

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abd El Hamid Ibn Badis de Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département d'Agronomie



THESE

Pour le grade de

DOCTEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option : Protection des Végétaux

Présentée par

Raouf BENSaad

Potentialités des entomophages associés aux pucerons de la pomme de terre en zones arides (Djelfa): Implication en lutte biologique de leurs interactions

Soutenue le 05 janvier 2021 devant le jury composé de :

LARID Mohamed	Pr. U. Mostaganem	Président
GUENAOUI Yamina	Pr. U. Mostaganem	Directrice de thèse
LATIGUI Ahmed	Pr. U. Tiaret	Examineur
LAAMARI Malik	Pr. U. Batna	Examineur
TADJA Abdelkader	MCA. U. Mostaganem	Examineur
MOHAMMEDI Ahmed	MCA. U. Chlef	Examineur

Année universitaire 2019-2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie mon travail à ma petite fille Sofia et à mes deux chers défunts ; mon grand frère Tahar et mon beau père El Hadj Boubaker Mimoun.

Remerciements

Gratitude au tout puissant Dieu qui guide mes pas dans tout ce que j'entreprends.

Je tiens à remercier avec tout mon profond respect la Professeure Yamina Guenaoui ma directrice de thèse pour l'encadrement de ce travail et ses orientations durant toute la période de ma formation, pour son soutien moral, sa générosité et ses précieux conseils.

J'exprime tous mes remerciements au Pr. Larid Mohamed de l'Université de Mostaganem d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance ainsi qu'aux Pr. Malik Laamari de l'Université de Batna, le Pr. Ahmed Latigui de l'Université de Tiaret, le Dr. Ahmed Mohammedi de l'Université de Chlef et le Dr. Abdelkader Tadjia de l'Université de Mostaganem d'avoir accepté de faire partie du jury et examiner mon travail.

Mes remerciements particuliers vont à l'équipe de l'AgroCampus Ouest de l'université 01 de Rennes composée de : la Professeur Anne Le Ralec, le docteur Yoanne Navasse et les techniciens Bernard Chaubet, Christelle Buchard et Evelyne Turpeau Ait-Ighil pour leurs aides précieuses, pour l'accueil au niveau de l'établissement et leurs contributions dans la formation et l'identification morphologique et moléculaire des insectes. Mes vifs remerciements vont au Pr. Yannick Outreman de la même structure pour son aide dans les traitements statistiques de mes résultats ainsi que pour ses précieux conseils et sa contribution à la réalisation de l'article. Je remercie Pr. Rosa Vercher et son équipe de recherche de l'Université Polytechniques de Valencia (Espagne) pour l'accueil et les nombreuses techniques que j'avais apprises dans le domaine de l'entomologie durant mes stages de formation. Je n'oublie pas de remercier mon ami Dr. Mohamed Labdaoui de l'Université de Mostaganem et membre de notre équipe de recherche sous la direction de Pr. Y. Guenaoui pour son soutien moral et les nombreux services qui m'a rendus durant toute la période de travail. Je remercie aussi le Professeur Karim Souttou de l'Université de Djelfa pour sa contribution dans l'analyse des indices écologiques des insectes inventoriés.

Mon travail n'aurait jamais vu le jour sans la contribution de mes étudiants que j'avais encadrés en Ingéniorat et en Master et qui m'ont assisté durant tous les travaux expérimentaux sur le terrain et en laboratoire. J'adresse mes remerciements à l'ancien Doyen de la Faculté SNV, le Pr. Mokhtar Lahrech de l'Université de Djelfa et M. Said Guessab responsable des laboratoires de la Faculté et toute l'équipe du laboratoire de m'avoir facilité l'accès au site et aux matériels de travail. Je n'oublie pas le personnel responsable de la sécurité de la même Faculté pour sa présence sur le site même en périodes de vacances ou jours fériés. Je remercie

aussi toute l'équipe du service post-graduation de la Faculté SNV de l'Université de Mostaganem.

Tous mes remerciements vont également aux propriétaires et gérants des exploitations agricoles dans lesquelles j'ai réalisé mes expérimentations, en particulier mon ami Défunct Kamel Sahel (ancien ingénieur de l'ITA) que son âme repose en paix.

Je ne saurais trop remercier les êtres les plus chers ; mon Papa et ma Maman que de Dieu les préserve de tous les malheurs. Je remercie également toutes mes sœurs et tous mes frères qui m'ont encouragé durant toutes ces années de travail sur la thèse.

Un remerciement particulier pour mon ami et frère Dr. Ammar Tiaiba de l'Université de M'sila pour son soutien moral, ses orientations très précieuses et les services qu'il m'a rendus durant la période de travail. Grand merci à mes très chers amis d'enfance de Djelfa et mes amis de l'Université qui sont encore à mes côtés, je cite ; Hichem, Rachid, Belkacem, Fares, Moh, l'autre Rachid, Nabil, Adel, un autre Rachid, ..., Madi, Elhadj, Yahia, ...etc.

Ce travail n'aurait jamais pu se faire convenablement sans l'appui et les encouragements de celle qui partage ma vie... ma Femme.

Raouf.

Tables des matières

N°	Titres	Page
	Dédicace	I
	Remerciements	II
	Table des matières	IV
	Résumé	VIII
	ملخص	IX
	Abstract	X
	Liste des abréviations	XI
	Liste des figures	XII
	Liste des tableaux	XVI
	Introduction générale	01
	Partie 01 : Synthèse bibliographique	05
	Chapitre 01 : Généralités sur la culture de pomme de terre	05
I.1.1.	Origine, systématique de la pomme de terre et distribution dans le monde	05
I.1.2.	Importance de la pomme de terre (superficies et productions)	06
I.1.2.1.	Dans le monde	06
I.1.2.2.	En Algérie	06
I.1.2.3.	A Djelfa	07
I.1.3.	Problèmes phytosanitaires majeurs	08
I.1.3.1.	Principales maladies	08
I.1.3.2.	Principaux ravageurs	09
	Chapitre 02 : Pucerons (Hémiptères)	11
I.2.1.	Généralités	11
I.2.2.	Taxonomie	12
I.2.3.	Morphologie	13
I.2.4.	Cycle de vie	14
I.2.5.	Effets des facteurs climatiques sur la biologie des pucerons	16
I.2.6.	Nutrition des pucerons	18
I.2.7.	Défense des pucerons	19
I.2.8.	Dégâts causés par les pucerons	20
I.2.8.1.	Dégâts directs	20
I.2.8.2.	Dégâts indirects	21
A.	Transmission de virus	21
B.	Rejet de miellat et apparition de fumagine	21
I.2.9.	Principales espèces Aphididae inféodées à la culture de pomme de terre	21
I.2.9.1	<i>Macrosiphum euphorbiae</i> Thomas, 1878	21
I.2.9.2	<i>Aphis gossypii</i> Glover, 1877	22
I.2.9.3	<i>Myzus persicae</i> Sulzer, 1776	24
	Chapitre 03 : Moyens de lutte contre les pucerons	25
I.3.1.	La lutte préventive	25
I.3.2.	La lutte biotechnique	25
I.3.3.	La lutte chimique	26
I.3.4.	La lutte biologique	27
I.3.4.1.	Notions de prédation, parasitisme et compétition	28

A.	Prédation	28
B.	Parasitisme	28
C.	Compétition	29
I.3.4.2.	Les principaux prédateurs de pucerons	29
A.	Les coccinelles (Coccinellidae : Coleoptera)	30
A1.	<i>Coccinella septempunctata</i> Linné, 1758 (Coccinelle à 7 points)	31
A2.	<i>Coccinella undecimpunctata</i> Linné, 1758 (Coccinelle à 11 points)	32
A3.	<i>Hippodamia tredecimpunctata</i> Linnaé, 1758 (Coccinelle à 13 points)	33
B.	Les chrysopes (Chrysopidae : Neuroptera)	35
C.	Les Mirides, Anthocorides et Nabides (Heteroptera)	36
C1.	<i>Macrolophus pygmaeus</i> Rambur, 1839 (punaise miride)	36
C2.	<i>Nesidiocoris tenuis</i> Reuter, 1895 (punaise miride)	37
D.	Les syrphes (Syrphidae : Diptera)	37
E.	Les cécidomyies (Cecidomyiidae : Diptera)	38
F.	La forficule <i>Forficula auricularia</i> Linnaeus, 1758 (Forficulidae : Dermaptera)	39
I.3.4.3.	Les principaux parasitoïdes de pucerons (Hyménoptères)	40
A.	<i>Aphidius colemani</i> Viereck, 1912	42
B.	<i>A. ervi</i> Haliday, 1834	42
C.	<i>A. matricariae</i> Haliday, 1834	43
D.	<i>Lysiphlebus testaceipes</i> Cresson, 1880	43
I.3.5.	La lutte intégrée	44
Chapitre 04 : Interactions entre ennemis naturels des pucerons		46
I.4.1.	Effets des interactions sur la lutte biologique	46
I.4.2.	Prédation intra-guilde	46
I.4.3.	Compétition intra-guilde	49
Partie 02 : Partie expérimentale : Inventaire des pucerons, de leurs prédateurs et parasitoïdes dans la région de Djelfa pendant la période 2013 - 2017		51
II.1.	Matériels et méthodes	51
II.1.1.	Présentation de la zone d'étude	51
II.1.2.	Choix des sites	52
II.1.3.	Etage bioclimatique de la région d'étude	54
A.	Températures	55
B.	Pluviométrie	55
C.	Diagramme Ombrothermique	56
D.	Climagramme d'Emberger	56
II.1.4.	Variété de pomme de terre utilisée, période de plantation et protection phytosanitaire	58
II.1.5.	Méthodologie d'échantillonnage des insectes	58
II.1.6.	Elevage des insectes récoltés	59
II.1.7.	Identification des insectes récoltés	60
II.1.7.1.	Pucerons	60
II.1.7.2.	Prédateurs	61
II.1.7.3.	Parasitoïdes	61
II.1.7.4.	Cas particulier d'autres insectes	61
II.1.7.5.	Identification des parasitoïdes par tests moléculaires	62
A.	Extraction de l'ADN	62
B.	PCR (Polymerase Chain Reaction)	63
C.	Préparation du gel d'Agarose (Electrophorèse)	63
D.	Séquençage	64

II.2.	Résultats et discussions	64
II.2.1.	Inventaire des pucerons	64
II.2.2.	Inventaire des prédateurs	67
II.2.2.1.	Les coccinelles	67
II.2.2.2.	Chrysopes et punaises	71
II.2.2.3.	Autres espèces prédatrices de pucerons sur pomme de terre à Djelfa (2013-2017)	74
II.2.3.	Inventaire des parasitoïdes	76
II.2.4.	Evolution démographique des populations d'insectes récoltés par site et date	81
C.1.	Site de Maalba (2013)	83
C.2.	Site d'El Merdja (2014)	84
C.3.	Site de Sayada (2014)	85
C.4.	Site de Kheneg (2015)	87
C.5.	Site de Rous Layoun (2016)	88
C.6.	Site de Dzaira 02 (2017)	89
C.7.	Site de Rous Layoun (2017)	90
C.8.	Site de Bichia (2017)	91
Partie 03 : Partie expérimentale : Expérimentations en laboratoire		93
Chapitre 01 : Suivi de la biologie des principales espèces de pucerons inventoriées dans la Wilaya de Djelfa		93
III.1.1.	Matériels et méthodes	93
III.1.1.1.	Elevage des pucerons	93
III.1.1.2.	Suivi de la biologie des pucerons	93
III.1.1.2.1.	Protocole 1 : 05 femelles par boîte	94
III.1.1.2.2.	Protocole 2 : 01 femelle par boîte	94
III.1.2.	Résultats	95
III.1.2.1.	Protocole 1 (05 VA par boîte)	95
III.1.2.1.1.	Durée moyenne de développement des stades larvaires	95
III.1.2.1.2.	Longévité totale	96
III.1.2.1.3.	Fécondité totale	97
III.1.2.2.	Protocole 2 (01 femelle par boîte)	97
III.1.2.2.1.	Durée moyenne de développement des stades larvaires	97
III.1.2.2.2.	Longévité totale	99
III.1.2.2.3.	Fécondité totale	99
III.1.3.	Discussions	101
Chapitre 02 : Essais de lutte biologique contre les espèces de pucerons dominantes		105
III.2.1.	Matériels et méthodes	105
III.2.1.1.	Essais de prédation par les punaises et les coccinelles	105
III.2.1.1.1.	Protocole de 25 proies/24h : Punaises ; <i>M. pygmaeus</i> et <i>N. tenius</i> vis-à-vis de <i>M. persicae</i>	105
III.2.1.1.2.	Protocole de 40 proies/24h : Coccinelles : <i>C. septempunctata</i> et <i>C. undecimpunctata</i> ; Pucerons : <i>A. gossypii</i> et <i>M. persicae</i>	106
III.2.1.1.3.	Protocole de 60 proies/24h : Coccinelles : <i>C. septempunctata</i> et <i>H. tredecimpunctata</i> ; Pucerons : <i>A. gossypii</i> et <i>M. persicae</i>	106
III.2.1.2.	Prédation par la chrysope <i>Chrysoperla carnea</i>	106
III.2.1.3.	Essai de succès parasitaire sur <i>A. gossypii</i> par 2 espèces parasitoïdes (Braconidae)	107
III.2.2.	Résultats et discussions	108
III.2.2.1.	Prédation par les punaises et les coccinelles	108

III.2.2.1.1.	Protocole de 25 proies/24h ; Punaises ; <i>Macrolophus pygmaeus</i> et <i>Nesidiocoris tenuis</i> vis-à-vis de <i>M. persicae</i>	108
III.2.2.1.2.	Protocole de 40 proies/24h ; Coccinelles ; <i>C. septempunctata</i> et <i>C. undecimpunctata</i> vis-à-vis d' <i>A. gossypii</i> et <i>M. persicae</i>	109
III.2.2.1.3.	Protocole de 60 proies/24h ; Coccinelles ; <i>C. septempunctata</i> et <i>Hippodamia tredecimpunctata</i> vis-à-vis d' <i>A. gossypii</i> et <i>M. persicae</i>	111
III.2.2.2.	Prédation par la chrysope <i>C. carnea</i>	113
III.2.2.3.	Parasitisme vis-à-vis de <i>A. gossypii</i> ; Regulatory potential of parasitoids over <i>A. gossypii</i> under semi-arid laboratory conditions (Voir article)	117
Chapitre 03 : Interactions entre prédateurs et parasitoïdes de pucerons sur pomme de terre dans la Wilaya de Djelfa		126
III.3.1.	Matériels et méthode	126
III.3.1.1.	Interactions entre différents prédateurs	126
III.3.1.2.	Interactions entre parasitoïdes : Situation de compétition intra-spécifique de l'espèce <i>L. testaceipes</i> ayant pour hôte <i>A. gossypii</i>	127
III.3.1.3.	Interactions entre prédateurs et parasitoïdes	127
III.3.2.	Résultats et discussions	128
III.3.2.1.	Interactions entre différents prédateurs	128
III.3.2.2.	Interactions entre parasitoïdes : Situation de compétition intra-spécifique de l'espèce <i>L. testaceipes</i> ayant pour hôte <i>A. gossypii</i>	130
III.3.2.3.	Interactions entre prédateurs et parasitoïdes	133
III.3.2.3.1.	Taux de prédation selon le prédateur, le type de compétition et la ressource	133
III.3.2.3.2.	Nombre de momies relevés après le passage des prédateurs	136
Conclusion générale et perspectives		138
Références bibliographiques		141
Annexes		

Résumé

Cette étude porte sur les pucerons de la pomme de terre et leurs antagonistes associés dans une zone aride de la wilaya de Djelfa. Elle se justifie par le fait que cette culture d'introduction récente est entrain de se développer. Il nous a semblé utile de connaître d'une part la composition de la faune aphidienne associée à cette filière qui prend de l'importance, mais aussi évaluer la diversité faunistique des entomophages associés à ces espèces de pucerons pour valoriser leur action.

L'intérêt de cette recherche est de mieux connaître la composition de la faune antagoniste de pucerons dans un environnement semi aride à aride où les conditions climatiques sont différentes par rapport au nord du pays. C'est aussi un moyen pour aménager la lutte contre les pucerons en favorisant leurs ennemis naturels par différentes pratiques afin de réduire au strict nécessaire les applications chimiques pour protéger la culture.

Nous avons réalisé des prospections sur des parcelles de pomme de terre de 2013 à 2017 sur différents sites en prélevant des échantillons avec une fréquence hebdomadaire pendant la production du printemps pour dresser un premier inventaire des principales espèces antagonistes et évalué leurs potentialités en conditions semi contrôlées en vue de favoriser leurs actions par conservation. Les résultats ont permis de recenser 5 espèces de pucerons dont les plus représentatives sont par ordre d'importance *Aphis gossypii*, *Macrosiphum euphorbiae* et *Myzus persicae*. Concernant leurs antagonistes respectifs nous avons distingué les prédateurs des parasitoïdes. Les prédateurs sont composés de plusieurs groupes entomologiques avec 07 espèces majoritaires dont les Coccinellidae sont dominantes. Ces espèces sont : *Coccinella septempunctata*, *C. undecimpunctata*, *C. algerica*, *H. tredecimpunctata* (Coccinellidae), *Macrolophus pygmaeus*, *Nesidiocoris tenuis* (Miridae), *Chrysoperla carnea* (Chrysopidae). Les espèces de parasitoïdes primaires d'importance sont : *Aphidius ervi*, *A. matricariae*, *Lysiphlebus fabarum* et *L. testaceipes*.

En plus de l'inventaire nous avons réalisé des expérimentations en conditions semi-contrôlées (T= 25±1C°; HR=37-45% et L/D=16h/8h) qui reflètent le climat aride de la région.

Les paramètres biologiques des 3 espèces de pucerons sont en faveur d'*A. gossypii* pour lequel le développement dure moins longtemps (7 jours) par rapport à *M. euphorbiae* avec une fécondité significativement plus élevée par rapport à *M. persicae* (p<0.001).

Les tests de prédation concernant les punaises mirides ont porté sur l'espèce *M. persicae*. C'est *N. tenuis* qui a montré une meilleure capacité prédatrice par rapport à *M. pygmaeus* (p<0.001). La prédation des larves de *C. carnea* vis-à-vis des 3 espèces de pucerons est plus élevée sur *A. gossypii* (p<0.001). Il existe des interactions entre espèces des groupes de prédateurs qui avantagent le groupe des coccinelles en particulier *C. septempunctata*.

Pour les parasitoïdes, nous avons comparé le succès parasitaire de *L. testaceipes* et *A. matricariae* sur leur hôte commun *A. gossypii*. Le nombre de momies formées était équivalent cependant le taux d'émergence des adultes à partir des momies formées était en faveur de *L. testaceipes* (p<0.001) qui contribue plus à l'accroissement de ses populations sur le terrain.

Les interactions intra-gilde entre prédateurs et parasitoïdes sont asymétriques, favorisant plus les prédateurs, ce qui semble expliquer la raréfaction des parasitoïdes à certaines périodes de la culture. Cette étude permet de mieux cerner le niveau de la biodiversité faunistique en culture de pomme de terre qui côtoie d'autres cultures. Elle met en évidence les difficultés de la lutte phytosanitaire sur le terrain sans l'apport de la lutte chimique ; mais elle permet aussi de mieux comprendre l'amélioration de la nature des interactions entre les composantes du milieu. Il permet aussi de mesurer l'efficacité des entomophages par conservation en introduisant différentes pratiques culturelles dans le but de réduire les dégâts à des seuils tolérables tout en modérant l'usage excessif des traitements chimiques dont les agriculteurs ne mesurent pas les effets négatifs.

Mots clés : *Solanum tuberosum* ; climat aride, pucerons ; entomophages ; potentiel biotique ; interactions intra-gilde.

ملخص

تركز هذه الدراسة على حشرات المن التي تهاجم البطاطس ومضاداتها المصاحبة لها في منطقة جافة بولاية الجلفة. ويبرر ذلك حقيقة أن هذه الزراعة حديثة النشأة في المنطقة آخذة في التطور. لقد كان من المفيد لنا أن نعرف من ناحية تكوين حشرات المن المرتبطة بهذه الشعبة المتنامية، ولكن أيضاً لتقييم تنوع أكلات الحشرات المرتبطة بهذه الأنواع من المن لتعزيز عملها.

تكمن أهمية هذا البحث في فهم تكوين الحشرات المضادة للمن في بيئة شبه جافة إلى جافة حيث تختلف الظروف المناخية مقارنة بشمال البلاد. كما أنها طريقة لإدارة مكافحة حشرات المن من خلال إعطاء الأهمية لأعدائهم الطبيعيين عن طريق عمليات مختلفة من أجل التقليل إلى حد أدنى من المكافحة الكيميائية الموجهة لحماية المحصول.

لذلك، أجرينا استطلاعات ميدانية حول قطع مزرعة للبطاطس من 2013 إلى 2017 في مواقع مختلفة من خلال أخذ عينات أسبوعياً أثناء الفترة الربيعية للإنتاج لجرد أول لأهم أنواع المضادات الحشرية وتقييم إمكاناتها في ظروف مناخية شبه خاضعة للتحكم بهدف تعزيز عملها من خلال طريقة الحفظ. حددت النتائج 5 أنواع من المن، وأكثرها تمثيلاً من حيث الأهمية *Aphis gossypii*، *Macrosiphum euphorbiae* و *Myzus persicae*. فيما يتعلق بمضاداتها، فقد عثرنا على حشرات مفترسة للطفيليات. تتكون المفترسات من عدة مجموعات حشرية مع غالبية 07 أنواع حيث *Coccinellidae* هي السائدة. هذه الأنواع هي: *Coccinella septempunctata*، *C. undecimpunctata*، *C. algerica*، *H. Nesidiocoris tenius*، *Macrolophus pygmaeus*، *tredecimpunctata* (*Coccinellidae*) (*Miridae*)، *Chrysoperla carnea* (*Chrysopidae*). أنواع الطفيليات الأولية ذات الأهمية هي:

Aphidius ervi و *A. matricariae* و *Lysiphlebus fabarum* و *L. testaceipes* بالإضافة إلى الجرد، أجرينا تجارب في ظروف شبه خاضعة للتحكم ($T = 25 \pm 1C^{\circ}$ ؛ $RH = 37-45\%$ و $L / D = 16h / 8h$) والتي تعكس المناخ الجاف للمنطقة.

الخصائص البيولوجية لثلاثة أنواع المن كانت لصالح *A. gossypii* التي يستمر تطورها أقل (7 أيام) مقارنة بـ *M. euphorbiae* ذات خصوبة أعلى بكثير مقارنة بـ *M. persicae* ($p < 0.001$).

تم إجراء اختبارات الافتراض للبق على *M. persicae*. أظهر *N. tenius* قدرة مفترسة أفضل مقارنة بـ *M. pygmaeus* ($p < 0.001$). الافتراض من يرقات *C. carnea* ضد أنواع المن الثلاثة أعلى في *A. gossypii* ($p < 0.001$). هناك تفاعلات بين أنواع المجموعات المفترسة التي تفضل مجموعة الدعسوقة على وجه الخصوص *C. septempunctata*.

بالنسبة للطفيليات، قارنا النجاح الطفيلي لـ *L. testaceipes* و *A. matricariae* على مضيفهما المشترك *A. gossypii*. كان عدد الموميوات المتكافئة مع ذلك كان معدل ظهور البالغين من الموميوات لصالح *L. testaceipes* ($p < 0.001$) مما يساهم بشكل أكبر في زيادة عدد أفرادها في الحقل.

التفاعلات داخل النقابة بين الحيوانات المفترسة والطفيليات غير متكافئة، فكانت في صالح الحشرات المفترسة، والتي يبدو أنها تفسر ندرة الطفيليات في فترات معينة من الزراعة.

تتيح هذه الدراسة فهماً أفضل لمستوى التنوع البيولوجي الحشري في زراعة البطاطس والذي يتواجد مع محاصيل أخرى. يسلط الضوء على صعوبات المكافحة في الصحة النباتية في الميدان دون مساهمة المكافحة الكيميائية؛ لكنه يسمح لنا أيضاً بفهم أفضل للتحسن في طبيعة التفاعلات بين مكونات البيئة. كما أنه يجعل من الممكن قياس فعالية أكلات الحشرات عن طريق الحفظ من خلال إدخال ممارسات زراعية مختلفة من أجل تقليل الأضرار إلى مستويات مقبولة مع الحد من الاستخدام المفرط للعلاجات الكيميائية، التي لا يدرك الفلاحون تأثيراتها السلبية.

الكلمات الرئيسية: *Solanum tuberosum*؛ المناخ الجاف؛ المن؛ أكلات الحشرات؛ الإمكانيات الحيوية تفاعلات داخل النقابة.

Abstract

This study was conducted for identifying aphid species causing significant damage to potato crops when conditions are favorable for the pests in an arid zone located in the Djelfa region (Algeria). In the same time we tried to estimate diversity and abundance of their natural enemies for regulating their populations. This research aimed to assess the control of aphids using the indigenous predators and parasitoids in a semi arid to arid environment where the climatic conditions are different compared to the north of the country. The extensive use of insecticides in Algeria may have negative effects on their natural enemies. Various practices could help to reduce chemical applications to favor conservative biological control to protect the crop.

We carried out surveys on potato plots from 2013 to 2017 on different sites by taking samples with a weekly frequency during spring production to draw up a first inventory of aphids and their main antagonist species (predators and parasitoids) then to assess their potentialities in semi-controlled conditions. A total of 5 aphid species were inventoried with three most representative species (*Aphis gossypii*, *Macrosiphum euphorbiae* and *Myzus persicae*). The first species was found to be the most abundant. Species richness of majority predators was 07 species belonging to Coccinellidae, Miridae and Chrysopidae family (*Coccinella septempunctata*, *C. undecimpunctata*, *C. algerica*, *H. tredecimpunctata*, *Macrolophus pygmaeus*, *Nesidiocoris tenuis*, *Chrysoperla carnea*). We observed abundance of lady beetle which was the most efficient.

Among the primary parasitoids we recorded four species *Aphidius ervi*, *A. matricariae*, *Lysiphlebus fabarum* and *L. testaceipes* (Hymenoptera, Braconidae). In addition to the inventory, we carried out experiments in semi-controlled conditions ($T = 25 \pm 1C^{\circ}$; $RH = 37-45\%$ and $L / D = 16h / 8h$) which reflect the arid climate of the region. Parasitoids depend on a series of adaptation for survival and are highly susceptible to changes in environmental conditions.

The biological parameters of the 3 aphid species are in favor of *A. gossypii* for which development lasts less (7 days) compared to *M. euphorbiae* with a significantly higher fertility compared to *M. persicae* ($p < 0.001$). Predation tests were carried out on *N. tenuis* preying on *M. persicae*. This mirid showed a better predatory capacity compared to *M. pygmaeus* in the same conditions ($p < 0.001$). The predation of *C. carnea* larvae on the 3 main aphid species is higher on *A. gossypii* ($p < 0.001$). There are interactions between species of predator groups which favor the ladybird group in particular *C. septempunctata*.

We compared the percentage of mummified aphids when *L. testaceipes* and *A. matricariae* attacked their common host *A. gossypii*. The number of mummies formed was equivalent however the rate of emergence of adults from mummies was in favor of *L. testaceipes* ($p < 0.001$) which explain the increase of its populations in field. However parasitoids did not have a noticeable effect on the growth of aphids because of inter-specific interactions with others natural enemies.

The intra-guild interactions between predators and parasitoids are asymmetric, favoring more predators, which could explain the rarefaction of parasitoids at certain periods of season.

This study leads to difficulty in separating the effect of each natural enemy species. The potential of natural enemies making possible an efficient biological control in potato crops if farmers are able to propose the improvement of ecosystem services by promoting the natural control of pests. This objective would lead to a reduction of insecticides. It highlights the difficulties of phytosanitary control in the field without the contribution of chemical control; but it also allows us to better understand the improvement in the nature of interactions between the components of the environment. It also makes it possible to measure the effectiveness of natural enemies by conservation by introducing different cultural practices in order to reduce damage to tolerable levels while moderating the excessive use of chemical treatments, the negative effects of which farmers do not measure.

Keywords: *Solanum tuberosum*, arid climate, aphids, natural enemies, intra-guild interactions.

Liste des abréviations

ANOVA	Analysis of Variance
C.I.P. :	International Potato Center
D.P.A.T. :	Direction de la Planification et d'Aménagement de Territoire
D.S.A. :	Direction des Services Agricoles
F.A.O.STAT. :	Food and Agriculture Organisation Statistics
I.N.P.N. :	Inventaire National du Patrimoine Naturel
I.N.P.V. :	Institut National de la Protection des Végétaux
I.N.R.A. :	Institut National de la Recherche Agronomiques
M.A.D.R.P. :	Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural et de la Pêche
O.E.P.P. :	Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes
O.N.M. :	Office National de Météorologie
PCR :	Polymerase Chain Reaction
S.A.T. :	Surface Agricole Totale
S.A.U. :	Surface Agricole Utile
S.E.R.A.I.L. :	Station d'Expérimentation Rhône-Alpes Information Légumes
Tampon AE	Tampon d'éluion
Tampon AL	Tampon de lyse
Tampon AW 2	Tampon de lavage 2
Tampon AW1	Tampon de lavage 1
AG :	<i>Aphis gossypii</i>
AGTo :	<i>A. gossypii</i> sur tomate
AM :	<i>Aphidius matricariae</i>
C7 :	<i>Coccinella septempunctata</i>
C7A :	<i>C. algerica</i>
C11 :	<i>C. undecimpunctata</i>
C13 :	<i>Hippodamia tredecimpunctata</i>
CIG :	Compétition Intra-guilde
CPT :	Capacité de Prédation Totale
D/L :	Day/light (photopériode)
DMD :	Durée Moyenne de Développement
DMDT :	Durée Moyenne de Développement Totale
IGP :	Prédation "intra-guilde"
IPM :	Integrated Pest Management
L1, L2, L3 et L4 :	Stades de développement larvaire
LT :	<i>Lysiphlebus testaceipes</i>
MaPy :	<i>Macrolophus pygmaeus</i>
ME :	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>
ME14 :	<i>M. euphorbiae</i> en 2014
ME16 :	<i>M. euphorbiae</i> en 2016
MP :	<i>Myzus persicae</i>
NT :	<i>Nesidiocoris tenuis</i>
PLRV :	Potato leafroll Virus (virus de l'enroulement de la pomme de terre)
PP :	Puceron Parasité
PS :	Pucerons Sain
PVY :	Potato Virus Y (virus de la pomme de terre Y)
VA :	Virginipare aptère
var. :	Variété
VL :	Virginipare ailé

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Principaux pays producteurs de pomme de terre en 2018 (FAOstat., 2020)	06
02	Schéma d'un puceron ; A : aptère, B : ailé (I.N.R.A., 2010 ; Piffaretti, 2012)	13
03	Cycle de vie holocyclique hétéroïque du puceron noir de la fève (<i>Aphis fabae</i>) (Sullivan, 2008)	16
04	Adultes ailé vert et aptère rose et des larves de <i>Macrosiphum euphorbiae</i> (BugGuide, 2007)	22
05	Adultes virginipares de <i>Aphis gossypi</i> ; A : ailé B : aptère (photographies Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018)	24
06	Adultes virginipares de <i>Myzus persicae</i> ; A : aptère B : ailé (Jensen, 2011)	24
07	Adulte de <i>Coccinella septempunctata</i> ; A : à 07 points ; B : larve. (I.N.R.A. Rennes, 2018) ; C : adulte à 03 points (www.galerie insecte.org, 2019) ; D : adulte orange sans point (www.monaconatureencyclopedia.com, 2020)	32
08	Adulte de <i>Coccinella undecimpunctata</i> (www.bugguide.net, 2016)	32
09	Adulte de <i>Hippodamia tredecimpunctata</i> (www.birdspiders.com, 2020)	33
10	A : Adulte de <i>C. carnea</i> (Chaubet, I.N.R.A., 2018) ; B : larve (Koppertbiological Systems, 2016)	36
11	Adulte de <i>Macrolophus pygmaeus</i> (I.N.R.A., 2014)	36
12	Adulte de <i>Nesidiocoris tenius</i> (www.biodiversidadvirtual.org, 2017)	37
13	A : Adulte d' <i>Episyrphus balteatus</i> ; B : larve (www.baladesentomologiques.com, 2016)	38
14	Adulte d' <i>A. aphidimyza</i> (www.bugguide.net, 2006) ; B : larve (www.entomofaune.qc.ca, 2010)	39
15	Adulte de <i>Forficula auricularia</i> (Chaubet, I.N.R.A., 2018)	39
16	Cycle biologique d'un Hyménoptère parasitoïde de puceron (Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018)	40
17	Adulte d' <i>A. colemani</i> (Evergreen Growers Supply, 2013)	41
18	Adulte d' <i>A. ervi</i> (Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018)	42
19	Adulte d' <i>A. matricariae</i> (Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018)	43
20	Adulte de <i>L. testaceipes</i> (Macedo et al., 2010)	44
21	Schéma simplifié d'IGP unidirectionnelle (A) et bidirectionnelle (B) (d'après Rosenheim et al., 1995)	49
22	Situation administrative de la Commune de Djelfa (D.P.A.T., 2010)	53
23	Températures mensuelles dans la Wilaya de Djelfa (2010-2019)	55
24	Pluviométrie mensuelle dans la zone d'étude pour la période (2010-2019)	55
25	Diagramme Ombrothermique de la Wilaya de Djelfa (2010-2019)	56
26	Climagramme pluviométrique d'Emberger de la wilaya de Djelfa (2010-2019)	57
27	Cages d'élevage des insectes récoltés (photo originale).	60
28	Adultes aptères (vert et rose) avec des larves et un adulte ailé de <i>M. euphorbiae</i> (photos originales)	65
29	Adultes aptères avec des larves et un adulte ailé d' <i>A. gossypii</i> (photos originales)	65
30	Adultes aptère et ailés de <i>M. persicae</i> (photos originales)	65

31	Plants de pomme de terre (Désirée), A : sain ; B : attaqués par différentes espèces de pucerons récoltées sur le terrain (photos originales)	66
32	Adulte aptère d' <i>A. fabae</i> (photo originale)	66
33	Adulte aptère de <i>H. amygdali</i> (photo originale)	66
34	Adulte de <i>Coccinella septempunctata</i> (photo originale)	69
35	Larve de <i>C. septempunctata</i> sur une colonie d' <i>A. gossypii</i> (photo originale)	69
36	Adulte de <i>Coccinella undecimpunctata</i> (photo originale)	66
37	Adulte de <i>Coccinella novemnotata</i> (photo originale)	66
38	A : Œufs ; B : larves ; C : adulte de <i>Coccinella algerica</i> (photos originales)	69
39	Adulte de <i>Hippodamia (Adonia) variegata</i> (photo originale)	70
40	Adulte de <i>H. tredecimpunctata</i> (photo originale)	70
41	Adulte de <i>Scymnus</i> sp. (photo originale)	70
42	Adulte de <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (photo originale)	70
43	A : Œuf ; B : larve ; C : cocon ; D : adulte de <i>Chrysoperla carnea</i> (photo originale)	72
44	Adultes de punaises prédatrices de pucerons ; A : <i>Macrolophus pygmaeus</i> ; B : <i>Nesidiocoris tenius</i> ; C : <i>Dicyphus</i> sp. (photos originales).	73
45	Punaises prédatrices de pucerons ; A : <i>Nabidae</i> sp. ; B : <i>Orius</i> sp. ; C : <i>P. apterus</i> (photos originales)	73
46	Adultes d' <i>Episyrphus balteatus</i> (photo originale)	75
47	Adulte de <i>Sphaerophoria scripta</i> (photo originale)	75
48	A : Adulte de <i>Forficula auricularia</i> ; B : adulte de <i>Cicindelidae</i> sp. ; C : adulte de <i>Carabus</i> sp. (photos originales)	75
49	Mâle adulte d' <i>Aphidius ervi</i> (photo originale)	77
50	Aspect des différentes parties du corps disséqué d' <i>A. ervi</i> (photo originale)	77
51	A : Adulte mâle ; B : tête ; C : valves de l'ovipositeur de l'espèce <i>Aphidius rhopalosiphi</i> (photos originales)	77
52	A : Adulte mâle d' <i>Aphidius matricariae</i> sorti d'une momie de <i>M. persicae</i> ; B : Tête (pièces buccales) ; C : aile antérieure (photo originale)	78
53	A : Adulte femelle de <i>Lysiphlebus fabarum</i> ; B : tête ; C : valves superposées de l'ovipositeur (photo originale)	78
54	Adulte de <i>Lysiphlebus testaceipes</i> : A : mâles ; B : femelles (photo originale)	78
55	A : aile antérieure ; B : tête ; C : valves de l'ovipositeur de l'espèce <i>L. testaceipes</i> (photos originales)	79
56	Adulte de l'hyperparasitoïde <i>Dendrocerus</i> spp. (photo originale)	79
57	Arbre phylogénétique des espèces de parasitoïdes primaires récoltées sur pucerons de pomme de terre dans la région de Djelfa (2013-2017)	80
58	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Maalba (2013)	83
59	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à El Merdja (2014)	84
60	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à El Merdja (2014)	84
61	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Sayada (2014)	85

62	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Sayada (2014)	86
63	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Kheneg (2015)	87
64	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Kheneg (2015)	87
65	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Rous Layoun (2016)	88
66	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Dzaira 02 (2017)	89
67	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Rous Layoun (2017)	90
68	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Rous Layoun (2017)	90
69	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Bichia (2017)	91
70	Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Bichia (2017)	92
71	Cages d'élevage (photo originale, 2014)	93
72	Dispositif expérimental du suivi de la biologie des pucerons (photo originale)	95
73	A : Stades larvaires et adulte aptère d' <i>A. gossypii</i> ; B : adulte virginipare ailé (photo originale, 2013)	95
74	Durée moyenne de développement (en jours) des stades larvaires (L1+L2+L3+L4) d' <i>AG</i> , <i>AGTo</i> et <i>ME</i> ; protocole 05♀/Bt	96
75	Longévité moyenne (en jours) d' <i>AG</i> , <i>AGTo</i> et <i>ME</i> ; protocole 1 (05♀/Bt)	96
76	Fécondité moyenne (larves/♀) d' <i>AG</i> , <i>AGTo</i> et <i>ME</i> protocole 1 (05♀/Bt)	97
77	Durée moyenne de développement (en jours) des stades larvaires (L1+L2+L3+L4) d' <i>AG</i> , <i>ME14</i> , <i>ME16 MP</i> ; protocole 2 (01♀/Bt)	98
78	Femelle aptère et larves de <i>M. euphorbiae</i> sur feuille de pomme de terre (photo originale, 2014)	98
79	Longévité moyenne (en jours) d' <i>AG</i> , <i>ME14</i> , <i>ME16</i> et <i>MP</i> ; protocole 2 (01♀/Bt)	99
80	Fécondité moyenne (larves/♀) des pucerons (<i>AG</i> , <i>ME14</i> , <i>ME16</i> et <i>MP</i>); protocole 01♀/Bt	99
81	Consommation du puceron <i>M. persicae</i> (<i>MP</i> , n=25) en 24h par les punaises <i>M. pygmaeus</i> (<i>MaPy</i> , n=01) et <i>N. tenius</i> (<i>NT</i> , n=01)	108
82	Consommation en 24h du nombre d' <i>A. gossypii</i> par <i>C. undecimpunctata</i> (<i>C11AG</i>) et par <i>C. septempunctata</i> (<i>C7AG</i>) et de <i>M. persicae</i> par <i>C. septempunctata</i> (<i>C7MP</i>) (n=40)	110
83	Consommation en 24 h des coccinelles <i>C. septempunctata</i> vis-à-vis d' <i>A. gossypii</i> (<i>C7AG</i>) et <i>H. tredecimpunctata</i> vis-à-vis d' <i>A. gossypii</i> (<i>C13AG</i>) et <i>M. persicae</i> (<i>C13MP</i>) (n=60)	112
84	Dynamique temporelle du taux de prédation de <i>C. carnea</i> en fonction de l'espèce de puceron consommée (n=40/jour) <i>A. gossypii</i> (<i>AG</i>), <i>M. euphorbiae</i> (<i>ME</i>) et <i>M. persicae</i> (<i>MP</i>)	113

85	Dynamique temporelle du taux de prédation de <i>C. carnea</i> sur <i>A. gossypii</i> (AG). [n= (40p+10)/j]	114
86	A : Consommation globale par la larve de chrysope <i>C. carnea</i> des pucerons <i>A. gossypii</i> (AG), <i>M. euphorbiae</i> (ME) et <i>M. persicae</i> (MP) avec la dose (n=40/j). B : consommation par <i>C. carnea</i> d' <i>A. gossypii</i> (AG) avec la dose [n= (40p+10)/j]	115
87	The parasitoid adult female longevity (days) depending on the parasitoid species while exposed to <i>Aphis gossypii</i> host individuals (Mean±standard error)	121
88	Rate of aphid mummification. a: Parasitoid female adult age and the parasitoid species. b: Overall mummification rate depending on the parasitoid species	122
89	Rate of parasitoid immature emergence from aphid mummies. a: Parasitoid female adult age in each parasitoid species. b: Overall emergence rate from <i>A. gossypii</i> mummies depending on the parasitoid species	122
90	The development time duration of parasitoid offspring emerging from <i>A. gossypii</i> mummies. a: Parasitoid female adult age in each parasitoid species. b: The overall development time duration from <i>A. gossypii</i> mummies depending on the parasitoid species	123
91	a: Total number of killed aphids by parasitic wasps depending on the parasitoid species. b: Total number of parasitoid offspring produced by the parasitic wasps depending on the parasitoid species	123
92	Capacité de prédation d' <i>A. gossypii</i> (n=60) en 6h par différents prédateurs (protocole 01 : <i>H. Tredecimpunctata</i> (C13), <i>N. tenius</i> (NT), <i>M. pygmaeus</i> (MaPy) et protocole 02 : <i>C. septempunctata</i> (C7), <i>N. tenius</i> (NT), <i>M. pygmaeus</i> (MaPy) en situation de compétition intra-spécifique (C13 vs C13 ; MaPy vs MaPy ; NT vs NT et C7 vs C7) et interspécifique (C13 vs MaPy ; C13 vs NT ; NT vs MaPy ; C7 vs MaPy et C7 vs NT)	128
93	Test de compétition intra-spécifique au sein de l'espèce <i>L. testaceipes</i> (LT) vis-à-vis d' <i>A. gossypii</i> (AG) durant 6h; A : Taux de momification; LT sur AG (n=30) et LTvsLT sur AG (n=60). B : Taux de parasitisme; LT sur AG (n=30) et LTvsLT sur AG (n=60)	131
94	Sex-ratio de <i>L. testaceipes</i> ; LT: <i>L. testaceipes</i> sur AG (n=30) et LTvsLT sur AG (n=60)	131
95	A : momies d' <i>A. gossypii</i> ; B : adulte de <i>L. testaceipes</i> au moment de l'émergence (photos originales)	131
96	Parasitisme et prédation vis-à-vis d' <i>A. gossypii</i> : A : momies de <i>A. gossypii</i> parasitées par <i>L. testaceipes</i> (LT); B : adulte <i>C. algerica</i> (C7A) consommant une momie d'AG; C : Momie attaquée et vidée par <i>N. tenius</i> (NT) (photos originales)	133
97	Capacité de prédation en 6h vis-à-vis d' <i>A. gossypii</i> (n=60) par deux prédateurs <i>C. algerica</i> (C7A) et <i>N. tenius</i> (NT) selon trois modalités : (60PS), (60PP) et (30PS+30PP). Le parasitoïde du puceron est <i>L. testaceipes</i>	134
98	Nombre de momies d' <i>A. gossypii</i> (AG ; n=60) relevées après le passage des 02 espèces <i>C. algerica</i> (C7A) et <i>N. tenius</i> (NT) dans les deux modalités: (60PP) et (30PS+30PP) ; AG parasité par <i>L. testaceipes</i> (LT).	137

Liste des tableaux		
N°	Titre	Page
01	Evolution des superficies et les productions de la culture de pomme de terre en Algérie entre 2008 et 2018	07
02	Evolution des superficies et les productions de la culture de pomme de terre dans la Wilaya de Djelfa entre 2008 et 2017	07
03	Principales maladies de la pomme de terre	08
04	Principaux ravageurs de la pomme de terre dans le monde	09
05	Diversité spécifique des pucerons associés à la pomme de terre	12
06	Autres principales espèces prédatrices de pucerons appartenant à différents ordres d'insectes	34
07	Autres principales espèces prédatrices de pucerons appartenant à différents ordres d'insectes	34
08	Superficies des différents domaines agricoles dans la wilaya de Djelfa	52
09	Localisation géographiques des différentes parcelles expérimentales réparties à travers la Wilaya de Djelfa	54
10	Codage des spécimens à identifier par la méthode moléculaire	63
11	Espèces de puceron récoltées sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017	64
12	Espèces de coccinelles prédatrices de pucerons récoltées sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017	68
13	Inventaires des chrysopes et punaises prédatrices de puceron sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017	72
14	Diverses espèces prédatrices de pucerons sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017	74
15	Espèces de parasitoïdes primaires et secondaires associés aux pucerons sur pomme de terre, dans la région de Djelfa de 2013 à 2017	79
16	Décodage des parasitoïdes primaires identifiés par la méthode moléculaire	76
17	Comparaison entre les températures moyennes des sites expérimentaux durant la période d'étude (2013-2017)	82
18	Résultats globaux de la durée de développement des larves, la longévité et la fécondité des femelles des 03 espèces <i>A. gossypii</i> , <i>M. euphorbiae</i> et <i>M. persicea</i> sous les 02 protocoles 05♀/Bt et 01♀/Bt	100
19	Différentes situations d'interactions entre prédateurs de pucerons	126

- 20 : Différentes situations d'interactions entre prédateurs (*C. algerica* et *N. tenius*) et le parasitoïde *L. testaceipes* vis-à-vis d'*A. gossypii* 128

Introduction générale

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L. 1753) est une Solanacée d'importance mondiale. C'est la première culture maraichère en Algérie avec un accroissement des superficies qui passent de 91841 ha en 2008 à 149 665 ha en 2018 et une production qui a doublé à partir de 2012-2013 (FAOStat., 2020). Cette filière s'est développée vers des zones qui avaient d'autres vocations agricoles comme le sud et les régions steppiques comme celle de Djelfa grâce à des programmes de développement financés par les services publics. C'est ainsi que dans la wilaya de Djelfa les superficies dédiées à cette culture ont atteint 3000 ha en 2017 (DSA Djelfa, 2018).

Dans cette région, les rendements ont progressivement augmenté entre 2008 et 2018 passant de 118 à 240 qx/ha qui correspond au niveau national en 2008.

Dans la région de Djelfa, c'est la variété Désirée qui occupe le terrain raison pour laquelle notre étude s'est basée sur cette variété pour faire les investigations sur le terrain et en laboratoire. D'après les services agricoles de la région, ce choix semble être lié à son calibre, sa bonne tenue à la cuisson et sa meilleure productivité, cependant d'autres arguments pourraient être invoqués.

La culture de pomme de terre est attaquée par divers bio-agresseurs (pathogènes et ravageurs) (Harmel et al., 2008, Le Roux et al., 2008) dont les pucerons (Hémiptères) représentent un groupe de ravageurs majeurs impliqués dans la transmission de plusieurs virus préjudiciables à la production de semence. On sait d'emblée selon les travaux de Laamari (2004) que la variété Désirée qui a une piosité réduite permet aux pucerons de s'y développer notamment l'espèce *Myzus persicae* Sulzer dont le potentiel biotique est le plus élevé comparé à d'autres espèces.

Mais les pucerons ne sont pas que bons vecteurs de virus car ils agissent aussi par spoliation et affaiblissement de la plante, avec des dégâts indirects comme la souillure des feuilles par la fumagine qui s'y développe lorsque les colonies de pucerons sont denses.

En Algérie, la culture de pomme de terre place le pays à la 15ème position mondiale (MADR, 2019 ; FAOstat, 2020). Elle représente 36% des superficies cultivées et génère des revenus importants pour les producteurs.

La wilaya de Djelfa est l'une des régions steppiques du pays où la pomme de terre est cultivée sur des altitudes pouvant dépassées les 1200m. Elle se caractérise par un étage bioclimatique semi-aride et quelques zones plus arides (Ouanouki, 2012 ; O.N.M., 2019). Les agriculteurs de cette région s'intéressent de plus en plus à cette culture ce qui a permis

l'apparition de grands périmètres de production et une augmentation sensible et superficielles et des rendements qui restent en dessous du niveau national de la production

La lutte contre les pucerons comporte plusieurs méthodes seules ou combinées. En Algérie, c'est essentiellement la lutte chimique qui est pratiquée de façon systématique selon un calendrier préétabli que les pucerons soient observés ou non. Cette pratique nuit à l'équilibre biologique du milieu sans résoudre le problème posé par les pucerons. Les virus qu'ils peuvent inoculer à la plante saine dépendent de nombreux facteurs comme l'utilisation de semences certifiées l'absence d'autres cultures infectées à proximité.

Sans ignorer les risques occasionnés par les virus en culture de pomme de terre notre objectif dans cette étude est de mieux connaître la composante faunistique des entomophages vivants dans cette région steppique. Compte tenu du climat avec des contrastes, nous avons étudié pour plusieurs espèces recensées, certains paramètres biologiques dans des conditions thermiques dont la moyenne est plus élevée que les moyennes obtenues dans toutes les zones investiguées. Il s'agit de savoir si pour une moyenne de 25°C avec une hygrométrie basse, les pucerons et leurs ennemis naturels conservent leurs potentialités. Cette idée est en lien avec le réchauffement climatique dont parlent tous les climatologues. Il s'agit de savoir s'il est possible de lutter contre les pucerons en favorisant l'action spontanée de divers organismes vivants dans l'environnement (prédateurs, parasitoïdes ou champignons) (Gullan et Cranston, 2005) tout en traitant de façon raisonnée lorsque la faune n'arrive pas à réguler les populations de pucerons en obtenant des résultats rapides et positifs (Dubey et Patyal, 2007 ; Alptekin, 2011).

Il est utile de respecter la stratégie de lutte intégrée ou IPM (Integrated Pest Management) (Van Emden, 2007) qui limite l'emploi des pesticides (Schiffers et Wainwright, 2011) car leur emploi répétitif peut nuire sévèrement à la santé humaine à l'environnement, aux insectes utiles (abeilles, prédateurs et parasitoïdes) et provoquer même des dommages aux végétaux par phytotoxicité (Gullan et Cranston, 2005, Alptekin, 2011). Les pesticides peuvent également favoriser la résistance des ravageurs par l'utilisation récurrente d'un seul composé chimique (Dedryver et *al.*, 2010). Pour limiter les mauvaises pratiques de lutte chimique, la lutte biologique offre une des alternatives très encourageante. Les ennemis naturels (auxiliaires) sont généralement de bons alliés des agriculteurs lorsque ces derniers prennent conscience des enjeux environnementaux. Ils agissent en limitant ou neutralisant les populations de pucerons sur les cultures comme la pomme de terre surtout qu'elle est régulièrement attaquée partout dans le monde par plusieurs espèces aphidiennes (Saguez et *al.*, 2013).

Du fait que dans la région de Djelfa aucune étude n'a été réalisée sur la faune aphidienne et ses antagonistes naturels nous avons convenu de réaliser ce travail exploratoire pour faire un

premier inventaire des pucerons sur pomme de terre et en parallèle recenser les différents organismes strictement aphidiphages ou généralistes. Cet inventaire permettra de sélectionner certaines espèces dans les deux niveaux trophiques pour conduire des expérimentations en laboratoire en conditions semi-contrôlées pour mieux cerner la bio-écologie des insectes et leur potentiel biotique en situation de compétition inter ou intra-spécifique. Le traitement des effectifs récoltés sur le terrain selon un certain échantillonnage pourrait nous renseigner sur les ajustements à apporter ultérieurement pour mieux cerner le problème sur le terrain.

Le travail est structuré en 3 parties :

La première fait la synthèse bibliographique des 3 niveaux trophiques ; Plante hôte/pucerons/antagonistes naturels.

La deuxième partie concerne la localisation des sites retenus pour réaliser l'inventaire des pucerons et de leurs ennemis naturels pendant la période 2013-2017.

Pour réaliser ce travail nous avons retenu 15 sites de productions répartis sur toute la zone sur lesquels nous avons réalisé des prélèvements hebdomadaires de 150 feuilles sur 50 plants par parcelle. L'échantillonnage a duré d'avril à juillet pendant toute la période ; parfois il est arrêté plus tôt lorsque les pucerons ont quitté la plante sous la pression de divers facteurs. Les échantillons sont rapportés au laboratoire pour être traités en fonction de plusieurs paramètres. Il faut préciser que l'inventaire a été réalisé sur la base des pucerons trouvés sur la plante et non pas par captures au niveau des pièges colorés.

La troisième partie concerne des expérimentations en conditions semi-contrôlées avec le choix délibéré de fixer la température à 25°C et une humidité relative basse qui correspond en moyenne à 35 %. L'étude a porté sur certains paramètres biologiques (la durée de développement, la longévité et la fécondité) des principales espèces de puceron récoltées sur les sites. Nous avons également réalisé différents tests de capacité prédatrice des prédateurs vis à vis des pucerons. La capacité parasitaire de deux espèces a également été évaluée dans les mêmes conditions expérimentales. Nous avons réalisé des tests multiples pour évaluer les interactions intra-spécifiques et inter-spécifiques selon plusieurs protocoles décrits.

Une partie de ce travail vise essentiellement à savoir si les interactions prédateurs/parasitoïdes pouvaient expliquer la raréfaction des parasitoïdes sur le terrain à un moment de la saison où visiblement il n'y a pas de facteur limitant à leur développement.

L'objectif global vise à connaître la richesse faunistique de la région investiguée pour pouvoir la protéger par des pratiques culturales moins polluantes et plus adaptées au contexte de la région y compris le choix de la variété à utiliser pour minimiser les dégâts. Il faut savoir que les ennemis naturels des pucerons vont agir en réduisant sensiblement les populations et de ce fait

ils peuvent réduire le nombre de formes ailées qui sont responsables des vols de dissémination d'éventuels virus vers les cultures avoisinantes.

