* 81: 1248-1261.

152. **FLORENT L.**, 2006 - Etude expérimentale des effets maternels chez *Aphis gossypii*. Stage de M1.S3, université de Nice Sophia antipolis, 26 p.

153. **NEWTON, C.** et **DIXON, A.F.G.** 1990- Embryonic growth rate and birth weight of the offspring of apterous and alate aphids: a cost of dispersal. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 55: 223-229.

154. **DIXON, A.F.G.** et **KINDLMANN, P.** 1999- Cost of flight apparatus and optimum body size of aphid migrants. *Ecology* 80: 1678-1690.

155. **UNDERWOOD N, RAUSHER M.** , 2002- Comparing the consequences of induced and constitutive plant resistance for herbivore population dynamics. *Am Nat* 160:20–30

156. **ROTEM K.A, AGRAWAL A.A.**, 2003 - Density dependent population growth of the two- spotted spider mite, *Tetranychus urticae*, on the host plant *Leonurus cardiaca*. *Oikos* 103:559–565.

157. **SANDRA E., HELMS Æ., MARK D., HUNTER,** 2005 - Variation in plant quality and the population: there is nothing average about aphids. *Oecologia* (2005) 145: 197–204).

158. **GONZALES W.L., RAMIREZ C.C., OLEA N. et NIEMEYER H.M.**, 2002 - Host plant changes produced by the aphid *Sipha flava*: consequences for aphid feeding behaviour and growth. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 103: 107–113.

159. **MONDOR E.B., TREMBLAY M.N., et LINDROTH R. L.** 2004 - Transgenerational phenotypic plasticity under future atmospheric

conditions. Ecology Letters 7, 941-946.

160. **MONDOR E., ROSENHEIM B J. et ADDICOTT J.F., 2005** -. Predator-induced transgenerational phenotypic plasticity in the cotton aphid. *Oecologia* 142, 104-108.
161. **FOWLER M.S. 2005** - Interactions between maternal effects and dispersal. *Oikos* 110, 81-90.
162. **MAHR D.L. ET N.M. RIDGWAY. , 1993-** Biological control of insects and mites: an introduction to beneficial natural enemies and their use in pest management. North Central Regional Publication 481, Cooperative Extension Publications, University of Wisconsin, Madison. 91 p.
163. **STEFFAN-DEWENTER I. ET T. TSCHARNTKE. , 2002** - Insect communities and biotic interactions on fragmented calcareous grasslands -a minireview. *Biological Conservation* 104: 275-284.
164. **RACCAH, B., TAHORI, A.S. AND APPLEBAUM, S.W. , 1972-** Effect of various sugars on development and wing production in the aphid *Myzus persicae*. *Israel J. Ent.* 7: 21-2.
165. **AUCLAIR, J.L. , 1976-** Feeding and nutrition of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Harris), with special reference to amino acids. *Symp. Biol. Hung.* 16: 29-34.
166. **NEUBAUER I., 1980** - a synthetic diet for the spirea aphid, *aphis citricola* **VAN DER GOOT**, *Phytoparasitica* 8(1): 19-25.
167. **SAUGE M.H, KERVELLA J. et PASCAL T., 1998** - Settling behaviour and reproductive potential of the green peach aphid *Myzus persicae* on peach varieties and a related wild *Prunus* . *Entomologia Experimentalis et Applicata* 89: 233–242.
168. **GIORDANENGO P. , BRUNISSEN L. , RUSTERUCCI C. , VINCENT C. , VAN BEL A. , DINANT S. , GIROUSSE C. , FAUCHER M. &**