C'est une première étude qui pourrait permettre de mettre en évidence certains problèmes liés à plusieurs facteurs.

Partie 01 : Synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur la culture de pomme de terre

Chapitre 02 : Pucerons (Hémiptères)

Chapitre 03 : Moyens de lutte contre les pucerons

Chapitre 04 : Interactions entre ennemis naturels des pucerons

Partie 01 : Synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur la culture de pomme de terre

I.1.1. Origine, systématique de la pomme de terre et distribution dans le monde

La pomme de terre dont le nom scientifique est *Solanum tuberosum* L. (1753) appartenant à la famille botanique des Solanacées est une plante herbacée, dont les tubercules constituent un aliment de base pour les populations de nombreux pays dans le monde. Elle est originaire de la cordillère des Andes en Amérique du Sud où elle a été découverte depuis environ 8000 ans avant J.C. (Rousselle et al. 1996). Cette culture a été introduite en Europe vers la fin du XVIe siècle par les Espagnols. Ce sont les Maures andalous qui l'ont introduite en Algérie. A partir du milieu du 19ème siècle les colons l'ont développée pour leur propre consommation (Meziane, 1991 ; FAOstat, 2007). Aujourd'hui la pomme de terre est cultivée dans plus de 150 pays sous pratiquement toutes les latitudes habitées (Arvy et Gallouin, 2007).

La classification de la pomme de terre a fait l'objet de nombreuses modifications au cours du temps. C'est très récemment que sa position taxonomique a été révisée par l'Inventaire National du Patrimoine Naturel de Paris (I.N.P.N., 2020) comme suit :

Domaine : Biota

Règne : Plantae Haeckel, 1866

Sous-Règne : Viridiaeplantae

Infra-Règne : Streptophyta John, Williamson & Guiry, 2011

Classe : Equisetopsida C. Agardh, 1825

Clade : Tracheophyta Sinnott ex Cavalier-Smith, 1998

Clade : Spermatophyta

Sous-Classe : Magnoliidae Novák ex Takht., 1967

Super-Ordre : Asteranae Takht., 1967

Ordre : Solanales Juss. ex Bercht. & J.Presl, 1820

Famille : Solanaceae Juss., 1789

Sous-Famille : Solanoideae Kostel., 1834

Tribu : Solaneae Dumort., 1829

Genre : *Solanum* L., 1753

Espèce : *Solanum tuberosum* L., 1753

L'espèce possède plusieurs synonymes : *Lycopersicon tuberosum* (L.) Mill., 1768 ; *Parmentiera edulis* Raf., 1840 ; *Solanum esculentum* Neck., 1768...etc. (I.N.P.N., 2020).

La pomme de terre est l'une des cultures les plus importantes au monde qui constitue la principale base alimentaire dans de nombreux pays (Saguez et al., 2013). Son utilisation dans

l'industrie de la restauration rapide a encouragé son expansion (FAO, 2008) par l'accroissement des superficies et l'amélioration des rendements.

I.1.2. Importance de la pomme de terre (superficies et productions)

I.1.2.1. Dans le monde

La figure 1 montre le classement des grands pays producteurs en 2018. Ce sont la Chine et l'Inde qui dominent. L'Ukraine, la Fédération de Russie et les USA occupent un rang équivalent (FAOstat., 2020).

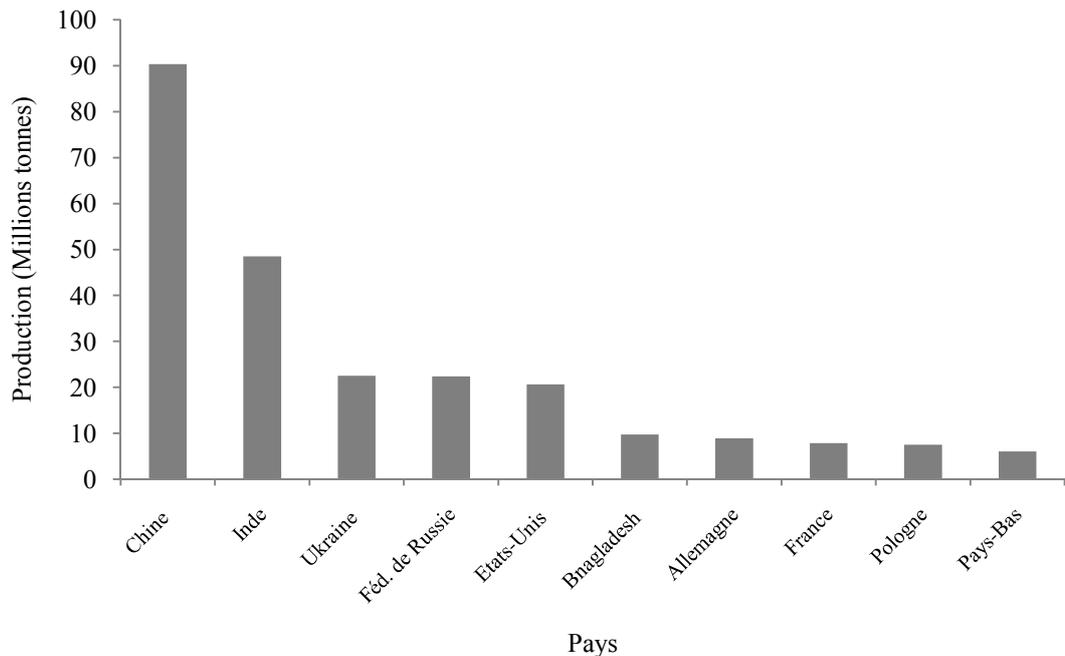


Figure 01: Principaux pays producteurs de pomme de terre en 2018 (FAOstat., 2020).

La culture est en pleine évolution en Asie et en Amérique du Nord. La production mondiale a enregistré 327 188 473 tonnes en 2008 et 368 168 914 tonnes en 2018 ce qui correspond à plus de 40 000 000 de tonnes en 10 ans. La Chine reste le leader mondial depuis plusieurs années avec un taux d'accroissement de la production de plus de 24% entre 2008 (68 633 152 tonnes) et 2018 (90 321 442 tonnes).

I.1.2.2. En Algérie

En Algérie, la pomme de terre est la première culture maraîchère et occupe la deuxième place après le blé (FAO, 2015). Le tableau suivant (tab. 01) indique les superficies et production durant la période 2008 et 2018 :

Tableau 01: Evolution des superficies et les productions de la culture de pomme de terre en Algérie entre 2008 et 2018

Années	Superficies (ha)	Production (quintaux)	Rendement (quintaux/ha)
2008	91 841	21 710 580	236,39
2009	105 121	26 360 570	250,76
2010	121 996	33 003 120	270,53
2011	131 903	38 621 940	292,80
2012	138 666	42 194 760	304,29
2013	161 156	48 865 380	303,21
2014	156 176	46 735 160	299,25
2015	153 313	45 395 770	296,10
2016	156 308	47 596 770	304,50
2017	148 822	46 064 020	309,52
2018	149 665	46 533 220	310,91

(FAOstat., 2020)

Le tableau 01, indique que c'est en 2013 que les superficies sont les plus élevées avec 161 156 ha et une production de 48 865 380 quintaux. C'est à partir de 2013 que les superficies ont connu une légère régression pour s'approcher de 150 000 ha en 2018. Les rendements moyens ont connu une amélioration passant de 236 qx /ha en 2008 à plus de 311qx en 2018. L'évolution des techniques de production et de protection de la culture ont probablement joué un rôle important dans cette progression.

I.1.2.3. À Djelfa

Le tableau 02 montre l'évolution des superficies, de la production et des rendements pendant une décennie. En 10 ans les rendements ont pratiquement doublé passant de 118 qx/ha en 2008 à 240 qx/ha en 2017.

Tableau 02: Evolution des superficies et les productions de la culture de pomme de terre dans la Wilaya de Djelfa entre 2008 et 2017

Campagnes	Superficies (ha)	Production (qx)	Rendement (qx/ha)
2008	1 353	159 760	118,07
2009	1 316	163 870	124,52
2010	1 521	221 430	145,58
2011	1 623	252 540	155,60
2012	1 802	344 140	190,97
2013	1 997	365 000	182,77
2014	2 540	448 610	176,61
2015	2 584	535 800	207,35
2016	2 728	616 520	225,99
2017	3 000	721 300	240,43

(D.S.A., 2018).

Selon la Direction des Services Agricoles de la Wilaya de Djelfa (D.S.A), en 2008, la production était de 159 760 qx sur une superficie de 1 353 ha. C'est à partir de 2010 que les superficies ont commencé à augmenter, dépassant 2 500 ha en 2014 pour atteindre 3 000 ha en 2017. On constate que les rendements sont restés faibles par rapport à la moyenne nationale et n'ont atteint le niveau national qu'à partir de 2017. On observe que le niveau de production s'est multiplié par 4.5 alors que la superficie a seulement doublé. Ce progrès peut être expliqué par l'évolution des techniques de production et l'augmentation des investissements pendant ces 10 dernières années.

Les Communes les plus productives au niveau de la Wilaya sont : Bérine, Had Sahary, Taadmit, Bennahar, Moudjbara, Dar Chioukh, Djelfa et Ain El Ibel (fig. 22- Partie 02). Il faut noter que les agriculteurs de la Wilaya pratiquent surtout la culture de saison (avril-août) mais on peut trouver quelques parcelles conduites en arrière saison dans les zones où les gelées sont rares.

I.1.3. Problèmes phytosanitaires majeurs

La pomme de terre peut être attaquée par divers bio-agresseurs comportant des pathogènes et des ravageurs.

I.1.3.1. Principales maladies

Le tableau 03 mentionne l'identité de l'agent causal des principales maladies rencontrées sur pomme de terre.

Tableau 03: Principales maladies de la pomme de terre

Maladie	Agent causal	Attaques	Références
Mildiou	<i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary	La maladie peut toucher tous les organes de la plante : Feuilles, pétioles jeunes pousses, bouquets terminaux, tiges et tubercules Brunissement de la base des tiges ou de portions de tiges et de pétioles. Taches jaunâtres devenant brunes sur les feuilles de la base. La maladie est causée par cet oomycète lorsque les conditions climatiques sont favorables.	Rekad et al. (2017)
Alternariose ou brûlure alternarienne	<i>Alternaria solani</i>	Provoque des lésions concentriques sur les feuilles ; Taches brunes foncées à noires pénètrent dans la chair sur une profondeur de 1 à 2mm.	O.E.P.P. (2000)
Gale commune	Genre <i>Streptomyces</i>	Plusieurs types de lésions se développent ; Ils peuvent être superficiels ou réticulaires, profonds ou piqués, ou protubérants. Ils varient en taille et en forme, mais sont généralement circulaires et ne dépassent pas 10 mm de diamètre. Les racines peuvent également être endommagées.	C.I.P. (1996)

Partie 01 : Synthèse bibliographique

Pourriture molle ou jambe noire	Genre <i>Pectobacterium</i> ou anciennement appelé <i>Erwinia</i>	Des lésions noires et visqueuses progressent le plus souvent dans la tige du tubercule mère mou et pourri. De nouveaux tubercules pourrissent parfois à l'extrémité du stolon. Les jeunes plants sont généralement rabougris et dressés. Un jaunissement et un roulement vers le haut des folioles peuvent survenir, souvent suivis d'un flétrissement et de la mort.	C.I.P. (1996), Latour et al. (2008)
Virus Y (PVY)	Genre Potyvirus	Les premiers symptômes apparaissent sur les feuilles des plants issus de semences infectées. Apparition de taches nécrotiques sur les feuilles. Elle peut aussi provoquer une mosaïque déformante et un ralentissement de la croissance de la plante. Déformations tissulaires (nanisme, flétrissement ou enroulement). Nécroses sur les tubercules de certaines variétés, ces nécroses apparaissent au moment de la récolte ou en cours de conservation.	C.I.P. (1996), INRAE (2017).
Virus S (PVS)	Genre Carlavirus	Symptômes généralement faibles (latence), variables selon la variété et la souche virale : Sur des variétés très sensibles : feuilles d'aspect bronzé, taches nécrotiques, plantes plus petites. Mosaïque difficile à détecter. Pertes de 2 à 20% du rendement.	Hogue (2010)

I.1.3.2. Principaux ravageurs

Les principales espèces qui attaquent la pomme de terre, figurent au tableau 04.

Tableau 04: Principaux ravageurs de la pomme de terre dans le monde

Ordre	Espèce	Symptômes	Références
Lépidoptère	Teigne de la pomme de terre : <i>Phthorimaea operculella</i> Zeller, 1873 (Lepidoptera : Gelechiidae)	La larve provoque des dégâts en creusant des mines dans les feuilles, tiges, pétioles et tubercules. En Algérie, elle représente un ravageur majeur de la culture en raison des dégâts qu'il provoque sur les récoltes et dans des structures de stockage	Medina et al. (2010), I.N.P.V. (2013)
	Noctuelle terricole : <i>Agrotis ipsilon</i> Hufnagel, 1766 (Noctuidae : Lepidoptera).	Les larves provoquent des dégâts observés sur jeunes plantations notamment.	Mazollier (2001)
Coléoptères	Doryphore : <i>Leptinotarsa decemlineata</i> Say, 1824 (Coleoptera: Chrysomelidae). Observation : Ce ravageur n'est pas signalé en Algérie.	Les adultes et les larves se nourrissent vigoureusement des feuilles. Une grande population incontrôlée de doryphores peut tuer tous les plants de pomme de terre d'un champ d'ici le milieu de l'été.	Stoner (2019)

Partie 01 : Synthèse bibliographique

	<p>Taupin : <i>Agriotes lineatus</i> Linnaeus, 1767 (Elateridae : Coleoptera)</p>	<p>Les larves attaquent préférentiellement d'abord le tubercule mère et ensuite les jeunes tubercules. Les dégâts vont des simples morsures superficielles à de profondes galeries pouvant traverser complètement le tubercule. Ils rendent le lavage difficile et compliquent le stockage, les trous sur les tubercules constituant une porte d'entrée préférentielle pour différentes maladies de conservation.</p>	<p>Noronha et al. (2008), Jansen (2014)</p>
Hémiptères	<p>Aleurodes : <i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood, 1856 (Hemiptera : Aleyroidae) <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius, 1889 (Hemiptera: Aleyroidae)</p>	<p>Prélèvement de liquides végétaux et la production d'un abondant miellat Causent à la fois des dommages directs aux plantes (piqûres d'alimentation) et des dommages indirects, notamment via la transmission de virus, en particulier du virus TYLCV. Le miellat qu'il sécrète favorise aussi le développement de fumagine, un champignon qui, en s'étendant sur le feuillage, réduit la photosynthèse.</p>	<p>I.N.R.A. (2009), Maisonhaute, (2018)</p>
	<p>Pucerons : Cette partie sera traitée plus en détail dans le chapitre suivant puisqu'elle fait partie de notre étude.</p>		

Chapitre 02 : Pucerons (Hémiptères)

I.2.1. Généralités

Les pucerons constituent un problème économique majeur en agriculture sur de nombreuses cultures en zones tempérées à la fois par leur capacité de transmission de nombreux virus et par les dommages directs qu'ils infligent aux plantes en se nourrissant du phloème (Dedryver et *al.*, 2010). Toutes les cultures dans le monde sont attaquées par au moins une espèce de puceron (Quisenberry et Ni, 2007). Ces ravageurs comptent parmi les plus importants des cultures, du fait qu'ils ont développé au cours de leur évolution, de remarquables capacités d'adaptation au milieu. Ils ont une fécondité élevée, des modes de reproduction variés, avec une alternance d'individus ailés et aptères et l'utilisation de plusieurs types de plantes (Turpeau et *al.*, 1999a).

La plupart des pucerons exotiques proviennent des régions tempérées du monde (Moran, 1992). En Europe, le taux moyen d'introduction était de 0,5 espèce par an depuis 1800. Le nombre moyen d'espèces nouvellement répertoriées par an a diminué depuis 2000, mais cette tendance pourrait changer les années à venir (Cœur d'Acier et *al.*, 2010).

En Algérie, la connaissance de la faune aphidiène est relativement récente. Sur 156 espèces connues, 36 espèces ont été récemment signalées (Laamari et *al.*, 2013).

Les espèces d'importance agricole appartiennent pour la plupart à la sous-famille des Aphidinae, non seulement parce qu'il s'agit de la plus grande sous-famille, mais aussi parce qu'elle contient une très forte proportion d'espèces qui se nourrissent de plantes herbacées (Blackman et Eastop, 2007). Les espèces de pucerons très polyphages comme *Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae* et *Aphis gossypii* qui sont rencontrées sur pomme de terre sont des espèces cosmopolites qui ont été enregistrées respectivement dans 43, 41 et 40 pays ou régions (Cœur d'Acier et *al.*, 2010). La plupart des pucerons se nourrissent sur feuilles, pousses ou bourgeons, mais on peut trouver quelques espèces vivant dans des endroits plutôt spécialisés. Les pucerons sont très protégés par les fourmis qui exploitent leur miellat en échange d'une protection contre leurs ennemis naturels. Les espèces myrmécophiles sont transportées dans des abris en terre spécialement construits pour eux par des fourmis myrmécophiles qui les y introduisent lorsque les conditions deviennent mauvaises pour les ressortir après et les installer sur les plantes (Gillott, 2005). Les pucerons ont souvent des taux de croissance et de développement extrêmement élevés, ce qui permet aux populations de pucerons d'atteindre des niveaux dommageables pour les plantes cultivées. Dans des conditions de croissance optimales, un puceron commence à se reproduire entre 7 à 10 jours après sa naissance (Awmack et Leather, 2007).

Selon Harmel et *al.* (2008), en culture de pomme de terre, plusieurs espèces de pucerons occupent une très large place parmi les différents ravageurs. Plusieurs espèces considérées comme polyphages (*Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Aphis fabae*, *A. gossypii*, *A. nasturtii*, *A. frangulae*, *Aulacorthum solani*) sont régulièrement recensées sur pomme de terre mais on a pu répertorier sur cette culture jusqu'à 15 espèces (Blackman et Eastop, 2000 ; Carli et Baltaev, 2008 ; Harmel et *al.*, 2008 ; Saguez et *al.*, 2013) dont la liste figure au tableau 05 :

Tableau 05 : Diversité spécifique des pucerons associés à la pomme de terre

Espèce	Sous-famille
<i>Aphis fabae</i> Scopoli, 1763	Aphidinae
<i>Aphis frangulae</i> Kalténbach, 1845	Aphidinae
<i>Aphis gossypii</i> Glover, 1877	Aphidinae
<i>Aphis nasturtii</i> Kalténbach, 1843	Aphidinae
<i>Aphis spiraeicola</i> Patch, 1914	Aphidinae
<i>Aulacorthum circumflexum</i> Buckton, 1876	Aphidinae
<i>Aulacorthum solani</i> Kalténbach, 1843	Aphidinae
<i>Macrosiphum euphorbiae</i> Thomas, 1878	Aphidinae
<i>Myzus ascalonicus</i> Doncaster, 1946	Aphidinae
<i>Myzus ornatus</i> Laing, 1932	Aphidinae
<i>Myzus persicae</i> Sulzer, 1776	Aphidinae
<i>Pemphigus</i> sp. Hartig, 1839	Eriosomatinae
<i>Rhopalosiphoninus latysiphon</i> Davidson, 1912	Aphidinae
<i>Rhopalosiphum ruftabdominalis</i> Sasaki, 1899	Aphidinae
<i>Smynturodes betae</i> Westwood, 1849	Eriosomatinae

Blackman et Eastop (2000).

I.2.2. Taxonomie

Les taxonomistes spécialistes des pucerons qui étudient des groupes de taxons très proches ("complexes d'espèces") ont également utilisé les sous-espèces d'une manière complètement différente pour définir des populations morphologiquement très similaires, mais dont l'observation sur le terrain et/ou les études expérimentales diffèrent dans leur cycle de vie ou relations hôte-plante (Müller, 1986).

On compte globalement 4700 espèces de pucerons dans le monde (Hullé et *al.*, 2019). Les pucerons, en tant que superfamille des Aphidoidea, appartiennent au sous-ordre des Sternorrhyncha au sein de l'ordre Hemiptera (Saguez et *al.*, 2013), auquel appartiennent les superfamilles Aleyrodoidea (aleurodes), Psylloidea (psylles) et Coccoidea (cochenilles). La superfamille Aphidoidea comporte trois familles: Adelgidae, Phylloxoridae et Aphididae. Cette dernière constitue de loin la famille la plus importante (Sorensen, 2009).

Selon Blackman et Eastop (2007), Miller et Footitt (2009) et Hullé et *al.*, (2019), la famille des Aphididae est subdivisée en plusieurs sous-familles. La sous-famille des Aphidinae

qui contient la majorité des espèces de pucerons est divisée en deux tribus ; Aphidini et Macrosiphini

- La tribu Aphidini comporte plusieurs genres importants: *Aphis*, *Hyalopterus*, *Melanaphis*, *Rhopalosiphum*, *Toxoptera*.
- La tribu Macrosiphini comporte les genres suivants : *Aulacorthum*, *Brachycaudus*, *Cavariella*, *Microlophium*, *Myzus*.

Les espèces les plus importantes rencontrés en culture de pommes de terre sont *Aulacorthum* spp., *Aphis* spp., *Macrosiphum* spp., et *Myzus* spp. (Saguez et al., 2013).

I.2.3. Morphologie

Les pucerons sont caractérisés par un polymorphisme élevé (Williams et al. 2007) avec des formes ailées et des formes aptères au sein d'une même espèce. La couleur des individus peut également être très variable au sein d'une population donnée et peut être influencée par la bactérie symbiotique qu'ils hébergent (Tsuchida et al. 2010 ; Zhang, 2015). La morphologie est influencée par plusieurs facteurs qui comprennent les conditions environnementales, climatiques et saisonnières la qualité des plantes hôtes et la densité des populations (Saguez et al., 2013).

Les espèces de la sous famille des Aphidinae ont les antennes longues avec généralement 6 articles et un fouet long (au minimum égal à la base). Chez les ailés, les rhinaries secondaires sont normalement rondes, alignées ou dispersées sur les articles (fig.02). L'abdomen peut être clair à foncé, avec présence de points, taches, tirets, bandes ou plaques. Les cornicules sont cylindriques : courtes, longues, droites ou renflées. La cauda a également différentes formes : courte, arrondie, pointue, digitée mais jamais en forme de bouton (Piffaretti, 2012 ; Hullé et al., 2019).

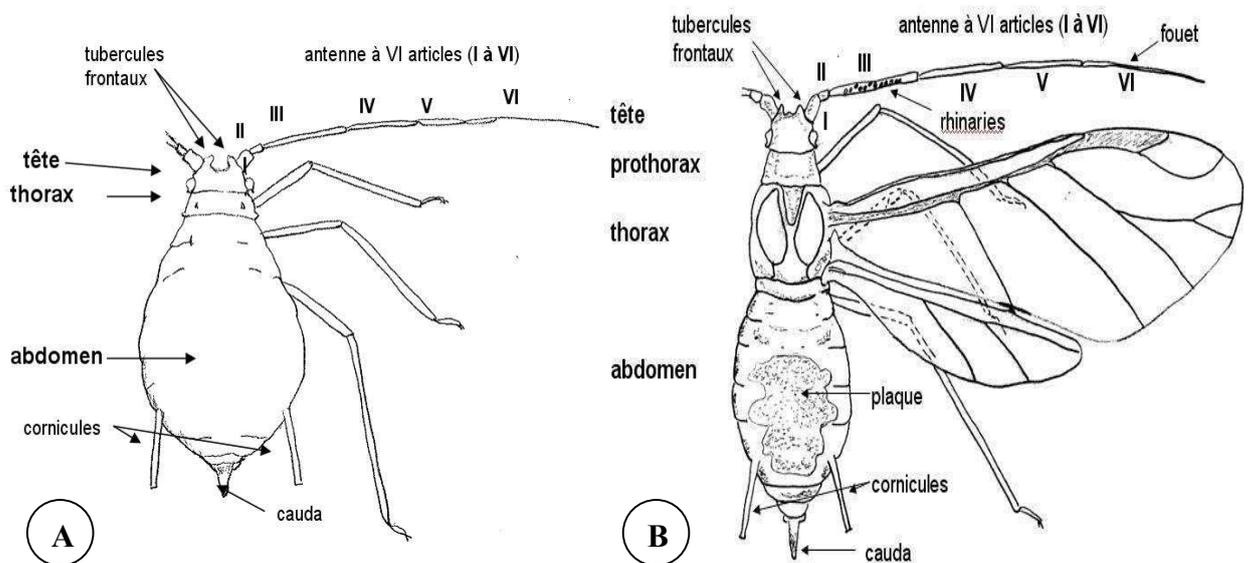


Figure 02 : Schéma d'un puceron ; A : Aptère et B : ailé (Schéma Piffaretti, 2012).

I.2.4. Cycle de vie

Les pucerons ont des cycles de vie complexes, et leur classification dépend de l'alternance des hôtes et de leur mode de reproduction (Moran, 1992). Le polymorphisme des pucerons lié à leurs cycles de vie souvent très compliqués est une caractéristique remarquable. Sur des plantes complètement différentes se succèdent des formes aptères et des ailées, des individus sexués et parthénogénétiques (femelles), des femelles vivipares et des femelles ovipares, des formes dodues et corniculées et des aleurodifformes, des libres et des gallicoles, des aériens et des souterrains, etc. (Fraval, 2006 ; Sorensen, 2009; Saguez *et al.*, 2013).

Les différents cycles de vie des pucerons peuvent avoir des implications importantes sur l'impact d'un puceron sur les cultures. Par exemple, le cycle de vie peut déterminer si une espèce est susceptible de rencontrer des cultures et le nombre de cultures différentes susceptibles d'être rencontrées au cours d'une année. De plus, la densité de population d'une espèce de puceron dépend, au cours d'une année donnée, de facteurs tels que le climat (en particulier la température) et les ennemis naturels, mais l'importance relative de ces facteurs dépend aussi du cycle de vie du puceron (Williams et Dixon, 2007 ; Sullivan, 2008).

De nombreux auteurs ont donné des explications détaillées sur les cycles de vie des pucerons en introduisant des vocables variés et compliqués ; on désigne l'holocyclie et l'anholocyclie. Ces deux phénomènes se rapportent à la capacité de reproduction des pucerons en utilisant la parthénogenèse seule ou en combinaison avec la reproduction sexuée (Blackman et Eastop 2000 ; Saguez *et al.*, 2013).

Turpeau *et al.* (1999b), Blackman et Eastop (2000), Sehnal *et al.* (2003), Williams et Dixon (2007) et Sullivan (2008) ont décrit l'holocyclie en expliquant qu'une femelle parthénogénétique vivipare produit des nymphes vivantes sans accouplement de façon cyclique mais que ce mode est interrompu au cours de l'année avec la production de mâles et de femelles sexués qui s'accouplent. La femelle sexuée qui est ovipare pond des œufs contenant des embryons portant des copies du matériel génétique de chacun des parents. Un cycle de vie anholocyclique est l'absence totale de mâles, de sorte qu'il n'existe que des femelles parthénogénétiques vivipares. La reproduction parthénogénétique se poursuit tout au long de l'année, toute la descendance étant de sexe féminin. La parthénogenèse conduit à la production d'individus génétiquement identiques à la mère et qui constituent une lignée clonale.

Chez les Aphididae, le développement peut commencer même avant la naissance de la mère, ce qui entraîne un télescopage conséquent de générations. En conséquence, les périodes de développement postnatal et les temps de génération sont courts et les taux de reproduction potentiellement très élevés (Moran, 1992).

L'alternance des plantes hôtes

L'alternance des plantes hôtes chez les pucerons implique l'existence des deux types de cycle de vie:

Il est autoïque (monoïque) si les pucerons sont spécifiques à la plante hôte et vivent sur une ou seulement quelques espèces de plantes étroitement apparentées, même au sein d'un genre particulier, pendant toute l'année. La plupart des espèces de pucerons (plus de 90%) sont de ce type et, par conséquent, une alternance annuelle entre hôtes primaires et secondaires n'est généralement pas nécessaire, de sorte que le cycle de vie anholocyclique soit commun (Sehnal et *al.* 2003 ; Sullivan, 2008 ; Sorensen, 2009).

Le cycle de vie dit hétéroïque dans lequel il y a alternance de plantes hôtes c'est à dire que les espèces de pucerons passent l'automne, l'hiver et le printemps sur une plante hôte ligneuse mais passent l'été sur des plantes herbacées secondaires. Les plantes hôtes primaires et secondaires ne sont généralement pas apparentées et appartiennent à différentes familles de plantes. Cette alternance de plantes hôtes au cours de l'année est réalisée par le cycle de vie holocyclique (fig. 03) décrit précédemment (Sullivan, 2008 ; Sorensen, 2009).

L'hétéroïtie n'est présente que chez 10% des espèces (Moran, 1992, Sullivan, 2008) qui colonisent généralement les plantes herbacées, y compris les espèces de culture d'importance économique telles que la pomme de terre (Williams et Dixon, 2007).

L'alternance saisonnière entre différentes espèces de plantes hôtes, ou hétéroïtie, a été déterminante pour la propagation des pucerons sur un ensemble d'angiospermes, et en particulier sur les familles herbacées des zones tempérées. Dans les cycles de vie hétéroïques, les stades de développement, œuf et fondatrice surviennent sur un groupe d'hôtes, appelés hôtes primaires, et les générations ultérieures de femelles vivent sur un ensemble de plantes non apparentées sur le plan taxonomique, appelé hôtes secondaires. Le transfert saisonnier entre les taxons hôtes est réalisé par des migrants ailés qui se développent sur un groupe d'hôtes mais recherchent le groupe alternatif après être devenus adultes mais avant de se reproduire (Moran, 1992).

Cycles de vie particuliers de deux ans

Il existe des cas particuliers notamment chez les tribus Fordini et Hormaphidini n'ont pas les cycles de vie annuels décrits ci-dessus car ils présentent des cycles de vie bisannuels au cours desquels des galles sont produites sur l'une des plantes hôtes. Certaines de ces galles restent fermées pendant plus d'un an avant de produire des ailées qui migrent vers un autre hôte mais ce type de cycles de vie ne concernent que des espèces de pucerons qui ont rarement une importance économique (Williams et Dixon, 2007).

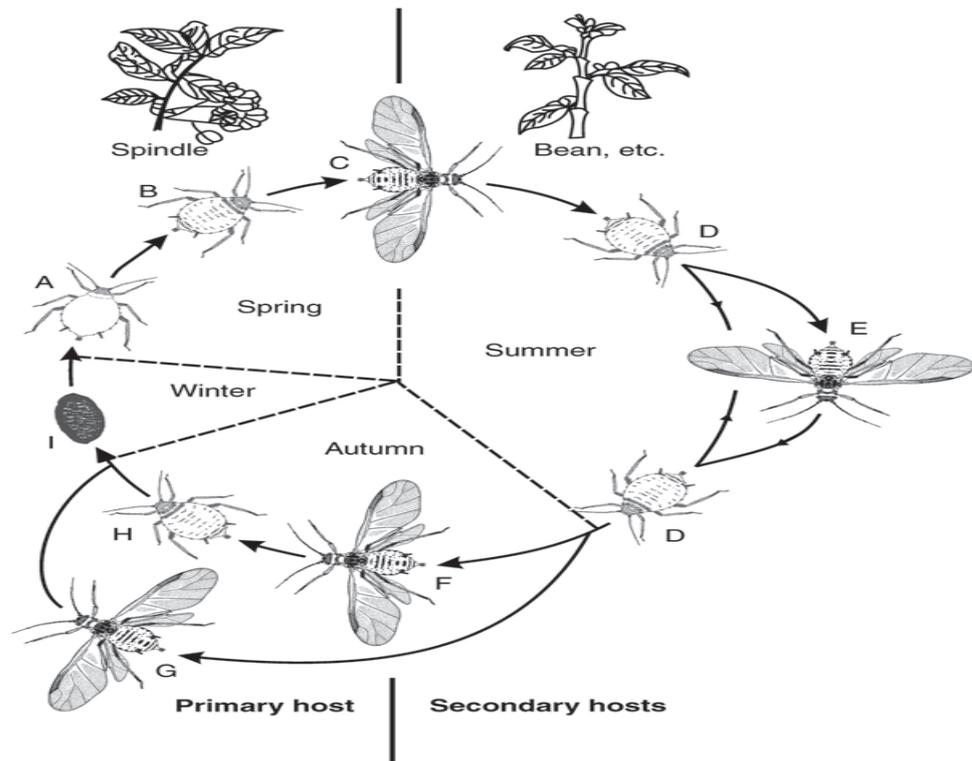


Figure 03: Cycle de vie holocyclique hétéroïque type, du puceron noir de la fève (*Aphis fabae*) ; (A) Fondatrice aptère, (B) Sa progéniture parthénogénétique, femelle vivipare aptère, (C) Ailée émigrante ou émigrante du printemps, (D) Virginipare aptère, (E) Virginipare ailée ou émigrante estivale, (F) Emigrante estivale, (G) Mâle ailé, (H) Ovipare aptère ou femelle accouplée, (I) Œuf (Sullivan, 2008).

1.2.5. Effets des facteurs climatiques sur la biologie des pucerons

Le développement et la reproduction des insectes en général et des pucerons en particulier sont influencés par des facteurs abiotiques dont la température est le facteur le plus important (Bale et *al.*, 2002 ; Sehnal et *al.*, 2003 ; Chown et Nicolson, 2004 ; Gillott, 2005 ; Gagnon et *al.*, 2013). Le niveau des populations de pucerons dans les cultures est extrêmement variable d'une année à l'autre et peut évoluer très rapidement au sein d'une même culture. Il dépend à la fois des capacités intrinsèques propres aux différentes espèces et des facteurs extérieurs de l'environnement physique et biologique (Blackman et Eastop, 2000). Ces facteurs peuvent être très nombreux, d'où la complexité de modélisation de leur influence sur le développement des populations de pucerons (Hullé et *al.*, 1999). On sait que certaines conditions climatiques sont défavorables pour les pucerons. On peut citer les gelées printanières, les chaleurs excessives qui tuent les bactéries symbiotiques associées aux pucerons (Iluz, 2011).

Les pucerons sont très affectés par les fluctuations de la température (Sehnal et *al.*, 2003). Ils ont généralement un seuil minimum de développement assez bas qui se situe autour de 4°C (en dessous duquel aucun développement ne se produit) ; La durée de formation d'une génération est courte. Elle est de 120 jours lorsque la température se situe légèrement au-dessus du seuil minimum (Harrington et *al.*, 2007). La température joue un rôle important dans le développement, la longévité, la fécondité ainsi que l'envol des pucerons (Awmack et Leather,

2007 ; Irwin et *al.*, 2007). Des températures voisinant 28°C peuvent réduire la fécondité des pucerons (Brodeur et *al.*, 2013) et devenir létales à partir de 30°C, température à laquelle aucun puceron n'émet plus de larves viables et qui réduit sa propre survie (Turpeau et *al.*, 1999b). Selon ces mêmes auteurs le froid constitue aussi un facteur limitant. D'après Irwin et *al.* (2007), le nombre d'individus ailés produits et leur capacité de vol dépendent aussi de la température dont l'augmentation favorise leur mobilité. Les seuils de température plus bas pour le vol se situent entre 13-16°C et les seuils supérieurs autour de 31°C.

La reproduction sexuée présente l'avantage de permettre la production d'œuf qui est une forme de résistance au froid qui peut aller jusqu'à -35°C. Naturellement, les populations holocycliques sont plus fréquentes dans les régions à hiver régulièrement froid et les populations anholocycliques dans les régions à climat doux ou dans les milieux protégés comme les serres ou tunnels (Turpeau et *al.*, 1999b).

Les précipitations sont négativement corrélées avec le nombre de pucerons (Cocu et *al.*, 2005). Le vol des pucerons est empêché par une pluie abondante, qui peut déloger les individus aptères se trouvant sur les plantes (Iluz, 2011). Les fortes pluies, la grêle et les orages entraînent une forte mortalité en agissant directement sur les pucerons. Cependant, une pluie faible et fine qui n'empêche pas le déplacement des pucerons ailés, peut favoriser le développement de certains champignons entomophores qui pourraient réduire les populations si les conditions sont favorables à leur développement (Bloc, 1984).

Un minimum d'humidité relative variant de 30 à 35% et un maximale de 85 à 88% se sont révélées être les conditions les plus propices à l'augmentation de la population du puceron de la moutarde ; *Lipaphis erysimi* Kalt (Narjary et *al.*, 2013) à condition que les autres facteurs ne soient pas limitant.

Les premières études ont indiqué que les conditions arides favorisent la migration des pucerons car une humidité relative supérieure à 70% empêchera le décollage (Parry, 2013). En Europe centrale, plus de 70% d'humidité relative limite le nombre de pucerons capturés pendant la migration des deux espèces des céréales *Rhopalosiphum padi* et *Sitobion avenae*. Ce nombre est également affecté par l'augmentation de la fréquence des précipitations et de la vitesse des vents (Klüeken et *al.*, 2009). Selon Leather (1985), la fécondité de *Rhopalosiphum padi* était plus importante sur avoine à une humidité relative plus faible (35%) qu'à une humidité plus élevée (55%).

La vitesse et la direction du vent conditionnent les aptitudes des pucerons à des déplacements plus ou moins lointains (Hullé et *al.*, 1999). On pense que les pucerons ne décollent pas de façon volontaire en présence des vents forts, mais ils peuvent prendre leur envol pendant les périodes où les forces de flottabilité sont neutres ou alors en faveur de leur élévation (*i.e.*

petits volumes d'air cohésifs). Dans des conditions neutres et lorsque la vitesse du vent est faible, les pucerons s'apprêtent à voler sur de longues distances et ainsi contaminer les parcelles (Irwin *et al.*, 2007). On a pu rapporter que chez *Schizaphis graminum* Rondani, un puceron des céréales, les individus ailés peuvent parcourir plusieurs centaines à un millier de kilomètres (Robert, 1987 ; Irwin *et al.* 1988).

D'après Irwin *et al.* (2007), l'intensité lumineuse affecte également la probabilité de décollage des pucerons. Il existe peu d'espèces qui entament leur vol en absence de lumière ou par clair de lune, ce qui peut correspondre à 01 lux. Selon Robert (1987), le décollage se produit généralement à des intensités supérieures à 1000 lux, sans limite supérieure apparente.

I.2.6. Nutrition des pucerons

Les pucerons sont exclusivement phytophages et se nourrissent de la sève des plantes (Lopes, 2007) qui constitue l'unique source alimentaire (Piffaretti, 2012). De façon générale, la variation des performances et de l'abondance des insectes phytophages a été attribuée à la variation de la qualité de leur nourriture (Karley *et al.*, 2002). Les pucerons quittent une plante à la suite de changements dans la plante hôte et d'indices sociaux liés à la densité de la population (Pettersson *et al.*, 2007).

Le fonctionnement global des plantes est affecté par la fertilisation azotée et l'irrigation, au travers de multiples variables qui font que le puceron accepte de se nourrir ou pas sur la plante (Rousselin, 2017). A titre indicatif, de la disponibilité en alimentation hydrique et azotée sur pêcher dépend l'importance des infestations par les ailés de *Myzus persicae* (Laghfiri *et al.*, 2017). Sur laitue, le puceron *Nasanovia ribisnigri* Mosley est moins abondant quand la fertilisation azotée diminue (Raynal *et al.*, 2014). La fertilisation azotée sur Colza augmente la durée de la période de reproduction totale et la fécondité du puceron *Brevicoryne brassicae* L. (Zarghami *et al.*, 2010). La taille, la fécondité et le taux d'accroissement intrinsèque du puceron *Hysteroneura setariae* Thomas, sont améliorés par l'application en azote sur le riz (Jahn *et al.*, 2005). L'hypothèse « Plant Vigor » énonce que les insectes phytophages sont plus performants sur les plantes vigoureuses (Rousselin, 2017).

Pour coloniser les cultures les pucerons peuvent pendant leur vol, identifier visuellement une plante hôte potentielle et détecter les substances volatiles ou les phéromones qui agissent comme répulsifs ou attractifs (Saguez *et al.*, 2013). Les stimuli visuels et olfactifs peuvent servir de signaux d'atterrissage spécifiques et généraux aux pucerons ailés (Pettersson *et al.*, 2007).

Pour se nourrir efficacement, les pucerons insèrent leurs stylets entre les cellules végétales, pour atteindre le phloème et en extraire la sève (Godfrey, 1997 ; Goggin, 2007). Les stylets sont lubrifiés par de la salive contenant de la pectinase qui agit à la fois sur la liaison des

cellules végétales et forme une gaine autour du stylet qui reste lorsque les stylets sont retirés (Sorensen, 2009). Les sucres mobiles du phloème sont la principale source de carbone pour la respiration et la croissance des pucerons. Les principaux composés azotés utilisés par les pucerons sont des acides aminés libres provenant de deux sources: la sève du phloème des végétaux et les bactéries symbiotiques des pucerons (Karley et al., 2002 ; Douglas et Van Emden, 2007).

Pour supporter un régime à base de sève, les intestins du puceron sont composés de groupes spécialisés de cellules (les mycétomes) qui contiennent les bactéries symbiotiques (les mycétocytes) impliquées dans la synthèse des nutriments (Sullivan, 2008). *Buchnera aphidicola* (Munson et al. 1991), découverte par Paul Buchner en 1965, est la bactérie symbiotique intracellulaire obligatoire de la plupart des espèces de pucerons (Brinza et al., 2009). Ces bactéries sont transmises par la mère aux embryons (par voie verticale). On pense que leur co-évolution a permis de différencier les lignées phylétiques des pucerons (Sullivan, 2008 ; Piffaretti, 2012 ; Doremus et Oliver, 2017). Les symbiontes peuvent être essentiels à la vie des insectes, le plus souvent pour améliorer la nutrition et en contre partie le puceron permet à la bactérie de survivre et se multiplier (Cohen, 2005 ; Doremus et Oliver, 2017). Il semble que la nutrition du puceron en vitamines n'est pas assurée par les symbiontes (Cohen, 2005).

I.2.7. Défense des pucerons

Chez les pucerons, il existe des espèces eusociales et autres présociales. Les soldats de ces derniers ont une morphologie différente de celle des larves normales et ne se développent pas, à l'inverse des espèces présociales (Kutsukake et al., 2014 ; Kutsukake & Simon, 2020). Très récemment on a découvert chez certaines espèces de pucerons, des castes de soldats pucerons qui jouent un rôle social. Ils ne se concernent que 1% des espèces de pucerons. Ce sont des nymphes femelles qui ont des adaptations morphologiques pour défendre une colonie contre les prédateurs. Ces soldats ont des pattes épaisses, ce qui permet de retenir et même d'écraser l'ennemi. Habituellement, les espèces qui ont des soldats ont tendance à former des galles fermées sur leurs hôtes principaux (Sullivan, 2008). Les soldats sont généralement distingués aux premiers stades larvaires des pucerons. Cependant, la majorité des espèces de pucerons n'ont pas de soldats, mais de nombreuses espèces sont encore capables de se défendre par divers moyens, comme suit: coups de pied agressifs, épaisses cuticules et/ou épines défensives, utilisation d'une cire contre des prédateurs et des parasitoïdes (Sullivan, 2008), utilisation de stylets pour attaquer et tuer les œufs de prédateurs en l'insérant et en injectant un venin spécifique aux soldats dans le corps des victimes (Kutsukake & Simon, 2020), et même dans d'autres espèces de pucerons. En outre, les

soldats de certains pucerons sociaux ont un rôle de nettoyage et de réparation des galles, évacuation de miellat, des exuvies et des cadavres de pucerons (Kutsukake & Simon, 2014).

Les pucerons peuvent aussi chuter de la feuille pour s'échapper à une attaque imminente d'un aphidophage. Certains pucerons émettent également des phéromones d'alarme chimique qui avertissent les autres pucerons à proximité d'un danger imminent (Sullivan, 2008) comme lorsqu'ils sont attaqués par des ennemis naturels. La libération de la phéromone provoque la dispersion des pucerons voisins pour fuir ses ennemis (Duron et Weill, 2009).

Les bactéries symbiotiques ont un rôle important dans la résistance des pucerons aux parasitoïdes, par exemple, le puceron *Acyrtosiphon pisum* infecté par les endosymbiotes facultatives *Candidatus Hamiltonella defensa* ou *Ca. Serratia symbiotica* (Enterobacteriaceae) montre une résistance accrue au parasitisme par *Aphidius ervi* (Pontes et al., 2009 ; Nikoh et al., 2019).

De nombreuses espèces de pucerons ont développé des relations mutualistes avec des fourmis collectant le miellat. Les fourmis ont accès à une source importante de nutriments et en contre partie, elles les protègent de leurs ennemis (Vokl et al., 2007 ; I.N.R.A., 2018).

1.2.8. Dégâts causés par les pucerons

1.2.8.1. Dégâts directs

Les pucerons affaiblissent leurs plantes hôtes de diverses manières, par spoliation, en détournant à leur profit les nutriments nécessaires à la croissance et à la reproduction des plantes. En injectant la salive, pendant la phase d'alimentation, ils provoquent une phytotoxicité (Dedryver et al., 2010). Les pucerons occasionnent avec leurs stylets des perforations des cellules de l'épiderme, du mésophylle et du parenchyme, qui peuvent influencer les réponses des plantes à l'infestation (Goggin, 2007). Lors de la prise alimentaire, les stimulations mécaniques et chimiques provoquent un changement dans la différenciation des tissus végétaux formant de vraies galles fermées ou simplement l'enroulement de feuilles autour de la colonie de pucerons (Piffaretti, 2012). Les dommages mécaniques sont généralement modérés, tandis que les sécrétions salivaires provoquent des dommages qui, dans certains cas, se traduisent par des tissus nécrotiques et/ou une décoloration. Même un nombre modéré de pucerons peut avoir des effets graves (Pettersson et al., 2007). Même lorsque les pucerons sont en nombre suffisant, ils peuvent spolier la plante de sa sève nutritive et provoquer une dégradation de ses tissus ce qui a pour conséquence une réduction de la surface foliaire, une croissance ralentie qui peut hâter sa chute, la rendre rabougrie et/ou tuer prématurément (Sullivan, 2008).

I.2.8.2. Dégâts indirects

A. Transmission de virus

Les pucerons sont surtout d'importants vecteurs de virus phytopathogènes plus ou moins importants qu'ils peuvent transmettre à partir d'une source virale par l'injection de salive dans la plante (Blackman et Eastop, 2000 ; Powell et *al.*, 2006). Selon Dedryver et *al.* (2010), il existe au moins 275 virus transmis par les pucerons. Le virus de l'enroulement de la pomme de terre (PLRV) et le virus de la pomme de terre Y (PVY) sont les principaux virus de la pomme de terre dans le monde transmis par les pucerons (Radcliffe et Ragsdale, 2002 ; Carli et Baltaev, 2008). Sur pomme de terre les symptômes se traduisent par des taches nécrotiques sur feuilles, des mosaïques, un enroulement ou une dépigmentation foliaire. Certains virus provoquent également des nécroses au niveau des tubercules les rendant non commercialisables (Harmel et *al.*, 2008).

B. Rejet de miellat et apparition de fumagine

Le miellat est un terme générique définissant les rejets métaboliques des Hémiptères, déposés sur les feuilles et au pied de la plante-hôte. Cette excrétion est un complexe composé essentiellement des sucres, d'acides aminés libres, de minéraux, de vitamines, de lipides et d'acides organiques. Les pucerons excrètent le miellat à l'aide de leurs pattes postérieures, par la cauda ou par contraction de l'abdomen (Leroy et *al.*, 2008). La forte concentration en sucres du miellat favorise le développement d'un complexe de champignons causés par des ascomycètes filamenteux (Quisenberry et Ni, 2007).

La fumagine qui forme un dépôt noirâtre à la surface des feuilles de la plante-hôte, réduit la photosynthèse et provoque parfois l'asphyxie de la plante. D'importantes pertes de rendement avec altération de la qualité des produits végétaux sont les conséquences économiques des infestations importantes (Hullé et *al.*, 1999 ; Leroy et *al.*, 2008 ; Sullivan, 2008).

I.2.9. Principales espèces Aphididae inféodées à la culture de pomme de terre

I.2.9.1. *Macrosiphum euphorbiae* Thomas, 1878

C'est l'espèce qui est connue sous le nom de puceron de la pomme de terre. La forme aptère adulte est de taille moyenne variant entre 1.7 et 3.6mm avec des antennes plus longues que le corps. Le forme ailée, de la même couleur, mesure entre 1.7 à 3.4mm (Turpeau et *al.*, 1999a). Le corps est en forme de fuseau ou de poire, généralement dans les tons verts mais parfois jaunâtre, rose et d'aspect plutôt brillant (fig. 04). Les yeux sont distinctement rouges. Les pattes et la queue sont de couleur légèrement ambrée. Les larves sont allongées, de couleur plus pâle que les adultes avec une bande longitudinale plus sombre sur le dos (Blackman et *al.*, 2000 ; I.N.R.A., 2018).

Biologie

Cette espèce s'attaque à plus de 200 espèces de plantes (Sauvion, 1995). Elle est cosmopolite et vectrice d'un grand nombre de virus phytopathogènes (Blackman et Eastop, 2007). Sur pomme de terre, lorsque les populations sont élevées, elles entraînent le flétrissement des plantes; de plus les excréments de miellat en quantité importante souillent le végétal et favorisent le développement de la fumagine. Elles attaquent les jeunes tissus en premier, en particulier à la pointe de croissance et provoquent le recourbement des feuilles (Kuhar et *al.*, 2009).

Généralement, la plupart des populations survivent sous forme de femelles virginipares en hivernant sur les germes de pomme de terre ou sur plantes sous serre mais on peut trouver des œufs d'hiver sur les plantes hôtes primaires qui sont en majorité des rosacées (Haward et *al.*, 1994). Selon De Conti et *al.* (2010), la relation entre la durée de la période de reproduction de *M. euphorbiae* et la température est linéaire mais elle diminue à mesure que la température augmente. Le nombre maximum de jours de reproduction était de 20,0 à 16°C, alors qu'il n'est que de 8,6 jours à 28°C. La fécondité est maximale à 16°C (soit 80,3 larves par femelle) et elle est minimale à 28°C (14,4 larves par femelle) avec une humidité relative de 70±10%.



Figure 04 : Adulte ailé vert et aptère rose et des larves de *M. euphorbiae* (Bug Guide, 2007).

1.2.9.2. *Aphis gossypii* Glover, 1877

A. gossypii est connu sous le nom de puceron du melon et du cotonnier. Il a été décrit sur près de 300 plantes-hôtes appartenant à des familles botaniques très différentes (Guenaoui-Moustiri, 1988). Il mesure entre 1 et 2 mm. Il a un aspect globuleux et sa couleur varie entre le vert foncé et le vert jaune. Au sein d'une même population on peut observer des individus ailés et d'autres aptères. Les individus ailés sont en général plus petits et plus foncés avec des antennes courtes ne dépassant pas la longueur du corps (Williams et Dixon, 2007). Les formes aptères ont un corps variant de jaunâtre à vert sombre. Ils mesurent entre 1.2 et 2.2 mm (fig. 05). Les antennes sont de couleur jaune pâle. Le prothorax porte des tubercules latéraux très développés. Les cornicules sont très foncées tandis que la cauda est moins foncée. L'abdomen est muni de sclérites marginaux (Turpeau et *al.*, 1999a).

Biologie

Cette espèce qui a été décrite sur plus de 300 plantes hôtes est considérée comme l'une des espèces les plus polyphages (Carletto et *al.* 2009), mais les plus favorables à son développement sont surtout les Cucurbitacées comme le melon, la courgette ou le concombre, ou les Malvacées comme le cotonnier, l'hibiscus. Il est régulièrement observé sur Citrus (Rutacées) mais il peut aussi constituer un réel problème sur Solanacées notamment sur poivron (Guenauoui et Mahiout, 1993) et pomme de terre ou aussi tomate dans certaines régions (Turpeau, 1999b ; Radcliffe et Ragsdale, 2002 ; Blackman et Eastop, 2007). C'est l'une des espèces de pucerons les plus répandues au monde (Lopes, 2007). En plein champs, cette espèce se développe sur des plantes cultivées et sauvages pendant l'été (Guenauoui, 1988).

La durée du développement larvaire d'*A. gossypii* varie en fonction de la plante-hôte et de la température. On note que cette espèce met 4.7 jours à 20°C pour accomplir son développement larvaire sur concombre lorsque la température est constante, mais pour une moyenne équivalente qui correspond à une température alternée en 24h avec 10°C la nuit et 25°C le jour la durée est nettement supérieure soit 6,7 jours ; lorsque la température est maintenue constante à 25°C, la durée est de 4,5 jours ce qui est mentionné aussi sur poivron. Le développement larvaire dure plus de 3 semaines à 10°C (Guenauoui 1988). Le stade larvaire dure 5.50±0.96 jours à 28°C et 4.50±0.32 jours à 25°C sur poivron (Rochat, 1997). La fécondité moyenne des femelles dépend aussi de la plante et de la température et varie selon les auteurs. Elle est de 52.6±5.9 descendants à 25°C, mais elle ne dépasse pas 7 larves/femelle à 28°C (Rochat, 1997) sur poivron. Sur concombre, la meilleure fécondité est obtenue à 20°C avec presque 95 larves par virginipare aptère (VA) qui représente l'optimum (Guenauoui, 1988). Selon Kersting et *al.* (1999), le développement larvaire sur cotonnier 12 jours à 15°C, 5.7 jours à 25°C et 4.5 jours à 30°C; la température de 35°C devient létale pour les jeunes stades à 65±10 d'humidité relative. La longévité des femelles est de 39.7±3.11 jours à 15°C, 23.1±1.34 jours à 25°C et 16.8±0.83 jours à 30°C. La durée du développement larvaire d'*A. gossypii* sur l'ispaghul ou psyllium blond (*Plantago ovata*), est de 8.46±0.20 jours, à 22.50°C à une humidité relative d'environ 52%, la longévité des femelles est de 16.36±0.54 jours et la fécondité moyenne est de 46.50±0,65 larves soit environ 6.5 larves par jour (Patil et Patel, 2013). Sur cotonnier, la fécondité journalière moyenne des femelles est de 1.8±0.07 larves à 15°C, 2.3±0.11 larves à 25°C et 3.1±0.16 larves à 30°C (Kersting et *al.*, 1999).



Figure 05 : Adultes virginipares d'*A. gossypi* ; **A** : ailé ; **B** : aptère (photographies Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018).

I.2.9.3. *Myzus persicae* Sulzer, 1776

Cette espèce est connue sous le nom de puceron vert du pêcher. La forme virginipare aptère (VA) mesure entre 1,2 et 2,5 mm. Elle est de couleur vert- clair à vert- jaunâtre. Les tubercules frontaux sont proéminents et à bords convergents et les cornicules assez longues, de couleur claire (Berry, 1998 ; I.N.R.A., 2018). Les formes ailés (VL) sont de couleur vert-clair et mesurent entre 1,4 et 2,3 mm (fig. 06). Les antennes sont longues et pigmentées à l'exception de la base de l'article 3. L'abdomen porte une large plaque discale sombre découpée latéralement au bord et perforée, avec des sclérites marginaux. Les cornicules sont longues, sombres, renflées (sur hôte secondaire). La cauda est de forme digitale (Turpeau, 1999a ; Leclant, 2000 ; Bejan, 2007).

Cette espèce se développe sur des hôtes primaires comme le pêcher et autres Rosacées. Les Solanacées, Astéracées, Brassicacées et Cucurbitacées constituent des hôtes secondaires pour ce ravageur (Turpeau et *al.*, 1999b ; Blackman et Eastop, 2007). Sur la pomme de terre, la durée de développement larvaire est de 21 jours à 10°C et de 7 jours à 25°C. La fécondité est comprise entre 30 et 80 larves par femelle tandis que sa longévité est de 3 mois à 5°C et de 10 jours seulement à 25°C (Bejan, 2007).



Figure 06: Adultes virginipares de *M. persicae* ; **A** : aptère ; **B** : ailé (Jensen, 2011).

Chapitre 03 : Moyens de lutte contre les pucerons

La protection des plantes contre les pucerons se base sur plusieurs méthodes préventives et curatives (utilisation de variétés résistantes, lutte chimique, lutte biologique, et autres méthodes agro-techniques) qui peuvent s'intégrer dans une stratégie globale de lutte intégrée connue sous le nom d'IPM (Integrated Pest Management).

La lutte biologique contre les pucerons, notamment par l'utilisation de prédateurs et de parasitoïdes dans le cadre de notre étude, nécessite une bonne connaissance de leurs ennemis naturels ainsi que les éventuelles interactions entre ces antagonistes qui peuvent entraver ou au contraire contribuer à l'amélioration de leurs actions de lutte.

I.3.1. La lutte préventive

La lutte préventive concerne différentes pratiques culturales permettant de réduire les dommages causés par les pucerons grâce à la gestion de l'environnement physique ou biologique de la culture du début à la fin en empêchant leur accès aux cultures (Wratten et *al.*, 2007). On peut modifier dans certains cas la date de semis et/ou de la récolte pour perturber le cycle normal d'infestation, pratiquer une rotation des cultures avec une plante moins attractive pour les pucerons (Miller et *al.*, 2008 ; Sullivan, 2008). Par exemple la récolte hâtive des pommes de terre de semence peut réduire les risques de transmission de virus par les pucerons (Boiteau, 2008). Certaines pratiques culturales comme le désherbage ou la destruction de résidus de cultures pourraient s'avérer utiles (Sullivan, 2008), mais il faut veiller aussi à ce que le désherbage ne permette pas aux pucerons de localiser plus facilement la culture à cause du contraste visuel qui en découle ; c'est pourquoi, on recommande parfois de créer un couvert végétal pour réduire la colonisation de la culture (Jaloux, 2013). La mortalité des pucerons peut aussi être favorisée par l'aménagement des habitats voisins de la culture dans la mesure où cela peut constituer des refuges aux ennemis (parasitoïdes et prédateurs) des pucerons (Wratten et *al.*, 2007). Il est aussi utile de gérer au mieux les apports d'eau et de fertilisation en fonction des besoins de la culture pour réduire les explosions démographiques (Schiffers et Wainwright, 2011).

La sélection des variétés résistantes est un outil majeur dans la gestion des ravageurs de la pomme de terre (Miller et *al.*, 2008).

I.3.2. La lutte biotechnique

L'utilisation des moyens biotechnologiques prennent en compte en général le comportement des insectes. Dans le cas des pucerons, on utilise différents attractifs visuels colorés pour les attirer (Ryckewaert et Fabre, 2011), parfois des bandes ou des ceintures gluantes

pour capturer les pucerons (Giordanengo, 2004). La couleur vert jaunâtre est la plus attractive (Jaloux, 2013).

La firme Monsanto a également développé une recherche pour créer une pomme de terre transgénique résistante au virus Y de la pomme de terre. La plante transgénique va permettre aux pucerons de la coloniser en les tolérant tout en se protégeant contre ce virus (Grafius et Douches, 2008 ; Gianessi et *al.*, 2002).

I.3.3. La Lutte chimique

La lutte chimique est très utilisée partout car les pesticides ont l'avantage d'agir rapidement sur des ravageurs et le résultat de cette efficacité est visible car les populations sont réduites dans les heures qui suivent l'application (Dubey et Patyal, 2007). Contre les pucerons, on a développé progressivement de nouveaux insecticides plus spécifiques (Dewar, 2007) pour réduire la propagation des virus en cultures de pomme de terre de semence (Harrington et *al.*, 2007). Ces pesticides peuvent fournir une protection économique quand les autres moyens moins polluants ne sont pas efficaces. Mais, très souvent, la lutte chimique reste le seul moyen de contrôle possible (Alptekin, 2011). Malgré son efficacité, elle est décriée pour de nombreux inconvénients qu'elle présente qui sont cités ci-dessous :

Inconvénients de la lutte chimique

Une utilisation imprudente ou excessive de pesticides peut entraîner un mauvais contrôle, des dommages aux cultures, des dépenses plus élevées et des risques pour la santé et l'environnement (Gullan et Cranston, 2005 ; Alptekin, 2011).

La résistance des pucerons aux insecticides est également une menace constante en culture de pomme de terre, en particulier chez *M. persicae*, lorsque l'utilisation d'une même molécule est répétée ; c'est pourquoi les traitements aux modes d'action différents sont considérés plus efficaces (Dewar, 2007). L'une des conséquences de la résistance est l'échec des stratégies de protection des végétaux pour limiter les populations de ravageurs en dessous des niveaux de dommages économiques (Whalon et *al.*, 2008). D'autre part, les pesticides tuent souvent les ennemis naturels associés au ravageur cible ce qui conduit à une ré-infestation de la culture avec des dommages plus importants qu'avant l'application de ces pesticides (Dufour, 2001; Joshi et *al.*, 2010).

Parfois certains ravageurs dits « secondaires » parce qu'ils sont bien contrôlés par leurs ennemis naturels, deviennent très nuisibles suite à la destruction de leurs antagonistes (Dufour, 2001). En plus des inconvénients précités il y a un réel problème de santé publique lorsque ces traitements laissent des résidus toxiques dans les aliments, l'eau et l'environnement. Même à de très faibles doses, de nombreux insecticides restent nuisibles pour l'homme et d'autres

organismes ; de plus ils sont de plus en plus soupçonnés d'être à l'origine de nombreux cancers chez l'homme (Weinzierl et Henn, 1998). L'eau, le vent et le sol transportent ces substances vers des zones et des organismes non ciblés, contribuant à accroître la nuisance de ces substances chimiques pour la santé humaine et faunique (Joshi et *al.*, 2010). Pour diminuer l'impact de l'industrie agro-pharmaceutique, on s'est orienté vers la lutte biologique.

1.3.4. La Lutte biologique

Malgré un développement technologique croissant pour promouvoir la lutte biologique, les insectes ravageurs continuent à causer des dommages à la production agricole car les moyens ne sont pas toujours faciles à mettre en œuvre. Une opération de lutte biologique consiste à utiliser des ennemis naturels pour limiter les populations du ravageur considéré (Hendrichs et Robinson, 2009). De façon générale l'agent de lutte biologique (prédateur, parasitoïde, bactérie, champignon, virus ou autre organisme) doit être capable de maîtriser les populations du ravageur (Gullan et Cranston, 2005) par différents mécanismes tels que la prédation, le parasitisme, la pathogenèse ou la compétition (Morales-Ramos et Rojas, 2003). L'utilisation d'agents de lutte biologique est en augmentation dans le monde entier et il existe de plus en plus d'entreprises qui produisent et vendent en masse de tels organismes (Van Lenteren, 2003). En lutte biologique augmentative, des auxiliaires (invertébrés et micro-organismes) sont libérés saisonnièrement en grand nombre pour réduire la nuisance des ravageurs. En 2017, elle est appliquée sur plus de 30 millions d'hectares dans le monde. Pour ces auxiliaires, l'Europe est le plus grand marché commercial pour les invertébrés, tandis que l'Amérique du Nord a les plus grandes ventes de micro-organismes (Van Lenteren et *al.*, 2017). En 2018, 350 espèces d'insectes auxiliaires sont commercialisées et introduites dans les catalogues de commercialisation des fournisseurs, contre 100 espèces en l'an 2000 (Bonnaud, 2019).

Selon Gullan et Cranston, (2005) et Powell et Pell (2007), les stratégies de lutte biologique contre les ravageurs se répartissent en trois catégories principales: classique (introductive), augmentative, (inondative) et par conservation. Les méthodes de lutte biologique sont considérées comme étant très spécifiques, affectant un seul ou une classe d'organismes étroitement définie (Cornell, 2007).

i) La lutte biologique classique : Elle implique l'introduction d'ennemis naturels dans des zones géographiques où a été introduit le nouveau ravageur pour corriger les « erreurs » d'une introduction accidentelle d'organismes nuisibles aux cultures (Schiffers et Wainwright, 2011).

ii) La lutte biologique augmentative par «augmentation»: est la libération d'un grand nombre d'ennemis naturels déjà présents dans l'écosystème, mais en nombre très suffisant au

moment opportun pour lutter contre le ravageur ciblé (Collier et Van Steenwyk, 2004 ; Powell et Pell, 2007);

iii) La lutte biologique par conservation est la tactique de contrôle biologique la plus fréquemment utilisée dans la lutte intégrée ; elle consiste à préserver et augmenter les populations naturelles sauvages d'ennemis naturels par la gestion de l'habitat ou la manipulation de leur comportement (Morales-Ramos et Rojas, 2003).

Sur le terrain, le comportement alimentaire des pucerons pendant de longues périodes de l'année les rend particulièrement attractifs pour certains ennemis naturels qui sont nombreux (Sullivan, 2008). Ces auxiliaires appartiennent à divers groupes (insectes, arachnides et champignons entomopathogènes) (Gillott, 2005). Les espèces de ce dernier groupe appartiennent surtout à l'ordre des Entomophthorales (Ascomycetes et Zygomycetes). Leur efficacité contre les pucerons dépend étroitement des conditions climatiques. Ils infectent les pucerons à travers la cuticule entraînant leur mort (Powell et Pell, 2007; Volkl et *al.*, 2007). Seuls les prédateurs et les parasitoïdes seront développés dans cette étude.

I.3.4.1. Notions de prédation, parasitisme et compétition

A. Prédation

La définition de la prédation classique est la consommation d'un organisme vivant par un autre, détournement (Combes et *al.*, 2000). La prédation se divise en trois principaux concepts : i) la prédation extra-guilde qui implique une relation alimentaire entre deux espèces se nourrissant de ressources différentes, ii) la prédation intra-guilde qui implique une relation entre deux espèces se nourrissant au moins d'une ressource commune, et iii) le cannibalisme implique une relation d'alimentation au sein d'une même espèce (Voynaud, 2008). La prédation est généralement considérée comme ayant un effet positif pour le prédateur mais des effets négatifs pour la proie (Schowalter, 2006).

B. Parasitisme

Le parasitisme est l'un des modes de vie le plus répandu dans le monde vivant puisqu'il est présent chez environ 50% des espèces comme les protozoaires, les métazoaires, les bactéries, les virus, les champignons, les insectes etc. (Poulin et Morand, 2000). Le parasitisme est une interaction entre deux êtres vivants, où le parasite retire de l'énergie d'un autre organisme sans entrainer sa mort. C'est une interaction qui est positive pour le parasite et néfaste pour son hôte (Combes et *al.*, 2000). Selon leur mode de développement, certains insectes parasites appelés parasitoïdes peuvent causer la mort de leurs hôtes (Dion, 2011). La définition d'un parasitoïde peut être comme suit : “ un organisme qui se développe sur ou dans un autre organisme, son hôte,

en tire sa subsistance et le tue comme résultat direct ou indirect de son développement ” (Eggleton et Gaston, 1999).

C. Compétition

La compétition est classiquement définie comme "une interaction entre les individus, qui partagent une ressource limitée qui peut entraîner la réduction du taux de survie, du taux de croissance et/ou du taux de reproduction des individus en compétition" (Begon et *al.* 1986 in Goubault, 2003). La théorie de la compétition s'est concentrée sur la façon dont des espèces similaires divisent les ressources, les mécanismes de coexistence et d'exclusion et la caractérisation des effets prioritaires (Polis et Holt, 1992). La compétition entre deux organismes est une interaction négative pour les deux partenaires (Polis et *al.*, 1989). Futuyma (2003), indique que Darwin a considéré la compétition comme est un moyen important de la sélection naturelle pour l'adaptation à différents habitats ou ressources par différentes espèces.

I.3.4.2. Les principaux prédateurs de pucerons

Les insectes utiles qui s'attaquent aux pucerons appartiennent à divers ordres dont les plus importants sont les Coléoptères, les Névroptères, les Diptères et les Hémiptères. Certains prédateurs utilisent leurs pièces buccales tranchantes pour broyer leurs proies, d'autres utilisent des pièces buccales perforantes et suceuses (stylets) pour prélever des fluides corporels de leurs proies (Volkl et *al.*, 2007). De nombreuses espèces sont prédatrices aux stades larvaire et adulte, mais pas nécessairement sur les mêmes types de proies. D'autres ne sont prédateurs que sous forme larvaire, et les adultes sont floricoles pouvant se nourrir de nectar, de miellat, etc. (Koul et Dhaliwal, 2003). Le contrôle biologique par différentes espèces prédatrices se base sur trois tactiques, citées précédemment ; importation ou introduction qui est la forme classique, conservation et augmentation, qui ont prouvé leur efficacité et peuvent être appliquées individuellement ou dans une approche intégrée (Morales-Ramos et Rojas, 2003).

Selon Sahraoui (2018), les prédateurs de pucerons les plus connus appartiennent à la famille des Coccinellidae (Coleoptera). Les espèces de coccinelles aphidiphages les plus rencontrées en Algérie sont: *Coccinella septempunctata*, *C. undecimpunctata*, *Hippodamia convergens*, *H. tredecimpunctata* et *Adalia bipunctata*.

En plus des coccinelles, il existe deux familles de chrysopes (Chrysopidae et Hemerobiidae : Neuroptera) qui sont des prédateurs communs des pucerons ; On rencontre une troisième famille (Coniopterygidae) qui active en particulier sur des conifères (New, 1999; Volk et *al.*, 2007).

Pour les punaises de la famille des Mirides chez les Hétéroptères, on note essentiellement comme agents de contrôle des pucerons les espèces prédatrices omnivores (zoophytophages) :

Macrolophus pygmaeus (Perdikis, 1999; Eyles et al., 2008; Fantinou et al., 2009), *Nesidiocoris tenuis* (El Arnaouty et al., 2012 ; Pérez-Hedo et Urbaneja, 2014), *Dicyphus errans* et *Dicyphus tamaninii* (Messelink et al., 2014). Chez la famille des Anthrocorides, on a : *Orius laevigatus* et *O. majusculus* (Weseloh, 2003).

Dans la famille des Cecidomyiidae (Diptera), *Aphidoletes aphidimyza* est considérée comme étant l'espèce la plus efficace contre les pucerons (Azevedo et al., 2017). Il existe d'autres prédateurs Diptères appartenant à la famille des Syrphidae ou syrphes qui ont une grande aptitude à consommer des pucerons.

Les pucerons sont également attaqués par divers prédateurs polyphages de l'ordre des coléoptères comme les carabes (Coleoptera: Carabidae) et, dans une moindre mesure, les espèces Staphylinidae. Les perce-oreilles ou forficules peuvent également réduire le nombre de pucerons. Leur présence et leur efficacité dépendent fortement de la disponibilité d'un nombre suffisant de refuges (Volk et al., 2007).

Parmi les prédateurs les plus utilisés en lutte biologique contre les pucerons, on a :

A. Les coccinelles (Coccinellidae : Coleoptera)

La famille des Coccinellidae comprend environ 6 000 espèces décrites dans quelques 360 genres et 42 tribus. Elle appartient à la superfamille Cucujoidea du sous-ordre Polyphaga des Coleoptera (Nedved et Kovar, 2012). Les coccinelles entomophages sont des prédateurs bien connus de plusieurs groupes Hémiptères (pucerons, cochenilles, aleurodes et psylles) (Evans, 2009 ; Joshi et al., 2010).

En Algérie, on a recensé 48 espèces de coccinelles dont 14 appartiennent à la famille des Coccinellidae. Dans le Nord, la plupart des coccinelles se reproduisent entre mai et juillet. Au Sud, elles se multiplient vers le début du printemps, et pour certaines espèces en février (Sahraoui et al., 2014).

Tableau 06 : Les principales espèces de coccinelles utilisées dans la lutte contre les pucerons

Prédateur	Puceron (proie)	Objectif de l'étude	Auteur
<i>Coccinella septempunctata</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i> Harris	Interaction avec le parasitoïde <i>Aphidius ervi</i>	Nakashima et al., 2004
	<i>A. pisum</i>	Capacité de prédation	Singh et al., 2004
	<i>Neozygites fresenii</i> (Nowakowski) Batko	Capacité de prédation et développement du prédateur	Simelane et al., 2008
	<i>Aphis fabae</i> Scopoli	Production en masse et capacité de prédation du prédateur	Mahyoub et al., 2013
<i>C. undecimpunctata</i>	<i>A. fabae</i> , <i>Myzus persicae</i> et <i>Aleyrodes proletella</i> L.	Capacité de prédation et développement du prédateur	Cabral et al., 2006
	<i>M. persicae</i>	Capacité de prédation	Cabral et al., 2009

Partie 01 : Synthèse bibliographique

	<i>M. persicae</i> et <i>A. fabae</i>	Effet d'insecticide sur la prédation	Cabral et <i>al.</i> , 2011
	<i>Aphis craccivora</i> L.	Capacité de prédation et développement du prédateur	Imam, 2015
	<i>Aphis gossypii</i>	Effet de la température sur le développement du prédateur	Abdel-Salam et <i>al.</i> , 2018
	<i>A. fabae</i> et <i>A. pisum</i>	Qualité des proies sur la prédation	Hinkelman et Tenhumberg, 2013
<i>Hippodamia convergens</i>	<i>A. gossypii</i>	Capacité de prédation et étude des caractéristiques biologiques du ravageur	Bahy El-Din et El-Khawas, 2019
	Plusieurs espèces	Caractéristiques morphologiques, biologiques et écologiques	Aristizábal et Arthurs, 2018
<i>H. tredecimpunctata</i>	<i>A. gossypii</i> et <i>A. punicae</i> Shinji	Interaction avec le parasitoïde avec <i>C. undecimpunctata</i>	Al-Deghairi et <i>al.</i> , 2014
<i>Harmonia axyridis</i>	<i>Aphis glycines</i> Matsumura	Capacité de prédation et développement du prédateur	Mignault et <i>al.</i> , 2005
	-	Suivre l'invasion du prédateur sur la pomme de terre en Belgique	Jansen et Hautier, 2008
	<i>A. pisum</i>	Effet de la température sur la prédation et le développement du prédateur. Comparaison avec 2 coccinelles	Schwarz et Frank, 2019
<i>Adalia bipunctata</i>	<i>M. persicae</i>	Effet de la plante hôte sur la lutte biologique et le développement du prédateur	Francis et <i>al.</i> , 2001
	<i>M. persicae</i> et <i>Aulacorthum solani</i> Kalténbach	Capacité de prédation et développement du prédateur	Lommen et <i>al.</i> , 2008
	<i>A. pisum</i>	Effet de la température sur la prédation et le développement du prédateur. Comparaison avec 2 coccinelles	Schwarz et Frank, 2019

Les coccinelles aphidiphages les plus connues sont:

A1. *Coccinella septempunctata* Linné, 1758 (Coccinelle à 7 points)

L'espèce *C. septempunctata* qui est abondante en Eurasie, Afrique et Amérique du nord, s'attaque à plusieurs espèces de pucerons économiquement importantes (Kalushkov et Hodek, 2004). L'adulte mesure 5 à 8 mm. Elle a la tête noire, avec une paire de tâches frontales pré-oculaires et les joues blanches. Les palpes sont noires, et les antennes rousses. Le pronotum est de couleur noire comporte une tache rectangulaire blanche au niveau des angles antérieurs. Les élytres sont de couleur rouge, jaune ocre ou orangé avec généralement 07 points noirs (fig. 07), parfois à contour noir, ou bien élytres noirs, avec ou sans macules rouges, surtout près de scutellum et le long des bords, ou avec une grande tache noire commune en forme de V. La tache suturale centrale postérieure toujours absente. La ponctuation est dense, fine et uniforme. La face ventrale et les pattes sont noires (Iablokoff-Khznorian, 1982, www.monaconatureencyclopedia.com, 2020).

C. septempunctata est morphologiquement très proche de l'espèce *C. algerica* (Kovar, 1977) qui existe naturellement en Algérie, mais on peut les différencier à partir de la forme du lobe médian du tegmen et la largeur de la partie génitale chez les mâles (Kovar, 1977 ; Bensusan et al., 2006).

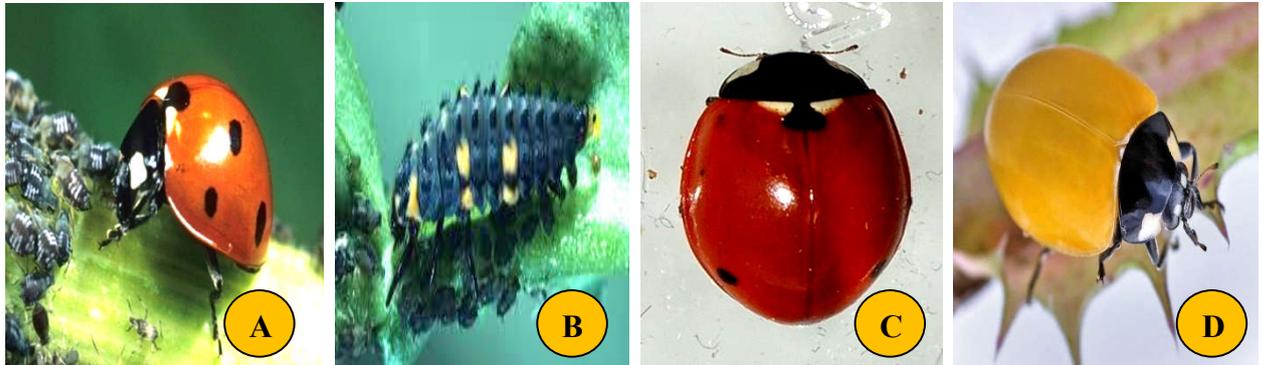


Figure 07 : Adulte de *C. septempunctata* ; **A** : à 07 points ; **B** : larve. (I.N.R.A. Rennes, 2018) ; **C** : adulte à 03 points (www.galerie insecte.org, 2019) ; **D** : adulte orange sans point (www.monaconatureencyclopedia.com, 2020).

Selon la source alimentaire (espèces de puceron), la longévité des femelles de *C. septempunctata* est bien supérieure à celle des mâles. Elle varie entre 68 et 78 jours, alors que celle des mâles se situe entre 52 à 68 jours. La fécondité est élevée et peut varier de 630 à 1430 œufs. Les œufs sont toujours déposés par groupe de 27 en moyenne parfois allant jusqu'à 60 œufs. Le développement larvaire est de 8 à 11 jours à $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Kalushkov et Hodek, 2004). Il peut aller jusqu'à 15 jours (Özder et Saglam, 2002). Ces derniers ont enregistré une moyenne de 13 jours sur le puceron *Sitobion avena*, tandis que, sur cette même espèce, Kalushkov et Hodek (2004) ont noté, dans les mêmes conditions climatiques, seulement 8.8 jours.

A2. *Coccinella undecimpunctata* Linné, 1758 (Coccinelle à 11 points)

Le front est de couleur noire avec deux tâches blanchâtres écartées au niveau du bord oculaires. Les joues et parfois le bord antérieur du labre et du clypéus sont pâles ; Les palpes sont noirs avec le bord antérieur plus clair. Les antennes sont brunâtres avec la base et la massue plus sombres. Le pronotum est noir avec une tâche blanche au niveau des angles antérieurs qui peuvent se prolonger jusqu'aux angles postérieurs, qui peuvent être bordés de noir. Les propleures portent une tache blanche un peu plus petite que celle du pronotum. Les élytres peuvent être de couleur ocre, orange, rouge avec un nombre de taches variables qui peuvent être



Figure 08 : Adulte de *C. undecimpunctata* (www.bugguide.net, 2016).

fusionnées (fig. 08). La face ventrale et les pattes sont noires, méso- et métépimères blancs (Iablokoff-Khnzorian, 1982).

Cette coccinelle est un euryphage (polyphage) qui offre un potentiel intéressant en tant qu'agent de contrôle dans le contexte de la lutte intégrée contre les ravageurs (Cabral et al., 2011). Elle est considérée comme un prédateur important des œufs et des larves nouvellement écloses des chenilles de la noctuelle du cotonnier et de pucerons. L'adulte peut consommer quotidiennement jusqu'à 80 individus d'*Aphis craccivora* et la femelle peut pondre environ 195 œufs. Le 4^{ème} stade peut consommer plus de 230 pucerons (Imam, 2015). De bons résultats sont obtenus en relâchant des adultes de *C. undecimpunctata* dans une serre, à des taux allant jusqu'à 200 pour 140 plantes, pour lutter contre *Aphis fabae* sur le soja (Powell et Pell, 2007). Des larves de cette espèce ont réussi à contrôler *A. gossypii* dans un champ de gombo (Malvacée) (Zaki et al., 1999). La durée de développement globale varie de 11 à 22.20 jours (Abdel-Salam et al., 2018). Elle est de 14 à 37.50 jours suivant l'espèce de puceron avec une voracité journalière des adultes d'environ 40 pucerons (Cabral et al., 2006 ; Cabral et al., 2009).

A3. *Hippodamia tredecimpunctata* Linnaé, 1758 (Coccinelle à 13 points)

La longueur du corps est d'environ 6 mm (Nedved et Kovar, 2012). L'espèce est aisément reconnaissable au dessin de son pronotum avec une grande tâche discale noire presque toujours flanquée de 2 points. Sur les élytres, le nombre de points est de 13 (fig. 09) avec une éventuelle fusion (Le Monnier et Livory, 2003).



Figure 09 : Adulte de *H. tredecimpunctata* (www.birdspiders.com, 2020).

Cette espèce joue un rôle important dans le contrôle d'*Aphis gossypii* et *A. punicae* (Al-Deghairi et al., 2014). Pour la recherche des proies,

elle préfère les parties supérieures des plantes (Nedved et Kovar, 2012). Selon Schellhorn et Andow (2005), cette espèce est capable de répondre à une abondance élevée de pucerons à l'échelle de la plante, ce qui signifie qu'elle rechercherait surtout les plantes très infestées de pucerons.

D'autres principales espèces aphidiphages comme *Chrysoperla carnea*, *C. rufilabris*, *Chrysopa oculata* et *Hemerobius humulinus* (Neuroptera), *Macrolophus pygmaeus*, *Nesidiocoris tenuis*, *Dicyphus errans*, *D. tamaninii*, *Orius laevigatus* et *O. majusculus* (Hereroptera) et *Aphidoletes aphidimyza*, *Episyrphus balteatus*, *Eupeodes corollae* et *Sphaerophoria rueppellii*... etc. sont présentées dans le tableau 07 :

Tableau 07 : Autres principales espèces prédatrices de pucerons appartenant à différents ordres d'insectes

Ordre	Prédateur	Puceron (proie)	Objectif de l'étude	Auteur
Neuroptera	<i>Chrysoperla carnea</i>	<i>A. pisum</i>	Effet des substances volatiles émises par la plante hôte et le puceron sur le prédateur	Zhu et <i>al.</i> , 2005
		<i>A. gossypii</i>	Capacité de prédation et développement du prédateur	Saleh et <i>al.</i> , 2017
		<i>A. gossypii</i>	Evaluation de la lutte biologique sur le terrain	Alghamdi et <i>al.</i> , 2018
		Plusieurs espèces	Inventaire des espèces prédatrices	Dey et De, 2018
		<i>A. gossypii</i>	Capacité de prédation et développement du prédateur	Shaukat, 2018
	<i>C. rufilabris</i>	<i>M. euphorbiae</i>	Stratégies d'oviposition du prédateur en réponse à la disponibilité des proies	Fréchette et Coderre, 2000
		Plusieurs espèces	Stratégies d'oviposition du prédateur en réponse à la disponibilité des proies	Kunkel et Cottrell, 2007
		<i>Chrysopa oculata</i>	<i>A. pisum</i>	Pharmacopragie du prédateur
	<i>Hemerobius humulinus</i>	Plusieurs espèces	Inventaire et plantes refuges	Kovanci et <i>al.</i> , 2014
	Hereroptera	<i>Macrolophus pygmaeus</i>	<i>A. gossypii</i> et <i>M. euphorbiae</i>	Capacité de prédation et développement du prédateur
<i>M. persicae</i>			Influence de la température, photopériode et plante hôte sur la prédation	Perdikis, 1999
<i>M. persicae</i>			Capacité de prédation	Fantinou et <i>al.</i> , 2009
<i>M. persicae</i>			Capacité de prédation	Messelink et <i>al.</i> , 2014
<i>Nesidiocoris tenuis</i>		<i>M. persicae</i>	Interaction avec la coccinelle <i>Cycloneda sanguinea limbifer</i> Casey et capacité de prédation	Duarte et <i>al.</i> , 2013
		<i>M. persicae</i>	Réponse olfactive du prédateur aux plantes infestées et capacité de prédation	Pérez-Hedo et Urbaneja, 2014
<i>Dicyphus errans</i>		<i>M. persicae</i>	Capacité de prédation	Messelink et <i>al.</i> , 2014
<i>D. tamaninii</i> , <i>Orius laevigatus</i> et <i>O. majusculus</i>		<i>A. gossypii</i> et <i>M. euphorbiae</i>	Capacité de prédation et développement du prédateur	Alvarado et <i>al.</i> , 1997
Diptera	<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Cecidomyiidae)	<i>Rhopalosiphum padi</i> L.	Interaction avec le champignon <i>Metarhizium brunneum</i> Petch en lutte biologique	Azevedo et <i>al.</i> , 2017

<i>Episyrphus balteatus</i> , <i>Eupeodes corollae</i> et <i>Sphaerophoria rueppellii</i> (Syrphidae)	Plusieurs espèces	Abondance des prédateurs sur les pucerons du poivron	Pineda et <i>al.</i> , 2008
<i>Toxomerus marginatus</i> , <i>Allograpta obliqua</i> , <i>S.</i> <i>sulphuripes</i> , <i>E. fumipennis</i> et <i>Platycheirus stegnus</i> (Syrphidae).	<i>M. persicae</i> , <i>M.</i> <i>euphorbiae</i>	Lutte biologique sur culture de laitue.	Nelson et <i>al.</i> 2012

B. Les chrysopes (Chrysopidae : Neuroptera)

Les chrysopes (Neuroptera: Chrysopidae et Hemerobiidae) sont des prédateurs polyphages se nourrissant principalement d'insectes à corps mou (Koczor et *al.*, 2019). Ce sont des insectes holométaboles qui passent par plusieurs stades ; Le dernier stade larvaire est suivi d'une phase prépupe au cours de laquelle un cocon de nymphose sera tissé. Leurs larves sont des prédateurs très actifs. L'adulte de *Chrysoperla carnea*, se nourrit de nectar, de levures, de pollen et de miellat, qui peuvent les attirer à proximité des colonies de pucerons (Volkl et *al.*, 2007). La fécondité des femelles des chrysopes varie entre 150 et 600 œufs et la durée de développement à 15 et 25 °C varie de 15 à 30 jours (New, 1975).

Chrysoperla carnea Stephens 1836 (chrysope verte)

La chrysope verte adulte mesure environ 2cm de long ; elle est de couleur vert clair avec des ailes transparentes. Les yeux sont de forme hémisphérique de couleur dorée (fig. 10A) (Bessin, 2019). Les œufs sont pondus individuellement ou en petits groupes. L'œuf est porté par un pédicelle d'environ 1.3cm de long qui lui permet d'éviter la prédation ou le cannibalisme par les larves présentes. L'incubation des œufs dure environ 5 jours à une température de 20-25°C (San Martin et *al.*, 2004). La larve passe par 3 stades successifs qui sont suivis d'un stade prépupe qui correspond au moment où la larve cesse de s'alimenter et commence à tisser un cocon de nymphose (Henry et *al.*, 2002). Les larves sont brunes et blanches et peuvent atteindre une longueur d'environ 1.4cm au dernier stade (fig. 10B) (Bessin, 2019). Durant sa vie larvaire qui dure environ 10-15 jours à 20-25°C, cette espèce peut consommer plusieurs centaines de pucerons (San Martin et *al.*, 2004).

Au stade larvaire *C. carnea*, est un prédateur généraliste de la plupart des espèces d'insectes nuisibles à corps mou, en particulier les pucerons, les aleurodes, les thrips, et les cochenilles (Alghamdi et *al.*, 2018). Elle a une capacité de recherche élevée et prédate environ 200 espèces de pucerons en plus de 80 espèces d'autres insectes nuisibles (Dey et De, 2018).



Figure 10: A : Adulte de *C. carnea* (Chaubet, I.N.R.A., 2018) ; B : larve (Koppertbiological Systems, 2016).

C. Les Mirides, Anthocorides et Nabides (Heteroptera)

Les espèces d'hétéroptères se caractérisent principalement par le fait que la première paire de leurs ailes est divisée en deux zones et par des pièces buccales allongées sous la forme d'un bec segmenté, ou rostre, utilisé pour aspirer les liquides. Les hétéroptères sont en général des insectes diurnes très mobiles avec des yeux composés bien développés (Brambila Hodges, 2008). Ces insectes appelés punaises sont adaptés à différents régimes ; on trouve des espèces phytophages, zoophages ou zoophytophages (Terra et Ferreira, 2003). Certaines espèces des familles des Mirides, Anthocorides et Nabides sont des prédateurs aphidiphages. Les femelles des ces espèces pondent leurs œufs séparément, juste sous l'épiderme de la plante hôte de la proie. Leur fécondité moyenne est de 50 œufs par femelle, mais elle peut arriver à 200 œufs (Volkl et *al.*, 2007).

Les Hétéroptères immatures, appelés nymphes ou larves, passent généralement par cinq stades avant d'atteindre la forme adulte ou ailée (Brambila Hodges, 2008). Les prédateurs zoophytophages de la famille des Miridae se nourrissent à la fois de plantes et de pucerons (Messelink et *al.*, 2014). Parmi ces espèces, nous avons :

C1. *Macrolophus pygmaeus* Rambur, 1839 (punaise miride)

L'adulte est de couleur vert-clair, avec des yeux rouges placés sur le côté de la tête, avec le plus souvent une bande rose, rouge ou noire longitudinale derrière chaque œil près du milieu de la tête (fig. 11). Le premier segment antennaire est plus foncé. Les fémurs et les tibias sont jaunâtres, avec l'extrémité des tarses foncés (Martinez-Cascales et *al.*, 2006 ; Eyles et *al.*, 2008). Les nymphes ressemblent aux adultes (Deschamps,



Figure 11: Adulte de *M. pygmaeus* (I.N.R.A., 2014)

2007). La longueur totale du corps de l'adulte, depuis le point le plus apical de la tête jusqu'au bout des ailes varie entre 3.2 à 3.3mm (Castañé et *al.*, 2013). Selon Bensaad, (2011), le mâle mesure en moyenne 3.4mm et la femelle 3.5mm.

C'est une punaise prédatrice généraliste largement utilisée dans la lutte biologique augmentative contre divers insectes nuisibles (Sylla et *al.*, 2016a). Sur tabac, la longévité des femelles est d'environ 50 jours et celle des mâles est de 80 jours. La fécondité des femelles est de 104 œufs et la durée de développement totale des stades larvaires est de 20 à 27 jours à 23°C (Margaritopoulos et *al.*, 2003). Une application de 4 prédateurs par plante de poivron est sans doute efficace contre *Myzus persicae* (De Backer, 2012). Sur aubergine, l'espèce peut consommer environ 23 *M. persicae* et 13 *Macrosiphum euphorbiae* par jour à 25°C (Lykouressis et *al.*, 2007). Elle peut consommer au totale 285 *M. persicae* sur tabac à 25°C (Margaritopoulos et *al.*, 2003).

C2. *Nesidiocoris tenuis* Reuter, 1895 (punaise miride)

L'adulte a un aspect étiré, mince, de couleur jaune-verdâtre; il possède une tête ovale, reconnaissable par une bande noire transversale sur le vertex, typique de l'espèce (Sylla et *al.*, 2016b). L'adulte mesure environ 3.3mm (Bensaad, 2011 ; Pineda et *al.*, 2017). Les yeux sont de couleur rouge, les antennes sont encerclées d'anneaux de couleur noire. L'extrémité de l'appareil buccal est également noire. Les pattes des adultes sont fines au niveau du fémur et du tibia ; elles sont de couleur jaune-clair, avec le bout des pattes et la base du tibia de couleur noire (fig. 12) (Sohrabi et Hosseini, 2015).



Figure 12: Adulte de *N. tenuis* (www.biodiversidadvirtual.org, 2017)

La durée totale de cycle de vie de cette espèce sur tomate est de 21.8 jours à 25°C. La fertilité de la femelle est de 60 à 80 nymphes (Sanchez et *al.*, 2009 ; Sylla et *al.*, 2016b). La nymphe nécessite 12.9 jours. La température maximale létale est située à 40°C. Dans l'ensemble, parmi les espèces de la sous famille des Dicyphines de la région méditerranéenne, *N. tenuis* est considérée comme l'espèce la plus thermophile (Sanchez et *al.*, 2009).

D. Les syrphes (Syrphidae : Diptera)

Les syrphes se développent dans la plupart des écosystèmes (Nishida et *al.*, 2002). Le développement des syrphes est de type holométabole avec une métamorphose complète. Les adultes de plusieurs espèces de syrphes peuvent être confondus avec des abeilles ou guêpes. Les adultes volent et se nourrissent de miellat et nectar pour assurer leur reproduction, tandis que les larves consomment des pucerons (Bugg et *al.*, 2008). Les syrphes aphidophages sont des agents à

fort potentiel dans la lutte biologique contre les pucerons (Amorós-Jiménez et *al.*, 2012). L'espèce la plus connue est :

***Episyrphus balteatus* De Geer, 1776 (Syrphe ceinturé)**

L'adulte qui mesure entre 9 et 11 mm est caractérisé par un abdomen annelé de couleur jaune-orangé et noir, entouré de deux bandes fines et claires (fig. 13). Les femelles pondent leurs œufs individuellement dans des colonies de pucerons (I.N.R.A., 2018). La fécondité de cette espèce peut atteindre 1000 œufs. Larve est de couleur blanchâtre, translucide. Elle est aveugle. Elle ne possède ni pattes segmentées, ni tête sclérifiée. Le développement larvaire passe par 3 stades. Pour assurer son développement complet une larve peut consommer jusqu'à 1200 pucerons (Haubruge et *al.*, 2014). Son développement dure environ une semaine dans des conditions optimales (Vosteen et *al.*, 2018) mais il peut varier du simple au double en fonction de l'espèce de puceron consommée. Cette espèce préfère les plants infestés de colonies de pucerons, ce qui assure une lutte biologique optimale sur le terrain et l'éradication des aphidiens dommageables aux cultures (Haubruge et *al.*, 2014).

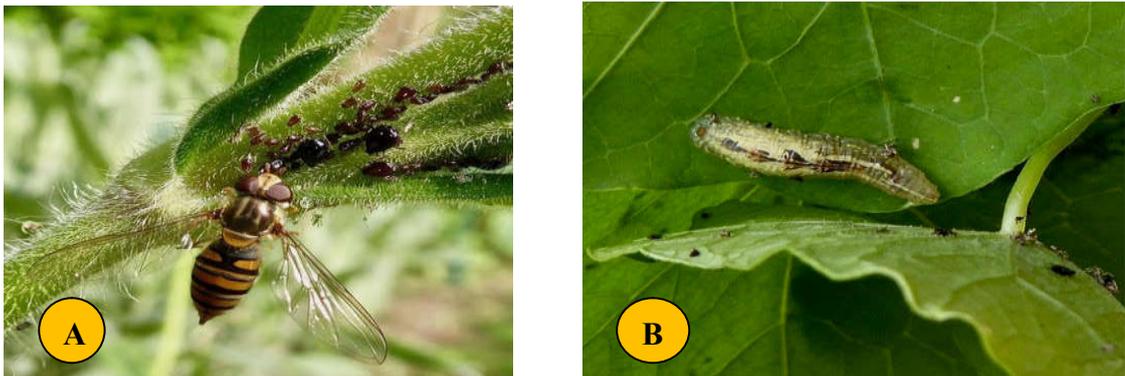


Figure 13: A : Adulte d'*Episyrphus balteatus* ; B : larve (www.baladesentomologiques.com, 2016).

E. Les cécidomyies (Cecidomyiidae : Diptera)

Les Cecidomyiidae appartiennent à l'une des familles de Diptères les plus riches en espèces. Elle comporte 6203 espèces dans 736 genres. Les espèces mesurent généralement entre 0,5 et 3mm de long et atteignent rarement 8mm. Elles ont de longues antennes, des ailes relativement grandes avec une nervation réduite et de longues pattes. Les larves sont phytophages, mycétophages ou saprophages. Certaines larves sont zoophages (Skuhrava et *al.*, 2014). Cependant, certaines espèces de Cécidomyies sont des parasitoïdes de pucerons comme *Endaphis fugitiva* (Muratori et *al.*, 2009). L'espèce aphidiphage la plus utilisée en lutte biologique est :

***Aphidoletes aphidimyza* Rondani 1847 (cécidomyie du puceron)**

Cette espèce possède un corps d'environ 2,5 mm. Elle a de longues pattes. Les mâles ont de longues antennes poilues courbées vers l'arrière (fig. 14) tandis que les femelles ont des antennes plus courtes et plus épaisses. Les larves sont de couleur orangée à marron (I.N.R.A., 2018).

Cette cécidomyie prédatrice est l'un des agents de lutte biologique les plus importants contre les pucerons, car elle s'attaque à plus de 80 espèces de pucerons (Mottaghinia et *al.*, 2015). Les femelles pondent leurs œufs sur les feuilles proches des colonies de pucerons; seules les larves sont prédatrices et rampent à la surface des feuilles à la recherche de pucerons. Chaque larve peut consommer entre 3 et 50 pucerons par jour (Azevedo et *al.*, 2017). Elle a besoin d'au moins 5 pucerons par jour pour se développer, mais elle peut en tuer jusqu'à 100 par jour (I.N.R.A., 2018).

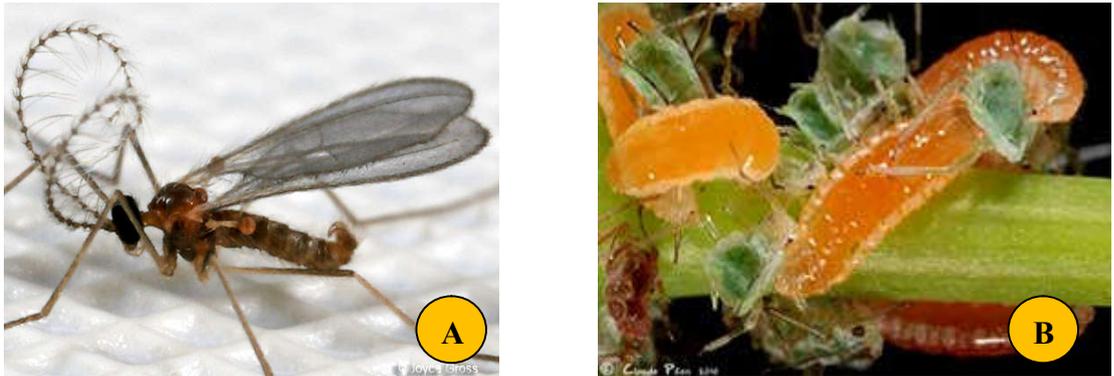


Figure 14: A : Adulte d'*A. aphidimyza* (www.buguide.net, 2006) ; B : larve (www.entomofaune.qc.ca, 2010).

F. La Forficule *Forficula auricularia* Linnaeus, 1758 (Forficulidae : Dermaptera)

L'adulte mesure 15mm de long, de couleur marron avec une tête brun rougeâtre. Il possède une paire proéminente de pinces à l'extrémité du corps; les pinces des femelles sont droites tandis que celles des mâles sont fortement courbées (Alston et Tebeau, 2011). Les forficules ont un corps de forme allongée, cylindrique. Elles sont menées de mandibules servant à broyer les aliments ; leurs élytres très courts et fortement sclérifié protègent complètement les ailes au repos (fig. 15) (I.N.R.A., 2018).



Figure 15: Adulte de *F. auricularia* (Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018).

Les Forficules sont actifs la nuit, volent très rarement et se regroupent souvent par groupes de dizaine d'individus. Ils se nourrissent de petits insectes. L'espèce de forficule *F. auricularia* consomme les pucerons (I.N.R.A., 2018). La présence et l'efficacité des perce-oreilles dépendent fortement de la disponibilité d'un nombre suffisant de refuges (où cette espèce nocturne peut se cacher pendant la journée) à l'intérieur ou à proximité immédiate de la culture (Volk et *al.*, 2007).

I.3.4.3. Les principaux parasitoïdes de pucerons (Hyménoptères)

L'ordre des Hyménoptères est très diversifié ; il contient la majorité des insectes et des parasitoïdes organisés socialement, ainsi que des prédateurs et des phytophages spécialisés (Austin et Dowton, 2000). Les insectes parasitoïdes de cet ordre sont les organismes qui sont les plus utilisés dans les programmes de lutte biologique classique contre d'autres arthropodes (Parry, 2008). La majorité des succès dans ces programmes ont été obtenus grâce aux agents de lutte issus de trois familles de parasitoïdes: Aphelinidae, Braconidae et Encyrtidae. Les deux premières familles sont principalement utilisées contre les pucerons (Zuparko, 2008 ; Boivin *et al.*, 2012). Les parasitoïdes peuvent se spécialiser en fonction de l'espèce ou du stade de l'hôte car ils peuvent être des parasitoïdes d'œufs, de larves, de pupes, ou d'adultes (Wajnberg et Ris, 2007).

En fonction du cycle biologique, les parasitoïdes peuvent être largement divisés en idiobiontes et koinobiontes ; Les parasitoïdes idiobiontes tuent leur hôte au moment du parasitisme ou peu de temps après. Les koinobiontes, achèvent la plupart ou la totalité de leur développement larvaire dans un hôte vivant, ce qui nécessite la suppression ou la manipulation des défenses de l'hôte afin de survivre pour achever leur développement (Parry, 2008). À la fin de développement larvaire, l'hôte est tué et le parasitoïde se nymphose à l'intérieur ou en dessous de la cuticule durcie de son hôte pour former la momie (Volkl *et al.*, 2007). L'adulte parasitoïde qui émerge de la momie doit percer un trou circulaire dans la cuticule durcie pour sortir (fig. 16). À l'émergence, la femelle parasitoïde s'accouple, souvent dans la zone d'émergence, et commence à rechercher des pucerons hôtes (Boivin *et al.*, 2012). Les parasitoïdes adultes vivent librement en se nourrissant de miellat et de nectar (Volkl *et al.*, 2007).

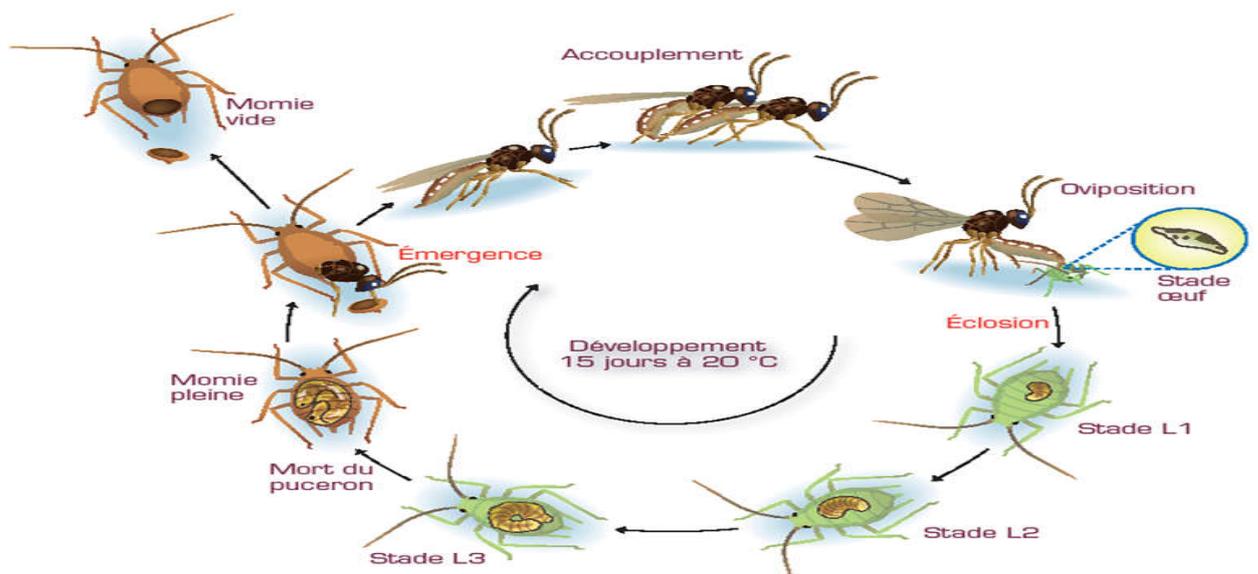


Figure 16: Cycle biologique d'un Hyménoptère parasitoïde de puceron (Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018).

À l'exception de certaines espèces thélytoques, chez lesquelles les mâles sont absents de façon momentanée la majorité des Aphidiinae sont bisexuées. Les femelles arrhénotoques parthénogéniques peuvent déterminer le sexe de leur progéniture en contrôlant la libération des spermatozoïdes; en général les œufs non fécondés donnent des mâles et ceux fécondés se développent en femelles (Heimpel et de Boer, 2008).

Ces parasitoïdes, appelés primaires, sont eux aussi exposés au parasitisme par deux groupes de parasitoïdes dits secondaires. Le premier groupe en grande partie des Alloxystinae (Cynipoidea : Charipidae) (Quinlan et Evenhuis, 1980) attaque le puceron avant sa momification et dépose ses œufs dans le corps de la larve du parasitoïde primaire. Son développement est retardé jusqu'à ce que le parasitoïde primaire arrive à la momification. Un autre groupe de parasitoïdes secondaires attaque la momie contenant des parasitoïdes primaires ou secondaires en les paralysant et leurs larves se développent immédiatement. Plusieurs genres (*Asaphes*, *Coruna* et *Pachyneuron*) de Pteromalidae (Chalcidoidea) et *Dendrocerus* (Ceraphronoidea : Megaspilidae) contiennent des espèces ayant ce cycle biologique (Müller et al., 1999).

La relation physiologique entre un parasitoïde et un puceron aboutit à la mort de l'un des partenaires (Fellowes et al., 2005). Elle dépend de leurs capacités respectives à établir des stratégies de virulence ou de résistance à l'égard de l'organisme adverse. De nombreux procédés de virulence de la part des parasitoïdes ont été développés pour permettre la survie de leur descendance aux dépens d'une gamme d'insectes-hôtes généralement restreinte (Beukeboom et Zwaan, 2005; Gillott, 2005; Moreau, 2016). Les parasitoïdes des pucerons présentent différents niveaux de spécialisation de l'hôte. Certains se spécialisent sur quelques espèces de pucerons, tandis que d'autres se spécialisent dans l'habitat et attaquent la plupart des espèces de pucerons dans un habitat donné (Boivin et al., 2012). De toute évidence, le choix du meilleur parasitoïde de puceron à utiliser dans un programme de lutte biologique doit reposer sur des informations sur le niveau de spécialisation du parasitoïde et combine une connaissance détaillée de l'écologie des deux organismes, ainsi que du système qu'ils habitent (Austin et Downton, 2000).

Selon Volkl et al. (2007), les espèces de parasitoïdes primaires les plus étudiées et utilisées pour combattre les pucerons, sont : *Aphidius colemani* (Viereck, 1912), *A. ervi* (Haliday, 1834), *A. matricariae* (Haliday, 1834) et *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson, 1880).

A. *Aphidius colemani* Viereck, 1912

C'est un endoparasite qui appartient à la famille des Braconidae et à la sous-famille des Aphidiinae. Celle-ci est caractérisée par une petite taille comprise entre 2 et 3.5mm (fig. 17). Les antennes d'*A. colemani* comportent 13 à 15 articles. Sur les ailes, les cellules 2,3 et 5 constituent une grande cellule médiane fermée (I.N.R.A., 2018).