- BONNEMAIN J.L. , 2010** - Compatible plant-aphid interactions: How aphids manipulate plant responses *C. R. Biologies* 333 (2010) 516–523.
169. **ILDIKO K. et GALIBA G., 1995** – Carbohydrates in wheat and Maize plants under water stress. INRA, Inter drought, V-10. In : *Physiologie des arbres et arbustes des zones arides et semi-arides* – Paris, 465 – 472.
170. **DIB T.A., MONNEVEUX P et ARAUS J.L., 1992** - Adaptation à la sécheresse et notion d'ideotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation. Elsevier, INRA, *Agronomie*, 12, 381-393.
171. **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.
172. **RHAINDS M, ROY M . et BRODEUR J., 2007-** Validation et mise au point de méthodes de dépistage du puceron du soya., Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation: 30 pp.
173. **GIORDANENGO P., POMPON J., QUIRING D., RAHBE Y., GOYER C. et PELLETIER Y., 2010–** Un nouveau regard sur l'ingestion de xylème par les phloémophages. Recueil des résumés : Interactions et Biodiversité, VII Conférence Internationale Francophone d'Entomologie, Louvain La Neuve, 5-10 juillet 2010, p 61.
174. **MARSCHAL J., 1974-** Influence des porte-greffes sur la composition foliaire du clémentinier et d'autres espèces d'agrumes sous différents climats. *Rev. Fruit*, vol. 6, n°21, pp. 21-148.
175. **MARSCHAL M., 1975-** Variations saisonnières de la composition minérale des feuilles de clémentinier greffée sur bigaradier, Citrange « troyer » et *Poncirus trifoliata* en Corse. *Rev. Fruit*, vol. 5, n° 30, pp. 329-337.
176. **HEMPTINNE J.-L., DIXON A. F. C. MACKENZIE A., 1990-** Adaptation du cycle biologique des prédateurs aphidiphages aux fluctuations

démographiques de leurs proies. Colloque de l'I.N.R.A. 52: 101 -104.

177. **SAHARAOUI 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.), 2009, 45 (2) : 245-259.
178. **DOUTT, R. L. et DE BACH P., 1964-** Some biological control concepts and questions, p. 118-142 in: De Bach P., Schlinger E. I. (eds.) Biological Control of Insect Pests and Weeds. Chapman & Hall, London, 844 p.
179. **GHARBI R. ,2006** - Le complexe coccinelle parasites hyménoptères dans la population de cochenilles diaspidines (Homoptera-Diaspididae) et son interaction avec leurs guildes dans un verger de citronniers à Rouiba. Mémoire d'ingénieur, Institut National Agronomique., El-Harrach, 106 p.
180. **WANG Y. et BA F.,1998-** Study on the optimum control of soybean aphid. Acta Phytopylacica Sinica, 25, 151-155.
181. **LATIGUI A., RABASSE J.M. et CHAMPEROUX A. , 1991-** Influence de la nutrition minérale de l'aubergine cultivée hors sol sur la production du puceron *Macrosiphum euphorbiae* Thomas. *Bulletin WPRS/SROP. OILB XIV*. vol. 5, p. 116-124.
182. **DEDRYVER C.A, LE RALEC A., FABRE F., 2010** - The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. C. R. Biologies 333 (2010) 539–553.
183. **MORALES H., PERFECTO I. et FERGUSON B., 2001** - Traditional fertilization and its effect on corn insect populations in the Guatemalan highlands. Agriculture Ecosystems and Environment, 84: 145-155.
184. **NEVO E. et COLL M. 2001** - Effect of nitrogen fertilization on *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae): variation in size, color, and reproduction. Journal of Economic Entomology 94: 27-32.

185. **ANDERSEN A., 2003** - Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. II Effects on pests and beneficial insects. *Crop Protection* 22: 147-152.
186. **HESLER L.S & BERG R.K., 2003** - Tillage impacts cereal-aphid (Homoptera: Aphididae) infestations in spring small grains. *Journal of Economic Entomology* 96: 1792-1797.
187. **ERICKSON B., 2005**- Improve soybean yields through attention to genetics planting practices, and pest management. *Top Farmer Crop Workshop Newsletter*, 3pp.
188. **RUTLEDGE C.E, O'NEIL R.J, FOX T.B et LANDIS D.A., 2006** - Soybean aphid predators and their use in integrated pest management. *Annals of the Entomological Society of America*, 97, 240-248.
189. **ONSTAD D.W, FANG S. & VOEGTLIN D.J., 2005** - Forecasting seasonal population growth of *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) in soybean in Illinois. *Journal of Economic Entomology*, 98, 1157-1162.
190. **WANG Y., MA L., WANG J., REN X. & ZHU W., 2000** - A study on system optimum control to diseases and insect pests of summer soybean. *Acta Ecologica Sinica*, 20, 502-509.
191. **GARDINER M.M., LANDIS D.A, GRATTON C., SCHMIDT N., O'NEAL M., MUELLER E., CHACON J., HEIMPEL G.E et DIFONZO C.D., 2009** - Landscape composition influences patterns of native and exotic lady beetle abundance. *Diversity and Distributions* 15: 554-564.
192. **TSCHARNTKE T., BOMMARCO R., CLOUGH Y., CRIST TO., KLEIJN D., RAND T.A., TYLIANAKIS J.M, VAN NOUHUYS S. et VIDAL S., 2007** - Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, 43: 294-309.