Figure 17: Adulte d'*A. colemani* (Evergreen Growers Supply, 2013)

A. colemani se développe sur plusieurs espèces de puceron comme : *Aphis fabae*, *A. gossypii*, *Rhopalosiphum padi*, *Myzus persicae*,...etc. (S.E.R.A.I.L., 2015). C'est un endo-parasitoïde solitaire originaire de la zone frontalière entre la Méditerranée et l'Asie centrale (Stary, 1975). Les premiers travaux en France concernant l'utilisation de cette espèce contre *A. gossypii* ont été conduits à la station de recherche sur la lutte biologique d'Antibes (Tardieux, 1987 ; Guenaoui, 1988). Plusieurs travaux ont été poursuivis dans d'autres pays sur diverses espèces de pucerons, en Algérie (Guenaoui, 1999) en Italie (Pinto et al., 2003), en Iran (Barahoei et al., 2014), aux USA (Prado et al., 2015), en Nouvelle Zélande (Khatri, 2017).

B. *A. ervi* Haliday, 1834

L'adulte mesure entre 2.8 et 4.1 mm de long. La tête de la femelle est de couleur brun noirâtre, avec la partie inférieure du clypeus et les pièces buccales jaunâtres et les apex des mandibules sont foncés. Les mâles sont plus foncés que les femelles. Le thorax est entièrement brun, les pattes sont plus ou moins brun jaunâtres et l'abdomen est brun foncé (Kos et al., 2009). Les adultes possèdent entre 17 et 18 segments antennaires, le tergite I (pétiole) a un aspect rugueux sur la face latérale, sur l'aile antérieure, les cellules 5, 2 et 3 sont réunies et la cellule 1 est ouverte, la longueur du métacarpe est égale à celle du ptérostigma (Rakhshani et al., 2012) (fig. 18).



Figure 18: Adulte d'*A. ervi* (Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018)

Cette espèce est un parasitoïde oligophage associé à un certain nombre de pucerons de Légumineuses, de Solanacées et de céréales (Stary et Havelka , 2008; Villegas et al., 2017). Sa taille plus ou moins grande lui permet de parasiter des espèces de pucerons de taille importante (S.E.R.A.I.L., 2015). Présent naturellement sur de nombreuses espèces de pucerons et de plantes,

il parasite efficacement *M. euphorbiae* au Canada (Nguyen et al., 2008), *M. persicae* en Inde (Gavkare et al., 2014), *Aulacorthum solani* au Japon (Takada et Tada, 2000), *Aphis pomi* en Slovaquie (Malina et Praslička, 2008).

C. *A. matricariae* Haliday, 1834

L'espèce peut être identifiée suivant certaines caractéristiques morphologiques : Chez les femelles, le nombre d'articles antennaires varie de 17 à 18 tandis que chez le mâle il est moindre. Les ailes ont les cellules 2, 3 et 5 réunies et la cellule 1 ouverte ; sur le pétiole la partie latérale est rugueuse (I.N.R.A., 2018). Les stigmates des ailes antérieures est de forme triangulaire et allongée, aussi long que la veine R1 (fig. 19). La gaine de l'ovipositeur est courte (Barahoei et al., 2014).



Figure 19: Adulte d'*A. matricariae* (Chaubet, I.N.R.A. Rennes, 2018)

A. matricariae est une espèce solitaire, koinobionte, polyphage et endo-parasitoïde de plus de 40 espèces de pucerons (Rezaei et al., 2019). L'espèce a été étudiée sur *Rhopalosiphum padi*, *Schizaphis graminum* en Egypte (Agamy et al., 2003), sur *Aulacorthum solani*, *M. persicae* et *Brevicoryne brassicae* en Slovinie et en Algérie (Kos et al., 2007 ; Chaouche et Laamari, 2015), sur *Aphis fabae* en Iran (Adabi et al., 2010), sur *A. gossypii* au Brésil et en Algérie (Stary et al., 2007) et en Iran (Zamani et al., 2012), Il a été identifié sur *Acyrtosiphon gossypii*, *Rhopalosiphum maidis*, *Aphis craccivora* en Algérie (Chaouche et Laamari, 2015),...etc. L'espèce a été introduite en France pour un programme de lutte biologique contre plusieurs espèces de pucerons sur Noyer (*Juglans regia* L.) (Juglandaceae) (Powell et Pell, 2007).

Selon Zamani et al. (2012), la fécondité d'*A. matricariae* est de 115.97 sur *A. gossypii* sur concombre à 25°C.

D. *Lysiphlebus testaceipes* Cresson, 1880

La longueur de la femelle adulte varie entre 1.6 et 2.2mm (Mari, 2009) et les mâles entre 1.5 et 2mm (Tomanović et al., 2018). Cette espèce, de couleur noire, possède 3 palpes maxillaires et 2 palpes labiaux ; son métacarpe est plus court que le pterostigma. Au niveau des ailes, les cellules 1, 2, 3 et 5 sont ouvertes, seulement une partie de la nervure médiane 3 appelée M3 (Rakhshani et al., 2015). Les antennes comportent 12 à 13 articles pour la femelle et de 14 à 15 pour le mâle (Carver et Franzmann, 2001) (fig. 20).

L'espèce a été introduite vers 1973 en région méditerranéenne dans le sud de la France à partir de Cuba pour combattre les pucerons des agrumes ; *Toxoptera aurantii* et *Aphis spiraecola* (Stary et al., 1988). En Algérie, elle a été signalée en 1990 sur *A. gossypii* infestant plusieurs cultures maraîchères (Guenaoui. Com. pers.). Elle a été signalée sur plusieurs espèces d'aphides : *Aphis chloris*, *A. citricola*, *A. fabae*, *A. frangulae*, *A. gossypii*, *A. nerii*, *A. parietaria*, *A. sedi*, *Toxoptera aurantii* en Portugal (Costa et Stary, 1988 ; Stary et al., 2007), *Schizaphis graminum* au Brésil (Rodrigues et Bueno, 2001), *Rhopalosiphum maidis* USA (Doury et al., 2015).



Figure 20: Adulte de *L. testaceipes* (Macedo et al., 2010)

Selon Van Steenis (1995), la longévité moyenne des femelles de *L. testaceipes* sur *A. gossypii* sur concombre est de 2.6 jours (5jours maximum), sa fécondité journalière est de 180 œufs en moyenne à 25°C et diminue avec l'âge. Dans les mêmes conditions, la longévité du parasitoïde est de 3.5 jours (Rodrigues et Bueno, 2001). Selon Carnevale et al. (2003) et Bueno et al. (2006), elle est de 5,5 jours. Silva et Bueno (2008) ont enregistré une fécondité à 25°C qui varie en fonction du puceron hôte. Elle est de 327,8 œufs sur *A. gossypii* et de 498.2 œufs sur *Rhopalosiphum maidis*.

Concernant le contrôle des pucerons, toutes ces méthodes de lutte, précédemment citées, peuvent être utilisées ; la lutte biologique ne peut être efficace que si elle est insérée dans une stratégie de lutte intégrée qui favorise les moyens naturels de régulation.

1.3.5. La lutte intégrée

La lutte intégrée contre des ravageurs est basée sur une combinaison de méthodes telles que la lutte chimique, la rotation des cultures, l'assainissement des cultures, la date de plantation, les périodes de plante sans infestations (Host-free), les variétés résistantes et la lutte génétique et biologique en un seul effort de lutte contre les ravageurs (Henneberry, 2007; Van Emden, 2007, Alptekin, 2011). Selon la réglementation Européenne, en lutte intégrée, l'emploi des produits phytopharmaceutiques est limité au strict nécessaire pour que la présence des organismes nuisibles ne dépasse pas le seuil à partir duquel apparaissent des dommages ou une perte économiquement inacceptable (Schiffers et Wainwright, 2011). Dans la production biologique de pomme de terre Boiteau (2008), a recommandé aussi ces méthodes à l'exception de l'utilisation

de pesticides. Selon Van Emden (2007), la réussite des programmes de lutte intégrée dépend de plusieurs facteurs qui sont :

- i) Les méthodes de production végétale et animale;
- ii) La biologie et l'écologie de chaque espèce nuisible;
- iii) Les informations de base sur la génétique, le comportement et la physiologie des espèces nuisibles;
- iv) Les relations et interactions des ravageurs avec la culture et les autres éléments biologiques et physiques de l'écosystème;
- v) Les dommages économiques potentiels de chaque complexe de ravageurs (Henneberry, 2007).

Ces méthodes de lutte doivent être compatibles avec les méthodes de production des cultures et l'écosystème. La sélection des cultivars et la date de plantation, ainsi que les pratiques culturales (irrigation, fertilisation et travail du sol), peuvent avoir une influence majeure sur la sévérité des ravageurs. Les décisions sur la nécessité d'une action de lutte sont basées non seulement sur ces facteurs mais aussi sur les niveaux de populations de ravageurs, les conditions météorologiques du moment ou en prévisions, les niveaux de lutte biologique existante, le stade de développement des plantes et le potentiel de pertes de rendement (Dent, 2000; Henneberry, 2007; Schiffers et Wainwright, 2011). Selon Gillott (2005), l'IPM nécessite des informations à la fois sur l'agro-écosystème, et le cadre socioéconomique du système agricole dans lequel le problème phytosanitaire est posé. C'est pourquoi, la collaboration d'experts est nécessaire pour la réussite de l'IPM pour réaliser des économies financières et améliorer la qualité de l'environnement.

Chapitre 04 : Interactions entre ennemis naturels des pucerons

Une espèce existe comme membre d'un groupe, composé de prédateurs, parasites, compétiteurs, ou encore mutualistes qui interagissent par diverses interactions (Dion, 2011). Une espèce peut influencer directement le comportement ou l'abondance d'une autre espèce ou indirectement par le biais d'effets sur d'autres espèces associées à la production de substances chimiques végétales qui attirent les prédateurs (Schowalter, 2006). Le réseau d'interactions, directes et indirectes et avec rétroactions positives ou négatives, détermine la structure et la dynamique de la communauté et contrôle les taux d'énergie et les flux de matière à travers les écosystèmes (Holt et Polis, 1997).

Les interactions entre antagonistes peuvent aboutir à des résultats plus ou moins différents sur la lutte biologique contre les ravageurs.

I.4.1. Effets des interactions sur la lutte biologique

De nombreuses questions importantes en écologie communautaire tournent autour des deux interactions compétition et prédation qui peuvent influencer la coexistence ou l'exclusion des espèces, et donc la composition des communautés (Holt et Polis, 1997). C'est l'un des risques les plus importants actuellement associés aux méthodes de lutte biologique concernant les effets des auxiliaires sur les organismes indigènes et les écosystèmes qu'ils habitent. Ces auxiliaires peuvent nuire directement aux espèces non nuisibles en augmentant la prédation, le parasitisme et la phytophagie des espèces non ciblées; ils peuvent entrer en compétition avec les espèces indigènes comme c'est le cas du parasitoïde *Lysiphlebus testaceipes* (Volkl et Stadler, 1991) ou de la coccinelle exotique *Harmonia axyridis* Pallas (Firlej et al., 2005 ; Cardinale et al., 2006) ; l'élimination des espèces clés; et indirectement par les effets sur la communauté et l'écosystème (Cornell, 2007). Les auxiliaires introduits dans un programme de lutte biologique peuvent être aussi attaqués par d'autres ennemis naturels autochtones (Polis et al., 1998; Rosenheim et al., 1993 ; Rosenheim et Wilhoit, 1993 ; Lucas, 2001). C'était le cas qui a conduit à l'échec d'un programme de lutte biologique contre *Aphis gossypii* dans les champs de coton en Californie ; Des lâchers massifs du prédateur *Chrysoperla carnae* pour le contrôle du puceron, n'ont pas donné des résultats exemptés voir nuls, car les chrysopes ont été attaquées massivement par des punaises et des coccinelles prédateurs généralistes présents dans les champs (Rosenheim et al., 1993 ; Rosenheim et Wilhoit, 1993).

I.4.2. Prédation intra-guilde

La "guilde" représente un groupe d'espèces qui exploitent, d'une manière similaire, la même classe de ressources environnementales (Root, 1967). La prédation "intra-guilde" (IGP) se

produit entre les membres de la même "gilde" (Polis et Holt, 1992 ; Lucas, 2005). Elle est une combinaison entre deux interactions compétition et prédation/parasitisme, c'est-à-dire la mise à mort et la consommation d'espèces qui utilisent des ressources similaires et sont donc des concurrents potentiels (Polis et Holt, 1992 ; Fellowes et *al.*, 2005). Les espèces en compétition peuvent être enfermées dans des interactions prédateur-proie en mélangeant compétition et prédation (Holt et Polis, 1997). Cette interaction détermine la coexistence dans de nombreuses guildes de prédateurs (Wissinger et McGrady, 1993).

La prédation intra-gilde se distingue des concepts traditionnels de compétition par les gains énergétiques immédiats pour un participant (le prédateur). Elle diffère de la prédation classique (prédation extra-gilde) car l'acte réduit la compétition potentielle d'exploitation. Ainsi, son impact sur la dynamique des populations est plus complexe que la compétition ou la prédation seule (Polis et *al.*, 1989 ; Lucas, 2001). Les organismes impliqués dans l'IGP n'ont pas toujours des rôles bien définis; le même organisme peut être prédateur ou proie, selon divers facteurs. Les résultats de ces interactions sont généralement influencés par la taille relative, la mobilité et la densité des organismes, ainsi que par leur spécificité et morphologie alimentaires, où les densités de proies joue un rôle important (Fréchette et *al.*, 2006). La ressource partagée est dite proie extra-gilde ; elle est consommée par le prédateur intra-gilde (Rosenheim et *al.*, 1995).

Le cannibalisme, qui peut être considéré comme le cas spécial où les concurrents intra-spécifiques se mangent les uns les autres, est souvent signalé au sein des populations d'espèces qui interagissent en tant que prédateurs intra-guildes (Wissinger et *al.*, 1996).

Selon Lucas (2005), Volkl et *al.*, (2007) , Lucas et Rosenheim (2011), il semble que les guildes aphidophages constituent des systèmes particulièrement favorables à l'IGP. Les distributions spatio-temporelles des pucerons favorisent les interactions, telles que l'IGP, entre les ennemis naturels. Certaines espèces d'auxiliaires peuvent avoir un effet significatif sur les populations de pucerons; elles n'existent pas isolément mais font généralement partie de complexes plus importants au sein des guildes (Booij et Noorlander ; 1992, Volkl et *al.*, 2007). Mais dans certains cas les populations de pucerons peuvent augmenter malgré la pression naturelle de l'ennemi (Hochberg et Lawton, 1990). Les insectes prédateurs et parasitoïdes sont attaqués par leur propre ensemble de prédateurs, parasitoïdes et agents pathogènes (Rosenheim, 1998). Des travaux expérimentaux montrent que les interactions des agents de lutte biologique avec leurs propres ennemis naturels peuvent perturber le contrôle efficace des populations de ravageurs (Rosenheim, 1998 ; Lucas, 2001).

De nombreux prédateurs de pucerons s'attaquent, occasionnellement ou régulièrement, à d'autres prédateurs lorsqu'ils se disputent la même proie au sein d'une colonie de pucerons, ce qui

entraîne une prédation intra-guilde (Lucas, 2005). Le type et la taille des prédateurs sont deux facteurs importants qui déterminent le résultat de l'IGP. Les individus relativement gros tuent généralement les plus petits (Lucas et *al.*, 1998 ; Fréchette et *al.*, 2006). Un échec d'un programme de lutte biologique est la conséquence de ce type d'IGP qui est souvent identifié comme un facteur entravant (Lucas, 2001). Lucas et *al.* (1998), ont mentionné que dans les IGP, les espèces spécialisées étaient plus susceptibles de devenir des proies que les généralistes. Dans le cas des espèces aphidiphages, la compétition entre les larves de la cécidomyie prédatrice *Aphidoletes aphidimyza* et d'autres prédateurs est toujours asymétrique dans la mesure où les larves de cécidomyie sont généralement des proies. Cette espèce n'est pas adaptée pour tuer des proies autres que les pucerons en raison de ses besoins alimentaires très spécifiques (Lucas et *al.*, 1998; Hindayana et *al.*, 2001).

La fréquence des interactions IGP est généralement diminuée par l'augmentation du nombre de proies extra-guilde car la probabilité de rencontre avec des prédateurs est réduite (Lucas et Rosenheim, 2011). Elle est d'autant plus marquée que le prédateur intra-guilde est menacé en attaquant la proie intra-guilde (Lucas 2005). Cependant, cette diminution de fréquence est atténuée lorsque le prédateur intra-guilde est plus avantageux quand il consomme la proie intra-guilde plutôt que la proie extra-guilde, dans ce cas, Losey et Denno, (1998) et Lucas (2005) ont identifié trois types d'IGP: i) une IGP nutritionnelle en raison des gains nutritifs importants en consommant la proie intra-guilde, ii) une IGP compétitive par l'élimination d'un compétiteur potentiel, et iii) une IGP protectrice car dans le cas d'une symétrie, la proie intra-guilde élimine un prédateur potentiel.

Il est maintenant bien établi que l'IGP affecte le prédateur intra-guilde, les proies intra-guilde et les proies extra-guilde, au niveau de l'individu, de la population et de la communauté. Elle influence les traits écologiques et évolutifs des différents protagonistes (Polis et *al.*, 1989). D'après Rosenheim et *al.* (1995), l'IGP peut être bidirectionnelle lorsque les deux membres de la guilde peuvent être des prédateurs intra-guilde, ou unidirectionnelle lorsque la proie intra-guilde ne peut être prédateur intra-guilde (fig. 21).

Dans la même optique d'IGP, les stades immatures des parasitoïdes deviennent souvent des proies intra-guildes dans les interactions entre les prédateurs et les parasitoïdes opérant dans la même guilde (Nakashima et *al.*, 2006). Les parasitoïdes éliminent souvent d'autres parasitoïdes au sein des hôtes partagés (Polis et *al.*, 1989).

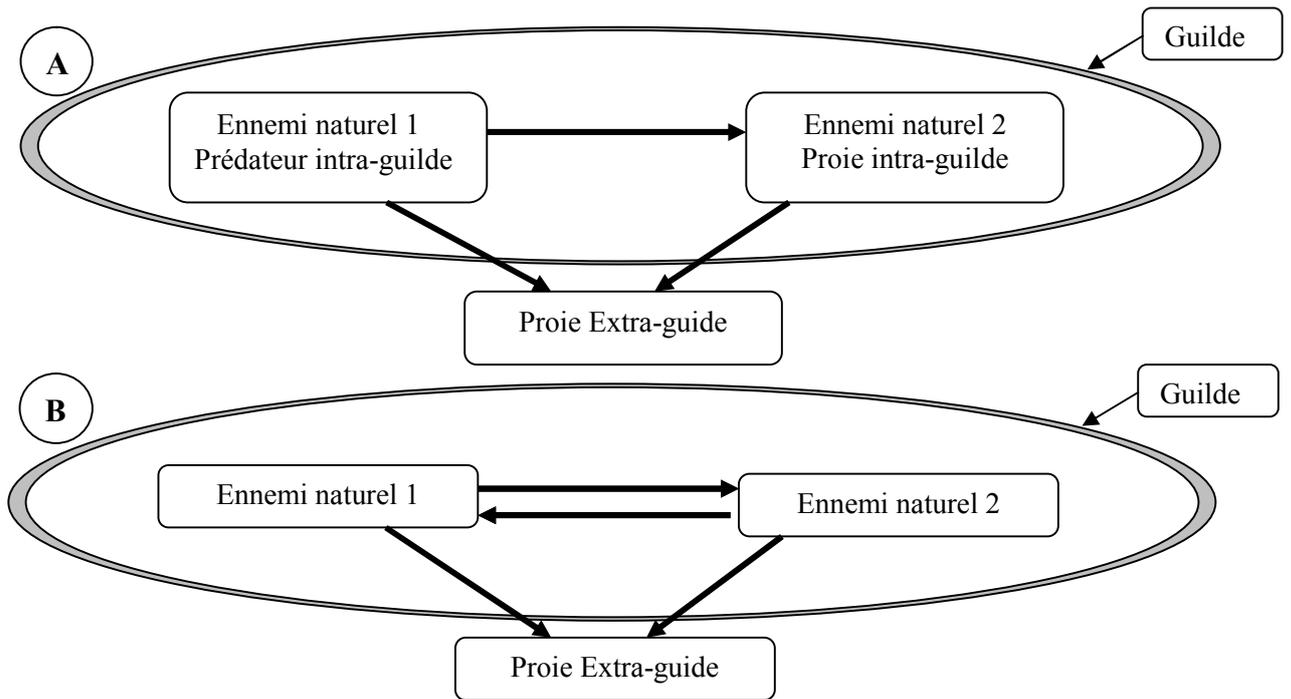


Figure 21 : Schéma simplifié d'IGP unidirectionnelle (A) et bidirectionnelle (B). Les flèches représentent les relations de prédation ou de parasitisme (d'après Rosenheim et *al.*, 1995).

1.4.3. Compétition intra-guilde

Le concept de la compétition intra-spécifique concerne les membres d'une même espèce (Dhooria, 2008) qui cherchent et qui exploitent des ressources similaires pour assurer leur survie, leur croissance et leur reproduction, par conséquent, ils peuvent entrer en concurrence pour la nourriture, les partenaires sexuels, le refuge, etc. (Goubault, 2003). Dans une compétition interspécifique une espèce inflige des effets négatifs à une autre espèce (Chase et *al.*, 2002) en réduisant les taux de croissance de la population des espèces de pucerons exploitant la même plante hôte (Gianoli et Hannunen, 2000). La compétition interspécifique entre espèces appartenant à des guildes différentes est inférieure à celle au sein d'une même guildes (Pianka, 1980). Polis et *al.* (1989), ont suggéré la notion de compétition intra-guilde lorsque la compétition interspécifique s'effectue entre des individus de la même guildes.

La compétition entre les espèces est asymétrique car des individus plus gros réduisent davantage les plus petits que l'inverse, et donc une espèce peut converger vers l'autre, utiliser ses ressources et la chasser jusqu'à l'extinction (Futuyma, 2003).

Une augmentation de la densité des phytophages (proies extra-guilde) peut générer une augmentation de la compétition intra-spécifique et interspécifique, et peut-être du cannibalisme (Lucas et Rosenheim, 2011). La réduction des prédateurs augmente les densités de pucerons et met en évidence une augmentation de la compétition interspécifique, bien que l'expression de la compétition diffère selon le niveau de dispersion des plantes. La compétition interspécifique est

réduite lorsque les pucerons se déplacent entre leurs plantes hôtes (Edson, 1985). En compétition apparente, la prédation peut exclure une espèce de proie car une proie alternative plus productive est présente, soutenant le prédateur à une densité élevée (Polis et al., 1989).

Chez les parasitoïdes, la compétition peut survenir de deux manières: en tant que super-parasitisme impliquant des descendants de la même espèce, comme c'est le cas des deux espèces *Aphidius smithi* ou *Praon pequodorum*, où les larves plus âgées éliminent les larves plus jeunes (Chow et Mackau, 1984), ou en tant que multi-parasitisme impliquant des descendants d'espèces différentes comme pour le parasitoïde *Aphidius ervi* qui semble préférer les pucerons de l'espèce *Sitobion avenae* attaqués par *A. rhopalosiphi*, qui se montre comme un compétiteur inférieur (Ortiz-Martínez et al., 2019). Dans le cas des interactions de compétition entre parasitoïdes et pathogènes, il y a une asymétrie en faveur du pathogène (Hochberg et Lawton, 1990). Par exemple, le champignon pathogène *Erynia neoaphidis* (Zygomycètes : Entomophthorales) augmente le taux de mortalité du parasitoïde *A. rhopalosiphi* sur le puceron *S. avenae* sur blé tendre (Fuentes-Contreras et al., 1998).

**Partie 02 : Inventaire des pucerons et
auxiliaires récoltés sur culture de pomme
de terre dans la wilaya de Djelfa entre
2013 et 2017**

Partie 02: Partie expérimentale: Inventaire des pucerons et auxiliaires récoltés sur culture de pomme de terre dans la wilaya de Djelfa entre 2013 et 2017

Introduction

Cette partie concerne les dispositions prises sur le terrain pour récolter les pucerons et leurs ennemis naturels pendant le cycle végétatif de la culture. L'échantillonnage a été réalisé sur plusieurs parcelles identifiées et pendant plusieurs années. Il a duré entre 9 à 11 semaines en fonction des années et des sites. Ce premier inventaire permet de sélectionner les espèces les plus représentatives dans la région pour réaliser une étude sur les potentialités de chaque espèce jugée importante dans des conditions semi-contrôlées. Dans cette région, c'est la première fois qu'une étude sur les pucerons et leurs ennemis naturels est réalisée, L'inventaire sur cette culture de grande importance économique était nécessaire.

II.1. Matériels et méthodes

II.1.1. Présentation de la zone d'étude

La région de Djelfa qui se situe au centre de l'Algérie, représente une zone steppique caractéristique du nord de l'Afrique et sert de transition entre le nord du pays et le désert du Sahara (Haied et *al.*, 2017). Le chef-lieu de la Wilaya se situe à 300 km au sud de la capitale Alger. La superficie globale de la Wilaya est de 32 280 41 km². Elle se trouve entre la latitude 33° et 35° nord et la longitude 2° et 5° ; elle est limitée au nord par les wilayas de Médéa et de Tissemsilt, à l'est par celles de Biskra et Msila ; à l'ouest elle est limitée par Tiaret, au sud-ouest par Laghouat et au sud par Ghardaïa (D.P.A.T., 2004).

Il s'agit d'une région à vocation pastorale où l'agriculture est omniprésente dans un milieu favorable à la formation d'importantes nappes d'eau souterraines à la fois phréatiques et profondes (Ouanouki, 2012). La région est dotée de grandes unités hydrogéologiques (Foufou et *al.*, 2013). Elle est caractérisée par des forêts naturelles situées dans la partie centrale et l'implantation d'une bonne partie du barrage vert destinée à la lutte contre la désertification. Elle a également bénéficié, depuis les années 2000, d'un programme de développement agricole qui a déclenché une remarquable progression des superficies (tab. 08) et des productions de plusieurs types de culture comme les arbres fruitiers, les cultures maraîchères et les céréales (D.S.A., 2018).

D'après Djebaili et *al.* (1989) et Belala et *al.*, (2018), le couvert végétal de cette steppe est dominé par le complexe à l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.), l'Armoise blanche connue sous le nom vernaculaire de Chih (*Artemisia herba-alba* Asso), le Sparte ou Sounak (*Lygeum spartum* L.) ; d'après Merdas et *al.* (2017), il y a également une autre armoise appelée T'gouft qui correspond

au nom scientifique *Artemisia campestris* (L.) à côté du Genevrier de Phénicie ou Araar (*Juniperus phoenicea* L.) en hautes pentes. Cette steppe est caractérisée par une dynamique régressive de la végétation traduite par une réduction du couvert végétal et une baisse de la richesse floristique provoquées principalement par le surpâturage et les sécheresses répétitives (Belala et al., 2018, Khouane et al., 2018).

Tableau 08 : Superficies des différents domaines agricoles dans la wilaya de Djelfa

Données agricoles	S.A.T.	S.A.U.	Steppe	Forêts	Arboriculture fruitière	Maraîchage	Céréaliculture
Superficies (ha)	2 501 093	378 665	350 798	208 940	18 621	7 409	91 100

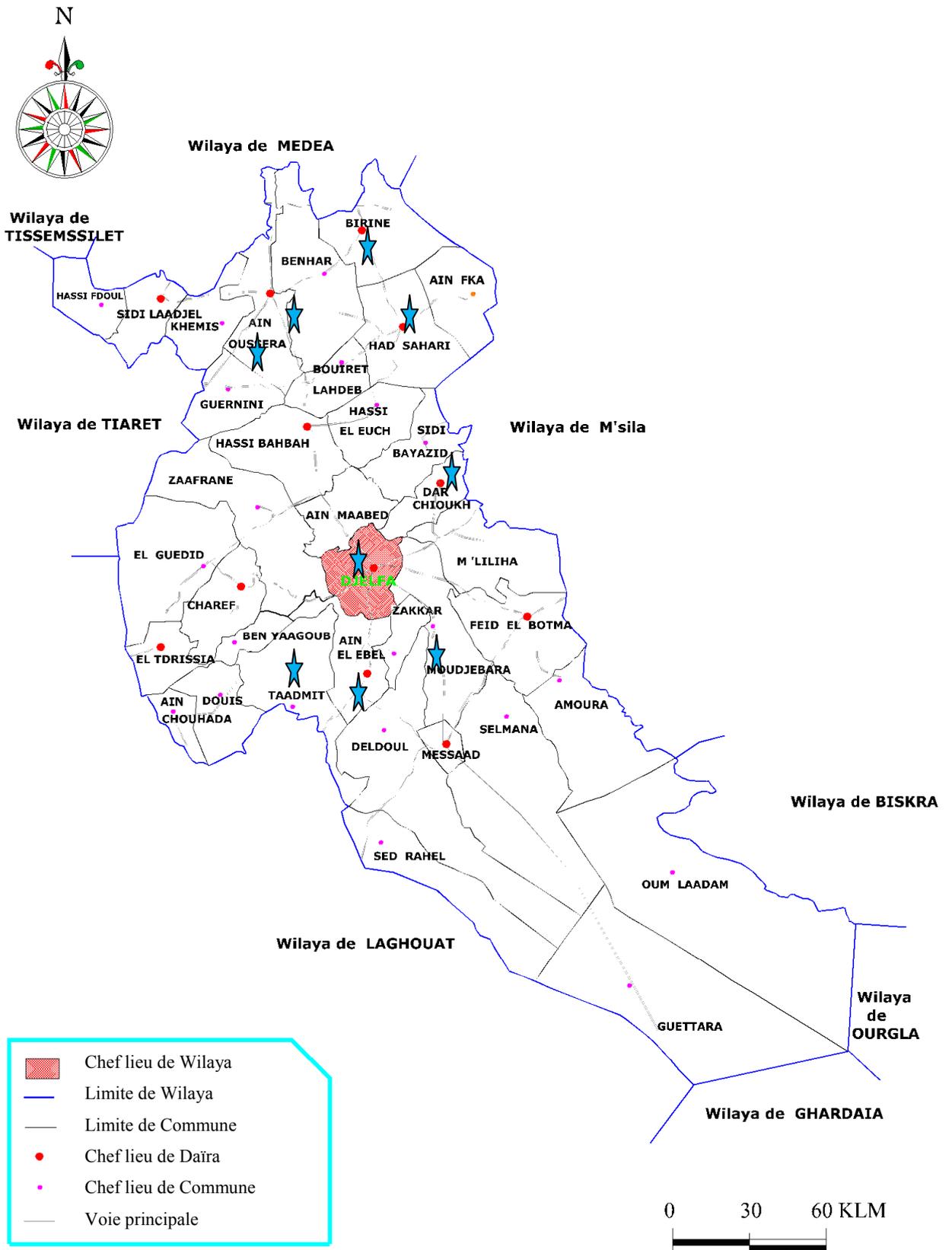
Source : D.S.A. 2018

II.1.2. Choix des sites

15 parcelles dans différents sites (tab. 09) de pomme de terre ont été retenues pour l'étude. Leur choix est basé sur les critères suivants :

- La vocation maraîchère de la zone (présence importante de la culture de pomme de terre).
- La répartition presque équitable des sites par rapport au chef-lieu de la Wilaya (fig. 22).
- L'accessibilité des parcelles.
- La richesse floristique des sites.
- L'absence de traitements chimiques contre les pucerons (une promesse donnée par les agriculteurs consultés).

Le grand nombre de parcelles expérimentales était nécessaire pour évaluer la présence des pucerons et de leurs ennemis naturels et leurs impacts sur la culture comme moyens alternatifs.



★ : Zone prospectée.

Figure 22 : Situation administrative de la Commune de Djelfa (D.P.A.T., 2010).

Tableau 09 : Localisation géographiques des différentes parcelles expérimentales de pomme de terre réparties à travers la Wilaya de Djelfa

Année d'étude	Commune	Lieu-dit	Coordonnées géographiques	Altitude (m)	Orientation par rapport au chef lieu de Wilaya
2013	Moudjbara	01- Maalba	34°33'34.8"N 3°26'12.4"E	1164	Est
2014	Dar Echioukh	02- Elmerdja	34°55'14"N 3°29'44"E	1087	Nord-est
	Ain Oussara	03- Sersou	35°24'05"N 3°00'51"E	699	Nord
		04- Sayada	35°23'58"N 2°56'18"E	703	Nord
		05- Oussaissira	35°27'22"N 2°56'41"E	683	Nord
		06- Elabida	35°26'11"N 2°52'33"E	701	Nord
2015	Moudjbara	07- Kheneg	34°32'51.3"N 3°32'10.9"E	1110	Est
2016	Djelfa	08-Rous Layoun	34°38'18.2"N 3°15'28.4"E	1155	Centre
	Bérine	09- Bentaka	35°36'08.4"N 3°19'04.2"E	688	Nord-est
2017	Ain El Ibel	10- Djnèn Elarar	34°21'47.9"N 3°16'13.3"E	1049	Sud-est
		11- Dzira 01	34°23'17.8"N 3°14'34.6"E	1085	Sud
		12- Dzira 02	34°23'28.9"N 3°14'39.5"E	1086	Sud
	Djelfa	13-Rous Layoun	34°38'18.2"N 3°15'28.4"E	1155	Centre
		14-Rous Layoun (ITMAS)	34°38'49.4"N 3°15'23.5"E	1152	Centre
	Had Sahari	15- Bichia	35°25'46.7"N 3°25'12.6"E	848	Nord-est

II.1.3. Etage bioclimatique de la région d'étude

L'étage bioclimatique est déterminé par deux principaux facteurs abiotiques: la température et la pluviométrie de la zone étudiée. Les données climatiques utilisées ont été enregistrées entre 2008 et 2017. Bagnouls et Gausson (1953) définissent les mois secs comme suit : "est considéré comme sec, tout mois où le total de précipitations exprimé en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne du même mois exprimée en degrés centigrades".

Notre source des données météorologiques est la station de Djelfa; elle est distante de 3km du centre de la ville ; elle se trouve à une latitude de 34°,20' nord et une longitude 3°,23' avec une altitude de 1 180,5m (Guesmi, 2016).

A. Températures

La figure 23 représente les valeurs des températures maximales, minimales et moyennes mensuelles enregistrées durant la période 2010-2016.

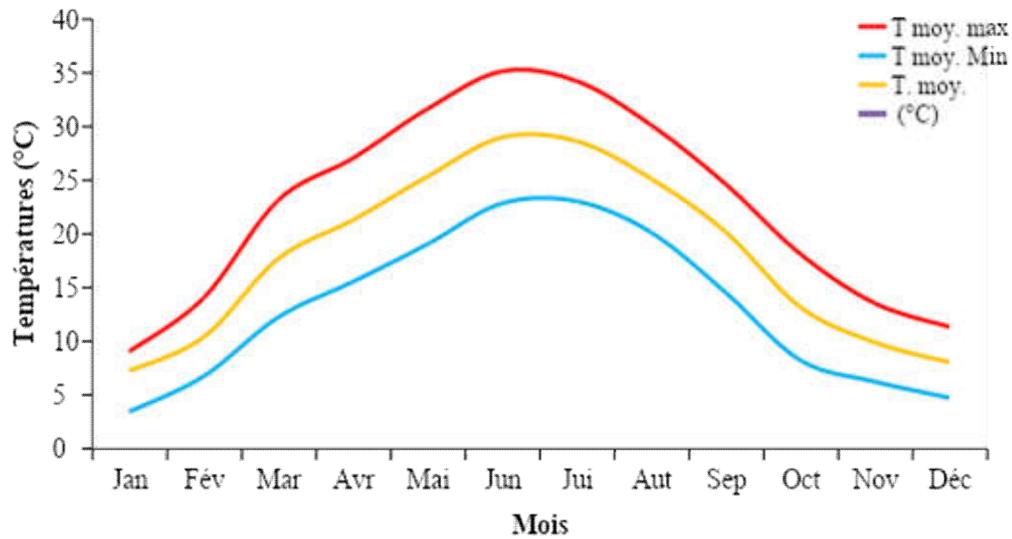


Figure 23: Températures mensuelles dans la Wilaya de Djelfa (2010-2019).

Les valeurs des températures les plus élevées enregistrées dans la région d'étude sont enregistrées en juin avec une moyenne de 35.2°C, et les plus basses en janvier avec 3.5°C. Selon Guesmi et *al.* (2017), les moyennes mensuelles de température durant la période 1975-2014 étaient de 2.2°C (min) et de 36.5°C (max).

B. Pluviométrie

La figure 24 montre les valeurs des précipitations moyennes mensuelles de la région d'étude (Djelfa) entre 2010 et 2019.

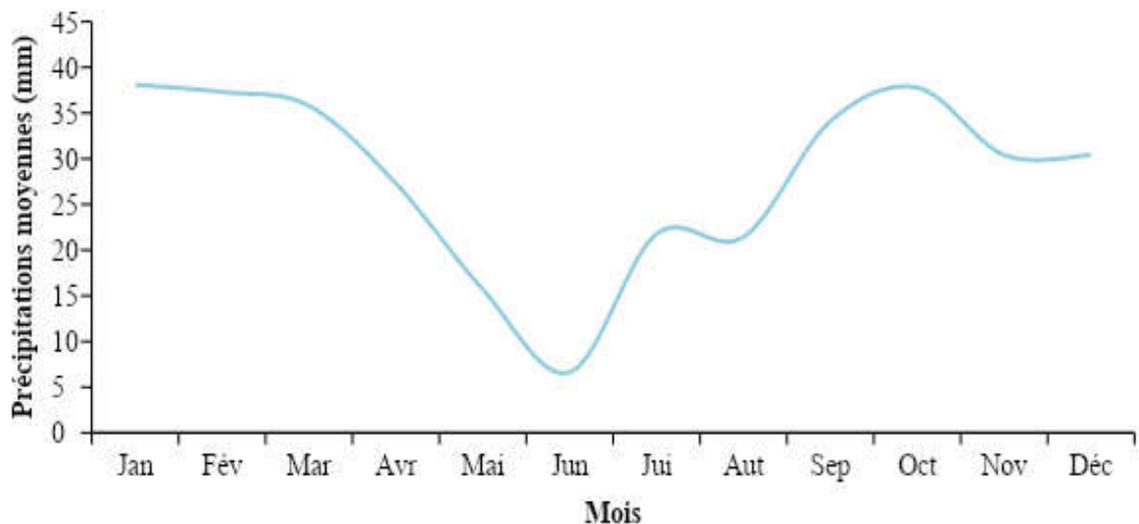


Figure 24: Pluviométrie mensuelle dans la zone d'étude pour la période (2010-2019).

Concernant la pluviométrie (Pm), la région présente une irrégularité durant la période de 10 ans (fig. 24). Le mois le plus pluvieux durant cette période est celui de janvier avec 38.1mm, tandis que le mois le plus sec est le mois de juin avec 6.6mm. La quantité totale de précipitations moyennes cumulée durant cette période de pluviométrie est de 336.7mm.

C. Diagramme Ombrothermique

Le Diagramme Ombrothermique permet de définir facilement la durée de la saison sèche et la période humide. Les mois sont portés en abscisses, la pluviométrie moyenne mensuelle (Pm) et la température moyenne mensuelle (Tm) sont représentées en ordonnées. L'échelle de la pluviométrie est double de celle de la température (Pm=2T).

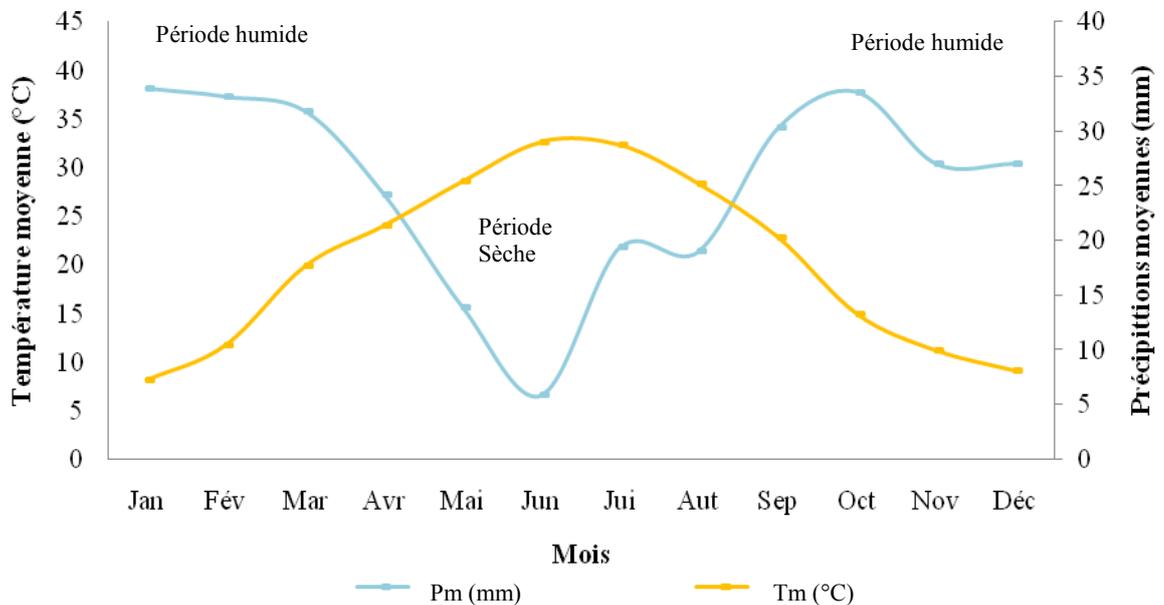


Figure 25: Diagramme Ombrothermique de la Wilaya de Djelfa (2010-2019).

Durant la décennie 2010 - 2019, le diagramme Ombrothermique (fig. 25), montre qu'il y a une alternance entre deux périodes ; la première est sèche, comprise entre la mi-avril et la fin août, la seconde plus humide qui occupe le reste de l'année totalisant 8 mois.

D. Climagramme d'Emberger

Emberger (1955) a proposé un quotient pluviothermique pour caractériser le climat méditerranéen : $Q2 = 2000 P / M^2 - m^2$ (Hadjaidji, 2018).

Cette formule a été modifiée pour l'Algérie et le Maroc par STEWART (1969) :

$$Q3 = 3.43 \times P / (M - m)$$

- **Q3** : quotient pluviothermique ;
- **P** : précipitation moyenne annuelle exprimée en mm ;
- **M** : température moyenne des maximales du mois le plus chaud (°C) ;
- **m** : température moyenne des minimales du mois le plus froid (°C).

Djelfa : $Q_3 = 3.43 \times 336.7 / (35.2 - 3.5)$

Donc : $Q_3 = 39.40$

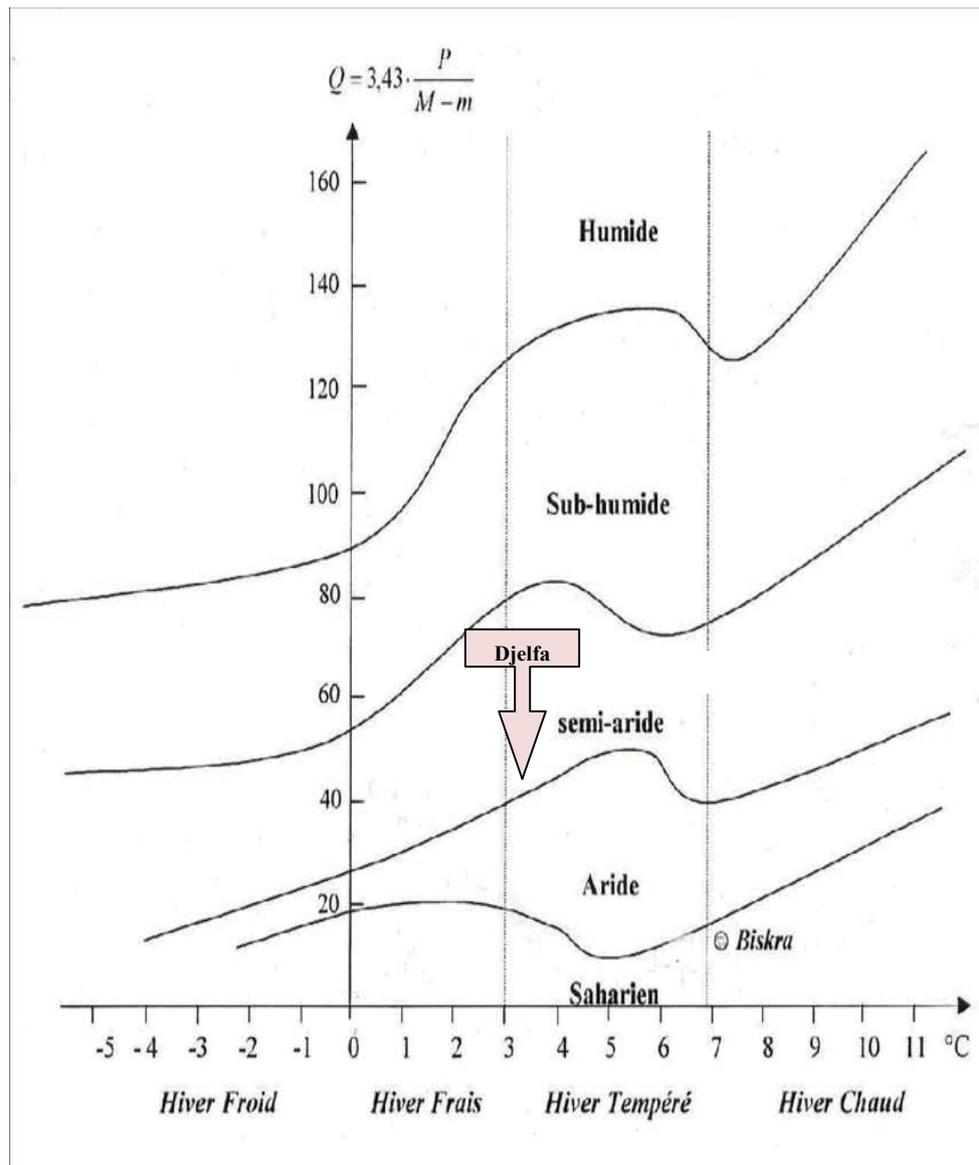


Figure 26: Climagramme pluviométrique d'Emberger de la wilaya de Djelfa (2010-2019).

Le quotient de la wilaya de Djelfa est de 39.40 pour une période qui s'étale sur 10 ans (2010-2019). En rapportant cette valeur sur le climagramme d'Emberger (fig. 26) on constate que l'étage bioclimatique de la région d'étude est semi-aride à variante thermique à hiver tempéré.

D'après Ouanouki (2012) et l'O.N.M (2019) l'étage bioclimatique de la région est de type semi-aride avec quelques zones plus arides. L'humidité relative varie entre 34.7% en été et 81.5% en hiver. Il existe deux saisons prédominantes, l'une pluvieuse et froide localisée dans la partie du centre et du nord avec une moyenne annuelle de pluviométrie entre 200 et 350 mm, l'autre sèche et chaude dans la zone située au sud de la Wilaya avec une pluviométrie moyenne inférieure à 200 mm. On enregistre 10 à 13 jours d'enneigement et des vents dominants d'origine saharienne (O.N.M, 2019).

II.1.4. Variété de pomme de terre utilisée, période de plantation et protection phytosanitaire

Il est important de signaler que presque tous les agriculteurs pratiquent la culture de pomme de terre de saison ; de la fin mars à septembre en fonction de la zone, avec quelques exceptions pour la culture d'arrière-saison (D.S.A. 2018). La levée de la culture de saison intervient généralement 2 à 3 semaines après la plantation vers la mi-avril. Selon la même source, ces conditions ne permettent pas aussi de pratiquer d'autres cultures directement comme précédent cultural dont ce dernier devait être une jachère nue tout au long de l'hiver précédée par une céréale (blé, orge, avoine,...etc.) ou une autre culture maraîchère (pomme de terre, carotte, navet, oignon, ...). Après la récolte, si les températures restent douces les agriculteurs peuvent faire pousser des cultures à cycle court.

Selon Chebbah (2016), en Algérie 152 les variétés de pomme de terre sont autorisées à la production et à la commercialisation dont 22 destinées à la transformation. Dans les variétés à peau blanche on trouve Spunta et Fabula, dans celles à peau rouge il y a Désirée, Kondor.

Selon les services agricoles de la Wilaya (2018), la variété la plus utilisée dans la région est Désirée. Sa plantation intervient en général entre fin mars et début avril. Dès sa levée, la culture peut subir diverses attaques de ravageurs comme la teigne et les pucerons, ce qui pousse les agriculteurs à appliquer régulièrement des traitements chimiques. Certains abus d'utilisations des pesticides ont alerté les services de l'inspection phytosanitaire à faire des séances de sensibilisation auprès des agriculteurs pour expliquer les dangers de ces produits sur la santé humaine et sur la pollution de l'environnement sans oublier la résistance des ravageurs visés et la destruction des entomophages. Le désherbage est également pratiqué dans la région de façon manuelle ou mécanique. Les herbicides sont très peu utilisés dans la région.

Environ 90% des agriculteurs de la région irriguent leurs parcelles de pomme de terre par le mode aspersion. Peu d'exploitations continuent à pratiquer le mode gravitaire qui concerne les petites superficies (0.25 à 0.5ha).

II.1.5. Méthodologie d'échantillonnage des insectes

L'échantillonnage a été réalisé dans différentes zones, à partir du mois d'avril et a duré jusqu'à juillet, pendant cinq (05) saisons de culture de 2013 à 2017, en diversifiant les sites (tab. 09).

Pour uniformiser les superficies des parcelles expérimentales, nous avons limité la superficie échantillonnée à environ 100 m². Pour la collecte et le suivi des insectes dans les différentes parcelles, nous avons adopté deux types d'échantillonnage; un prélèvement de feuilles sur lesquelles se trouvent les pucerons et un autre direct pour les prédateurs (coccinelles,

punaises, chrysopes, syrphes,...etc.) à l'aide d'un pinceau fin pour les insectes rampants ou par aspirateur buccal pour les volants.

Pour les parasitoïdes, les momies pleines se trouvant sur le même plant échantillonné sont récupérées et introduites individuellement dans des gélules transparentes pour mieux surveiller leur émergence et éviter les mélanges. Une partie des différents spécimens adultes émergés est mise dans de l'éthanol à 70% pour une identification ultérieure. Le reste est utilisé pour les élevages destinés aux tests de lutte biologique contre les pucerons.

L'inventaire des auxiliaires a été fondé sur des observations de l'activité de prédation et de parasitisme sur les pucerons pendant l'échantillonnage. On a considéré que la présence de ces entomophages sur le plant de pomme de terre pouvait être liée directement à la présence de pucerons.

L'échantillonnage a été réalisé sur 50 plants pris au hasard sur toute la surface de la parcelle. Les plants échantillonnés ont concerné trois strates ; inférieure, moyenne et supérieure. Une fois par semaine, 03 feuilles (d'une surface identique) de pomme de terre, sont prélevées aléatoirement sur chaque strate pour avoir une idée globale sur l'ensemble du plant.

Notre méthode d'échantillonnage a pris aussi en compte l'effet bordure en évitant les plants se trouvant dans des parties adjacentes à d'autres parcelles de cultures maraichères ou de vergers arboricoles. Les insectes récoltés sont acheminés directement au laboratoire dans des tubes ou flacons étiquetés avec la date et lieu de prélèvement, le type d'insecte et la plante hôte. Les pucerons ont été comptés par espèce et une partie a été transférée sur des plants de pomme de terre variété Désirée placés dans des cages d'élevage pour les multiplier pour les besoins des expérimentations en laboratoire.

II.1.6. Elevage des insectes récoltés

Seules les espèces (pucerons ou entomophages) qui sont dominants par leurs effectifs ont été mises en élevage. La production d'insectes pour les expérimentations a été assurée dans des cages d'élevage en verre avec une armature en bois en forme de parallépipède ayant une base de 40 cm de côté et une hauteur de 80cm comme le modèle utilisé à l'université de Mostaganem depuis 1990 (fig. 27). La cage est munie de deux ouvertures, l'une en haut et l'autre latérale, recouvertes par un tulle très fin pour permettre une bonne aération du milieu et éviter l'évasion des pucerons ou l'entrée d'insectes indésirables. Dans chaque cage nous avons introduit un plant de pomme de terre (var. Désirée) bien levé ; les cages ont été installées à l'extérieur du laboratoire pour reproduire les conditions proches de celles de la culture au champ. Les prédateurs ont été alimentés avec différentes espèces de pucerons récoltées transférées sur plants de pomme de terre. Les parasitoïdes émergés des momies récoltées ont reçu une alimentation

composée d'une solution (eau + miel) offerte sur un morceau d'ouate comme source alimentaire. On introduit un couple de l'espèce du parasitoïde identifiée dans une cage avec des pucerons hôtes pour assurer la reproduction de descendants en quantité suffisante pour les tests ultérieurs.



Figure 27 : Cages d'élevage des insectes récoltés (photo originale).

II.1.7. Identification des insectes récoltés

II.1.7.1. Pucerons

L'identification des pucerons a été établie selon la clé de Leclant qui se base sur la morphologie des formes aptères et ailées (Leclant, 1978 ; Leclant 1999). Plusieurs autres auteurs et spécialistes de pucerons ont précisé les principaux caractères morphologiques pour la différenciation entre les espèces de puceron (Turpeau et *al.*, 1999a ; Eastop et Blackman, 2005 ; Blackman et Eastop, 2006 ; Fraval, 2006 ; Sullivan, 2008 ; Piffaretti, 2012 ; Hüllé et *al.*, 2019). Les traits portent généralement sur la pigmentation et l'ornementation de l'abdomen, la forme, la couleur et la longueur du corps ; la forme du front et des tubercules frontaux ; la forme et la longueur des antennes ; la forme et le nombre des articles antennaires ainsi que le nombre des sensoria primaires et secondaires sur les antennes sont également pris en considération ; la nervation des ailes en particulier la nervure médiane et sa bifurcation et la forme et la longueur des cornicules sont des éléments qui peuvent être déterminants ; la forme de la queue (cauda) et le nombre des soies caudales sont des éléments de reconnaissance des espèces (voir chapitre 01).

II.1.7.2. Prédateurs

Pour identifier les espèces prédatrices de pucerons, nous avons consulté différentes clés. Pour les coccinelles, les clés établies par Iablokoff-Khnzorian (1982), Le Monnier et Livory (2003), Nedved et Kovar (2012) sont parmi les plus utilisées. Concernant les chrysopes, c'est la clé proposée par Bessin (2019), et celle de Koczor et *al.*, (2019) qui ont servi pour l'identification. Pour les punaises prédatrices plusieurs sources ont été utilisées (Martinez-Cascales et *al.*, 2006 ; Eyles et *al.*, 2008 ; Castañé et *al.*, 2012 ; Sohrabi et Hosseini, 2015 ; Sylla et *al.*, 2016b, Pineda et *al.*, 2017). Nous avons également consulté certaines clés fournies par l'Université Polytechnique de Valencia d'Espagne grâce à l'aide du prof. Rosa Vercher. Pour la partie Syrphes, Cécidomyies et Forficules, c'est au niveau du site de l'INRA de Rennes que nous avons pu obtenir en 2018, les informations utiles lors d'un stage de formation.

II.1.7.3. Parasitoïdes

Les différentes espèces de parasitoïdes ont été identifiées sur la base de plusieurs caractères morphologiques (coloration de l'individu, nervation des ailes, présence ou pas de soies sur les ailes, forme du stigma, forme du premier tergite abdominal ou pétiole, forme du propodeum, forme et nombre d'articles antennaires). Parfois, l'identification requiert une observation microscopique de certains caractères, en particulier, les soies sur le flagellum, le nombre de placodes, la forme des flagellomères et la forme de l'ovipositeur (Stary et *al.*, 2010 ; Tomanović et *al.*, 2003 ; Kavallieratos et Dionyssios, 2004 ; Rakhshani et *al.*, 2012 ; Barahoei et *al.*, 2014 ; Rakhshani et *al.*, 2015 ; I.N.R.A., 2018). Parfois une identification plus certaine par biologie moléculaire a pu être réalisée au niveau de l'I.N.R.A. du Rheu-France en collaboration avec L'IGEPP (Institut de Génétique, Environnement et Protection des Plantes) de l'AgroCampus Ouest de l'Université de Rennes 01 grâce à l'aide du Pr. Anne Leralec qui a eu l'amabilité de m'accorder un stage dans son laboratoire.

II.1.7.4. Cas particulier d'autres insectes

Certains antagonistes (Punaises, Carabidés) récoltés sur plusieurs parcelles de pomme de terre ont été déterminés grâce à l'aide de certains chercheurs de l'Ecole Nationale d'Agronomie d'El -Harrach par l'intermédiaire de la professeur Guerzou de l'université de Djelfa.

Lors de nos prélèvements nous avons pu observer et prélever d'autres insectes comme les cicadelles qui ne sont pas en lien avec notre sujet. Nous avons jugé utile de les intégrer en annexes. Leur identification a été faite selon la clé d'identification proposée par Giustina et *al.* (1989).

II.1.7.5. Identification des parasitoïdes par tests moléculaires

Le recours à la technique de biologie moléculaire en collaboration avec l'unité de recherche de l'AgroCampus de Rennes et INRA Rheu, a permis de préciser l'identité de certaines espèces qui présentaient des caractères morphologiques très proches pour éviter la confusion entre espèces. Cette technique consiste à procéder par étapes : Extraction de l'ADN suivie d'une PCR.

A. Pour extraire l'ADN de l'échantillon il faut procéder comme suit :

- Retirer les échantillons à traiter des tubes contenant de l'Ethanol (96°), puis les sécher sur papier buvard.
- Placer un insecte par tube Eppendorf en marquant chacun d'un code spécifique (tab. 10). (Placer soit l'abdomen soit l'insecte entier dans un puits de la plaque).
- Ajouter 20µL d'un mélange (tampon ATL + protéinase K) dans chaque puits. Le mélange libère l'ADN sans endommager l'insecte.
- Placer le tout dans un bain-marie (à 56°C) pendant toute une nuit jusqu'à ce que les échantillons soient complètement lysés. Poser un poids par dessus pendant l'incubation en mélangeant de temps en temps
- Préparer un mélange à parts égales du tampon AL/ éthanol puis ajouter 400 µL du mélange dans chaque tube (pipette multicanaux électronique) et fermer hermétiquement.
- Centrifuger les plaques (tubes) pendant 2mn à 3000RPM pour culoter le mélange.
- Transférer la totalité des puits (tubes) dans une plaque contenant les colonnes de fixation puis fermer avec un film « Airpore »
- Centrifuger à 600 RPM pendant 10 mn puis jeter le centrifugat.
- Ajouter 500µL de tampon AW1 et centrifuger 05 mn à 6000 RPM puis jeter le centrifugat.
- Ajouter 500µL de tampon AW2 et centrifuger 15 mn à 6000 RPM pour sécher la membrane de la colonne afin d'éliminer toute trace d'alcool.
- Placer les colonnes dans une plaque d'élution (préalablement marquée) et ajouter 50 ou 100µL de tampon AE directement sur la membrane (changer de cône entre chaque colonne).
- Laisser incuber 05 mn à température ambiante puis centrifuger 02mn à 6000 RPM pour éluer l'ADN. (On peut chauffer le tampon AE à 56°C pour optimiser l'élution).
- Jeter les mini colonnes et boucher la plaque d'élution avec les bouchons souples fournis dans le kit.
- Stocker au congélateur.

Un codage spécifique de tous les spécimens analysés permet de les distinguer à la fin des étapes de l'identification moléculaires. Les codes des spécimens sont mentionnés dans le tableau 10 :

Tableau 10 : Codage des spécimens à identifier par la méthode moléculaire

N° spécimen	Code	N° spécimen	Code
1	Ae1- A (♀)	12	Ld6- A (♀)
2	Ar1- A (♀)	13	Ld6- B (♂)
3	Ld2- A (♀)	14	Ld6- C (♂)
4	Ld2- B (♀)	15	Ld7- A (♀)
5	Ld2- C (♂)	16	Ld7- B (♀)
6	Ld3- A (♂)	17	Ld7- C (♀)
7	Ld3- B (♂)	18	Lf1- A (♂)
8	Ld3- C (♀)	19	Lf1- B (♀)
9	Ld5- A (♂)	20	Dr1- A (♂)
10	Ld5- B (♀)	21	Dr1- B (♀)
11	Ld5- C (♀)	22	Dr1- C (♀)

Cette étape consiste à donner un code spécifique pour chaque parasitoïde contenu dans le tube ; ce code contient plusieurs informations : espèce de puceron, date et site de prélèvement. Le nombre de répétitions dépend du nombre de spécimens disponibles pour l'analyse (exemple : Ae1 et Ar1 sont représentés chacun par un seul individu). Ld2, Ld3, Ld5, Ld6 et Ld7 se différencient par la date, le lieu d'échantillonnage ou l'espèce du puceron hôte. Les lettres A, B et C représentent les répétitions au sein du même site de prélèvement ; leur nombre se trouve limité par le coût de l'analyse imposé par l'institution qui traite le problème.

B. La PCR (Polymerase Chain Reaction) nécessite plusieurs étapes :

- Décongeler les tubes.
- Transférer le contenu des tubes dans 03 plaques pour ajouter les amorces CO I- 16S et Lwrh + un mélange déjà préparé (Master mix, ddH₂O, tampon 5x) (Il faut un mélange par plaque).

C. Préparation du gel d'Agarose (Electrophorèse)

- Préparer le gel avec 1 g agar-agar pour 100 ml de tampon + Sybersafer (04 gouttes).
- Chauffer au micro-onde puis refroidir dans l'eau. Placer le tout dans 02 plaquettes de puits (50x2).Mettre le tout dans un récipient.
- Ajouter un tampon charge (06µL) aux tubes (congelés) pour permettre au produit du PCR de migrer vers le bas. Refermer et placer au réfrigérateur pendant 15mn.

- Placer les mélanges dans les puits du gel et ajouter un Smart ladder dans un ou deux puits dans chaque ligne de puits dans le gel, ce qui permettra de déterminer la taille de la bande et de la concentration).
- Après 30mn : Retirer le gel et faire une photographie et sauvegarder.

D. Séquençage

Cette étape consiste à comparer les séquences obtenues avec d'autres séquences de références. Elle se fait à l'aide de logiciels comme Bioedit pour nettoyage et procéder à l'alignement des séquences ; un autre logiciel, Mega7 est utilisé pour l'obtention d'un arbre phylogénétique. La comparaison peut être assurée par des boîtes privées comme GENBANK.

II.2. Résultats et discussions

II.2.1. Inventaire des pucerons

La récolte hebdomadaire dans les parcelles expérimentales, durant la période 2013 à 2017 a révélé l'existence des espèces suivantes :

Tableau 11: Espèces de puceron récoltées sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017

Année d'étude	Lieu-dit	Espèce de puceron					
		<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	<i>Aphis gossypii</i>	<i>Myzus persicae</i>	<i>A. fabae</i>	<i>A. nasturtii</i>	<i>Hyalopterus amygdali</i>
2013	Maalba	+	+	+	-	-	-
2014	Elmerdja	+	+	+	+	-	+
	Sersou	+	+	-	-	-	-
	Sayada	+	+	+	-	-	-
	Oussaissira	-	-	+	-	-	-
	Elabida	+	+	-	-	-	-
2015	Kheneg	+	+	+	-	-	-
2016	Rous Layoun	+	+	+	-	-	-
	Bentaka	-	-	-	-	-	-
2017	Djnèn Elarar	-	+	+	-	-	-
	Dzira 01	-	+	+	+	-	-
	Dzira 02	-	+	+	+	-	-
	Rous Layoun	-	-	+	+	-	-
	Rous Layoun (ITMAS)	-	+	+	+	-	-
	Bichia	-	+	+	-	+	-

(+ : présence ; - : absence)

Dans le site Maalba (Commune de Moudjbara), nous avons recensé trois (03) espèces de pucerons: *M. euphorbiae* (fig. 28), *A. gossypii* (fig. 29) et *M. persicae* (fig. 30) qui ont provoqué d'importants dégâts sur les plants de pomme de terre élevés en laboratoire (fig. 31).

En 2014, un 2^{ème} recensement a permis d'identifier cinq (05) espèces de pucerons sur le site Elmerdja dans la Commune Dar Echioukh ; il s'agit de : *Aphis fabae* (Scopoli, 1763) (fig.

32), *A. gossypii*, *M. euphorbiae*, *M. persicae* et *Hyalopterus amygdali* (Blanchard, 1840). Cette dernière est connue sous le nom de puceron farineux du pêcher et de l'abricotier (Ben Halima et Ben Hamouda, 2005) (fig. 33) Sa présence sur la pomme de terre sous forme de virginipare ailée peut s'expliquer par la présence non loin de la parcelle d'un verger de pêcher. Elle ne peut pas se développer sur pomme de terre.

À Ain Oussara, *M. euphorbiae* et *A. gossypii* sont les seules espèces trouvées dans les sites de Sersou, Sayada et Elabida ; l'espèce *M. persicae* a été trouvée seulement à Sayada et Oussaissira.

En 2015, dans le site Kheneg (Commune de Moudjbara) nous avons recensé : *A. gossypii*, *M. euphorbiae* (fig. 29) et *M. persicae*.

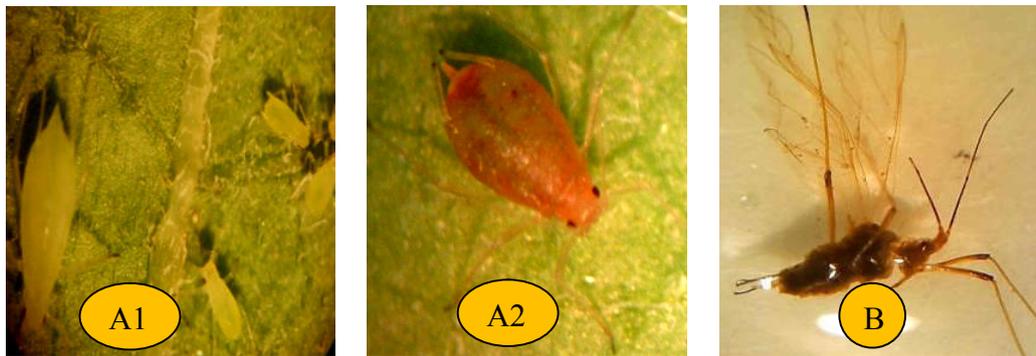


Figure 28 : A : Adultes aptères (A1 : vert et A2 : rose) avec des larves ; B : adulte ailé de *Macrosiphum euphorbiae* (photos originales).



Figure 29 : A : Adultes aptères avec des larves ; B : adulte ailé de *Aphis gossypii* (photos originales)

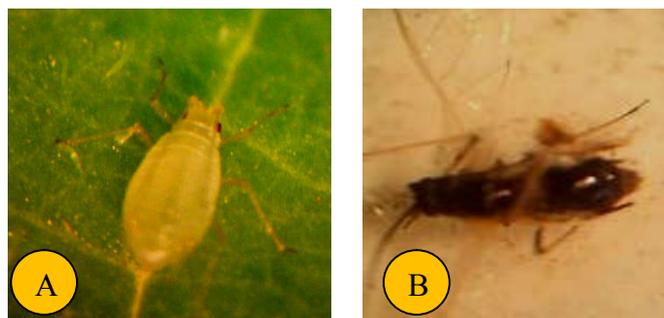


Figure 30 : A : Adulte aptère ; B : adulte ailés de *Myzus persicae* (photos originales).



Figure 31 : Plants de pomme de terre (Désirée), **A** : sain ; **B** : attaqués par différentes espèces de pucerons récoltés sur le terrain (photos originales).



Figure 32 : Adultes d'*Aphis fabae* ; aptère et ailé (photo originale)



Figure 33 : Adulte aptère *Hyalopterus amygdali* (photo originale).

Les 03 espèces de pucerons (fig. 28, 29 et 30) observées en 2016 à Rous Layoun (Commune de Djelfa) sont : *M. euphorbiae* ; *A. gossypii* et *M. persicae*.

Sur le site Bentaka (Commune de Bérine), nous n'avons relevé aucune espèce de puceron à cause des traitements chimiques utilisés sur la culture à notre insu alors que les agriculteurs nous avaient assuré de supprimer tous les traitements chimiques prévus sur les parcelles retenues. En 2017, *M. persicae* a été trouvée dans toutes les parcelles expérimentales des communes d'Ain El Ibel, Djelfa et Had Sahari. *A. gossypii* a été recensé dans trois sites (Dzaira 01, Dzaira 02 et Djnène Elarar). À Bichia (Commune de Had Sahari) ce sont les espèces *A. gossypii*, *M. persicae* et *A. nasturtii* Kaltenbach, 1843 (ou puceron du nerprun) qui ont été observées.

On sait bien que ces 5 espèces (*M. euphorbiae*, *A. gossypii*, *M. persicae*, *A. fabae* et *A. nasturtii*) figurent parmi les principaux aphides de la pomme de terre dans le monde (Blackman and Eastop, 2000 ; Godin et Boivin, 2002 ; Radcliffe et al., 2007). Ces espèces sont considérées comme cosmopolites et polyphages (Blackman et Eastop, 2007 ; Carli et Baltaev, 2008 ; Saguez et al., 2013 ; Yattara, 2013). Quant à l'espèce *A. nasturtii*, elle n'a été prélevée que dans une seule parcelle à Bichia dans la Commune de Had Sahari. Dans d'autres régions d'Algérie, Laamari et al. (2010), Ghazali (2014) et Aroun (2015) ont signalé *M. euphorbiae*, *A. gossypii*, *A. fabae*, *A. nasturtii* et *M. persicae* sur d'autres plantes hôtes ; les deux premières espèces ont été signalées sur pomme de terre par Aroun (2015). Benoufella-Kitous et al. (2014), ont inventorié

dans la région de Tizi-Ouzou, *A. gossypii*, *A. fabae* et *M. persicae*. Par ailleurs Chaouche et Laamari (2015) ont signalé *A. gossypii*, *A. fabae* et *M. persicae* sur plusieurs plantes hôtes dans la région des Aurès et de Biskra.

Du fait que la région de Djelfa se caractérise par un climat semi-aride à aride qui ressemble du point de vue climatique, position géographique et diversité floristique à certaines zones étudiées par ces auteurs, la présence de ces mêmes espèces de pucerons dans notre région n'est pas surprenante.

D'après Cœur d'acier et al. (2007), le genre *Aphis* est le genre qui a la plus grande distribution dans le monde et contient la plupart des espèces les plus nuisibles. C'est le cas particulier d'*A. gossypii* qui est devenu depuis les années 90 très destructeur du poivron et piment (Solanacées) (Guenaoui, 1994 ; Dahliz, 2009). En plein champ, cette espèce se développe sur des plantes cultivées et sauvages pendant l'été (Guenaoui, 1990). On note que *A. gossypii* est également l'espèce la plus abondante sur culture de pomme de terre dans la région de Djelfa (Annexe 01).

Ce travail sur l'inventaire des pucerons a permis d'observer d'autres espèces de ravageurs moins importants de la culture dont la liste et photos figurent dans les annexes 02 et 03 respectivement.

II.2.2. Inventaires des prédateurs

II.2.2.1. Les Coccinelles

L'inventaire des prédateurs associés aux pucerons sur pomme de terre pendant cette étude comporte plusieurs espèces qui appartiennent à divers ordres d'insectes. Les coccinelles sont plus nombreuses en termes d'espèces et leurs populations plus importantes par rapport aux autres prédateurs. Elles sont mentionnées dans le tableau 12 en fonction des années et des sites.

Tableau 12 : Espèces de coccinelles prédatrices de pucerons récoltées sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017

Année d'étude	Lieu /site	Espèce de Coccinellidae							
		<i>Coccinella septempunctata</i>	<i>C. undecimpunctata</i>	<i>C. novemnotata</i>	<i>C. algerica</i>	<i>Hippodamia variegata</i>	<i>H. tredecimpunctata</i>	<i>Scymnus</i> sp.	<i>Psyllobora vigintiduopunctata</i>
2013	Maalba	+	+	-	-	-	-	-	-
2014	Elmerdja	+	-	-	+	+	+	-	-
	Sersou	+	+	+	-	-	+	+	-
	Sayada	+	+	-	+	-	+	-	-
	Oussaissira	+	+	-	-	-	+	-	-
	Elabida	+	-	+	-	-	+	-	-
2015	Kheneg	+	-	-	+	+	+	-	-
2016	Rous Layoun	+	+	-	-	+	+	-	+
	Bentaka	+	+	+	-	-	+	-	-
2017	Djnèn Elarar	+	-	-	-	-	+	-	-
	Dzira 01	+	-	-	-	-	-	-	-
	Dzira 02	+	-	-	-	-	+	-	-
	Rous Layoun	+	+	-	-	-	+	-	+
	Rous Layoun (ITMAS)	+	-	-	-	-	-	-	-
	Bichia	+	-	-	-	-	+	-	-

(+ : présence ; - : absence).

En 2013 deux espèces du genre *Coccinella* ont été récoltées sur la parcelle expérimentale de Maalba (Commune de Moudjbara) ; il s'agit de *Coccinella septempunctata* (Linnaeus, 1758) (Coccinelle à 07 points) (fig. 34, 35) et de *C. undecimpunctata* (Linnaeus, 1758) (Coccinelle à 11 points) (fig. 36).

En 2014, en plus des 2 espèces précitées nous avons identifié 04 autres espèces dans les Communes Dar Echioukh et Ain Oussara. Il s'agit de *C. novemnotata* (Herbst, 1793) (coccinelle à 09 points) (fig. 37), *C. algerica* (Kovar, 1977) (fig. 38) qui peut être confondue avec la coccinelle à 7 points *C. septempunctata*, *Hippodamia (Adonia) variegata* (Goeze, 1777) appelée coccinelle des friches (fig. 39), et enfin *H. tredecimpunctata* (Linnaeus, 1758) qui a 13 points (fig. 40). Nous avons trouvé en plus une espèce du genre *Scymnus* qui n'a pas pu être identifiée (fig. 41).



Fig. 34: Adulte de *Coccinella septempunctata* (photo originale)



Fig. 35: Larve de *C. septempunctata* sur une colonie d'*A. gossypii* (photo originale)



Fig. 36 : Adulte de *Coccinella undecimpunctata* (photo originale)



Fig. 37: Adulte de *Coccinella novemnotata* (photo originale)



Fig. 38: A : Œufs ; B : larves ; C : adulte de *Coccinella algerica* (photos originales).



Fig. 39 : Adulte de *Hippodamia (Adonia) variegata* (photo originale)



Fig. 40: Adulte de *H. tredecimpunctata* (photo originale).



Fig. 41 : Adulte de *Scymnus* sp. (photo originale).

En 2015, dans le site Kheneg (Commune de Moudjbara), nous avons récolté 4 espèces déjà citées: *C. septempunctata*, *C. algerica*, *H. variegata* et *H. tredecimpunctata*.

En 2016, à Rous Layoun (Commune de Djelfa) et à Bentaka (Commune de Bérine) où des populations de pucerons pomme de terre ont été observées le nombre d'espèces était de six (06) toutes de la famille des Coccinellidae: *C. septempunctata*, *H. (Adonia) variegata*, *C. undecimpunctata*, *H. tredecimpunctata*, *C. novemnotata*. En plus des 5 déjà signalées nous avons trouvé une nouvelle espèce *Psyllobora vigintiduopunctata* (Linnaeus, 1758) connue sous le nom de coccinelle à 22 points (fig. 42) qui a été déjà signalée par Sahraoui, en 2018.



Fig. 42 : Adulte de *Psyllobora vigintiduopunctata* (photo originale).

En 2017 dans les sites Bichia (Commune de Had Sahari), Djnèn Arar, Dzaira 01 et Dzaira 02 (Commune d'Ain El Ibe) et 2 parcelles de Rous Layoun, nous avons retrouvé *C. septempunctata*, *H. tredecimpunctata*, *C. undecimpunctata* et *P. vigintidupunctata*.

Le nombre d'espèces de coccinelles aphidiphages récoltées sur parcelles de pomme de terre est jugé assez faible par rapport à la richesse spécifique de la famille des Coccinellidae qui comporte environ 6000 espèces décrites dans près de 360 genres (Nedved et Kovar, 2012). Cet inventaire (qui ne peut être que partiel) des coccinelles trouvées sur pomme de terre à Djelfa et leur rôle comme régulateurs des pucerons permet de comparer certains aspects de leur capacité prédatrice avec plusieurs études réalisées à travers le monde (Kalushkov et Hodek, 2004 ; Nakashima et al., 2004 ; Singh et al., 2004 ; Schellhorn et Andow, 2005 ; Bensusan et al., 2006 ; Simelane et al., 2008 ; Cabral et al., 2009 ; Ben Halima, 2010 ; Ben Halima et al., 2011 ; Cabral et al., 2011 ; Marriott, 2012 ; Mahyoub et al., 2013 ; Al-Deghairi et al., 2014 ; Imam, 2015 ; Abdel-Salam et al., 2018).

En Algérie, peu de travaux ont été réalisés sur ces prédateurs en dehors de Sahraoui et al. (2014) qui ont enregistré 48 espèces appartenant à 22 genres et plus récemment Lakhal et al., (2018), qui ont porté l'inventaire à 75 espèces appartenant à 10 tribus. En définitive toutes les espèces inventoriées dans cette étude ont déjà fait l'objet de signalement en Algérie ce qui est en concordance avec Lakhal et al., (2018), qui estiment que les espèces *C. septempunctata*, *C. algerica*, *C. undecimpunctata*, *H. tredecimpunctata*, *H. (Adonia) variegata*, *P. vigintidupunctata* et *Scymnus* sp. sont communes à plusieurs régions. Les espèces *C. septempunctata* et *H. (Adonia) variegata*, possèderaient une large plasticité écologique qui leur permettrait de vivre sur tout le territoire (Sahraoui et al., 2014). En effet on note la présence de *C. undecimpunctata*, *C. algerica* et *H. (Adonia) variegata* dans la région centre (Benoufella-Kitous et al., 2014), mais également dans la région du sud-est (Hamiti et Bouchalal, 2013). Dans la région nord-ouest dans la wilaya de Mostaganem Guenaoui et al. (2014) ont noté une prédominance de *C. algerica* entrée spontanément dans les serres non chauffées de poivron fortement infesté par *A. gossypii*. Son action a été très efficace. Selon Sahraoui et Gourreau (2000), ces espèces semblent être bien adaptées aux différents types de climat du pays y compris en zones arides.

II.2.2.2. Chrysopes et punaises

Le tableau 13 mentionne les espèces de chrysopes (Névroptères) et de punaises (Hétéroptères) prédatrices observées en activité de prédation dans les parcelles de pomme de terre entre 2013 et 2017.

Tableau 13 : Inventaires des chrysope et punaises prédatrices de puceron sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017

Année d'étude	Lieu-dit	Espèce de chrysope	Espèce de punaise					
		<i>Chrysoperla carnea</i>	<i>Macrolophus pygmaeus</i>	<i>Nesidiocoris tenuis</i>	<i>Dicyphus sp.</i>	<i>Nabidae sp.</i>	<i>Orius sp.</i>	<i>Pyrrhocorius apterus</i>
2013	Maalba	-	-	-	-	-	-	-
2014	Elmerdja	+	+	-	+	-	-	-
	Sersou	+	+	+	-	-	-	-
	Sayada	+	-	-	-	-	-	-
	Oussaissira	+	+	-	+	-	-	-
	Elabida	+	-	-	+	-	-	-
2015	Kheneg	+	+	-	-	-	-	-
2016	Rous Layoun	+	+	+	-	+	-	-
	Bentaka	+	-	-	-	-	+	+
2017	Djnèn Elarar	+	+	+	-	-	-	-
	Dzira 01	+	+	+	+	-	-	-
	Dzira 02	+	+	+	+	-	-	-
	Rous Layoun	+	-	+	+	-	-	-
	Rous Layoun (ITMAS)	+	+	+	+	-	-	-
	Bichia	+	-	+	+	-	-	-

(+ : présence ; - : absence).

En 2013, nous n'avons noté ni chrysope ou ni punaise dans le site de Maalba. En 2014, une seule espèce de chrysope (fig. 43), *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), a été récoltée au niveau des deux Communes (Dar Echioukh et Ain Oussera). Les punaises (Miridea) *Macrolophus pygmaeus* (Wegner 1951) et *Dicyphus sp.* (fig. 44) ont été trouvées dans la plupart des sites. *Nesidiocoris tenuis* (Reuter, 1895) n'a été rencontrée qu'à Sersou (Commune d'Ain Oussera).



Fig. 43: A : Œuf ; B : larve ; C : cocon ; D : adulte de *Chrysoperla carnea* (photos originales)



Fig. 44: Adultes de punaises prédatrices de pucerons ; **A** : *Macrolophus pygmaeus* ; **B** : *Nesidiocoris tenuis* ; **C** : *Dicyphus* sp. (photos originales).

En 2015, seules *C. carnea* et *M. pygmaeus* ont été trouvées à Kheneg (Commune de Moudjbara).

En 2016, *C. carnea* a été récoltée sur pomme de terre dans les deux sites expérimentaux (Rous Layoun et Bentaka) mais *M. pygmaeus* et *N. tenuis* ont été trouvées seulement dans la Commune de Djelfa mélangées à une autre espèce de punaise prédatrice (*Nabidae* sp.) qui reste non identifiée (fig. 45A).

En 2017, d'autres punaises du genre *Orius* et l'espèce *Pyrrhocoris apterus* (Linnaeus, 1758) (fig. 45B, C) ont été retrouvées sur le site de Bentaka. C'est la chrysope *C. carnea* qui semble plus fréquente dans les Communes d'Ain El Ibel, Djelfa et Bérine, mélangée à *N. tenuis*. La punaise *M. pygmaeus* n'a été rencontrée que dans trois sites de la Commune d'Ain El Ibel et à Rous Layoun (ITMAS). L'espèce du genre *Dicyphus* non identifiée à ce jour a été observée dans toutes les parcelles expérimentales, excepté à Djnèn Elarar.

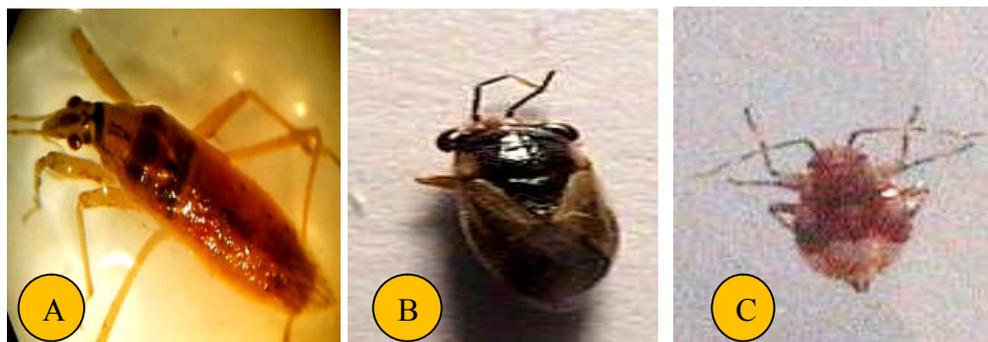


Fig. 45: Punaises prédatrices de pucerons ; **A** : *Nabidae* sp. ; **B** : *Orius* sp. ; **C** : *Pyrrhocoris apterus* (photos originales).

L'espèce *C. carnea* a fait l'objet de nombreux travaux de recherche (Aldrich et al., 2015 ; Alghamdi et al., 2018 ; Dey et De, 2018 ; Bessin, 2019). En Algérie, Benoufella-Kitous et al. (2014) et Sahraoui (2018) l'ont signalée dans la région centre et de l'est algérien tandis que dans le sud, elle a été mentionnée sur cultures sous-abris (Bakroune 2012).

Les punaises *M. pygmaeus*, *N. tenuis* et *Dicyphus* sp. ont fait l'objet de plusieurs travaux à travers le monde (Perdikis, 1999 ; Eyles et al., 2008 ; Fantinou et al., 2009 ; Pérez-Hedo et Urbaneja, 2014 ; Messelink et al., 2014 ; Sohrabi et Hosseini, 2015 ; Sylla et al., 2016a ; Sylla et al., 2016b). Par ailleurs Alvarado et al. (1997) et Armer et al. (2000), ont travaillé sur des anthocorides du genre *Orius* qui comporte des espèces généralistes utilisées en lutte biologique (Weseloh, 2003). Les deux espèces *Nabidae* sp. et *P. apterus* sont également signalées comme prédatrices de pucerons en Algérie (Benia, 2010 ; Dib, 2010) mais elles peuvent aussi se nourrir d'autres arthropodes comme les cicadelles, thrips, de larves et d'œufs d'insectes (Lépidoptères) et même d'acariens (Cornelis et Coscarón, 2013).

En Algérie, les trois espèces *M. pygmaeus*, *N. tenuis* et *Dicyphus* sp. ont été rencontrées sur différentes plantes Solanacées infestées par la mineuse *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) dans le nord-ouest du pays (Bensaad, 2011). *N. tenuis* a fait l'objet d'une introduction ponctuelle par les services de protection des végétaux dans le cadre d'un programme de lutte contre la mineuse de la tomate.

II.2.2.3. Autres espèces prédatrices de pucerons sur pomme de terre à Djelfa (2013-2017)

Le tableau 14 indique l'identité d'autres espèces de prédateurs (Diptères, Dermaptères et Coléoptères) capables de consommer les pucerons.

Tableau 14 : Diverses espèces prédatrices de pucerons sur pomme de terre dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017

Année d'étude	Lieu-dit	Espèce de syrphes		Espèce de Forficule	Espèce de carabidés	
		<i>Episyrphus balteatus</i>	<i>Sphaerophoria scripta</i>	<i>Forficula auricularia</i>	<i>Cicindelidae</i> sp.	<i>Carabus</i> sp.
2013	Maalba	+	-	-	-	-
2014	Elmerdja	+	-	+	-	-
	Sersou	+	+	+	-	-
	Sayada	-	-	-	-	-
	Oussaissira	+	-	-	-	-
	Elabida	+	-	+	-	-
2015	Kheneg	-	-	+	-	-
2016	Rous Layoun	+	-	+	-	-
	Bentak	+	+	+	+	+
2017	Djnèn Elarar	-	-	-	-	-
	Dzira 01	-	-	+	-	-
	Dzira 02	+	-	+	-	-
	Rous Layoun	+	-	+	-	-
	Rous Layoun (ITMAS)	+	-	+	-	-
	Bichia	-	-	+	-	-

(+ : présence ; - : absence).

L'espèce de Syrphé identifiée comme étant *Episyrphus balteatus*, De Geer 1776 (fig. 46) a été la seule récoltée à Maalba en 2013. En 2014 elle a été trouvée sur 3 sites, en 2016 sur 2 sites, enfin en 2017, elle a été trouvée sur 3 sites (Dzira 2, et les 2 sites de Rous Layoun).

L'espèce *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758) (fig. 47) a été recensée seulement dans deux sites (Sersou et Bentaka) durant toute la période d'échantillonnage.



Fig. 46: Adulte de *Episyrphus balteatus* (photo originale)



Fig. 47: Adulte de *Sphaerophoria scripta* (photo originale).

Les Syrphidae qui sont connues par leur grande voracité vis-à-vis des pucerons ont fait l'objet de nombreux travaux (Sadeghi et Gilbert, 2000 ; Bugg et *al.*, 2008 ; Pineda et Marcos-Garcia, 2008 ; Amorós-Jiménez et *al.*, 2012 ; Nelson et *al.* 2012).

L'espèce de forficule (perce-oreille) *F. auricularia* (fig. 48A), est un prédateur de pucerons qui peut jouer un rôle important dans leur contrôle (Helsen et *al.*, 2007). C'est une espèce omnivore, qui se nourrit d'insectes parfois et de plantes auxquelles elle peut causer des dommages significatifs (Dib et *al.*, 2016 ; Capinera, 2019). Dans certains cas, elle est considérée comme espèce invasive qui nécessite un traitement de lutte biologique pour réduire son impact (Maczey et *al.*, 2019).

L'espèce *Cicindelidae* sp. (fig. 48B) appartient à la famille des «coléoptères tiges» est considérée comme prédateur diurne, actif surtout à la surface du sol où ils consomment divers arthropodes (Cassola et Pearson, 2001 ; Uniyal et Bhargav, 2007).

L'espèce *Carabus* sp. (fig. 48C) est un prédateur généraliste qui s'attaque à de nombreux arthropodes et mollusques (Ghahari et *al.*, 2010). En Algérie, toutes ces espèces précitées ont été recensées dans différentes régions du pays (Benia, 2010).

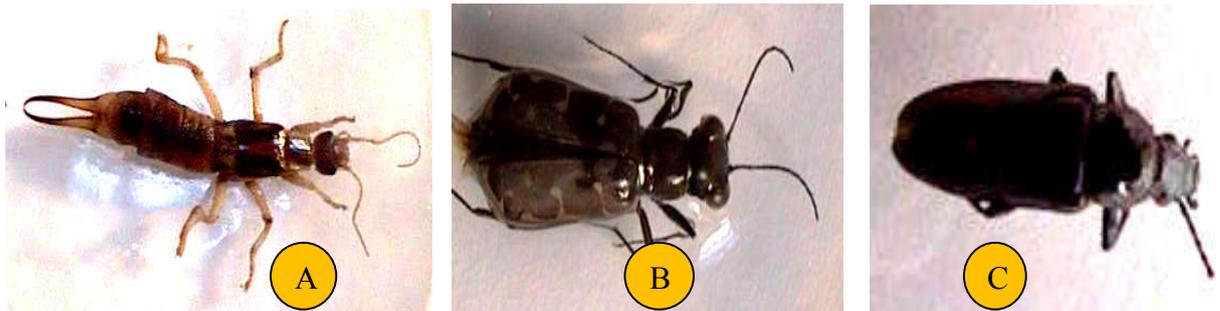


Fig. 48 : A : Adulte de *Forficula auricularia* ; B: adulte de *Cicindelidae* sp. ; C : adulte de *Carabus* sp. (photos originales).

II.2.3. Inventaire des parasitoïdes

Les prélèvements de momies pleines dans les différents sites ont permis de recenser plusieurs espèces de parasitoïdes après émergence (tab. 15) qui ont fait l'objet d'une identification d'abord sur le plan morphologique avec la collaboration de B. Chaubet (AgroCampus Ouest-Rennes) et puis pour certains par test de biologie moléculaire pour éviter toute confusion et confirmer l'identité. Il faut souligner que certains échantillons qui ont été au départ attribués à l'espèce *Lysiphlebus desertorum* sur la base de caractères morphologiques ont été déplacés vers *L. testaceipes* après l'analyse moléculaire (tab. 16).

Tableau 15 : Espèces de parasitoïdes associés aux pucerons sur pomme de terre dans la région de Djelfa de 2013 à 2017

Année d'étude	Lieu /site	Parasitoïdes primaires				
		<i>Aphidius ervi</i>	<i>A. rhopalosiphi</i>	<i>A. matricariae</i>	<i>Lysiphlebus fabarum</i>	<i>L. testaceipes</i>
2013	Maalba	-	-	-	-	-
2014	Elmerdja*	+	+	+	+	+
	Sersou*	+	-	+	+	+
	Sayada	-	-	+	-	+
	Oussaissira	-	-	+	-	-
	Elabida*	+	-	+	-	+
2015	Kheneg	+	-	-	-	-
2016	Rous Layoun	-	-	-	-	-
	Bentaka	-	-	-	-	-
2017	Djnèn Elarar	-	-	+	-	-
	Dzira 01	+	-	-	-	-
	Dzira 02	+	-	+	-	+
	Rous Layoun	+	-	-	-	-
	Rous Layoun (ITMAS)	-	-	+	-	+
	Bichia	+	-	+	-	+

(+ : présence ; - : absence)

En définitive le nombre de parasitoïdes primaires est de 5 dont 4 ont été reconfirmées par analyse moléculaire; il s'agit de: *Aphidius ervi* Haliday, 1834 (fig. 49, 50), *A. rhopalosiphi* Perez, 1902 (fig. 51), *A. matricariae* Haliday, 1834 (fig. 52), *Lysiphlebus fabarum* Tremblay & Eady, 1978 (fig. 53), *Lysiphlebus testaceipes* Cresson, 1880 (fig. 54, 55).

Concernant les hyperparasitoïdes (parasitoïdes secondaires), une seule espèce du genre a été trouvée dans nos échantillons de momies. Il s'agit de *Dendrocerus* Ratzeburg, 1852 (fig. 56) qui n'a pas été déterminé qu'au niveau du genre. Cette espèce a été trouvée seulement en 2014,

en nombre réduit dans trois sites: Elmerdja, Sersou et Elabida. Sa présence est signalée par un (*) à côté du site sur le tableau 15.

Nous avons présenté certaines caractéristiques des espèces inventoriées (fig. 49 à fig. 55):



Fig. 49 : Mâle adulte d'*Aphidius ervi* (photo originale)

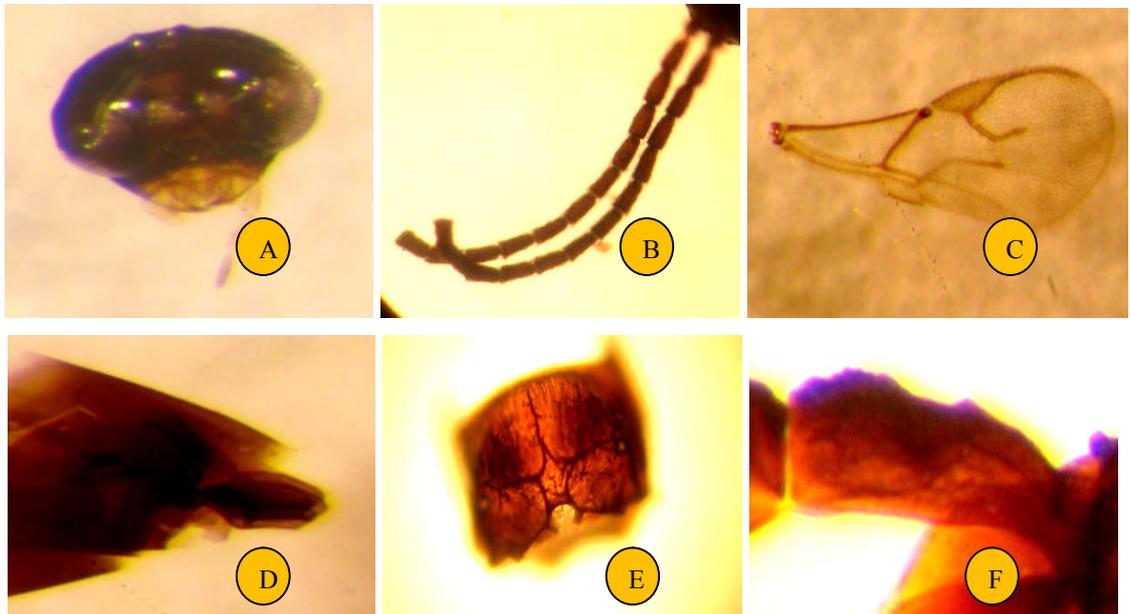


Fig. 50 : Aspect des différentes parties du corps disséqué d'*Aphidius ervi*; A : tête ; B : antennes ; C : aile antérieure ; D : valves de l'ovipositeur ; E : propodeum ; F : tergite (photos originales)

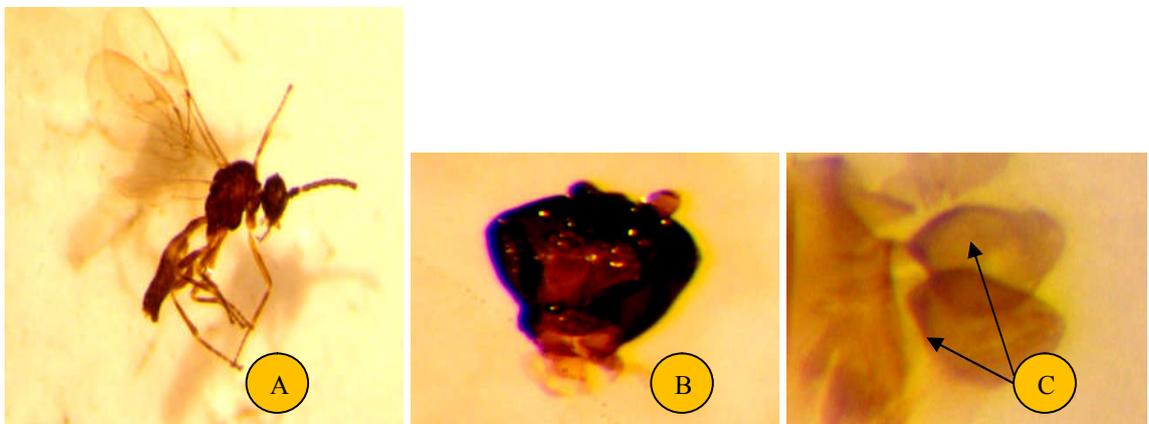


Fig. 51: A : Adulte mâle ; B: tête ; C : valves de l'ovipositeur de l'espèce *Aphidius rhopalosiphi* (photos originales)

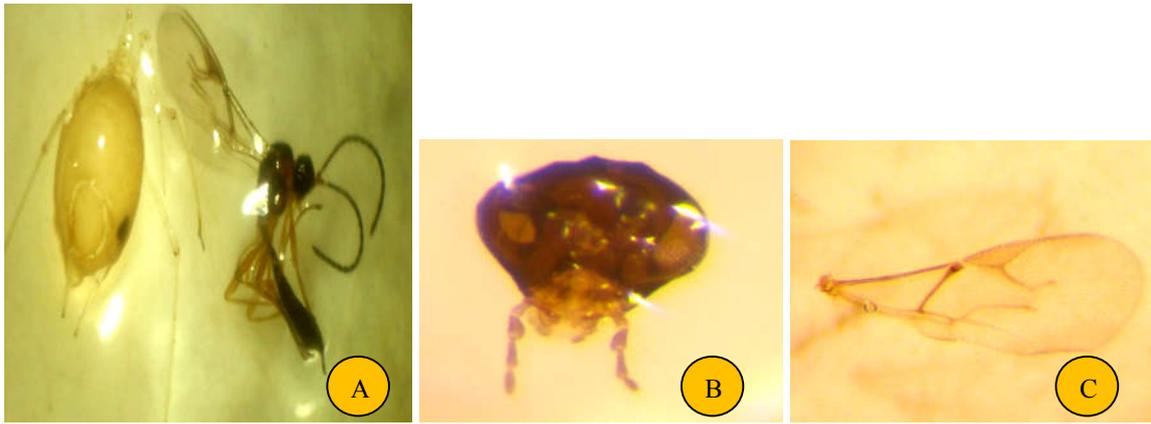


Fig. 52 : A : Adulte mâle d'*Aphidius matricariae* sorti d'une momie de *M. persicae* ; B : Tête (pièces buccales) ; C : aile antérieure (photos originales).

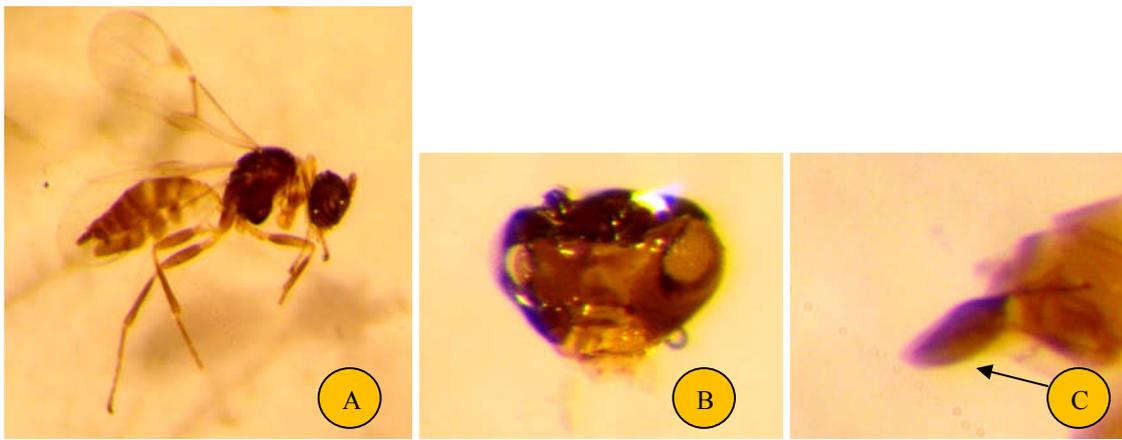


Fig. 53: A : Adulte femelle de *Lysiphlebus fabarum* ; B: tête ; C: valves superposées de l'ovipositeur (photos originales).



Fig. 54 : Adulte de *Lysiphlebus testaceipes* : A : mâles ; B : femelles (photos originales).

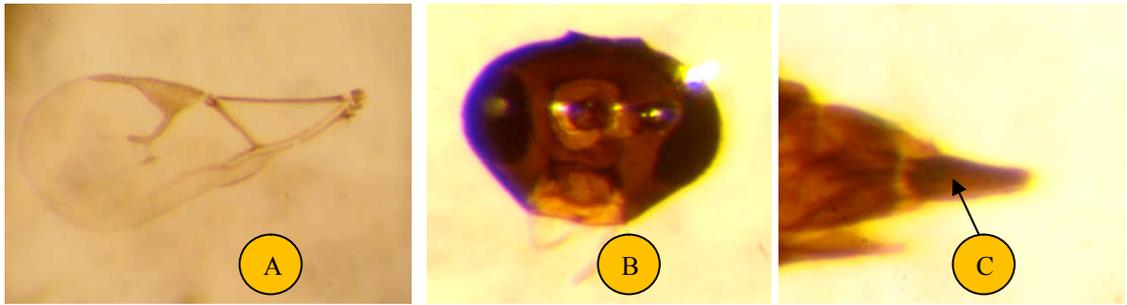


Fig. 55 : A: aile antérieure ; B: tête ; C: valves de l'ovipositeur de l'espèce *L. testaceipes* (photos originales).



Fig. 56 : Adulte de l'hyperparasitoïde *Dendrocerus* spp. (photo originale)

Tableau 16 : Décodage des parasitoïdes primaires identifiés par la méthode moléculaire

Code des spécimens	Espèce de parasitoïde correspondante
Ae1-A	<i>A. ervi</i>
Ar1-A	<i>A. rhopalosiphi</i>
Lf1-A et Lf1-B	<i>L. fabarum</i>
Ld2 (A,B,C), Ld3 (A,B,C), Ld5 (A,B,C), Ld6 (A,B,C), Ld7 (A,B,C)	<i>L. testaceipes</i>
Dr1 (A,B,C)	<i>Diaeretiella rapae</i> (M'intosh, 1855)

Observation : l'espèce *Diaeretiella rapae* introduite dans l'analyse n'appartient pas à l'étude. Les espèces confirmées sont *A.ervi*, *A. rhopalosiphi*, *L. fabarum* et *L. testaceipes*. Ces espèces ont été récoltées sur la pomme de terre en 2014. L'espèce *A. matricariae* n'a été identifiée que sur ses caractéristiques morphologiques puisqu'il n'y avait pas de doute. Cette analyse a permis de construire un arbre phylogénétique représentant toutes les espèces identifiées (fig.57).

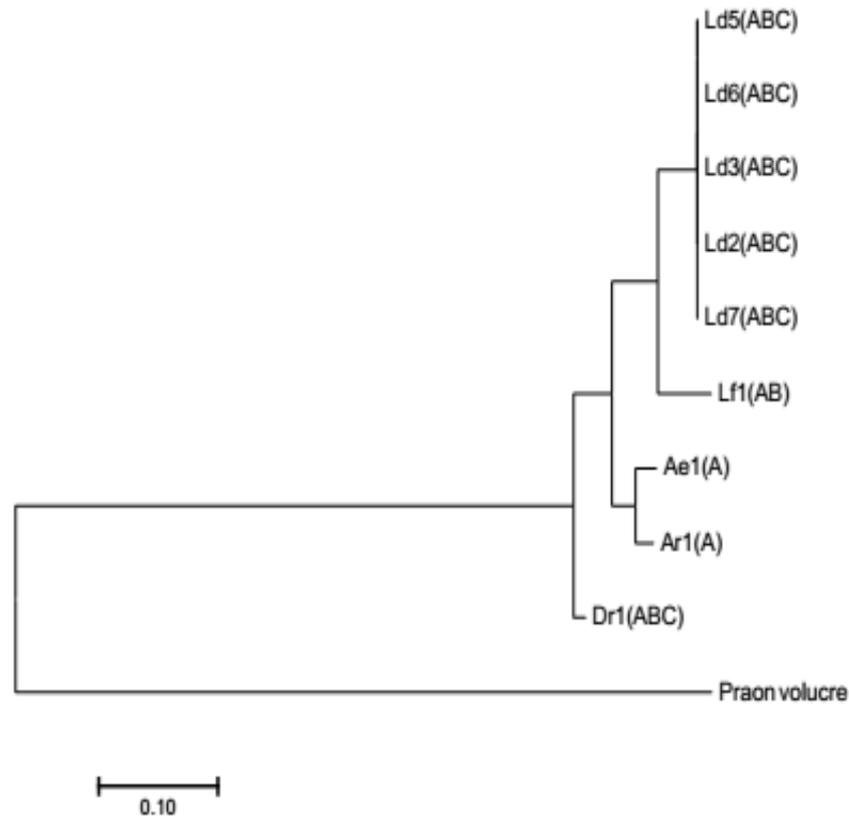


Fig. 57: Arbre phylogénétique des espèces de parasitoïdes primaires récoltées sur pucerons de pomme de terre dans la région de Djelfa (2013-2017).

L'arbre phylogénétique (fig. 57) sépare bien les différentes espèces. Il n'existe pas de structuration génétique en fonction de l'hôte (puceron) ou de la géographie (site de prélèvement) ni en fonction de la date d'échantillonnage. Nous avons une autre espèce « out group » qui est *Praon volucre* (Haliday, 1833) pour enraciner l'arbre phylogénétique.

Nombreuses études sur l'inventaire des parasitoïdes et sur leur utilisation dans la lutte biologique ont été réalisées à travers le monde. Les espèces de parasitoïdes primaires sont les auxiliaires les plus fréquemment utilisés dans les programmes de lutte biologique classique contre des ravageurs (Parry, 2008). Les membres des deux familles Aphelinidae et Braconidae sont principalement retrouvés sur des pucerons ou utilisées pour les combattre (Stary et Havelka, 2008 ; Boivin et *al.*, 2012).

Les 5 espèces de parasitoïdes primaires inventoriées dans cette étude appartiennent à la famille des Braconidae et sous famille des Aphidiinae. L'espèce de parasitoïde secondaire appartient à la famille des Megaspilidae et la sous famille des Megaspilinae. De façon générale ces différentes espèces ont été signalées dans d'autres régions du monde par Tomanović et *al.*, 2003 ; Kavallieratos et Lykouressis, 2004 ; Kos et *al.*, 2008 ; Stary et Havelka, 2008 ; Barahoei et *al.*, 2012 ; Rakhshani et *al.* 2015.

En Algérie ces mêmes espèces ont été rencontrées par Chaouche et Laamari (2015) dans divers habitats naturels dans le sud-est du pays. Chacune des parasitoïdes primaires a été signalée sur différentes espèces de puceron. Par exemple *A. ervi* a été récolté sur *M. persicae*, *A. fabae* et *A. pisum*, tandis que *A. matricariae* a été trouvé sur *A. gossypii*, *A. fabae*, *A. citricola*, *A. craccivora*, *A. nerii*, *A. pisum*. L'espèce *L. fabarum* a été signalée sur *A. gossypii*, *A. fabae*, *A. craccivora*, *M. persicae*, *M. euphorbiae*... (Aroun, 2015) mais il convient de dire que cette espèce a été récoltée en 1993 sur *A. craccivora* par Guenaoui (com. pers). Du fait que cette espèce pouvait parasiter *A. gossypii* son utilisation en conditions contrôlées sur poivron a permis de découvrir que cette souche se reproduit uniquement par thélytoquie (Guenaoui et Mahiout, 1993). Cependant la cause de cette reproduction uniparentale n'est pas connue, même si Stary (1999) a affirmé que la thélytoquie chez les espèces du genre *Lysiphlebus* serait due à *Wolbachia* comme le lui ont affirmé Stouthamer et al., par communication personnelle. Notons que cette explication reste controversée.