193. **CLOYD R.A., SADOFF S.S., 2000-** Effects of plant architecture on the attack rate of *Leptomastix dactylopii* (Hymenoptera: Encyrtidae), a parasitoid of the Citrus mealybug (Homoptera: Pseudococcidae). Environ. Entomol. 29, 535-541.
194. **GINGRAS D., BOIVIN G., 2002-** Effect of plant structure, host density and foraging duration on host finding by *Trichogramma evanescens* (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Environ. Entomol. 31, 1153-1157.
195. **LANGELLOTTO G.A., DENNO R.F., 2004-** Responses of invertebrate natural enemies to complex-structured habitats: a meta-analytical synthesis. Oecologia. 139, 1-10.
196. **MARTINEZ J.Y., 2003-** Wool Differential response of trees and shrubs to browsing and pruning: the effects on *Pistacia* growth and gall-inducing aphids J. Plant Ecology 169: 285–294.
197. **DE MORAES C.M., MESCHER M.C.et TUMLINSON J.H., 2001-** Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. Nature, 410, 577-580.
198. **NORDLUND D.A. et LEWIS W.J., 1985.** Response of females of braconid parasitoids *Microplitis demolitor* to frass of larvae of noctuids, *Heliothis zea* and *Trichoplusia ni* and to 13-methylhentriacontane. Entomol. Exp. Appl., 38, 109-112.
199. **SYMONDSON W.O.C., SUNDERLAND K.D. et GREENSTONE M.H., 2002.** Can generalist predators be effective biocontrol agents? Annu. Rev. Entomol., 47, 561-594.
200. **SHONOUDA M.L., BOMBOSCH S., SHALABY A.M. et OSMAN S.I., 1998-** Biological and chemical characterization of a kairomone excreted by the bean aphids *Aphis fabae* Scop., and its effect on the predator *Metasyrphus corollae* Fabr. I. Isolation, identification and bioassay of aphid-kairomone. J. Appl. Entomol., 122, 15- 23.

201. **LEROY P., CAPELLA Q., 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.* 2009 13(2), 325-334).
202. **CARTER M. et DIXON A.F.G., 1984-** Honeydew: an arrestant stimulus for coccinellids. *Ecol. Entomol.*, 9, 383-387.
203. **IDE T., SUZUKI N. et KATAYAMA N., 2007-** The use of honeydew in foraging for aphids by larvae of the ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae). *Ecol. Entomol.*, 32(5), 455-460.
204. **EVANS E.W. et RICHARDS D.R., 1997-** Managing the dispersal of ladybird beetles (Col.: Coccinellidae): use of artificial honeydew manipulate spatial distributions. *Entomophaga*, 42, 93-102.
205. **BUCKLEY R., 1987** - Interactions involving plants, Homoptera and ants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 18, 111-135.
206. **VÖLKL W., 1999** - Ant-aphid mutualisms: the impact of honeydew production and honeydew sugar composition on ant preferences. *Oecologia*, 118, 483-491.
207. **FISCHER M. et SHINGLETON A., 2001** - Host plant and ants influence the honeydew sugar composition of aphids. *Funct. Ecol.*, 15, 544-550.
208. **YAO I. et AKIMOTO S.I., 2001** -. Ant attendance changes the sugar composition of the honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*. *Oecologia*, 128, 36-43.
209. **SUDD J., 1967** - *An introduction to the behaviour of ants*. London: Edward Arnold.231p.
210. **HUBER P., 1810** - *Recherches sur les mœurs des fourmis indigènes*. Paris ; Genève, Suisse : J.J. Paschoud.

211. **BRISTOW C.M., 1984** - Differential benefits from ant attendance to two species of Homoptera on New York ironweed. *J. Anim. Ecol.*, **53**, 715-726.
212. **MAHDI T. et WHITTAKER J.B., 1993** - Do birch trees (*Betula pendula*) grow better if foraged by wood ants? *J. Anim. Ecol.*, **62**, 101-116.
213. **SLOGGETT J.J. et MAJERUS M.E.N., 2000** - Aphid-mediated coexistence of ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae) and the wood ant *Formica rufa*: _ International Organization for Biological Control (IOBC), 55:631–638
214. **BANKS C.J., 1962** - Effects of the ant *Lasius niger* on insects preying on small populations of *Aphis fabae* on bean plants. *Ann. Appl. Biol.*, **50**, 669-679.
215. **DIXON A.F.G., 1985** - *Aphid ecology*. Glasgow, London, UK: Blackie & Son Ltd., 92-103.
216. **VERHEGGEN F.J., 2008** - Aphid and plant secondary metabolites induce oviposition in an aphidophagous hoverfly. *J. Chem. Ecol.*, **34**(3), 301-307.
217. **VERHEGGEN F.J., 2007** - Electrophysiological and behavioral responses of the multicolored Asian Lady Beetle, *Harmonia axyridis* Pallas, to sesquiterpene semiochemicals. *J. Chem. Ecol.*, **33**, 2148-2155.
218. **WAY M.J., 1963** - Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera. *Ann. Rev. Ecol.*, **8**, 307-344.
219. **GUENARD L., 2006**- des colonies aphidiennes par les fourmis : un bénéfice pour les prédateurs furtifs ? Union internationale pour l'étude des insectes sociaux – section française Colloque annuel Avignon – 24-

27 avril

220. **DERIASSA A. 2008** – Contribution à l'évaluation du ratio coût/bénéfice dans les Trophobioses entre FOURMICIDAE et HOMOPTERA par l'utilisation des biomarqueurs énergétiques (lipides et sucres) : Cas des insectes du peuplier, Thèse Ing. Agro. Inst. Agro. , BLIDA, 48p.
221. **ROY M., 2008** - Le puceron du soya. Statut du ravageur et stratégies de lutte. Grandes Cultures, 54- 59.
222. **MAC MURTY J.A., HUFFAKER C.B. et VAN DE VRIE M., 1970-** Tetranychid enemies and their biological characters and the impact of spray practices. Hilgardia 40: 330-385.
223. **OLSZAK R.W., 1999-** The effectiveness of three species of coccinellid adults in controlling small colonies of the green apple aphid (*Aphis pomi*). pp. 381-384.
224. **OLSZAK R.W., 1994-** Voracity and development of tree species of coccinellidae preying upon different species of aphids. pp. 47-53.
225. **WAAGE, J.K., CARL K.P., MILLS N.J. et GREATHEAD D.J. ,1985-** Rearing entomophagous insects. Pages 45-66 dans P. Singh et R. Moore (éds.), Handbook of insect rearing, vol. 1. Elsevier, Amsterdam.
226. **LEVINS R., 1968** – Evolution in changing environments. *Princeton University Press*, Princeton.
227. **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.
228. **ROFF D.A., 1992** – The evolution of life histories: theory and analysis. Chapman & Hall, London.

229. **GILLON Y., 1976**, - Stratégies démographiques chez les insectes, leurs processus biologiques, Extrait du Bulletin de la Société Zoologique de France. Tome 101, no 4, p. 653.
230. **CHEROUX, 1980**- incidence des parasites Aphiduis matricariae, HAL. (Hym : Aphididae) sur la fécondité de son hôte Mysis persicae (SULZ) (Homoptera : Aphididae) à différentes températures. Ann. Zoo.Ecol. Anim. 11(3). pp 359 – 369.
231. **RISTOLA T., PELLINEN J., ROUKOLAINEN M., KOSTAMO A., KUKKONEN J. V. K., 1999** – effect of sediment type, feeding level and larval density on growth and development of a midge (*chironomus riparius*). *Environ toxicol chem* , 1999,18 :756-764.
232. **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.
233. **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 Thés, Mag. Agro. Inst. Agro. BLIDA, 167p.
234. **VINCENT C.H. et BOIVIN G., 1986** – Les relations insectes- plantes Perspectives de recherche. *Rev. Entom.Québ.*-Vol. 31 (1/2), pp. 5- 15.
235. **RINGO J., 1996** – Sexual receptivity in insects. *Annual Reviews in Entomology* 41 473-494.
236. **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.
237. **JOHNSON B. , 1957** - Studies on the degeneration of the flight muscles of alate aphids. - I. A comparative study of the occurrence of muscle breakdown in relation to reproduction in several species. *J. Insect physiol.*, 1, 248-2156 .