Hemidi et al. (2013), ont trouvé *A. ervi* sur *M. persicae*, et *A. matricariae* sur *A. gossypii*, *A. craccivora*, *A. punicae* et *A. pisum*.

En ce qui concerne *L. testaceipes*, ces mêmes auteurs l'ont trouvé sur *A. gossypii*, *A. spiraecola* et *A. nerii*. Dans le Nord-Ouest algérien, Labdaoui (2019) a récolté dans les vergers d'agrumes *L. testaceipes* et *L. fabarum* sur les trois espèces principales de pucerons (*A. spiraecola*, *A. gossypii* et *Toxoptera aurantii*, Boyer de Fonscolombe, 1841) mais *A. matricariae* n'a été recensé que sur *T. aurantii*. Quant à l'espèce de parasitoïde secondaire *Dendrocerus* spp. Le même auteur l'a identifié sur momies d'*A. spiraecola* et d'*A. gossypii*.

Dans un pays voisin la Tunisie, Ben Halima-Kamel et Ben Hamouda (2005), ont signalé en arboriculture fruitière *A. matricariae* sur *A. gossypii*, *A. nerii*, *M. persicae* et *T. aurantii*.

On voit bien que ces espèces sont communes à plusieurs régions géographiques et que le climat semi aride de Djelfa modifie peu la biodiversité de la faune aphidienne et ses parasitoïdes.

II.2.4. Evolution démographique des populations d'insectes récoltés par site et date

Les effectifs de pucerons et de leurs ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes) varient en fonction du site et de l'année d'étude (Annexe 01). Les échantillons considérés comme représentatifs de la réalité sur le terrain, indiquent des fluctuations des populations sous l'effet probablement en de différentes interactions générées au sein des guildes par la prédation, le parasitisme et/ou la compétition entre ces espèces et par l'influence des facteurs abiotiques en particulier les températures.

Pour avoir une idée sur les niveaux des températures sur le terrain nous avons utilisé les données fournies par le site électronique Worldclim 2 (Fick et Hijmans, 2017) (tab. 17).

Statistiquement si on considère la moyenne des températures enregistrées on note 03 groupes de sites différents par rapport à la température moyenne relevée aux différentes dates d'échantillonnage, il s'agit de ; groupe 01 (07 sites) ; groupe 02 (04 sites) ; groupe 03 (04 sites):

Tableau 17 : Comparaison entre les températures moyennes des sites expérimentaux durant la période d'étude (2013-2017)

Site	Effectif	T. Moy. (°C)	Groupe homogène
Dzira 01	65	21.25	a
Dzira 02	65	21.25	a
Rouss Layoun ITMAS	65	21.43	a
Maalba	65	21.43	a
Rous Layoun (2016)	65	21.43	a
Rous Layoun (2017)	65	21.43	a
Kheneg	65	21.45	a
Bentaka	65	21.89	b
Elmerdja	65	21.93	b
Djnen Elarar	65	22.19	b
Bichia	65	22.76	b
Sersou	65	23.15	c
Elbaida	65	23.17	c
Oussaissira	65	23.17	c
Sayada	65	23.17	c

(Effectif : nombre de dates de sorties réalisées dans tous les sites d'échantillonnage).

D'après le tableau 17, nous pouvons distinguer que la différence entre les températures moyennes des divers sites expérimentaux ne dépasse pas les 2°C entre les 2 extrêmes ; Dzira 01 et 02 avec 21.25°C et Sayada, Oussaissira et Elbaida (23.17°C), avec moins de 0.5°C entre 2 groupes successifs à savoir; Kheneg - Bentaka (0.44°C) et Bichia - Sersou (0.39°C). Même constat a été obtenu pour les températures maximales et minimales. Cela nous a permis de conclure que les températures des sites affectent les insectes d'une façon plus ou moins similaire, reste à vérifier leur influence sur l'évolution démographique des insectes au niveau d'un même site. Pour cela, nous avons tracé des courbes (fig. 58-65) de l'évolution des populations des différentes espèces d'insectes dans tous les sites en fonction des températures maximales et des températures minimales qui peuvent avoir un effet direct sur la densité des pucerons en prenant en considération l'action des interactions entre les espèces échantillonnées.

Pour mieux visualiser la dynamique des populations des principales espèces répertoriées sur la culture de printemps, nous avons fait le choix de retenir seulement certains sites considérés comme représentatifs de la région de Djelfa: le site **Maalba** (année 2013) a été le seul car les agriculteurs étaient hostiles au départ à notre présence sur leurs parcelles. C'est seulement en 2014 que nous avons réussi à convaincre plus d'agriculteurs à suspendre les traitements

chimiques sur la partie de la parcelle servant à faire des observations et prélèvements. En 2014, ce sont les sites **Elmerdja** et **Sayada** qui ont été retenus.

En 2015, nous n'avons pu réaliser l'échantillonnage que sur un seul site (**Kheneq**).

En 2016 seul le site **Rous Layoun** a été pris en compte car le 2ème site a subi des traitements chimiques par erreur. En 2017 sur les 6 sites nous avons retenu **Dzira 2**, **Rous Layoun** et **Bichia**. Ainsi il sera possible de comparer le site de **Rous Layoun** sur deux années consécutives.

C1. Site de Maalba (2013)

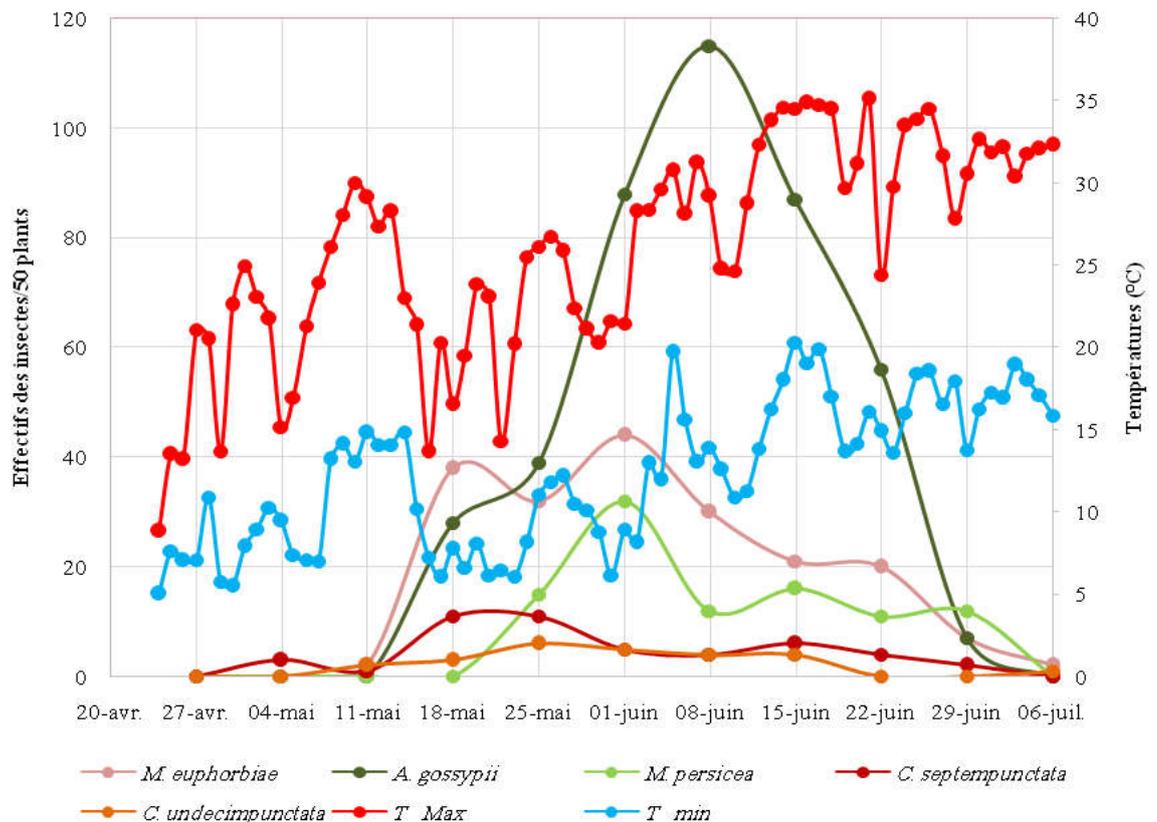


Figure 58: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Maalba (2013).

La figure 58 montre que les infestations de la culture de pomme de terre (site Maalba) par *A. gossypii* et *M. euphorbiae* ont commencé vers le début de la 2^{ème} décennie de mai où les températures maximales et minimales enregistrent entre 22-29°C et 13-15°C respectivement. Durant cette période, les deux coccinelles *C. septempunctata* et *C. undecimpunctata* sont apparues et elles ont joué un rôle dans la stabilité des populations des deux pucerons jusqu'au 25 mai avec une action combinée avec une chute des températures en dessous de 15°C (Max = 13°C et Min = 7°C). A partir de cette semaine, l'espèce de puceron *M. persicae* commence à apparaître et atteindre un pic d'effectifs en début juin avec *M. euphorbiae*. Tandis qu'*A. gossypii* a continué son évolution, en présence de très peu de prédateurs, pour atteindre son pic à la fin de la première

semaine de juin, où les températures maximales étaient d'environ 30°C, et ont augmenté progressivement en défaveur du développement des pucerons. En effet, le début de la régression des populations des trois espèces de pucerons a été amorcé et s'est poursuivi vers la dernière semaine de juin avec des températures frôlant 34/35°C qui ont conduit à la disparition de tous les pucerons en début juillet.

C2. Site d'El Merdja (2014)

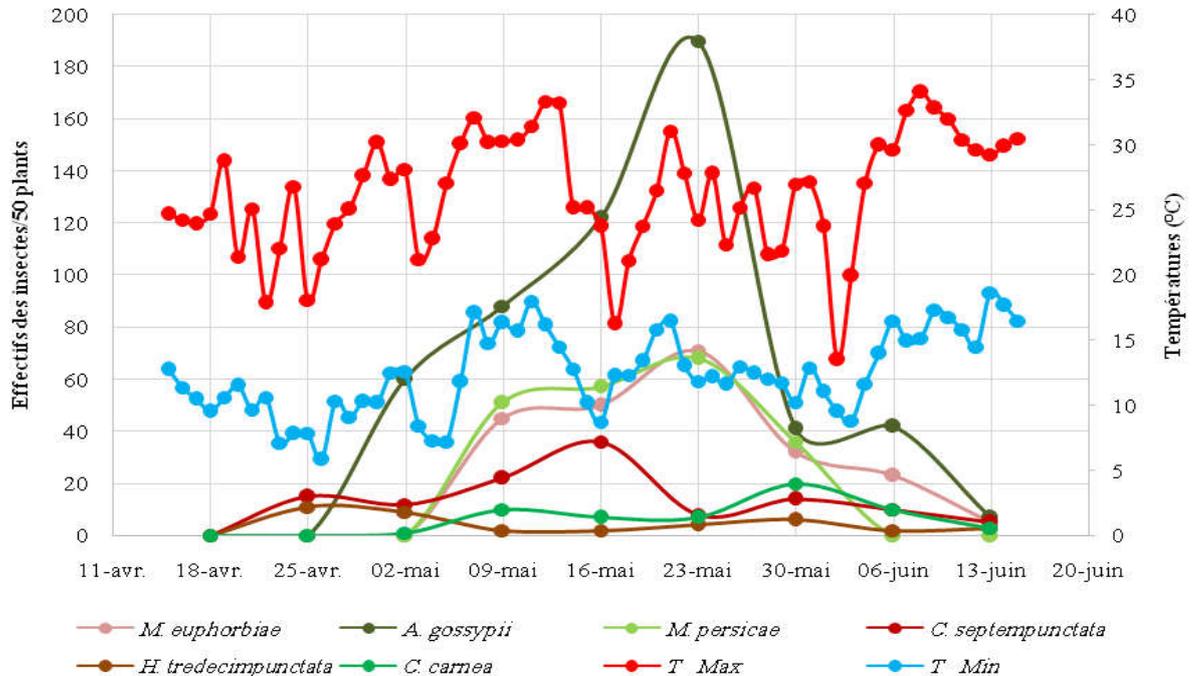


Figure 59: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à El Merdja (2014).

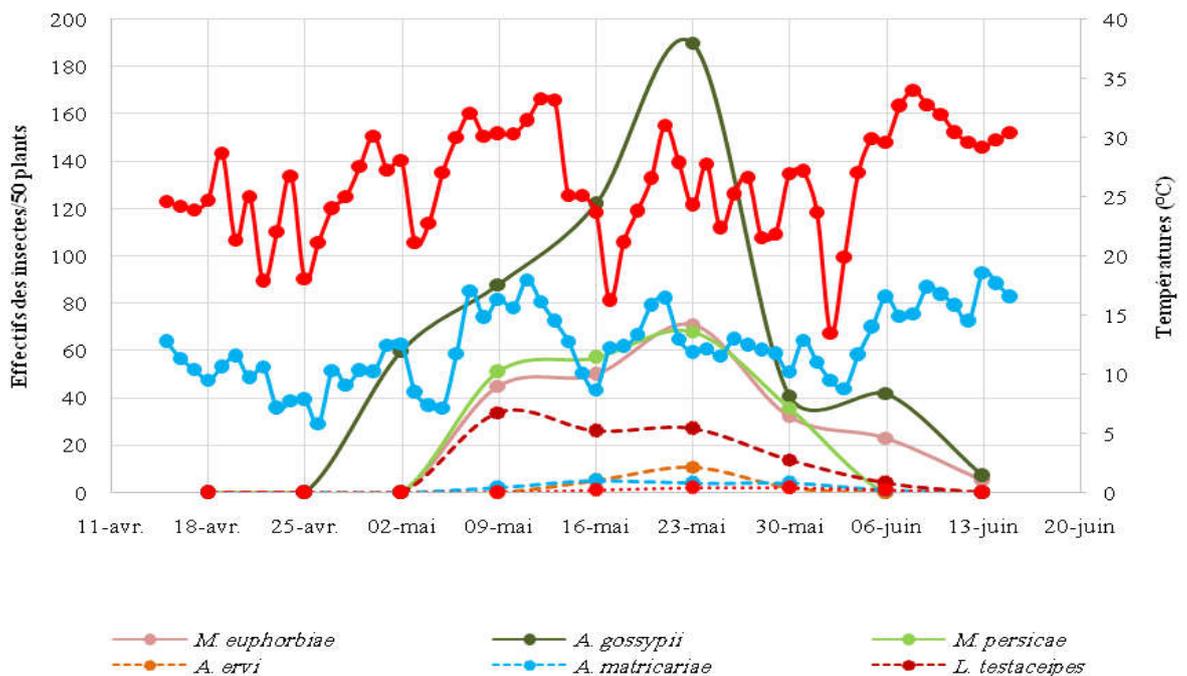


Figure 60: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à El Merdja (2014).

La figure 59, indique qu'à El Merdja *A. gossypii* et *A. fabae* sont apparus vers la dernière semaine d'avril durant laquelle les températures maximales enregistrées étaient entre 22 et 28°C. On peut observer que la dominance d'*A. gossypii* à la 3^{ème} semaine d'avril est accompagnée par les prédateurs *C. septempunctata* et *H. tredecimpunctata*. Les pucerons *M. euphorbiae* et *M. persicae* sont apparues vers le début mai avec le cortège d'ennemis naturels composé de *C. carnea*, *M. pygmaeus*, *A. matricariae* et *L. testaceipes* (fig. 60). Une augmentation de la température jusqu'à 30°C et du nombre des deux espèces d'auxiliaires *C. septempunctata* et *L. testaceipes* ont contribué à stabiliser l'évolution des 03 espèces de pucerons présentes jusqu'à la mi-mai. Cependant, on peut noter que le nombre de momies de *L. testaceipes* a reculé légèrement avec une augmentation de celui de la coccinelle. A partir de la 3^{ème} semaine de mai, le nombre de pucerons a augmenté progressivement et a atteint son maximum pour toutes les espèces vers la 4^{ème} semaine de ce mois avec des températures favorables (maximales entre 24 à 28°C et minimales entre 12 à 16°C) et un effectif minimal enregistré pour tous les ennemis naturels. Durant cette période, les parasitoïdes en particulier *L. testaceipes* avec la forficule *F. auricularia* puis la chrysope *C. carnea* (en fin mai) ont apparemment joué un rôle dans la diminution des populations des pucerons vers la fin mai-début juin qui a coïncidé avec des chutes de températures (Max = 13°C et Min = 8°C) qui dure 2 jours affectant l'ensemble des espèces et conduisant à leur disparition vers la mi-juin accentuée par une élévation de température en début de ce mois (32-34°C).

C3. Site de Sayada (2014)

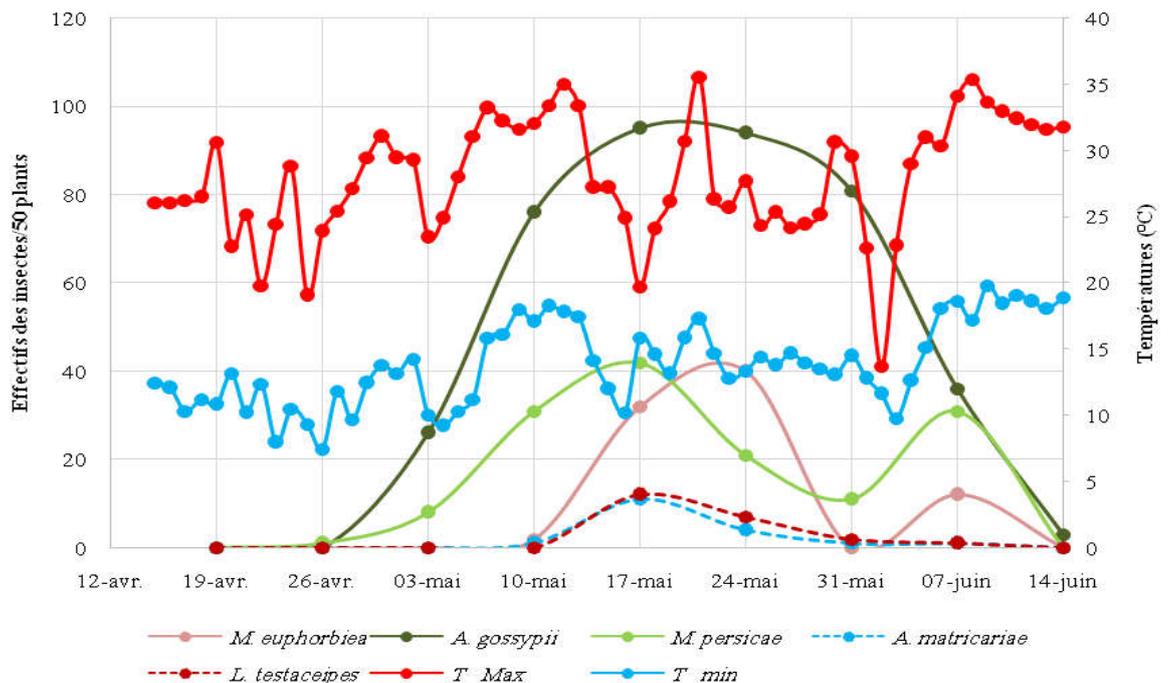


Figure 61 : Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Sayada (2014).

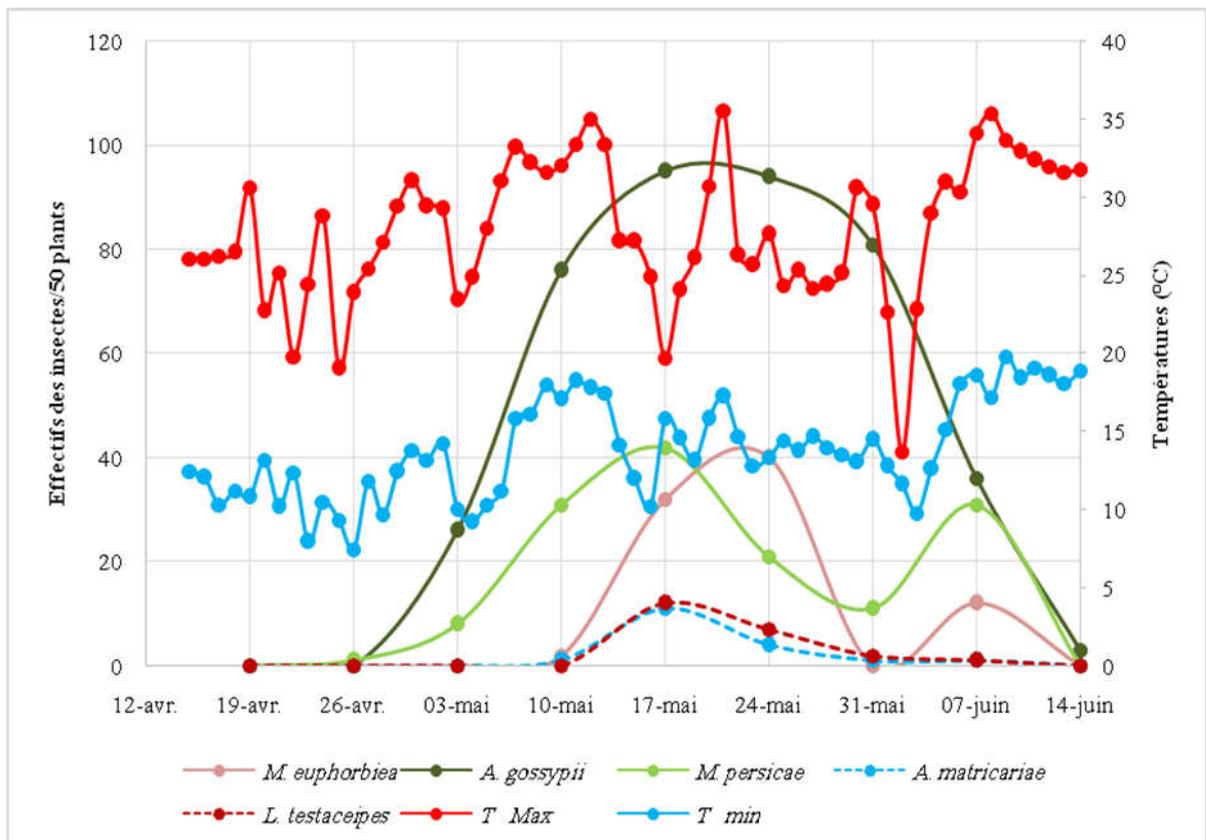


Figure 62: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Sayada (2014).

Pour le site Sayada (Commune d'Ain Oussara), la fig. 61 indique qu'*A. gossypii* et *M. persicae* se sont installées sur la culture dès fin avril, mais *M. euphorbiae* est arrivé avec un retard de deux semaines environ. Les infestations par les deux premières espèces ont coïncidé avec des températures maximales allant de 19 à 25°C et minimales de 8 à 14°C. C'est toujours *A. gossypii* qui est dominante en nombre. La présence en nombres limités des prédateurs en particulier *C. septempunctata* additionné à l'existence de momies (*A. matricariae* et *L. testaceipes*) (fig. 62) n'a pas influencé la progression des pucerons puisque ces derniers ont atteint des pics vers mi et fin mai. La température de 32°C enregistrée à la 3^{ème} semaine de ce mois a contribué à une diminution des effectifs des insectes conduisant à leur disparition progressive avec des températures dépassant 35° C vers la mi-juin.

C4. Site de Kheneg (2015)

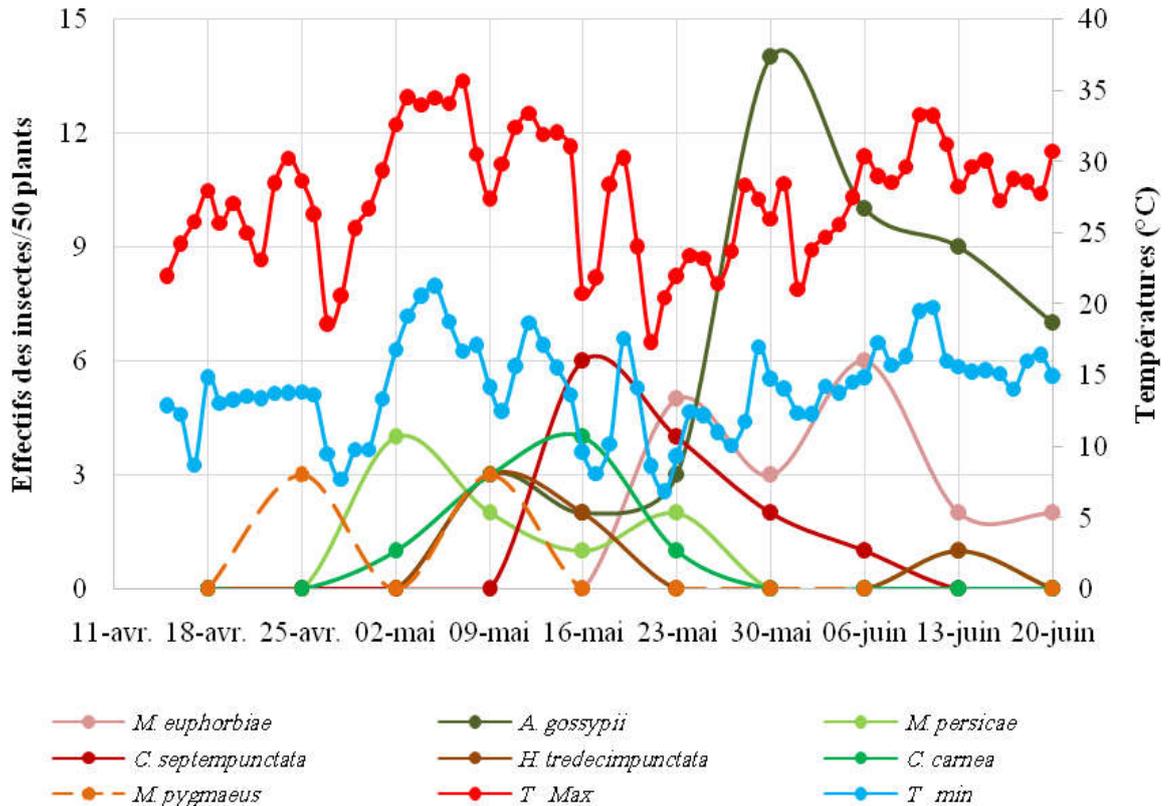


Figure 63: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Kheneg (2015).

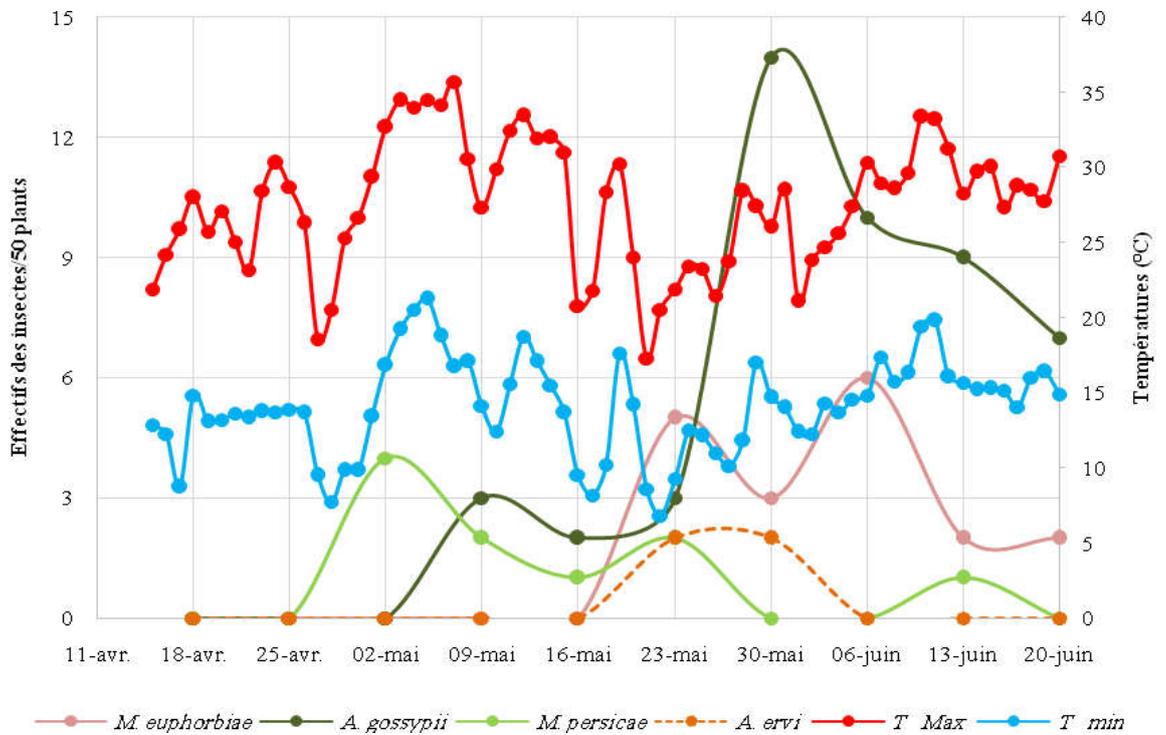


Figure 64: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Kheneg (2015).

En 2015, dans la Commune de Moudjbara, l'espèce *A. gossypii* est apparue en début de mai juste après *M. persicae* qui a été observée fin avril. Cette dernière a subi une baisse en nombre suite à une élévation brusque des températures (34-36°C) et l'augmentation du nombre des chrysopes (*C. carnea*) à la 1^{ère} semaine de mai. L'apparition de *C. septempunctata* en mi-mai, a également contribué à la baisse des populations des 2 pucerons (fig. 63). Les courbes d'évolution des populations des pucerons ont suivi la même allure sauf que pour *A. gossypii* la courbe est plus ascendante. *M. euphorbiae* est arrivé plus tard sur la parcelle (vers la mi-mai). En fin mai-début juin, d'autres ennemis naturels sont apparus (*H. variegata*, *H. tredecipunctata*, *F. auricularia* et *A. ervi*) (fig. 64), ils ont joué un rôle important dans la diminution des populations des pucerons. Cette diminution s'est accentuée avec des températures maximales élevées (32 à 34°C). L'extinction des infestations a été observée vers la fin du mois de juin.

C5. Site de Rous Layoun (2016)

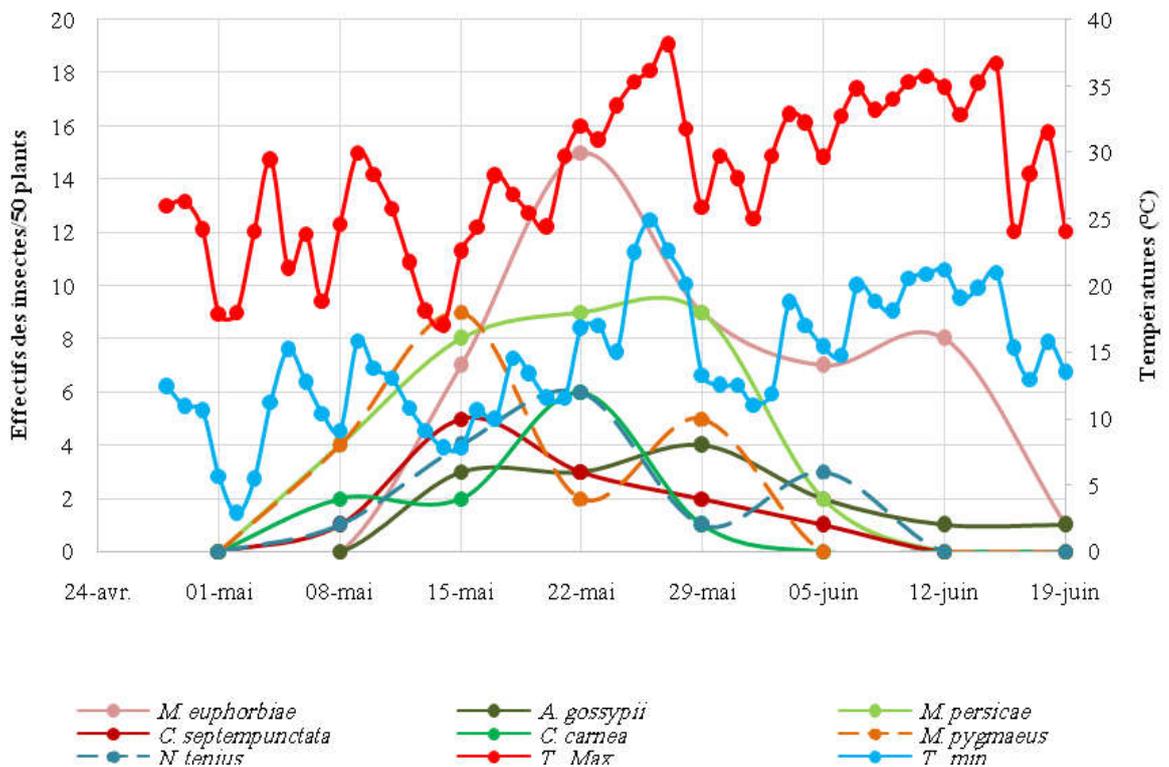


Figure 65: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Rous Layoun (2016).

En 2016, dans la zone de Rous Layoun (Commune de Djelfa), c'est l'espèce *M. euphorbiae* qui a dominé par rapport à *A. gossypii* et *M. persicae* qui ont apparue dans la 1^{ère} décennie de mai (fig. 65) avec des températures plus ou moins favorables à leur développement (Max = 22-30°C et Min = 9-16°C). Les espèces prédatrices *C. septempunctata*, *M. pygmaeus*, *N. tenius* et *C. carnea* sont les plus actives sur pucerons durant la période d'échantillonnage et qui ont fait baisser leurs nombre vers la fin mai en combinaison avec l'effet des températures

maximales très élevées (36-38°C). À partir de cette date, ces espèces ont laissé place (sauf *C. septempunctata*) à d'autres ennemis naturels comme *E. balteatus*, *F. auricularia* et *Nabidae* sp. Ces derniers, à des températures élevées (Max = 30-37°C ; Min = 20-22°C), ont participé à la disparition des pucerons ainsi que la plupart des auxiliaires entre la mi et la fin juin.

C6. Site de Dzaira 02 (2017)

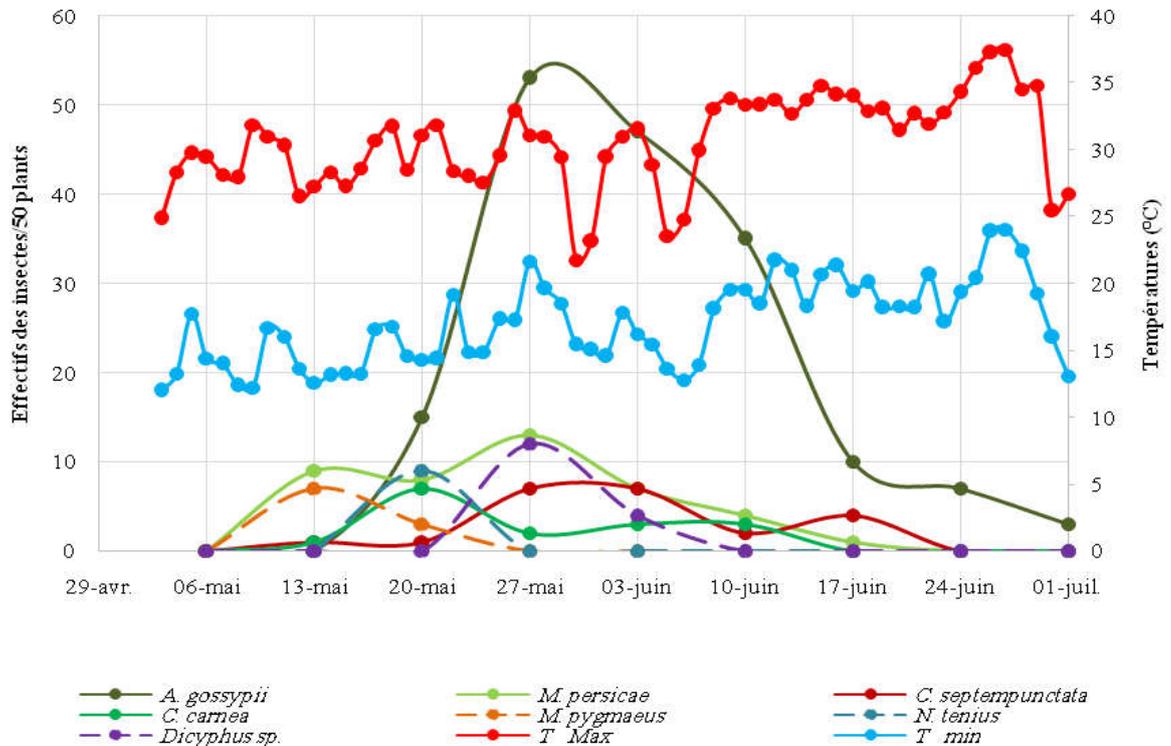


Figure 66: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Dzaira 02 (2017).

Dans le site Dzaira 02 (parcelles voisines), les espèces dominantes restent *A. gossypii* et *M. persicae*. Les attaques ont débuté vers la 2^{ème} décennie de mai avec une légère avance pour *M. persicae* (fig. 66). L'appariation des ennemis naturels dans site et leur évolution démographique ont suivi la même allure avec les espèces *N. tenius*, *M. pygmaeus*, *C. septempunctata* et *C. carnea*. Les deux pucerons ont atteint leur pic d'évolution vers la fin mai-début juin, mais l'effet du contrôle biologique par les espèces d'auxiliaires présentes a fait baisser progressivement les populations des pucerons. Cette baisse s'est faite accentuée par des températures maximales élevées (32-38°C) durant la dernière décennie de mai et qui a conduit à la disparition des pucerons à la fin du mois.

C7. Site de Rous Layoun (2017)

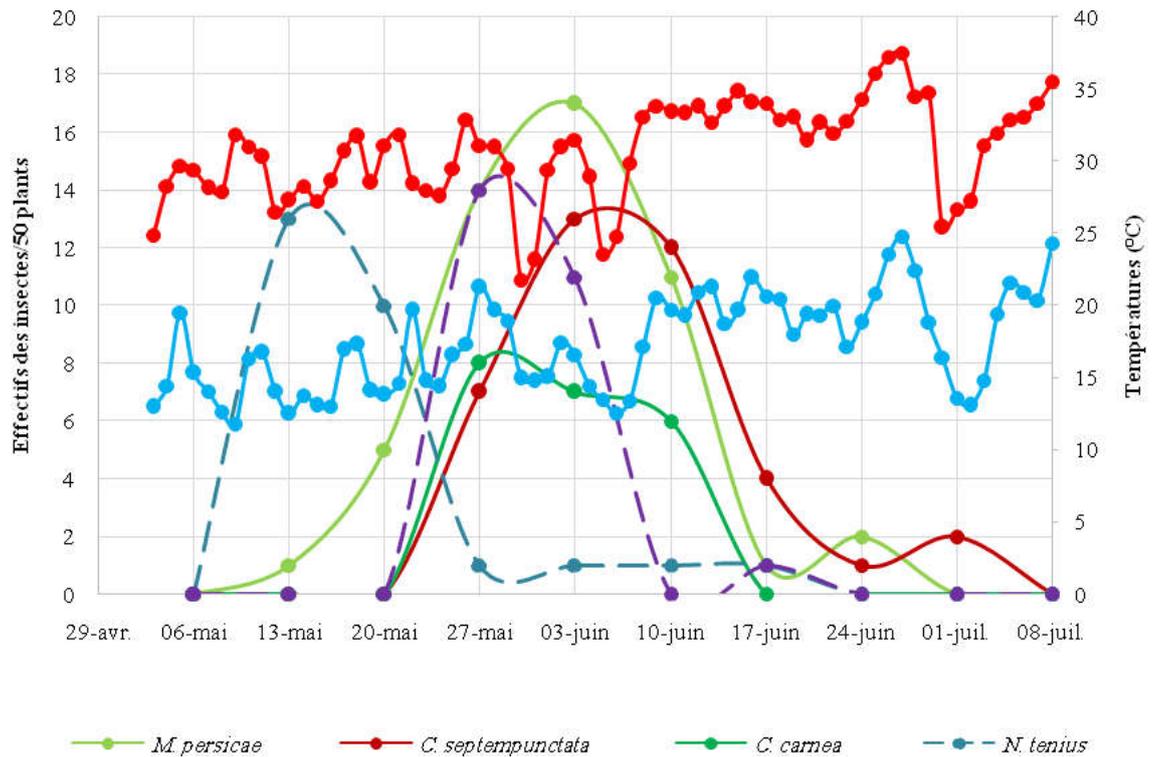


Figure 67: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Rous Layoun (2017).

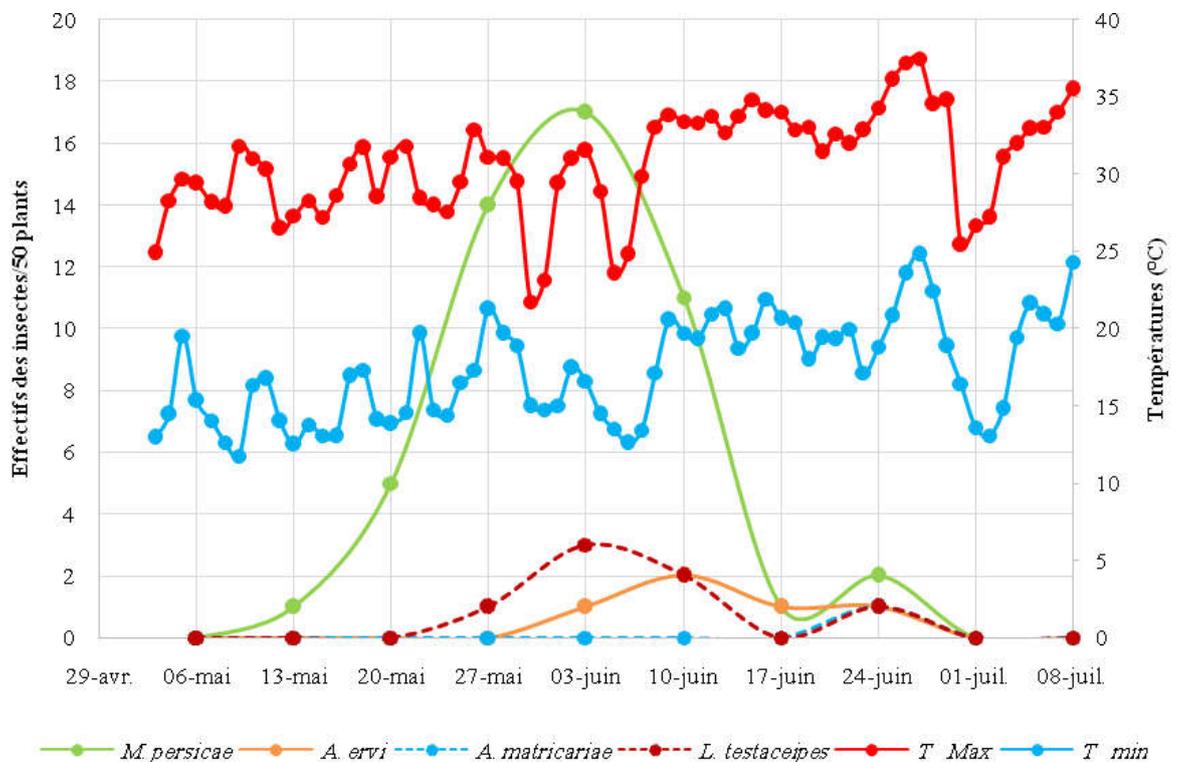


Figure 68: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Rous Layoun (2017).

Dans le site de Rous Layoun (2017), curieusement seule *M. persicae* a été rencontré (fig. 67) à partir de la mi-mai où les températures maximales ne dépassaient pas les 28°C. En 2016, cette espèce était moins importante dans ce même site. Dans la dernière quinzaine de mai, un cortège d'auxiliaires était présent (*N. tenius*, *Dicyphys* sp, *C. septempunctata*, *C. carnae* et *L. testaceipes*) mais cette combinaison d'espèces n'a pas joué un rôle significatif dans la réduction des populations de *M. persicae* (fig. 68) cela peut être expliqué par l'effet négatif d'une compétition intra-guilde que nous allons la vérifier dans la dernière partie de la thèse. Le puceron a atteint son maximum d'effectif au début juin pour chuter après que les températures maximales affichaient environ 33°C et l'apparition de l'espèce de forficule (*F. auricularia*). *M. persicae* a disparue à la fin juin où nous avons enregistré des chaleurs excessives qui variaient entre 34 et 37°C très défavorables à son développement.

C8. Site de Bichia (2017)

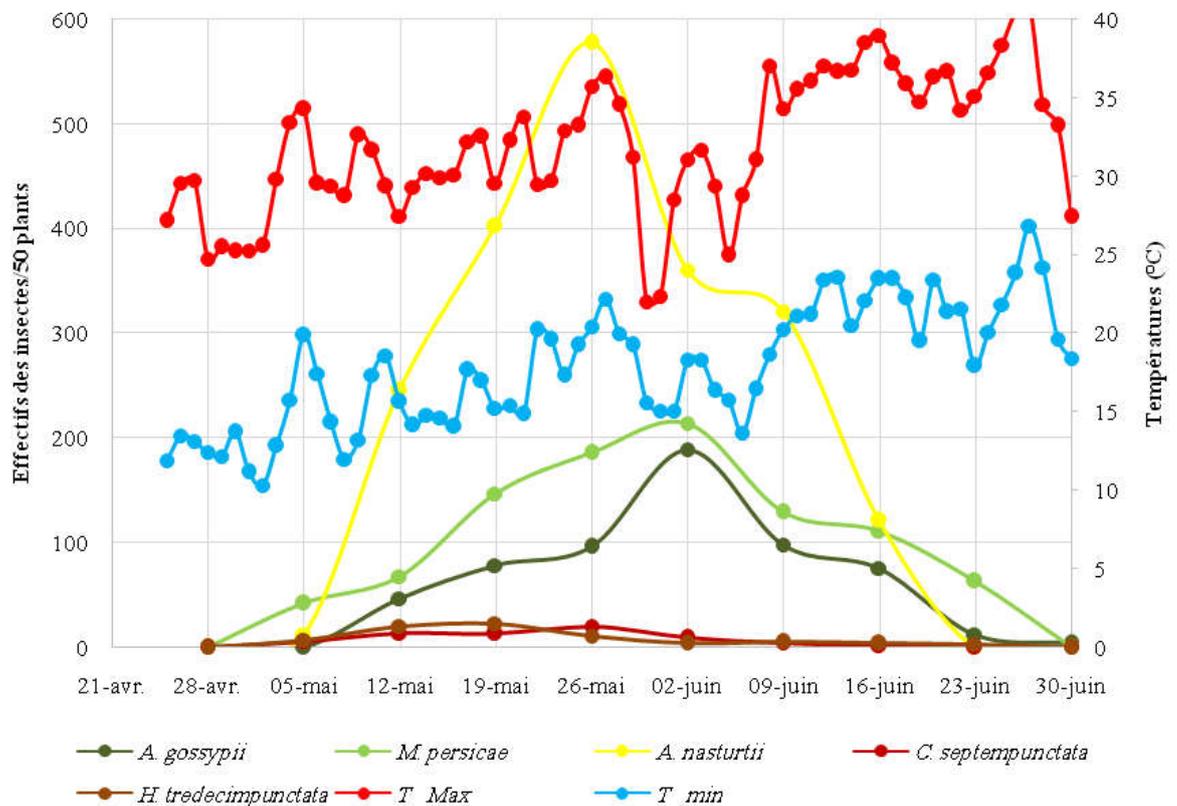


Figure 69: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs prédateurs récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Bichia (2017).

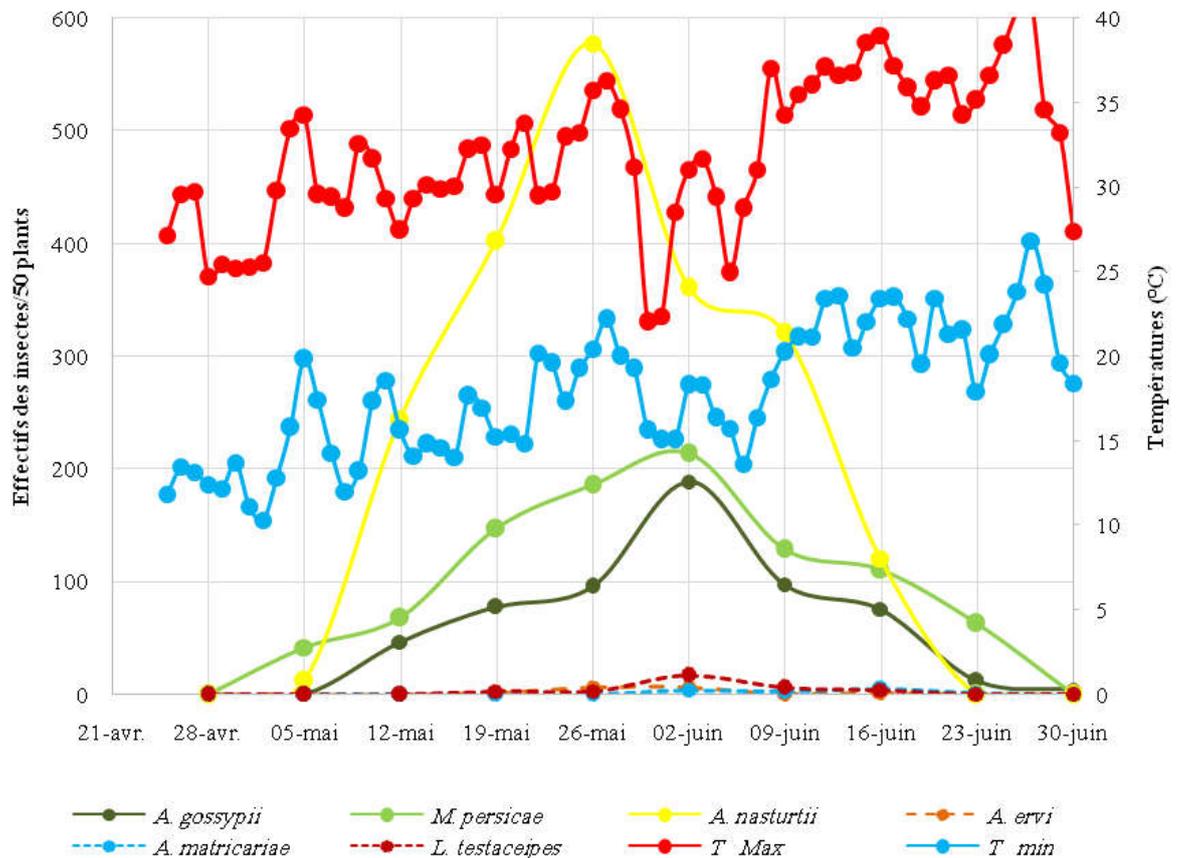


Figure 70: Fluctuations des effectifs des pucerons et de leurs parasitoïdes récoltés sur pomme de terre pendant la période d'échantillonnage à Bichia (2017).

Concernant le dernier site Bichia situé dans la Commune de Had Sahary, l'espèce *A. nasturtii* a été détectée pour la première fois au début de mai. Mais il y avait aussi d'autres attaques qui ont été enregistrées par *M. persicae* et *A. gossypii* (fig. 69), mais avec un effectif moins important résultant probablement par des températures élevées (Max = 29-34°C ; Min = 12-19°C). Notant que la présence des ennemis naturels a été très faible par rapport au nombre de pucerons ce qui laisse penser que leur effet de régulation était presque nul. On peut observer que le puceron *A. nasturtii* a continué sa progression sur la parcelle jusqu'à la fin mai où la température diurne a atteint plus de 36°C qui a réduit notablement le nombre de pucerons jusqu'à la fin de l'échantillonnage. Les deux autres pucerons ont pu atteindre le pic d'évolution démographique durant la première semaine de juin où les températures enregistrées étaient de : Max = 24-31°C et Min = 13-18°C. Ces chaleurs ont continué à augmenter (jusqu'à 40°C) à la fin de juin provoquant la disparition de tous les insectes (fig. 70).

Il nous semble nécessaire de considérer ces évaluations avec beaucoup de prudence lorsque les effectifs sont très réduits surtout à l'égard d'espèces mobiles.

Partie 03 : Partie expérimentale :

Expérimentations en laboratoires

Chapitre 01 : Suivi de la biologie des principales espèces de pucerons inventoriées dans la Wilaya de Djelfa

Chapitre 02 : Essais de lutte biologique contre les espèces de pucerons dominantes

Chapitre 03 : Interactions entre prédateurs et parasitoïdes de pucerons récoltés sur pomme de terre dans la Wilaya de Djelfa

Partie 03 : Partie expérimentale : Expérimentations en laboratoires

Chapitre 01: Suivi de la biologie des principales espèces de pucerons inventoriées dans la Wilaya de Djelfa

Trois paramètres biologiques des principales espèces de pucerons inventoriées sont étudiés. Il s'agit de :

- La durée de développement des différents stades larvaires (de la naissance du puceron à la fin du 4ème stade larvaire).
- La longévité totale (de la naissance du puceron jusqu'à sa mort naturelle).
- La fécondité exprimée par le nombre de descendants par virginipare aptère (VA).

III.1.1. Matériels et méthodes

III.1.1.1. Elevage des pucerons

Le suivi, en laboratoire, de la biologie des pucerons ainsi que les interactions entre ces derniers et leurs ennemis naturels nécessitent la production suffisante d'individus de tous les stades de développement.

La méthode d'élevage est décrite dans le chapitre précédent (fig. 71). Le végétal utilisé est la variété Désirée qui est couramment cultivée dans la région de Djelfa (D.S.A., 2013). L'infestation des plants se fait de façon régulière en vérifiant l'identité du puceron. Aucun traitement phytosanitaire n'a été appliqué.



Figure 71 : Cages d'élevage (photo originale, 2014).

III.1.1.2. Suivi de la biologie des pucerons

Les paramètres biologiques ont concerné les principales espèces inventoriées qui sont : *A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae*. Pour chaque espèce nous avons introduit une jeune VA dans une boîte de Pétri (9 cm de diamètre) dans laquelle nous avons déposé une feuille fraîche de pomme de terre sur un support (papier buvard) maintenu humide pour permettre au puceron de pondre dans de bonnes conditions. La boîte est munie d'un couvercle recouvert d'un tulle fin

pour assurer l'aération. Le végétal est régulièrement renouvelé pour garder sa bonne qualité. Cette méthode a été utilisée par Satar et *al.* (1999). Les pucerons issus de cet élevage sont transférés avec précaution vers d'autres boîtes pour le suivi de leurs paramètres biologiques. Le dénombrement des différents stades larvaires, permet de noter les nouvelles pontes et le passage d'un stade à un autre par l'observation des exuvies. Généralement les observations ont été réalisées 2 fois par jour, au milieu de la matinée et au milieu de l'après midi. Nous avons noté les traits biologiques suivants: la durée du passage d'un stade larvaire à un stade supérieur (durée de développement du stade), le nombre de nouvelles larves engendrées par VA pour le calcul de la fécondité; la mortalité naturelle des adultes a été enregistrée pour le calcul de la longévité.

Deux protocoles ont été utilisés: (5 VA par boîte et 1 VA par boîte).

III.1.1.2.1. Protocole 1 : 05 femelles par boîte

Les espèces testées sont *A. gossypii* (AG) et *M. euphorbiae* (ME). Dans chaque boîte de Pétri, nous avons déposé 05 VA de chacune des espèces. Un essai supplémentaire a été mené avec *A. gossypii* sur tomate dans le but de comparer ses traits biologiques en fonction de l'espèce végétale. Les essais ont été menés en conditions semi-contrôlées (fig. 72), avec une température réglée à $25\pm 1^\circ\text{C}$ par climatiseur; l'humidité relative était en moyenne de $44\pm 3\%$. La photopériode correspondait à un éclairage de 16 h par 24h.

Chaque paramètre étudié correspondait à la moyenne obtenue sur 5 femelles. Ce protocole a été réalisé en 2013 avec 16 répétitions pour l'espèce *A. gossypii* sur pomme de terre (AG) et avec 06 répétitions sur tomate (AGTo); pour *M. euphorbiae* sur pomme de terre (ME) le nombre de répétitions était de 6.

III.1.1.2.2. Protocole 2 : 01 femelle par boîte

Dans cet essai réalisé en 2014, il n'y avait qu'une seule femelle par boîte de Pétri sur feuille de pomme de terre (*var.* Désirée). Il y avait 10 répétitions pour *A. gossypii* (AG), 05 pour *M. euphorbiae* (ME14) et 06 pour *M. persicae* (MP). Les tests réalisés en 2016 avec 10 répétitions ont porté uniquement sur l'espèce *M. euphorbiae* (ME16) qui est l'espèce la plus abondante sur le terrain en 2016. Les boîtes ont été maintenues dans des conditions semi-contrôlées proches des précédentes ($T^\circ = 25\pm 1^\circ\text{C}$, HR= $45\pm 3\%$ et 16L/8D de photopériode).



Figure 72: Dispositif expérimental du suivi de la biologie des pucerons (photo originale, 2014).

III.1.2. Résultats

III.1.2.1. Protocole 1 (05 VA par boîte)

La figure 73, représente les différents stades d'*A. gossypii*.

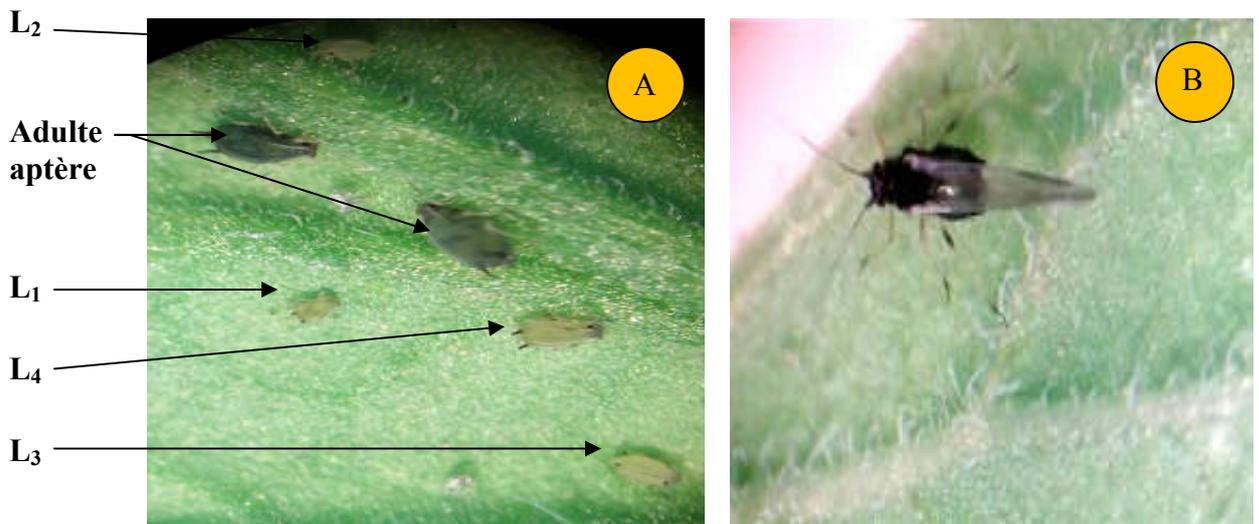


Figure 73 : A : Stades larvaires et adulte aptère d'*A. gossypii* ; B : adulte virginipare ailé (photo originale, 2013).

III.1.2.1.1. Durée moyenne de développement des stades larvaires

La durée du développement larvaire (L1, L2, L3 et L4) suivant le protocole 1 (5 VA par boîte de Pétri (5♀/Bt) est présentée dans la figure 74.

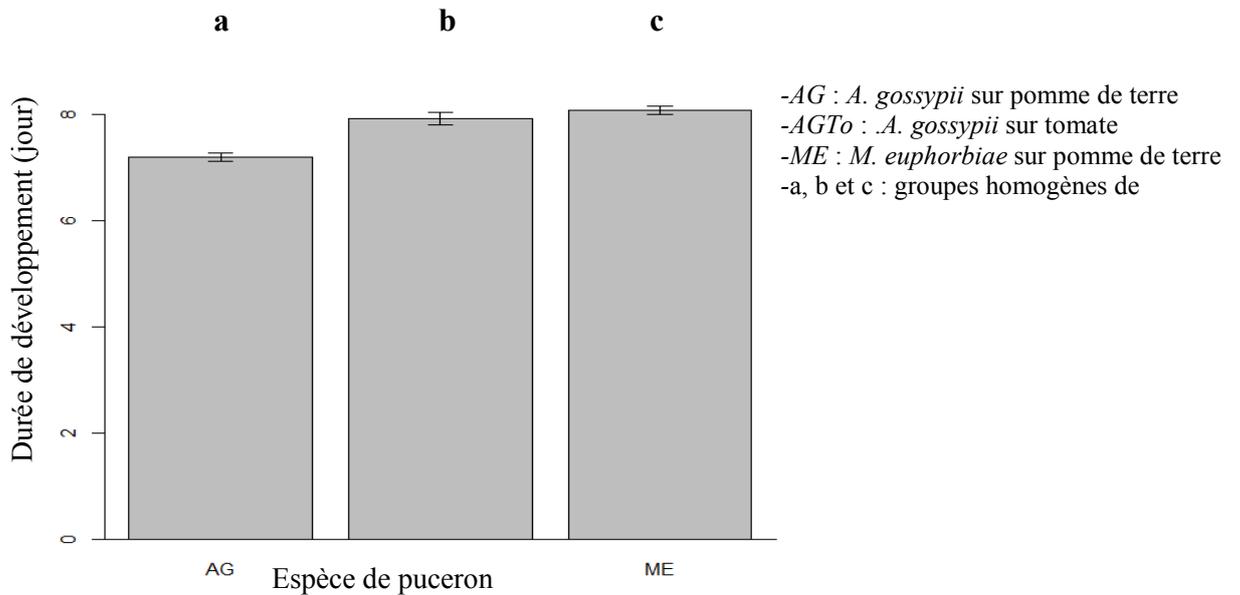


Figure 74 : Durée moyenne de développement (en jours) des stades larvaires (L1+L2+L3+L4) d'AG, AGTo et ME ; protocole 05♀/Bt.

Le développement larvaire (fig. 74) d'*A. gossypii* est moins long sur pomme de terre (7.19±0.33j) que sur tomate (7.91±0.30j). Il est très significativement plus court que celui de ME (8.08±0.17j) sur pomme de terre ; la durée larvaire dépend donc de l'espèce de puceron et sa plante hôte ($p \leq 0.001$).

III.1.2.1.2. Longévité totale

La longévité totale des individus d'AG et de ME sur pomme de terre et celle d'AGTo sur tomate est exprimée dans la figure 75.

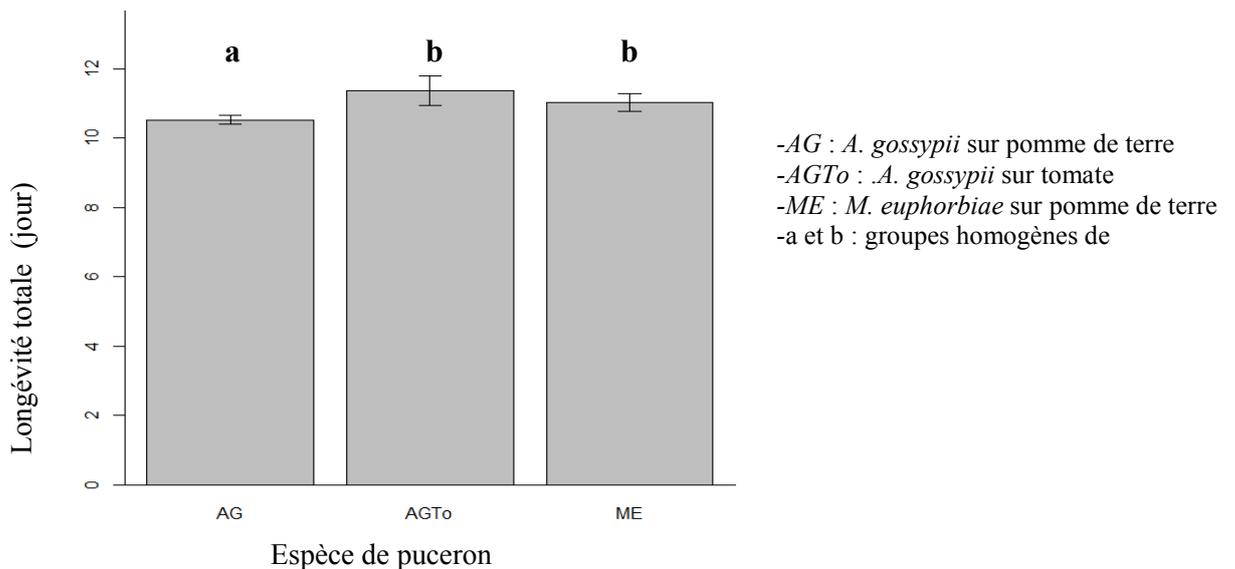


Figure 75 : Longévité moyenne (en jours) d'AG, AGTo et ME ; protocole 1 (05♀/Bt).

La longévité d'*A. gossypii* nourri sur tomate est significativement plus élevée que sur pomme de terre avec $11.35 \pm 1.05j$ mais elle reste équivalente à celle de *ME* ($11.03 \pm 1.05j$) élevé sur pomme de terre ($p \leq 0.01$) (fig. 75).

III.1.2.1.3. Fécondité totale

La fécondité moyenne dans le protocole 1 est illustrée dans l'histogramme (fig. 76)

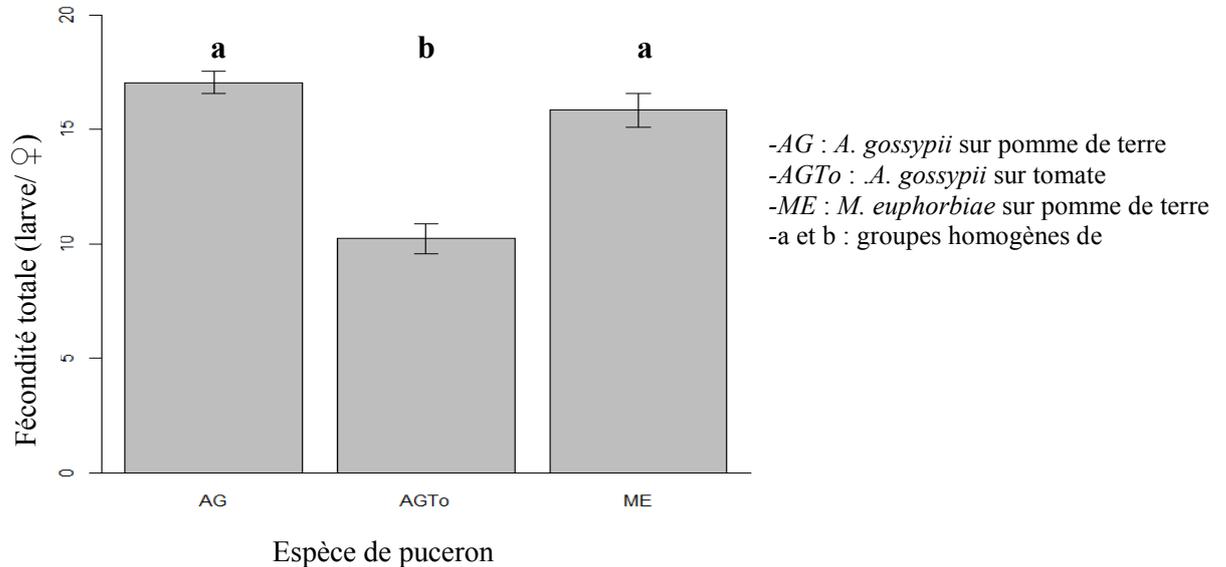


Figure 76 : Fécondité moyenne (larves/♀) d'AG, AGTo et ME protocole 1 (05♀/Bt).

La fécondité globale est la moins élevée pour *AGTo* avec seulement 10.22 ± 1.63 larves/♀ (fig. 76). Elle est de 17.05 ± 1.91 larves/♀ pour *AG* et de 15.83 ± 1.80 larves/♀ pour *ME*. Cette différence est hautement significative ($p \leq 0.001$) par rapport à la plante hôte. Sur la pomme de terre il n'y a aucune différence significative entre les espèces de puceron.

III.1.2.2. Protocole 2 (01 femelle par boîte)

III.1.2.2.1. Durée moyenne de développement des stades larvaires

Suivant le protocole 2; *A. gossypii* (*AG*), *M. euphorbiae* (*ME14*) et *M. persicae* (*MP*) sur pomme de terre (2014) et *M. euphorbiae* (*ME16*) sur la même culture en 2016, la durée de développement des stades larvaires (L1, L2, L3 et L4) est exprimé figure 77.

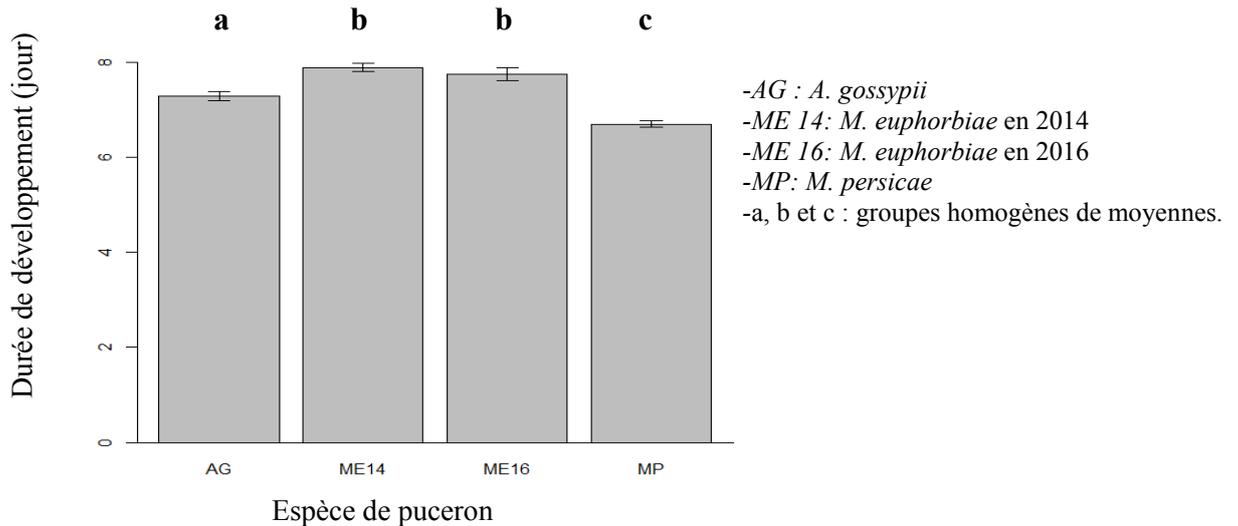


Figure 77 : Durée moyenne de développement (en jours) des stades larvaires (L1+L2+L3+L4) d'AG, ME14, ME16 et MP; protocole 2 (01♀/Bt).

La durée du développement larvaire totale (fig. 77), l'espèce MP est la plus courte ($6.71 \pm 0.18j$), et cette différence est très hautement significative ($p \leq 0.001$) par rapport à ME14 ($7.90 \pm 0.20j$), ME16 ($7.76 \pm 0.45j$) et AG ($7.29 \pm 0.29j$). Cette dernière, est moins longue ($p \leq 0.05$) que ME14 et ME16. C'est ME qui présente le développement larvaire le plus long quelque soit l'année.

La figure 78 montre une femelle aptère de *M. euphorbiae* entourée de jeunes larves sur feuille de pomme de terre.

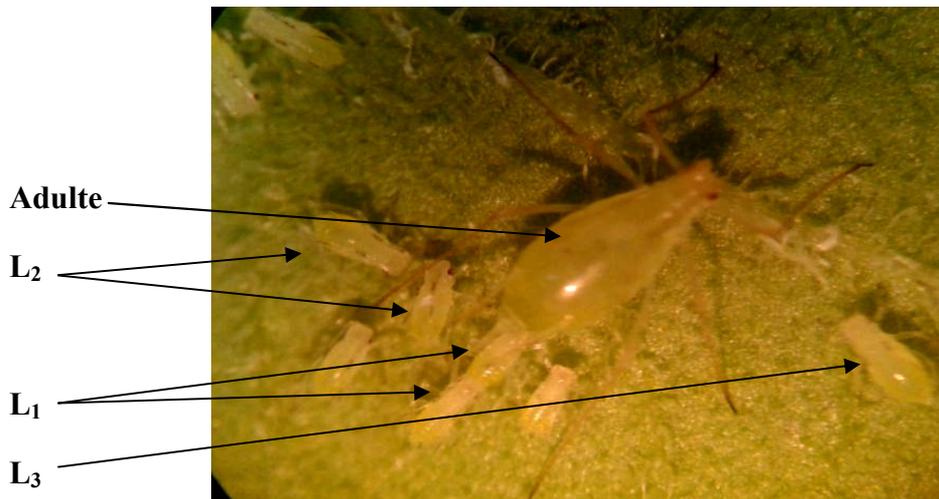


Figure 78 : Femelle aptère et larves de *M. euphorbiae* sur feuille de pomme de terre (photo originale, 2014).

III.1.2.2.2. Longévité totale

La longévité totale des trois espèces (*AG*), (*ME14*, *ME16*) et (*MP*) sur pomme de terre a donné les résultats visualisés sur la figure 79.

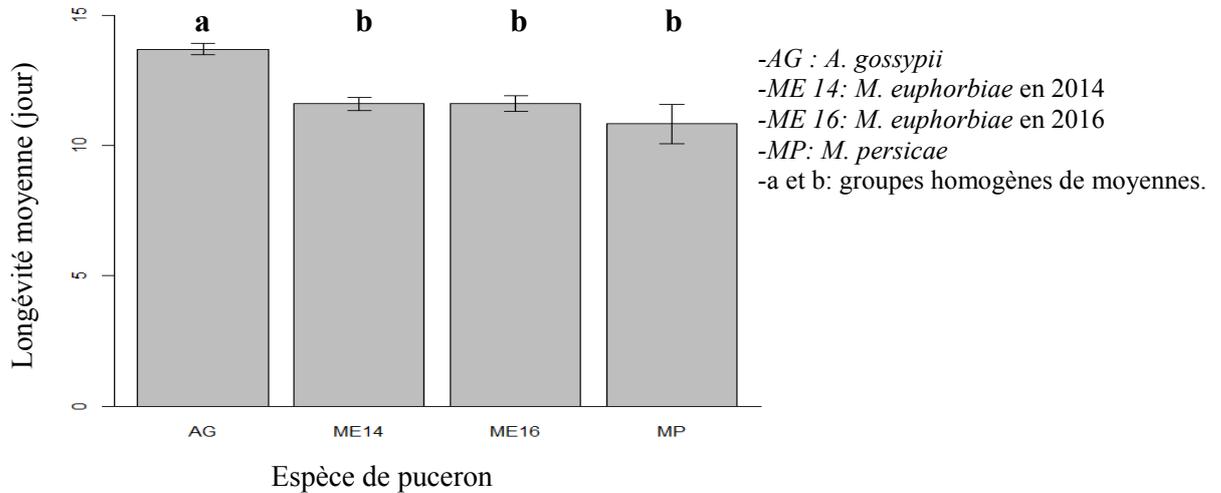


Figure 79 : Longévité moyenne (en jours) d'*AG*, *ME14*, *ME16* et *MP*; protocole 2 (01♀/Bt).

AG présente la plus grande longévité (13.70±0.67j) avec une différence hautement significative ($p \leq 0.01$) par rapport au groupe homogène (fig. 79) constitué de *MP* (10.83±0.83j), de *ME14* (11.60±0.55j) et de *ME16* (11.60±0.97j).

III.1.2.2.3. Fécondité totale

La fécondité moyenne des trois espèces *AG*, (*ME14*, *ME16*) et *MP* sur pomme de terre a permis de noter que c'est *MP* qui a la descendance la moins élevée avec 72 larves tandis que celle de *ME14* est la plus élevée avec 93 larves par VA. Cette différence est significative par rapport aux autres espèces. On note une petite différence pour *ME* entre années mais la moyenne des 2 années reste proche de celle d'*AG*. Il n'y a pas de différence significative entre *AG* et *ME16*.

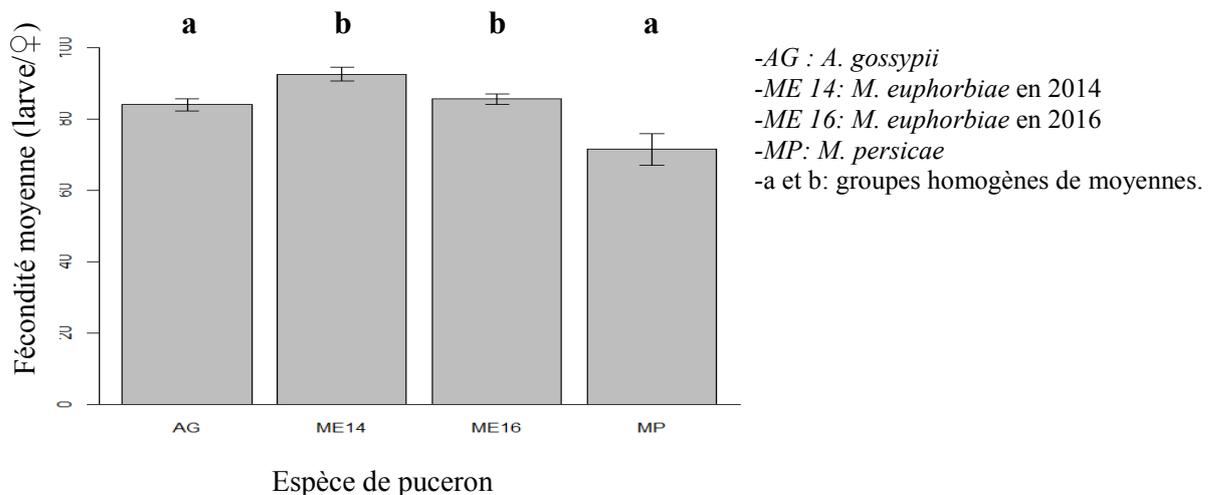


Figure 80 : Fécondité moyenne (larves/♀) des pucerons (*AG*, *ME14*, *ME16* et *MP*); protocole 01♀/Bt.

MP présente la fécondité la plus faible (71.50 ± 10.86 larve/♀), suivi par *AG* (84.50 ± 5.14 larves/♀). Statistiquement, cette différence est hautement significative ($p \leq 0.01$) par rapport à la fécondité de *ME* durant les deux années 2014 et 2016 (fig. 80) avec respectivement 92.60 ± 4.22 larve/♀ et 85.60 ± 4.93 larve/♀. Les deux jeux de données (*ME2014* et *ME2016*) peuvent être regroupés pour cette variable.

Les données précédentes sont regroupées dans le tableau 40 ci- dessous.

Tableau 18 : Résultats globaux de la durée de développement des larves, la longévité et la fécondité des femelles des 03 espèces *A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae* sous les 02 protocoles 05♀/Bt et 01♀/Bt:

Protocole	Espèce de puceron	Durée de développement des stades larvaires (jour)					Longévité totale (jour)	Fécondité totale (larve/♀)
		L1	L2	L3	L4	Total		
05♀/Bt	<i>AG</i>	1.39±0.18 a	1.40±0.14j a	1.74±0.20 a	2.66±0.22	7.19±0.33 a	10.51±0.51 a	17.05±1.91 a
	<i>AGTo</i>	1.55±0.10 b	1.56±0.10 b	2.16±0.23 b	2.64±0.11	7.91±0.30 b	11.35±1.05 b	10.22±1.63 b
	<i>ME</i>	1.84±0.12 c	1.57±0.08 c	2.14±0.08 b	2.52±0.10	8.08±0.17 c	11.03±0.60 b	15.83±1.80 a
01♀/Bt	<i>AG</i>	1.21±0.05 a	1.64±0.08 a	2.00±0.12 ab	2.45±0.18 a	7.29±0.29 a	13.70±0.67 a	84.50±5.14 a
	<i>ME14</i>	1.37±0.05 b	1.81±0.10 b	2.16±0.10 b	2.56±0.16 a	7.90±0.20 b	11.60±0.55 b	92.60±4.22 b
	<i>ME16</i>	1.41±0.11 b	1.86±0.09 b	2.15±0.22 b	2.34±0.27 a	7.76±0.45 b	11.60±0.97 b	85.60±4.93 b
	<i>MP</i>	1.23±0.11 a	1.69±0.19 a	1.86±0.11 b	1.93±0.10 b	6.71±0.18 c	10.83±0.83 b	71.50±10.86 a

a, b, ab et c: groupes homogènes de moyennes

La durée moyenne de développement (DMD) du premier stade larvaire L1 (annexe 05) de *A. gossypii* est plus longue lorsqu'il se nourrit sur tomate (1.55 ± 0.10 j) par rapport à la pomme de terre (1.39 ± 0.18 j), statistiquement le facteur plante hôte influence significativement la durée du développement ($p \leq 0.05$). Pour le facteur espèce de puceron on observe une différence hautement significative ($p \leq 0.001$), qui montre que *ME* met plus longtemps à passer du stade L1 au stade L2 (1.84 ± 0.12 j). La DMD du stade L2 d'*A. gossypii* (annexe 06) est plus courte lorsque celui-ci se nourrit sur pomme de terre (1.40 ± 0.14 j). Elle est également plus courte que celle de *ME* nourri sur la même plante (1.57 ± 0.08 j). La durée de développement varie avec l'espèce de puceron ($p \leq 0.01$) et également en fonction de la plante hôte ($p \leq 0.05$). La DMD du stade L3 (annexe 07) est plus courte pour *AG* lorsqu'il se nourrit sur pomme de terre (1.74 ± 0.20 j) par rapport à la tomate (2.16 ± 0.23 j) et *ME* (2.14 ± 0.08 j). La différence par rapport à l'espèce de puceron et à la

plante hôte est très hautement significative ($p \leq 0.001$). Mais il n'est pas noté de différence significative concernant la durée du dernier stade (L4) (annexe 08) quelque soit l'espèce de puceron et quelque soit la plante hôte nourricière ($p = 0.308$).

La DMD du stade L1 est plus longue pour l'espèce *ME14* et *ME16* avec respectivement $1.37 \pm 0.05j$ et $1.41 \pm 0.11j$ par rapport à *AG* ($1.21 \pm 0.05j$) et *MP* ($1.23 \pm 0.11j$). Cette différence est hautement significatives ($p \leq 0.001$). La comparaison des moyennes des DMD a fait ressortir 02 groupes homogènes (annexe 12). Pour le stade L2, deux autres groupes sont bien distincts (annexe 13), le premier contient les deux modalités *ME14* et *ME16*, avec respectivement $1.81 \pm 0.10j$ et $1.86 \pm 0.09j$. La différence est significative ($p \leq 0.01$) avec le groupe contenant les espèces *AG* et *MP* qui ont des durées de développement similaires soit respectivement $1.64j$ et $1.69j$. La DMD du L3 pour les deux modalités *ME14* et *ME16* est la même (annexe 14) avec respectivement $2.16j$ et $2.15j$. Elle est significativement plus longue que pour *MP* ($1.86 \pm 0.11j$) ($p \leq 0.05$). Pour *AG*, elle est de $2.00j$) sans différence significative avec les deux précédentes. Pour l'espèce *MP* on note une DMD de $1.93j$ pour le 4ème stade larvaire, qui est significativement plus courte ($p \leq 0.05$) par rapport aux autres espèces qui représentent un groupe homogène (annexe 15) (*AG* ($2.45 \pm 0.18j$), *ME14* ($2.56 \pm 0.16j$) et *ME16* ($2.34 \pm 0.27j$)).

III.1.3. Discussions

Pour le protocole 1 (05♀/Bt), le développement des 3 premiers stades (L1, L2 et L3) est plus court chez *AG* sur pomme de terre, par contre, aucune différence significative n'est observée pour le stade L4 chez les 03 espèces. La durée de développement total (DMDT) d'*AG* reste la moins longue avec $7.19 \pm 0.33j$. Elle est légèrement supérieure ($7.91 \pm 0.30j$) lorsque cette espèce se nourrit de tomate soit peu différente de celle de *ME* qui est de $8.08 \pm 0.17j$. Ces différences même faibles expliquent pourquoi *A. gossypii* surtout que sa fécondité est plus élevée se distingue des autres espèces sur la pomme de terre en bâtissant une population nettement plus élevée sur tous les sites expérimentaux

Concernant le protocole 2 (01♀/Bt), la DMD des stades L1, L2 et L3 des espèces *AG* et *MP* est également plus courte que celle de *ME14* et *ME16*. La DMPT de *MP* est inférieure à 7 jours (6.71 ± 0.18), celle de *AG* est légèrement supérieure ($7.29 \pm 0.29j$), tandis que celle de *ME* est globalement identique pour les années 2014 et 2016 ($7.76 \pm 0.45j$) et de *ME14* ($7.90 \pm 0.20j$).

La longévité des 03 espèces *AG*, *ME* (*ME14* + *ME16*) et *MP* sont respectivement : $13.70 \pm 0.67j$, $11.60j$ et $10.83 \pm 0.83j$. Même si la fécondité d'*AG* n'est pas la plus élevée, le fait que sa durée de développement soit plus courte et sa longévité plus élevée explique bien sa dominance sur le terrain.

Si on compare les résultats selon les deux protocoles 1 et 2 on ne constate pas de différence dans la DMDT entre *AG* et *ME*. La longévité totale d'*AG* est nettement réduite quand il y a plus d'individus dans la boîte, cela est sans doute dû à la qualité de la nourriture. Cependant pour *ME*, le paramètre n'est pas affecté par le nombre de VA dans la boîte.

Dans le protocole 1, la fécondité est réduite chez les 03 espèces de pucerons par rapport au protocole 2 en raison d'une compétition pour la nourriture et aussi l'espace. D'après Begon et al. (1986) cité par Goubault, (2003), une compétition peut conduire à la réduction du taux de survie, du taux de croissance et/ou du taux de reproduction des individus en compétition.

Les paramètres biologiques d'*A. gossypii*

En ce qui concerne *A. gossypii* qui est dominant sur nos parcelles il existe dans la littérature des résultats variés sur son potentiel biotique en fonction de la plante hôte pour une température équivalente (25°C) ; par exemple alors que son développement sur pomme de terre est de 7,19 jours (dans notre étude), sur concombre, il s'accomplit en seulement 4,5 jours (Guenaoui, 1988) ; il en est de même sur poivron (Rochat, 1997) alors que sur cette même espèce végétale Dahliz (2009) a signalé une durée plus longue (5,7 jours). C'est aussi cette dernière valeur qui a été obtenue sur cotonnier par Kersting et al. (1999). Sur 3 espèces de malvacées (mauve, gombo et cotonnier), le développement a varié entre 5,5 et 6 jours (Satar et al., 1999). Sur plusieurs cultivars de cotonnier le développement était équivalent soit en moyenne 5,35 jours (Correa et al., 2013). Le développement est plus long (8,5 jours) sur le plantain (Plantaginacées) à une température de 22,65°C et une humidité relative de 52.58% selon Patil et Patel, (2013). Aït Chabane (1991) et Kolaï (2001), ont constaté des durées de développement proches à 28°C sur poivron. La variabilité des données dépend donc de l'espèce du végétal, du cultivar utilisé et des autres facteurs du milieu comme l'humidité relative qui est moins élevée dans notre expérimentation.

La longévité d'*A. gossypii*

La longévité sur le coton à 25°C et à une humidité relative de 65±10, est de 23.1±1.34j (Kersting et al., 1999). Elle est d'environ 15j sur plantain (Patil et Patel, 2013) et de 22,82j en élevant *A. gossypii* sur trois cultivars de cotonnier à T°=25±1°C et HR=70±10% (Correa et al., 2013). Elle est de 15.8j sur piment et 18.4j sur poivron Dahliz (2009).

La fécondité d'*A. gossypii* peut aussi varier en fonction de la plante pour la même température mais parfois cette différence n'est pas très grande en fonction de la plante ; ainsi on peut noter qu'elle est de 55,8 individus par VA sur concombre (Guenaoui, 1988), de 46.5 larves sur plantain (Patil et Patel, 2013), de 52,6 descendants sur poivron (Rochat, 1997), de 60 larves sur piment (Dahliz, 2009) et de 62 larves sur cotonnier (Correa et al., 2013). Il faut souligner que ces familles botaniques sont toujours favorables à *A. gossypii*.

Les paramètres biologiques *M. euphorbiae*

La durée de développement

Nos résultats pour cette espèce indiquent une durée de développement en moyenne entre 7,8 jours pour les deux années. En effet on note que pour 2014 et 2016 le développement était respectivement de 7,76 j et de 7,90 j. De Conti et *al.* (2011), ont noté chez cette même espèce une durée de développement de 7 jours lorsque le puceron est élevé sur laitue pour une HR de 70% et une photopériode réduite à 12 h d'éclairement. Le développement larvaire de cette espèce est jugé plus long par Capinera (2008) qui fait un constat atypique puisqu'il considère que le nombre de stades larvaires n'est pas de 4 comme c'est souvent le cas dans les travaux publiés mais il est de 5. Pour lui il existe un 5ème stade qui peut durer 1,5 jour ce qui porte le développement total à 10 jours. Ces variations sont liées à la plante hôte et également aux autres facteurs abiotiques qui ne sont jamais les mêmes.

La longévité

Le même auteur indique une longévité de 20 jours pour l'adulte ce qui correspondrait à une longévité totale (depuis la naissance) de 30 jours et une fécondité variant entre 50 et 80 larves par VA. Ces valeurs sont à prendre avec précaution. Selon De Conti et *al.* (2010), la longévité est inversement proportionnelle à la température puisqu'à 16°C, elle atteint presque un mois (29 j) et qu'à 25°C, la durée de vie se réduit à 17 jours.

Pour la fécondité, on constate qu'elle est plus élevée à 16°C (80 larves/VA) mais qu'à 28°C, elle est inférieure à 15 larves/VA (De Conti et *al.*, 2010).

Pour *M. persicae*

La durée de développement du stade larvaire de *M. persicae* est égale à 6.71 ± 0.18 j dans notre étude. Elle est supérieure à celle donnée par Filho et *al.* (2005), qui ont enregistré par stade les durées suivantes: $L1=1.60 \pm 0.14$ j, $L2=1.28 \pm 0.12$ j, $L3=1.31 \pm 0.08$ j et $L4=1.59 \pm 0.12$ j avec une durée totale de 6 jours (5.89 ± 0.16 j) sur aubergine dans les conditions suivantes : $T^{\circ}=25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, $HR=70 \pm 10\%$ et 12h de photopériode. Cividanes et Souza (2003) ont enregistré les durées suivantes : $L1=3.40 \pm 0.40$ j, $L2=1.3 \pm 0.33$ j, $L3=1.1 \pm 0.32$ j et $L4=1.7 \pm 0.36$ j avec un total de 7.5 j sur le chou commun dans les mêmes conditions mais avec une photopériode de 14h ce qui suppose que c'est la plante hôte qui fait la différence. D'après Ouadah (2009), les durées des stades larvaires de *M. persicae* sont : $L1=1.77 \pm 0.53$ j, $L2=1.55 \pm 0.5$ j, $L3=1.5 \pm 0.55$ j et $L4=1.47 \pm 0.55$ j avec une durée totale d'environ 6.3 j sur poivron à $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

La longévité

D'après nos résultats la longévité des femelles de *M. persicae* est proche de 11 jours (10.83 ± 0.83 j). Cividanes et Souza (2003) une valeur proche de 19 jours (18.7 ± 1.84 j) sur chou commun. Le Guigo (2011), a réalisé des tests sur la même espèce sur différentes Brassicacées

cultivées et sauvages (*Brassica napus* L., *B. oleracea* L., *B. nigra* L. et *Sinapis arvensis* L.) à $T^{\circ}=18\pm 1C$, 70% de HR et 16h de lumière. Il a enregistré une longévité qui varie entre 22 et 24 jours selon l'espèce plante hôte. Ouadah (2009) a noté plus de 28 jours sur poivron.

La fécondité

Sur pomme de terre, la fécondité de *M. persicae* est de 71.50 ± 10.86 larve/♀ (dans notre étude). Le Guigo (2011), Ouadah (2009) et Cividanes et Souza (2003) ont enregistré à 70% de HR une fécondité plus réduite avec 52 larves/♀, 47.5 larves/♀ et moins de 31 larves/♀ respectivement.

Conclusion partielle

En conclusion du suivi des paramètres biologiques des 3 espèces de pucerons (*A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae*), il existe plusieurs facteurs qui les influencent comme la température, la plante hôte et l'humidité relative. La durée de développement, la longévité et la fécondité sont inversement proportionnelles à la température. Pour l'humidité relative qui est faible dans notre région d'étude, elle peut être déterminante dans l'importance des infestations de la culture de pomme de terre. Une augmentation des population du puceron *Lipaphis erysimi* Kalt est favorisée par un minimum d'humidité relative variant de 30 à 35% et un maximum de 85 à 88% (Narjary et al., 2013) à condition que les autres facteurs ne soient pas limitant. La fécondité de *Rhopalosiphum padi* devient plus importante à une humidité relative plus faible (35%) qu'à une humidité plus élevée (55%) Selon Leather (1985). En Europe centrale, une humidité relative de plus de 70% limite le nombre de pucerons capturés des deux espèces *Rhopalosiphum padi* et *Sitobion avenae* (Klüeken et al., 2009).

Chapitre 02 : Essais de lutte biologique contre les espèces de pucerons dominantes

Introduction

L'objectif de ce chapitre a consisté à évaluer les potentialités de certains auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) vis-à-vis des pucerons dominants élevés sur pomme de terre dans des conditions proches du milieu semi-aride. Deux modes d'interactions entre ravageurs et auxiliaires ont été étudiés : la prédation, avec une estimation de la capacité prédatrice de plusieurs espèces (coccinelles, punaises et chrysope) selon différents protocoles expérimentaux et le parasitisme, en utilisant les deux espèces d'hyménoptères parasitoïdes dominantes. Une partie de ce travail a fait l'objet d'un article publié en 2019 sous le titre « Regulatory potential of parasitoids over *Aphis gossypii* Glover, 1877 populations (Hemiptera: Aphididae) under semi-arid laboratory conditions ».

III.2.1. Matériels et méthodes

III.2.1.1. Essais de prédation par les punaises et les coccinelles

Les proies sont : *Aphis gossypii* et *Myzus persicae*. Les prédateurs utilisés sont : *Macrolophus pygmaeus*, *Nesidiocoris tenuis*, *Coccinella septempunctata*, *C. undecimpunctata* et *Hippodamia tredecimpunctata*. Des ajustements de ratios entre proies et prédateurs ont parfois été nécessaires. Nous avons travaillé selon plusieurs protocoles en utilisant un nombre déterminé de proies d'une espèce de pucerons offerts aux différentes espèces prédatrices. Solomon (1964) a défini le concept de réponse fonctionnelle d'un prédateur comme le taux de consommation de proies (c.-à-d. le nombre de proies consommées par unité de temps) en fonction de la densité des proies.

III.2.1.1.1. Protocole de 25 proies /24h :

Punaises : *M. pygmaeus* et *N. tenuis* vis-à-vis de *M. persicae*

Cette méthode est inspirée des travaux réalisés par Perdakis et *al.* (1999) et Urbaneja et *al.* (2008). Elle consiste à isoler individuellement plusieurs adultes de chacune des espèces *M. pygmaeus* (*MaPy*) et *N. tenuis* (*NT*) dans des boîtes de Pétri (9cm de Ø). Ces punaises sont utilisées après 24h de jeûne. Chaque espèce prédatrice a été introduite individuellement dans une autre boîte de Pétri (9cm de Ø) contenant 25 VA de *M. persicae* (*MP*). Les boîtes sont équipées d'un système d'aération qui empêche aussi la fuite des insectes. Les pucerons sont déposés sur une feuille fraîche de pomme de terre (*var.* Désirée) qui repose sur un support humide (papier buvard) pour garder au mieux sa turgescence. 24h après, on procède au retrait des prédateurs en notant le nombre de proies consommées. La prédation des pucerons par les punaises a été notée

en quatre observations par 24 h à des heures régulières généralement (10h, 13h, 16h et enfin 10h le jour suivant). Les pucerons consommés présentent un aspect desséché, du fait qu'ils sont vidés de l'hémolymphe (Brambila et Hodges, 2008). Le test s'est déroulé dans les conditions semi-contrôlées suivantes : $T^{\circ}= 25,16\pm 0,3C^{\circ}$; $HR= 44,84\pm 0,45\%$ et 16h de photopériode. 10 répétitions ont été réalisées pour chacune des espèces de punaise prédatrice.

III.2.1.1.2. Protocole de 40 proies/24h :

Coccinelles : *C. septempunctata* et *C. undecimpunctata*

Pucerons : *A. gossypii* et *M. persicae*

Nous avons appliqué la même méthode décrite précédemment avec 03 dispositifs différents

- a. Un (01) adulte de *C. septempunctata* avec 40 VA d'*A. gossypii* (C7AG) avec n=25 répétitions
- b. Un (01) adulte de *C. undecimpunctata* avec 40 VA d'*A. gossypii* (C11AG) ; n=10
- c. Un (01) adulte de *C. septempunctata* avec 40 VA de *M. persicae* (C7MP) ; n=10

Les conditions semi-contrôlées: $T^{\circ}= 25\pm 1C^{\circ}$, $HR= 38,7\pm 7\%$ et 16h de photopériode.

III.2.1.1.3. Protocole de 60 proies/24h :

Coccinelles : *C. septempunctata* et *H. tredecimpunctata*

Pucerons : *A. gossypii* et de *M. persicae*

Ce test comporte les 03 dispositifs suivants :

- a. Un (01) adulte de *C. septempunctata* avec 60 adultes aptères d'*A. gossypii* (C7AG) ; n= 25
- b. Un (01) adulte de *H. tredecimpunctata* avec 60 adultes aptères d'*A. gossypii* (C13AG) ; n= 20
- c. Un (01) adulte de *H. tredecimpunctata* avec 60 adultes aptères de *M. persicae* (C13MP); n=10

A chaque observation, nous avons compté le nombre de pucerons non consommés. Les tests ont été conduits sous les conditions semi-contrôlées suivantes : $T^{\circ}= 24,82\pm 0,62C$; $HR=40,92\pm 3,52\%$ et 16h de photopériode.

III.2.1.2. Prédation par la chrysope *Chrysoperla carnea*

La prédation de *C. carnea* a été testée sur les 3 espèces de pucerons : *A. gossypii* (AG), *M. euphorbiae* (ME) et *M. persicae* (MP) avec deux protocoles :

- Une (01) larve néonate de *C. carnea* a été mise en présence de 40 pucerons de chacune des trois espèces (AG, ME et MP), et on ajoute 40 pucerons par jour [40p/j] jusqu'à la fin du stade larvaire du prédateur.
- Une (01) larve néonate de *C. carnea*. On offre 40 proies d'AG le premier jour avec un supplément de 10 proies chaque jour [(40p+10)/j] jusqu'à la fin du stade larvaire du prédateur.

La capacité de prédation des larves de *C. carnea* a été calculée sur toute la période larvaire. (Henry et al., 2002 ; Thierry et al., 2002).

Le dénombrement des proies consommées a été effectué quotidiennement à heures régulières. Après chaque observation on rajoute 40 pucerons de chaque espèce en éliminant les pucerons non consommés le jour précédent. La capacité de prédation totale (CPT) de *C. carnea* est établie quand les larves arrêtent de s'alimenter ce qui indique la fin du développement larvaire avant d'entrer dans la phase nymphale et la formation du cocon (Henry et al., 2002).

Dix répétitions ont été réalisées pour chaque espèce aphidienne dans les conditions expérimentales suivantes : $T^{\circ} = 25,25 \pm 0,5C^{\circ}$, $HR = 43,46 \pm 2,37\%$ et 16h de photopériode.

III.2.1.3. Essai de succès parasitaire sur *A. gossypii* par 2 espèces parasitoïdes (Braconidae)

La prédominance de l'espèce *A. gossypii* dans les sites prospectés a déterminé notre choix pour évaluer l'efficacité parasitaire de deux espèces *Lysiphlebus testaceipes* et *Aphidius matricariae* qui parasitent spontanément ce puceron surtout que ces 02 parasitoïdes sont dominantes dans la sous famille Aphidiinae. Plusieurs travaux concernant les 2 espèces parasitoïdes et *A.gossypii* ont été réalisés à travers le monde (Rodrigues et Bueno, 2001 ; Stary et al., 2004 ; Zamani et al., 2006 ; Talebi et al., 2006 ; Zamani et al., 2007 ; Zamani et al., 2012 ; Mitrovic et al., 2013). En Algérie, dans l'Est, *L. testaceipes* a été signalé sur *A. gossypii* par Laamari et al. (2011) et par Chaouche et Laamari (2015). Dans la même région *A. matricariae* a été trouvé également sur *A. gossypii* (Chaouche et Laamari 2015).

Matériels et méthodes

Pour évaluer le succès parasitaire de *L. testaceipes* (LT) et d'*A. matricariae* (AM), sur *A. gossypii* nous avons consulté plusieurs auteurs pour nous inspirer de la méthode utilisée dans leurs travaux (Rodrigues et Bueno, 2001 ; Robson, 2007 ; Zamani et al., 2012 ; Tapa-Yotto et al. 2013).

Ce sont les larves du 3^{ème} stade du puceron qui ont été utilisées à partir d'un élevage. Nous les avons placées sur feuille de pomme de terre par groupe de 30 pucerons dans un tube de 5 cm de long et 3 cm de diamètre recouvert par un tulle très fin. Le végétal a été renouvelé.

Une femelle de chaque espèce de parasitoïde (LT et AM), accouplée dès l'émergence et âgée d'un jour a été introduite dans un tube avec 30 *A. gossypii* dans lequel on introduit un coton imbibé d'eau et de miel (Silva et Bueno, 2007 ; Abadi et al., 2010) pour alimenter la femelle parasitoïde. Les parasitoïdes ont été transférés individuellement chaque jour dans un autre tube contenant 30 autres pucerons de même stade jusqu'à leur mort.

Cette expérimentation a porté sur plusieurs paramètres:

- **Longévité des femelles parasitoïdes** (du début du test à la mort de la femelle) ;
- **Taux de parasitisme journalier** (i.e. le taux de pucerons momifiés exposés à une femelle pendant un jour donné) ;

- **Taux d'émergence du parasitoïde** à partir des momies (*i.e.* le nombre des parasitoïdes émergés des momies pendant un jour donné) ;
- **Durée de développement des parasitoïdes émergés** (*i.e.* la durée à partir de l'oviposition jusqu'à l'émergence du parasitoïde) ;
- **Sexe des parasitoïdes émergés.**

Le nombre total de pucerons parasités par femelle parasitoïde a été calculé en cumulant le nombre de pucerons momifiés. Le nombre total de parasitoïdes issus de la femelle mère testée a été calculé par rapport au nombre de descendants émergeant des momies. On considère que les parasitoïdes ont déposé un seul œuf dans chaque puceron.

Le nombre de répétitions concernant le parasitoïde, est de cinq (05) femelles. Le nombre de pucerons totalise 3 030 individus, la durée de développement et le sex ratio a porté sur 1 159 descendants parasitoïdes. Les tests ont été réalisés en laboratoire dans les conditions suivantes : $T=25\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=34\pm 6\%$ et une photopériode=16h

III.2.2. Résultats et discussions

III.2.2.1. Prédation par les punaises et les coccinelles

III.2.2.1.1. Protocole de 25 proies/24h ; Punaises ; *M. pygmaeus* et *N. tenius* vis-à-vis de *M. persicae*

Les résultats de la consommation de *M. persicae* (MP) en une journée (24h) par les deux mirides *M. pygmaeus* (MaPy) et *N. tenius* (NT) sont reportés dans la figure 81.

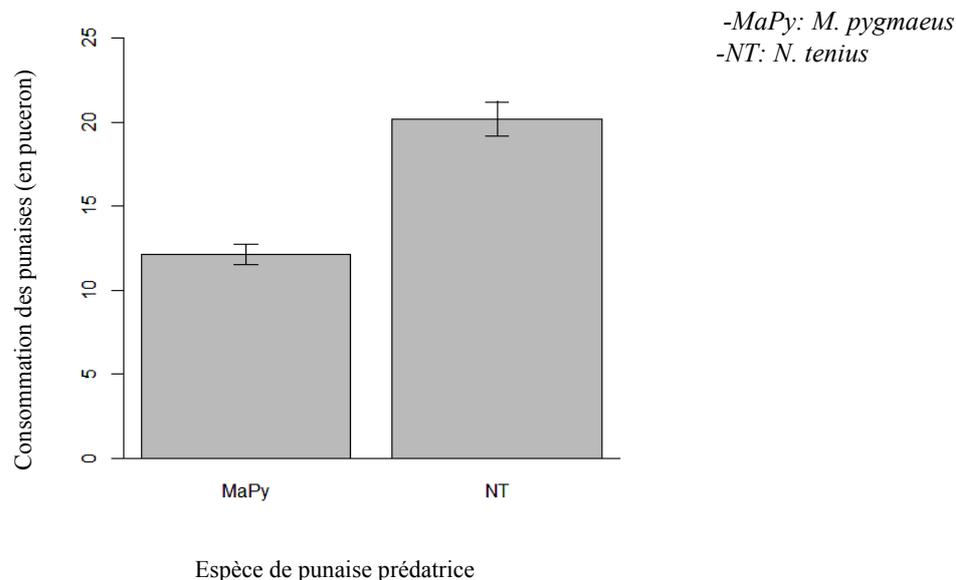


Figure 81: Consommation du puceron *M. persicae* (MP, n=25) en 24h par les punaises *M. pygmaeus* (MaPy, n=01) et *N. tenius* (NT, n=01).

La consommation de *M. persicae* par *M. pygmaeus* en 24h est de 12 individus, ce qui équivaut à un taux moyen de 53 %. *N. tenius* en consomme plus (en moyenne 20 proies/24h), soit

un taux moyen de 81%. La consommation par *N. tenius* est significativement plus élevée que pour *M. pygmaeus* ($p < 0.001$). Maselou et al. (2018), ont enregistré sur une autre solanacée (aubergine) et à une HR plus élevée des résultats similaires ($T^{\circ}=25^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=65\%$ et $L16\text{h}$, pour *M. pygmaeus* avec 11.30 ± 1.33 *M. persicae* /24h sur 24 proies offertes. Perdakis et al. (1999) ont mentionné une consommation moins élevée chez *M. pygmaeus* en 24h qui correspond à 9 pucerons en moyenne lorsque les pucerons sont élevés sur poivron ou concombre, mais Alvarado et al. (1997) ont mentionné pour cette même espèce de punaise un chiffre supérieur ; 30.9 ± 3.37 lorsque la proie concerne *A. gossypii* élevé sur concombre. Lorsqu'il s'agit de *M. euphorbiae* élevée sur tomate le nombre de pucerons consommés atteint 36.5 ± 3.81 . Ici l'HR est bien plus élevée ($\text{HR}=80-90\%$) par rapport à nos conditions.

Cette variation de la capacité de prédation dépend à la fois de l'espèce de puceron, de la plante hôte et probablement de l'humidité relative. Il n'existe pas dans la littérature de travaux réalisés avec une humidité aussi basse que celles de nos conditions expérimentales.