238. **DINGLEH. , 1972** - Migration strategies of Insects, *Science*, 175, 1327- 1335.
239. **PIANKA, E. R. 1972**, - randk selection or b an d selection ? *Am. Nat.*, 106 (951), 581-588
240. **MATTSON, W.J., SLOCUM, S.S. et KOLLER, C.N., 1983**- Spruce budworm (*Choristoneura fumiferana*) performance in relation to foliar chemistry of its host-plants. In: Talerico R.L., Montgomery M. (ed) CANUSA workshop on forest defoliator-hostinteractions: a comparison between gypsy moth and spruce budworm, New Haven, CT, 5-7 April 1983 General Technical Report NE-85. USDA Forest Service, Broomall, PA. pp. 55-66.
241. **HARVEY, G.T., 1974**- Nutritional studies of eastern spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). I. Soluble sugars. *Canadian Entomologist*, 106: 353-365.
242. **TAYLOR, M.F.J., 1984**- The dependence of development and fecundity of *Samea multiplicalis* on early larval nitrogen intake. *Journal of Insect Physiology*, 30: 779-785.
243. **MATTSON, W.J., HAACK, A.R., LAWRENCE, R.K. et SLOCUM, S.S., 1991**- Considering the nutritional ecology of the spruce budworm in its management. *Forest Ecology and Management*, 39: 183-210.
244. **SHAW, G.G. & LITTLE, C.H.A., 1972**- Effect of high urea fertilization of balsam fir trees on spruce budworm development. Insect and mite nutrition, J.G. Rodriguez, ed., North Holland Publishing Company, Amsterdam, 589-597.
245. **BIDON, Y., 1993**. Influence des sucres solubles et de l'azote sur la croissance, le développement et l'utilisation de la nourriture par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)). Thèse de Maîtrise ès Science. Université Laval, Ste-Foy (Québec), Canada. 63 pp.

246. **MASON, R.R., WICKMAN, B.E., BECKWITH, R.C. & 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.
247. **DADD, R.H., 1985-** Nutrition: organisms. In: *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, vol. 4, ed. G.A. Kerkut & L.I. Gilbert, pp. 313- 390. Oxford: Pergamon Press.
248. **MATTSON, W.J. & HAACK, A.R., 1987-** The role of drought stress in provoking outbreaks of phytophagous insects. In: *Insect outbreaks*. Edited by P. Barbosa & J.C. Schultz. Academic Press, New York. pp. 365-407.
249. **WARING, G.L. & COBB, N.S., 1992-** The impact of plant stress on herbivore population dynamics. In: *Insect-plant interactions*, Vol. IV. Edited by E.A. Bernays. CRC Press, Florida. pp. 167-226.
250. **SHAW, G.G., LITTLE, C.H.A. et DURZAN, D.J., 1978-** Effect of fertilization of balsam fir trees on spruce budworm nutrition and development. *Canadian Journal of Forest Research*, 8: 364-374.
251. **MASON, R.R., WICKMAN, B.E., BECKWITH, R.C. & 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.
252. **GERSHENZON, J., 1984.** Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: *Phytochemical adaptations to stress*. Edited by B.N. Timmermann, C. Steelink & F.A. Loewus. Plenum Press, New York and London. pp. 273-320.
253. **OHMART, C.P., STEWART, L.G. & THOMAS, J.R., 1985-** Effects of food quality, particularly nitrogen concentrations of *Eucalyptus blakelyi* on the growth of *Paropsis atomaria* larvae (Coleoptera: Chrysomelidae). *Oecologia*, 65: 543-549.

254. **BRYANT, J.P., CLAUSEN, T.P., REICHARDT, P.B., MCCARTHY, M.C. & WERNER, R.A., 1987-** Effect of nitrogen fertilization upon the secondary chemistry and nutritional value of quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.) leaves for the large aspen tortrix (*Choristoneura conflictana* (Walker)). *Oecologia*, 73: 513-517.
255. **WARING, G.L. & PRICE, P.W., 1988-** Consequences of host plant chemical and physical variability to an associated herbivore. *Ecological Research*, 3: 205-216.
256. **SCRIBER, J.M., 1977-** Limiting effects of low leaf-water content on the nitrogen utilization, energy budget, and larval growth of *Hyalophora cecropia* (Lepidoptera: Saturniidae). *Oecologia* 28: 269-287.
257. **Mattson, W.J. & Scriber, J.M., 1987-** Nutritional ecology of insect folivores of woody plants: nitrogen, water, fiber, and minerals considerations. In: F. Slansky Jr. and J.G. Rodriguez (eds.), Nutritional ecology of insects, mites, spiders, and related invertebrates. Wiley, New York, pp. 105-146.