Messelink et al. (2014) et De Backer et al. (2015), ont conseillé d'apporter de façon préventive des quantités de *M. pygmaeus*, pour contrôler les infestations précoces de pucerons. Duarte et al. (2013), considèrent *N. tenius* comme un bon agent de contrôle de *M. persicae* car sur poivron dans certaines conditions ($T = 23.7 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$, $\text{RH}=62.6 \pm 5\%$ et 12h de photopériode), cette punaise consomme en moyenne 1.43 puceron pendant une heure. Pérez-Hedo et Urbaneja, (2014), ont également noté que ces deux punaises omnivores peuvent jouer un rôle important dans la lutte contre *M. persicae* en culture de poivron. Les résultats de notre expérimentation montrent que l'espèce *N. tenius* est plus efficace que *M. pygmaeus* pour le contrôle de *M. persicae* sur la culture de pomme de terre dans une région où l'hygrométrie est basse comme dans notre région d'étude.

III.2.2.1.2. Protocole de 40 proies/24h ; Coccinelles ; *C. septempunctata* et *C. undecimpunctata* vis-à-vis d'*A. gossypii* et *M. persicae*

L'histogramme présenté fig. 82, montre les résultats de la consommation par la coccinelle *C. septempunctata* des 2 espèces *A. gossypii* (C7AG) et *M. persicae* (C7MP) ainsi que celle qui concerne la coccinelle *C. undecimpunctata* lorsque la proie est *A. gossypii* (C11AG) :

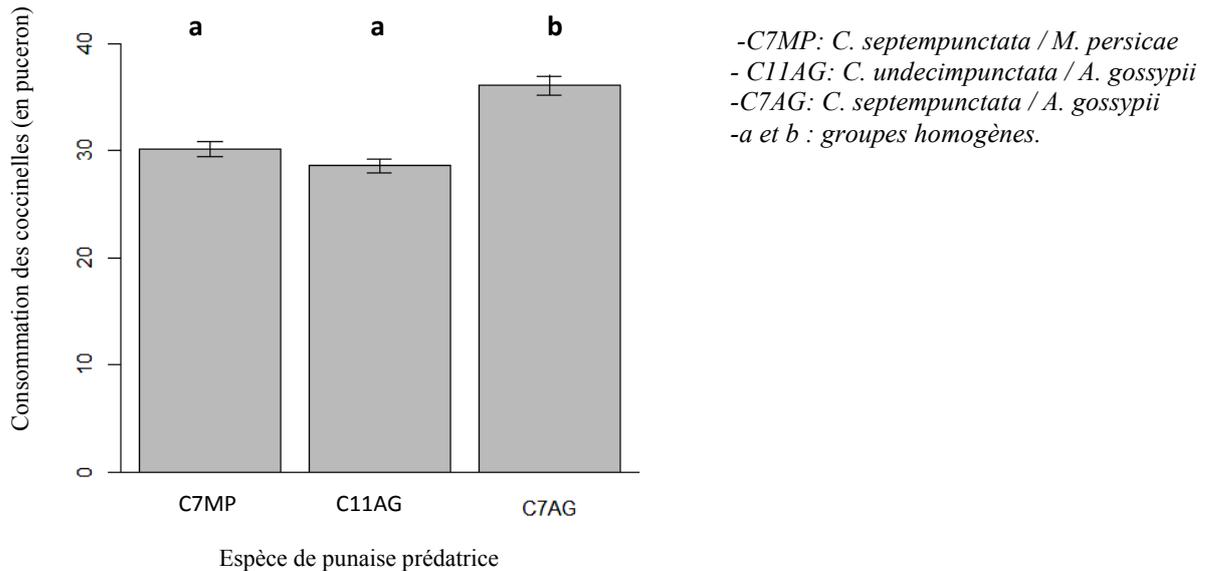


Figure 82: Consommation en 24h du nombre d'*A. gossypii* par *C. undecimpunctata* (C11AG) et par *C. septempunctata* (C7AG) et de *M. persicae* par *C. septempunctata* (C7MP) (n=40).

Dans le cas du protocole 40 pucerons offerts, *C. septempunctata* a consommé 35 *A. gossypii* (C7AG) (taux de consommation de 87%) mais seulement 29 *M. persicae* (C7MP) (taux de 72%). *C. undecimpunctata* consomme autant d'*A. gossypii* (C11AG) (28 proies) soit 70. %. On voit que, *C. septempunctata* consomme significativement plus d'*A. gossypii* (C7AG) que *C. undecimpunctata* (C11AG) ($p < 0.001$).

Selon Darwish (2019), ces deux prédateurs sont parmi les ennemis naturels les plus voraces des espèces *M. persicae* et *A. gossypii*. D'après Sattar et al. (2008), l'adulte de *C. septempunctata*, à 26°C et 65% d'HR, peut consommer en moyenne jusqu'à 78 d'individus *A. gossypii* par jour. Simelane et al. (2008), en 14h, citent un nombre plus élevé qui atteint 122 individus d'*A. gossypii* sur 160 offerts tandis que Suhail et al. (1999) n'ont enregistré qu'une soixantaine d'*A. gossypii* pour cette même espèce adulte et plus du double (en moyenne 141) lorsqu'il s'agit des stades larvaires. Au stade larvaire *C. septempunctata* peut consommer en moyenne jusqu'à 183.0 ± 1.5 d'*A. gossypii* à $T^\circ = 23 \pm 1C^\circ$ et $RH = 50 \pm 5\%$ (Zarpas et al., 2007). Durant tout le développement larvaire, ce prédateur peut consommer jusqu'à 557 individus de *Schizaphis graminum* Rondoni (Rauf et al., 2013), 484 d'*Aphis fabae* (Mahyoub et al., 2013) et 415.5 de *Macrosiphum rosae* Linnaeus (Unal et al., 2017). L'adulte de *C. septempunctata* peut consommer environ 22 individus par jour d'*A. pomi* sur 100 offerts (Hodek et Evans, 2012). Plus récemment Bayoumy et Awadalla (2018) ont indiqué pour cette même espèce une consommation moyenne en un jour de 38.8 pucerons *M. persicae* sur 40 proies offertes (97%) ; lorsqu'on lui offre 160 proies elle peut en consommer 108 à $T^\circ = 25 \pm 1C^\circ$.

D'autre part Omkar et Srivastava (2003) ont signalé que la période de ponte, la fécondité et le pourcentage d'éclosion des œufs sont supérieures quand le prédateur se nourrit de *M. persicae* ce que confirment Farooq et al. (2018), en recommandant d'élever en masse cette coccinelle sur *M. persicae* pour une utilisation comme agent de lutte biologique.

Selon El-Zahi (2017), la consommation totale par les larves de *C. undecimpunctata* est de l'ordre de 314 pucerons sur une période de 4 semaines avec une moyenne (en 24h) de 58 individus d'*A. gossypii* sur cotonnier sous des conditions plus chaudes ($T^{\circ}=32\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=65\pm 5\%$ et 13h de photopériode). Imam et al. (2015), ont enregistré une consommation de 81 pucerons sur 90 offerts d'*Aphis craccivora* (Kock) ($T^{\circ}=25\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $\text{RH}=65\pm 5\%$). Le nombre de proies consommées semble augmenter en fonction de l'offre car Cabral et al. (2009), ont montré que *C. undecimpunctata* peut consommer (en 24h) 18.6 et 24 pucerons de *M. persicae* lorsqu'elle dispose respectivement de 30 et 50 individus dans les conditions similaires ($T^{\circ}=25\pm 1^{\circ}\text{C}$ et $\text{RH}=75\pm 5\%$). Si l'offre est de 130 proies, la coccinelle en consomme 47. La voracité de cette espèce semble augmenter avec la densité des proies disponibles.

Darwish (2019) qui a étudié les paramètres biologiques des deux prédateurs *C. septempunctata* et *C. undecimpunctata* a indiqué qu'*A. gossypii*, est l'espèce qui correspond la proie la plus avantageuse pour leur développement comparée à *M. persicae*.

Nos résultats, obtenus sur pomme de terre dans les conditions de notre expérimentation confirment que c'est l'espèce *C. septempunctata* qui constitue un bon agent de lutte contre les deux espèces aphidiennes *A. gossypii* et *M. persicae* bien son efficacité soit supérieure à la première espèce.

III.2.2.1.3. Protocole de 60 proies/24h ; Coccinelles ; *C. septempunctata* et *Hippodamia tredecimpunctata* vis-à-vis d'*A. gossypii* et *M. persicae*

Les résultats selon le protocole 60 proies/24h par la coccinelle *C. septempunctata/A. gossypii* (C7AG) et *H. tredecimpunctata/A. gossypii* (C13AG) et *M. persicae* (C13MP) sont présentés figure 83.

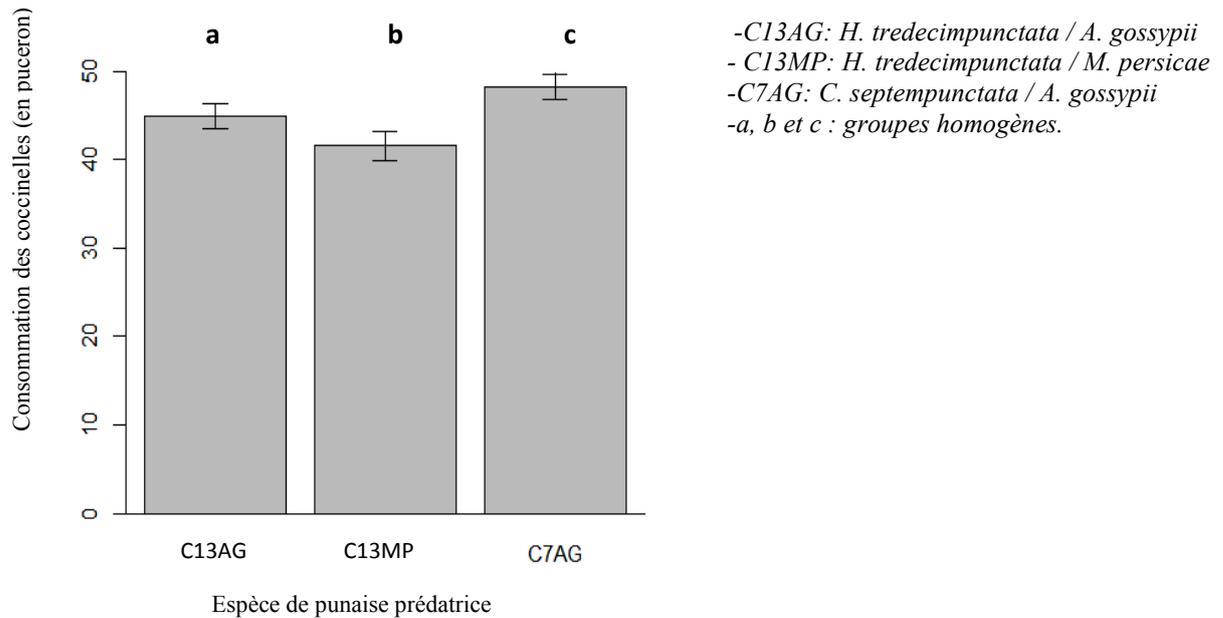


Figure 83 : Consommation en 24 h des coccinelles *C. septempunctata* vis-à-vis d'*A. gossypii* (C7AG) et *H. tredecimpunctata* vis-à-vis d'*A. gossypii* (C13AG) et *M. persicae* (C13MP) (n=60).

L'espèce *C. septempunctata* (C7AG) consomme significativement plus d'*A. gossypii* en 24h que *H. tredecimpunctata* (C13AG) 52 proies contre 45 proies ($p < 0.001$). D'un autre coté, *H. tredecimpunctata* (C13AG) consomme plus d'*A. gossypii* que de *M. persicae* (C13MP) ($p < 0.05$). Le nombre de proies consommées de 42 pucerons représente environ les 2/3 de l'offre.

Al-Deghairi et al. (2014) considèrent que *C. septempunctata* joue un rôle plus important dans le contrôle d'*A. gossypii* que *H. tredecimpunctata*. La densité des proies offertes aux prédateurs détermine leur réponse fonctionnelle et donc leur voracité.

Le nombre de *M. persicae* consommé en 24h par *C. septempunctata* augmente en fonction de la ressource mise à sa disposition. Lorsqu'on offre 40, 60, 80, 100, 120, 140 et 160 proies à *C. septempunctata* elle en consomme respectivement 39, 55, 65, 77, 90, 104 et 109 individus (Bayoumy et Awadalla, 2018). Cabral et al. (2009), ont constaté également que la voracité de *C. undecimpunctata* augmente avec la densité des proies offertes. Lorsque *M. persicae* est présenté à des densités de 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130 proies la voracité des femelles de ce prédateur augmente (de 8 à 39 *M. persicae*) mais la satiété est atteinte lorsque l'offre atteint 110 proies, car au delà la consommation n'augmente plus. Cette augmentation est observée également pour les stades larvaires du prédateur avec *A. craccivora* comme proies (Imam et al., 2015).

On peut considérer que *C. septempunctata* est plus efficace sur *A. gossypii* sur pomme de terre que *H. tredecimpunctata*.

En conclusion selon les résultats de notre étude on peut considérer que pour l'ensemble des coccinelles testées (3) dans les 2 protocoles (n=40 et n=60), et quelque soit le type de proie

(*A. gossypii* ou *M. persicae*), la consommation augmente avec l'offre puisque *C. septempunctata* consomme 33 individus d'*A. gossypii* sur 40 pucerons offerts, et 20 pucerons de plus quand elle dispose de 60.

III.2.2.2. Prédation par la chrysope *C. carnea*

Concernant le protocole : 40 proies d'*A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae* offertes chaque jour [40p/j] à la larve de chrysope, les résultats sont présentés sous forme de courbes (fig. 84) avec une prédation cumulée qui s'arrête à la fin du stade larvaire de la chrysope qui dure environ 3 semaines.

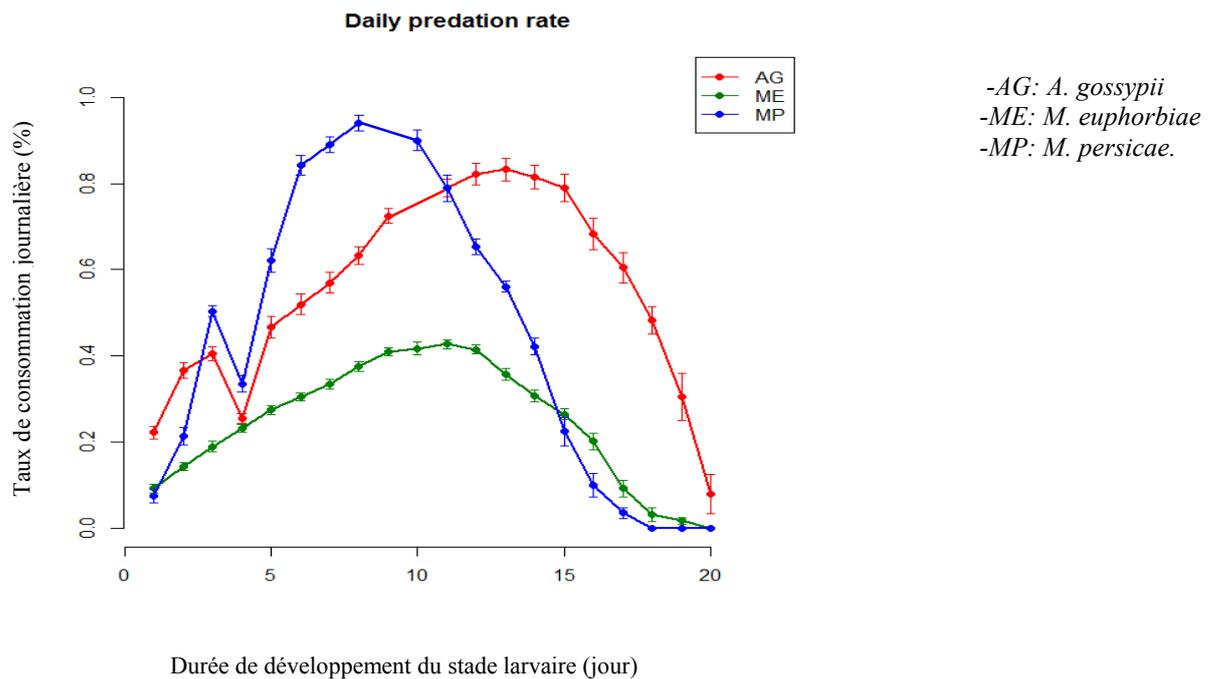


Figure 84 : Dynamique temporelle du taux de prédation de *C. carnea* en fonction de l'espèce de puceron consommée (n=40/jour) *A. gossypii* (AG), *M. euphorbiae* (ME) et *M. persicae* (MP).

On note une consommation réduite les premiers jours qui peut s'expliquer par la petite taille des larves (qui est inférieure à celle du puceron selon l'espèce). Sur *A. gossypii* elle représente 22% le premier jour ; sur *M. euphorbiae* et *M. persicae*, elle est respectivement de 9% et 7.50%. La prédation journalière augmente progressivement sur toutes les espèces de puceron suivant le stade larvaire; sur *A. gossypii*, elle dure deux semaines mais 11 jours pour *M. persicae*. *A. gossypii* est consommé plus rapidement ($p < 0.001$) que *M. euphorbiae*. La dynamique temporelle du taux de prédation varie selon les espèces ($p < 0.001$). La durée larvaire de *C. carnea* varie en fonction de l'espèce consommée car quand elle est nourrie par *A. gossypii* elle dure deux jours de moins que quand elle consomme les 2 autres espèces. En consommant *A. gossypii*, la durée de développement par stade a été estimée en moyenne de 3 jours pour chacun des premiers stades et de presque 4,5 jours pour le 3ème (Saleh et al., 2017) ce qui correspond à 11 jours au

maximum. Sur cette même espèce de puceron, la durée de développement de la chrysope est moins longue ne dépassant pas 8 jours avec toujours la même durée pour les 2 premiers stades soit 2,6 et 2, 7 jours et au moins 3 jours pour le dernier stade (Shaukat, 2018). Lorsque la proie est *Acyrtosiphon pisum* Harris, 1778 Phoofolo et Obrycki (1998) ont mentionné un développement de 3, 3 et 5 jours soit un total de 11 jours comme lorsque la proie est *A. gossypii*.

La figure 85, montre le taux de consommation journalier par *C. carnea* nourri d'*A. gossypii* lorsque on donne une quantité supplémentaire de 10 pucerons $[(40p+10)/j]$.

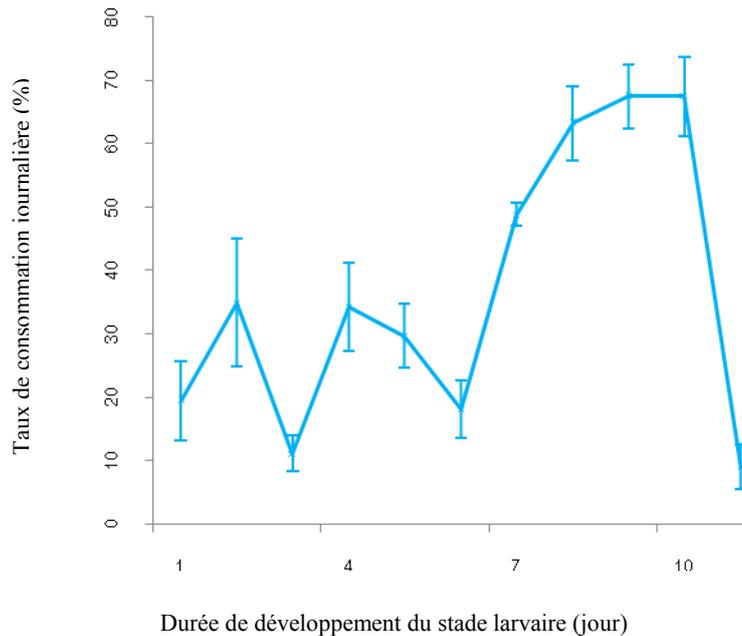


Figure 85 : Dynamique temporelle du taux de prédation de *C. carnea* sur *A. gossypii* (AG). $[n= (40p+10)/j]$.

Lorsqu'on apporte un supplément de 10 proies chaque jour le taux de consommation par *C. carnea* commence à s'élever jusqu'au 10ème jour ($n=130$) pour chuter au dernier jour avant l'arrêt de consommation. Dans ce cas, le stade larvaire de *C. carnea* dure seulement 11 jours alors que dans le protocole précédent avec seulement 40 proies la durée de développement est de 19 jours ce qui signifie que la vitesse de développement du prédateur est inversement proportionnelle à la quantité de nourriture offerte. En effet Atlihan et al. (2004), ont rapporté que le développement larvaire de *C. carnea* est accéléré avec l'augmentation de la quantité de proies (ici il s'agit du puceron *Hyalopterus pruni* Geoffroy). Le développement le plus long a été de 18.6 jours pour une dose de 05 pucerons /j et le plus court (15 jours) avec une densité de proies de 80/j.

Les larves de *C. carnea* ont répondu à l'augmentation de la densité des proies avec l'augmentation de la consommation alimentaire et les stades larvaires plus âgés ont affiché un taux de prédation plus élevé que les plus jeunes. Selon Atlihan et al. (2004), le nombre total de

proies consommées par *C. carnea* a également augmenté avec l'augmentation de la densité des proies de *H. pruni*, passant de 56 individus à une densité de 05p/j à 411 individus à une densité de 160p/j.

La prédation globale des chrysope selon l'espèce de puceron consommé (protocole [40p/j et (40+ 10/ j)] est indiquée dans l'histogramme fig. : 86.

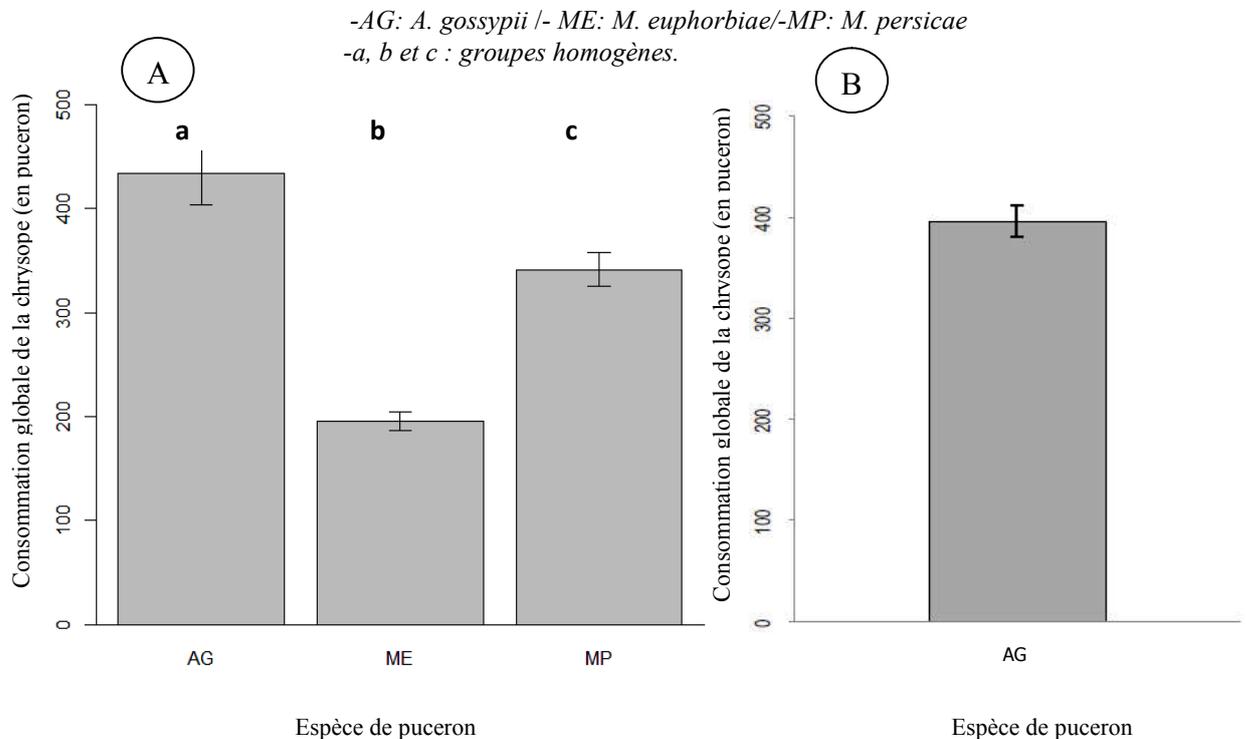


Figure 86 : A : Consommation globale par la larve de chrysope *C. carnea* des pucerons *A. gossypii* (AG), *M. euphorbiae* (ME) et *M. persicae* (MP) avec la dose (n=40/j).
B : consommation par *C. carnea* d'*A. gossypii* (AG) avec la dose [n= (40p+10)/j].

Pour accomplir son développement larvaire, *C. carnea* consomme environ 434 individus d'*A. gossypii* (AG) ce qui est significativement plus élevé par rapport aux autres espèces qui sont de 196 individus pour *M. euphorbiae* et 342 individus pour *M. persicae* ($p < 0.001$). Saleh et al. (2017) ont indiqué le taux de consommation d'*A. gossypii* moins élevé (soit 367 individus). Dans une autre étude, Liu et Chen (2001) ont enregistré aussi une préférence pour *A. gossypii* chez les larves de *C. carnea* avec 292 individus tandis que pour *M. persicae* le nombre était inférieur de 20 pucerons (273) et moins important pour *Lipaphis pseudobrassicae* Davis, avec 146 pucerons. On voit bien de façon générale que c'est *A. gossypii* qui semble être la proie préférée de la chrysope avec des quantités variables selon la situation. Par exemple El-Zahi (2017) a mentionné sur cotonnier, une consommation totale qui s'approche de 1000 individus (990.8 ± 19) sur une période de 7.5 jours à une température élevée ($T^\circ = 32 \pm 2^\circ\text{C}$, $\text{HR} = 65 \pm 5\%$ et 13h de photopériode). Le nombre réduit de proies de *M. euphorbiae* peut être justifié par sa grande taille entre 1.7 à

3.6mm (I.N.R.A., 2018) par rapport à celle des autres espèces et qui peut être défavorable aux plus jeunes stades de la chrysope. La voracité des larves de *C. carnea* semble dépendre de la taille des proies (Volkl, 2007).

Dans le protocole [$n = (40p+10)/j$], *C. carnea* a consommé globalement 396 pucerons *A. gossypii* (fig. 83B) en 11 jours. Lorsqu'il n'y a pas de supplément de 10 pucerons [$40p/j$] la consommation était en moyenne de 434 (fig. 83A) mais la durée de développement a duré 19 jours. La disponibilité de nourriture dans le 2ème protocole a permis le développement plus rapide de la larve de chrysope. Pour Bayoumy et Awadalla (2018) le nombre de *M. persicae* consommé en 24h par *C. carnea* augmente avec la densité de proies offertes. Ils ont noté pour des densités de 40 augmentées successivement de 20 proies jusqu'à 160 proies, *C. carnea* consommait presque toute la quantité (39,2) correspondant à la première dose de 40 et qu'elle augmentait sa consommation progressivement avec une dose de 115.2 individus sur 160 proies offertes.

En conclusion, *C. carnea* peut être un bon agent de contrôle des principales espèces rencontrées sur pomme de terre en particulier *A. gossypii* que ce soit par conservation ou par lâchers ponctuels. Cette espèce indigène de la région d'étude qui semble résister à la sécheresse caractérisant la région peut être valorisée par un programme de lutte intégrée qui améliore son habitat par la préservation de la biodiversité végétale, la réduction des traitements chimiques inutiles et par la réalisation de lâchers du prédateur, au moment opportun si on arrive à conduire des élevages pour sa production. Alghamdi et al. (2018) ont obtenu de très bons résultats de lutte biologique contre *A. gossypii* par des lâchers de 05 et 10 larves de chrysope/plante de poivron et de courge respectivement. Sur poivron, 90% à 97% de taux d'élimination ont été enregistrés après le 2ème lâcher. Sur courge, 90% des pucerons ont été éliminés après le 3ème lâcher. Kift et al. (2005) ont constaté qu'une seule larve/plante de poivron est assez efficace pour éliminer à 100% le puceron *M. persicae*. D'après Zaki et al. (1999), un lâcher double avec un intervalle de 4j de *C. carnea*, avec un rapport de 1 prédateur/ 05 pucerons, peut réduire à 100% le puceron *A. gossypii* attaquant le gombo après 12 jours du lâcher.

Concernant l'effet de l'hygrométrie sur le développement de *C. carnea* il semble, selon Tauber et Tauber (1983), que la durée n'est pas affectée par le niveau de l'humidité. Lorsque l'HR= 35%, 55% ou 75%, à $T^{\circ}=22.2\pm 1^{\circ}\text{C}$ et 16h de photopériode, la durée totale de développement (de l'oviposition à l'émergence des adultes) est de 25 jours en moyenne avec peu de différence ($25.15\pm 0.8j$, $25.9\pm 0.7j$ et $25.2\pm 0.7j$ respectivement). À une faible HR (35%), la fécondité n'est égale pas affectée.

III.2.2.3. Capacité parasitaire de deux espèces de parasitoïdes *Lysiphlebus testaceipes* et *Aphidius matricariae* vis-à-vis de leur hôte commun *Aphis gossypii*

Nous avons testé en conditions de laboratoire la capacité parasitaire des 2 principales espèces de parasitoïdes primaires recensées sur le terrain vis-à-vis du puceron dominant qui est *A. gossypii* en utilisant comme plante hôte la variété de pomme de terre qui est dominante dans la région de Djelfa à climat à dominance semi-aride.

Cette partie expérimentale a fait l'objet d'un article publié en Anglais dans une revue internationale indexée. Nous avons associé à cette production scientifique deux de nos collaborateurs chercheurs dans le domaine de l'Agrocampus Ouest et INRA de Rennes.

Le titre de l'article qui figure à la page suivante est : **Regulatory potentiel of parasitoids over *Aphis gossypii* Glover, 1877 populations (Hemiptera : Aphididae) under semi arid laboratory conditions.**

Chapitre 03 : Interactions entre prédateurs et parasitoïdes de pucerons récoltés sur pomme de terre dans la Wilaya de Djelfa

Introduction

Sur le terrain, il existe des interactions entre différentes espèces qui utilisent la même ressource. Dans ce chapitre nous aborderons les interactions entre différents prédateurs, entre parasitoïdes et celles qui peuvent exister entre prédateurs et parasitoïdes car il est utile de comprendre pourquoi certains programmes de lutte biologique ne fonctionnent pas.

III.3.1. Matériels et méthode

III.3.1.1. Interactions entre différents prédateurs

La méthode appliquée reste la même pour tous les tests. La durée de l'exposition des proies (*Aphis gossypii*) aux différents prédateurs a été fixée à 06 heures.

Il existe deux modalités (1 et 2) présentées au tableau 19 qui montrent le type de combinaison entre plusieurs prédateurs en testant trois (03) espèces à la fois. Il s'agit de 2 coccinelles : *Hippodamia tredecimpunctata* (C13) et *Coccinella septempunctata* (C7) et de 2 punaises : *Nesidiocoris tenius* (NT), *Macrolophus pygmaeus* (MaPy). Pour chaque modalité, on teste 03 espèces prédatrices (C13, NT et MaPy) ou (C7, NT et MaPy). On place séparément (03) couples de prédateurs dans une boîte de Pétri en présence de 60 *A. gossypii* (AG). Dans ces différentes modalités de compétition intra-gilde, nous avons comparé les capacités prédatrices de ces espèces en présence ou non d'un compétiteur intra-spécifique ou interspécifique. Nous avons enregistré le nombre de pucerons consommés dans les boîtes de Pétri après une période de 6h. Les conditions semi-contrôlées des expérimentations sont : T°= 25±1 C° ; HR= 38±2%, L/D=16 :8.

Tableau 19 : Différentes situations d'interactions entre prédateurs de pucerons

Espèces pour la modalité 1 (C13, NT et MaPy)	Espèces pour tests communs	Espèces pour la modalité 2 (C7, NT et MaPy)
C13 vs C13 (n=8)	MaPy vs MaPy (n=18)	C7 vs C7 (n=18)
C13 vs MaPy (n=8)	NT vs MaPy (n=18)	C7 vs MaPy (n=10)
C13 vs NT (n=8)	NT vs NT (n=26)	C7 vs NT (n=18)

III.3.1.2. Interactions entre parasitoïdes : Situation de compétition intra-spécifique de l'espèce *L. testaceipes* ayant pour hôte *A. gossypii*

Pour ce test, la procédure utilisée est identique à celle décrite page 119 sauf pour la durée du test qui est de 6 h. Nous avons comparé deux modalités pour savoir s'il existe une compétition intra spécifique entre femelles parasitoïdes.

- i. Modalité 01 : une femelle de *L. testaceipes* en présence de 30 pucerons
- ii. Modalité 02 : deux femelles en présence de 60 pucerons

Nous avons comparé dans les 2 cas : les taux de momification, de parasitisme réussi et la sex-ratio de *L. testaceipes* ; chaque situation a été répétée 8 fois Les conditions d'expérimentation ont été similaires: $T^{\circ}= 25.25\pm 0,5C^{\circ}$; $HR= 43,5\pm 2.37\%$ et $DL=16:8h$.

III.3.1.3. Interaction entre prédateurs et parasitoïdes

Cette partie a fait l'objet d'une communication affichée sous le titre « Intraguild interactions between two aphid predators species and the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* both feeding on *Aphis gossypii* reared on potato plant (Bensaad et al., 2018)» dans les Journées Scientifiques de l'INAT, octobre 2018, Tunis.

Les proies ont été exposées au parasitoïde *L. testaceipes* (LT) durant un jour. 24h après, le passage du parasitoïde, trois protocoles expérimentaux ont été réalisés pour l'évaluation de la prédation des espèces *C. algerica* (C7A) et *N. tenius* (NT) vis-à-vis d'*A. gossypii* (AG) parasité ou non par *L. testaceipes*. La durée d'exposition des proies aux prédateurs a été de 6h. Les espèces C7A et NT sont les prédateurs intra-gilde, LT est la proie intra-gilde et AG est la proie extra-gilde. 3 modalités ont été considérées :

- Modalité 01 : 60 pucerons sains (60PS)
- Modalité 02 : 60 pucerons parasités (60PP)
- Modalité 03 : 30 pucerons sains et 30 pucerons parasités (30PS+30PP).

Nous avons testé l'effet de la présence d'un compétiteur intra-spécifique ou interspécifique et l'influence du statut parasitaire des pucerons sur le taux de prédation.

Après 6 heures de contact du prédateur avec les pucerons, nous avons compté le nombre de pucerons survivants. Dans le cas où les pucerons parasités non consommés ont permis au parasitoïde de se développer jusqu'à l'émergence, nous avons calculé le nombre de momies formées par rapport aux pucerons non parasités. Nous avons calculé le taux de mortalité naturelle des pucerons, le nombre de pucerons parasités consommés. Le nombre de répétitions par paire de prédateurs est de 8 (tableau 20). Les tests ont été conduits sous les mêmes conditions semi-contrôlées pour lesquelles seule l'hygrométrie est susceptible de varier très légèrement ($T=25\pm 2^{\circ}C$; $HR=40\pm 2\%$; photopériode = 16h).

Tableau 20 : Différentes situations d'interactions entre prédateurs (*C. algerica* et *N. tenius*) et le parasitoïde *L. testaceipes* vis-à-vis d'*A. gossypii*

3 modalités de ressource	3 Modalités de prédation (08 répétitions)		
	(1) <i>C. algerica</i> (n=2)	(2) <i>N. tenius</i> (n=2)	(3) = (1) + (2) <i>C. algerica</i> vs <i>N. tenius</i> (n=2)
60 pucerons sains (60PS)	X	X	X
60 pucerons parasités (60PP)	X	X	X
30 sains + 30 parasités (30PS+30PP)	X	X	X

III.3.2. Résultats et discussions

III.3.2.1. Interactions entre différents prédateurs

Les résultats de la prédation intra-guilde vis-à-vis d'*A. gossypii* élevé sur pomme de terre en fonction de plusieurs modalités sont exprimés dans la figure 92.

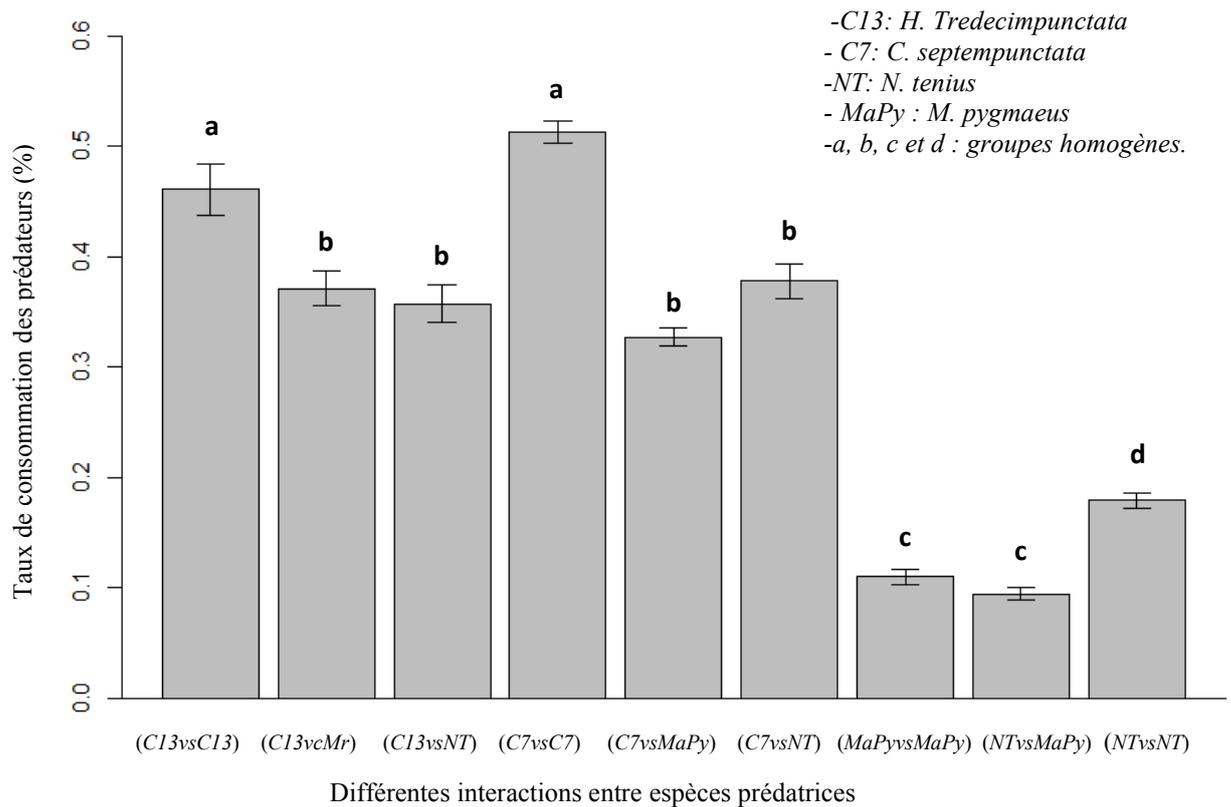


Figure 92 : Capacité de prédation d'*A. gossypii* (n=60) en 6h par différents prédateurs (protocole 01 : *H. Tredecimpunctata* (C13), *N. tenius* (NT), *M. pygmaeus* (MaPy) et protocole 02 : *C. septempunctata* (C7), *N. tenius* (NT), *M. pygmaeus* (MaPy) en situation de compétition intra-spécifique (C13 vs C13 ; MaPy vs MaPy ; NT vs NT et C7 vs C7) et interspécifique (C13 vs MaPy ; C13 vs NT ; NT vs MaPy ; C7 vs MaPy et C7 vs NT).

Modalité 1 : (C13, NT et MaPy)

En compétition intra-spécifique: Chez l'espèce *H. tredecimpunctata* (C13vsC13) le taux de consommation était de $46.04 \pm 6.54\%$, qui est nettement supérieur à celui de *N. tenius* (NTvsNT) qui n'est que de $17.88 \pm 3.32\%$ ce qui montre une différence très significative ($p < 0.001$). Chez *M. pygmaeus* (MaPyvsMaPy) le taux est inférieur ($10.93 \pm 2.93\%$) ($p < 0.001$).

En compétition interspécifique ou compétition intra-gilde (CIG), les taux de consommation sont significativement plus faible pour (NTvsMaPy) avec une valeur de $9.26 \pm 2.44\%$ ($p < 0.001$).

Modalité 2 : (C7, NT et MaPy)

En compétition intra-spécifique: Le taux de consommation chez l'espèce *C. septempunctata* (C7vsC7) vis-à-vis d'*A. gossypii* est de $51.20 \pm 4.19\%$, avec une différence hautement significative ($p < 0.001$) par rapport à celui des espèces *N. tenius* (NTvsNT) et *M. pygmaeus* (MaPyvsMaPy).

En compétition interspécifique (CIG) : La consommation des couples (C7vsMaPy) et (C7vsNT) ne montre aucune différence significative ($32.67 \pm 2.51\%$ et $37.78 \pm 6.54\%$).

Les résultats ont montré que les coccinelles sont plus efficaces que les punaises en situation intra-spécifiques ; lorsqu'on ajoute l'une des punaises *N. tenius* (NT) ou *M. pygmaeus* (MaPy), le taux de prédation diminue. Selon Chase et al. (2002), la compétition interspécifique s'explique par le fait qu'une espèce inflige des effets négatifs à une autre espèce. Goubault (2003) et Dhooria (2008) expliquent que la compétition intra-spécifique concerne les membres d'une même espèce qui cherchent à exploiter des ressources similaires. La notion de compétition intra-gilde (CIG) s'applique lorsque la compétition interspécifique s'effectue entre des individus de la même guilda (Polis et al., 1989).

La diminution des taux de prédation des deux espèces de coccinelle en situation de compétition interspécifique par rapport à ceux d'une compétition intra-spécifique peut être expliquée par l'effet négatif qu'exercent les deux espèces de punaise par leur présence dans la même colonie du puceron *A. gossypii*. Le taux de consommation des coccinelles *C. septempunctata* et de *H. tredecimpunctata* seules sur *A. gossypii* ($n=60$) est de $86.20 \pm 10.71\%$ et $74.83 \pm 10.47\%$ respectivement (voir chapitre 02 partie 03), alors que ceux obtenus en présence d'un autre compétiteur de la même espèce sont inférieurs respectivement $51.20 \pm 4.19\%$ et $46.04 \pm 6.54\%$. Les taux de consommation par *M. pygmaeus* et par *N. tenius* quand elles sont seules chacune en présence d'*A. gossypii* ($n=25$) sont respectivement $52.61 \pm 8.06\%$ et $80.8 \pm 12.76\%$ (voir chapitre 02 partie 03) ; les valeurs concernant des deux punaises en situation de compétition intra-spécifique diminuent sensiblement atteignant des niveaux bas avec

10.93±2.93% et 17.88±3.32% respectivement. Au final, la capacité de prédation des coccinelles et des punaises diminue plus sous l'effet d'une compétition interspécifique que dans une compétition intra-spécifique.

Cardinale et *al.* (2006) ont constaté de faibles taux de suppression du puceron *Aphis pisum* dus à des interactions d'interférence chez les adultes de 03 coccinelles *Harmonia axyridis* Pallas, *C. septempunctata* et *Coleomegilla maculata* De Geer, par rapport au total de prédateurs lorsque les prédateurs sont seuls. Ceci voudrait dire que la compétition d'interférence entre les prédateurs a réduit les taux de prédation par individu et par conséquent a diminué l'efficacité globale de la guildes des prédateurs. Straub et Snyder (2008) ont manipulé plusieurs ennemis naturels (*Aphidius matricariae*, *C. septempunctata*, *H. Convergens* et *Nabis* sp.) à l'intérieur de cages comportant des plants de pomme de terre et de chou infestés par *M. persicae*. Les auteurs ont conclu que l'augmentation de la diversité des ennemis naturels renforçait la diminution des effectifs des pucerons parce que la compétition intra-spécifique était plus forte que la compétition interspécifique entre les espèces de prédateurs en raison du partage des ressources. D'un autre côté Obrycki et *al.* (1998), n'ont pas noté de compétition interspécifique chez *C. septempunctata* quand elle consomme plus de 20 pucerons *Acyrtosiphon pisum* (Harris) par jour puisque son poids est peu différent en présence d'une autre espèce coccinelle *Coleomegilla maculata* (De Geer). Selon Lucas et Alomar (2002a), une compétition interspécifique non significative en laboratoire a été enregistrée entre les nymphes des deux punaises *M. pygmaeus* et *Dicyphus tamaninii* nourries par l'aleurode *Trialeurodes vaporariorum* Westwood. Il n'y a pas non plus de compétition intra-spécifique pour chacune des deux espèces. Dans un autre volet de l'étude (Lucas et Alomar, 2002b) ces mêmes auteurs ont noté une interaction entre ces deux punaises dans un essai réalisé en serre de tomate pour lutter contre cet aleurode. Le contrôle de ce ravageur a été observé sur les plants qui contiennent *M. pygmaeus* seul. Il y avait moins de 25% de dégâts lorsque la punaise *D. tamaninii* a été utilisée seule. Lorsque les traitements ont été réalisés avec les deux prédateurs ensemble, on a pu enregistrer des dommages significatifs sur la culture.

III.3.2.2. Interactions entre parasitoïdes : Situation de compétition pour l'espèce *L. testaceipes* ayant pour hôte *A. gossypii*

Nous avons réalisé le test selon deux (2) modalités pour savoir s'il existe une compétition intra-spécifique entre individus chez *L. testaceipes* (LT) en présence de l'hôte *A. gossypii* (AG).

Les résultats sont mentionnés fig. 93 et 94:

Les figures 95A et 95B montrent des photos d'*A. gossypii* parasité avec succès par *L. testaceipes*.

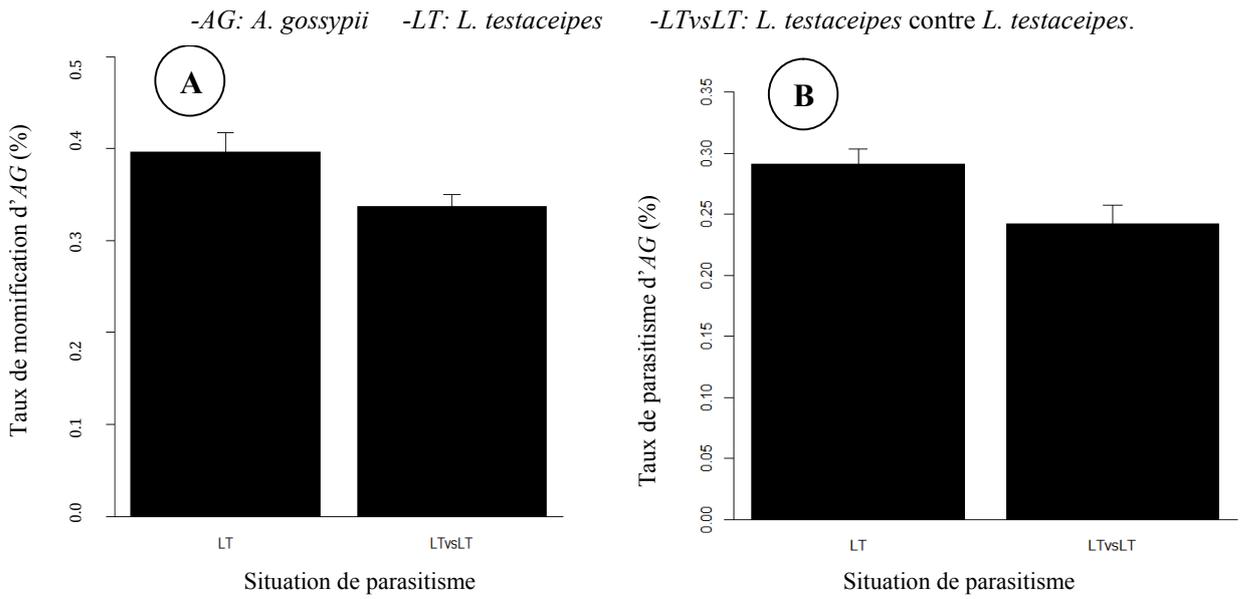


Figure 93 : Test de compétition intra-spécifique au sein de l'espèce *L. testaceipes* (*LT*) vis-à-vis d'*A. gossypii* (*AG*) durant 6h; **A** : Taux de momification; *LT* sur *AG* (n=30) et *LTvsLT* sur *AG* (n=60). **B** : Taux de parasitisme; *LT* sur *AG* (n=30) et *LTvsLT* sur *AG* (n=60).

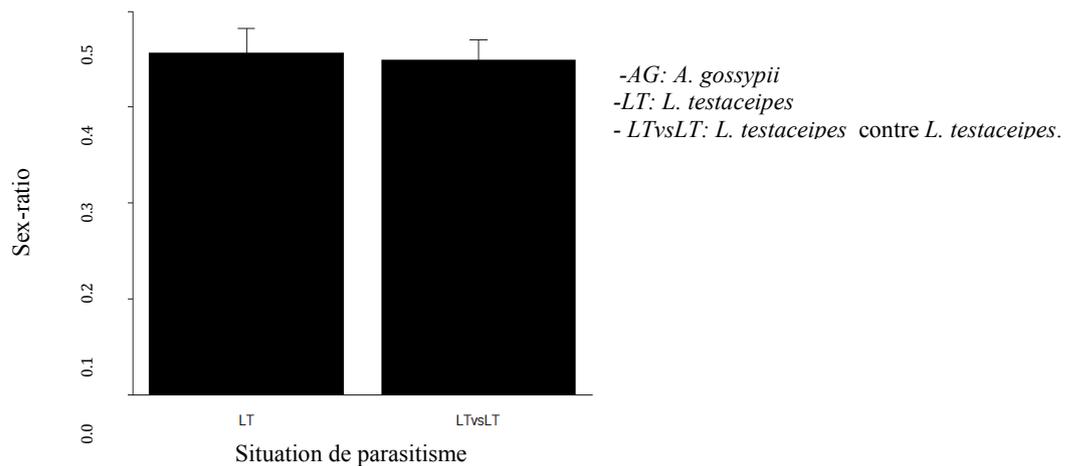


Figure 94 : Sex-ratio de *L. testaceipes*; *LT* sur *AG* (n=30) et *LTvsLT* sur *AG* (n=60).



Figure 95: **A** : momies d'*A. gossypii* ; **B** : adulte de *L. testaceipes* au moment de l'émergence (photos originales).

Selon la figure 93A, le taux moyen de momification sur *A. gossypii* quand le nombre d'individus offerts à une femelle *L. testaceipes* est de 30 est de l'ordre de 35%. Lorsqu'il y a deux femelles *L. testaceipes* en compétition pour 60 pucerons, ce taux (30%) n'est pas significativement différent ($p=0.145$). Le taux de parasitisme réussi c'est-à-dire avec émergence du parasitoïde n'est pas très différent dans les deux cas ($p=0.184$) puisqu'il est de 27% pour un seul parasitoïde en présence de 30 pucerons et de 24% (fig. 93B) lorsqu'il y a 2 parasitoïdes pour 60 pucerons. La présence, pour un intervalle de temps de 6h, d'une autre femelle (*L. testaceipes*) pour un nombre double d'hôtes ne modifie pas le taux de parasitisme vis-à-vis du puceron *A. gossypii* ; Le nombre des mâles émergés des momies sur *A. gossypii* est deux fois moins élevé que celui des femelles dans les deux cas ce qui correspond à une sex-ratio de 0,7. La différence n'est pas significative dans les 2 cas ($p=0.864$). Cette valeur n'est valable que pour un échantillon limité et reste difficile à interpréter.

Sur concombre dans des conditions de température similaires, mais avec une humidité relative bien plus élevée ($T^{\circ}=25\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ et $\text{HR}=70\pm 10\%$), Van Steenis (1995) a indiqué un taux de parasitisme comparable à nos résultats (26%) au bout de 2h d'exposition d'*A. gossypii* à *L. testaceipes*, ce qui laisse penser que ce sont les premières heures qui sont déterminantes. Pour *A. matricariae*, le succès parasitaire n'est que de 6%. Cela dépend probablement d'autres facteurs comme la plante hôte qui peuvent modifier le comportement de chacun des antagonistes. Sur poivron dans des conditions expérimentales semblables, le taux de momies formées sur *A. gossypii* et sur *M. persicae* parasités par *L. testaceipes* est de 44.2% et de 6.7% respectivement (Carnevale et al., 2003 ; Bueno et al., 2006). Dans les mêmes conditions expérimentales sur *A. gossypii* élevé sur Sorgo, Silva et al. (2008a) ont obtenu 55.7% de parasitisme en 1h d'exposition. Silva et al. (2008b), ont indiqué une sex-ratio de 0.66 pour *L. testaceipes* sur l'hôte *A. gossypii* et de 0.71 sur *Rhopalosiphum maidis* ce qui favorise dans les 2 cas les femelles. Sur poivron, la sex ratio du même parasitoïde est de 0.70 sur *A. gossypii* (Carnevale et al., 2003). Sur ce même puceron dans les conditions suivantes $T^{\circ}=25\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=60\pm 10\%$ et photopériode de 10h, *L. testaceipes* et *A. colemani* ont enregistré respectivement 65% et 86.5% de parasitisme (Rodrigues et al., 2004 et Bueno et al., 2006). Rodrigues et Bueno (2001), sur poivron, ont enregistré pour *L. testaceipes* un taux de parasitisme de 56% sur *A. gossypii* et de 76% sur le puceron des céréales *Schizaphis graminum*. Dans des conditions climatiques similaires, Soglia et al. (2006) ont obtenu sur deux cultivars de Chrysanthème, des taux de parasitisme compris entre 50% et 68.4% pour *L. testaceipes* et de 35% à 46.8 pour *A. colemani*. La sex-ratio a varié entre 0.39 et 0.49 pour *L. testaceipes* et entre 0.26 et 0.54 pour *A. colemani*.

III.3.2.3. Interactions entre prédateurs et parasitoïdes

Des combinaisons entre deux espèces prédatrices *C. algerica* (C7A) et *N. tenius* (NT) ont été réalisées pour évaluer la consommation d'*A. gossypii* (AG) avec ou sans présence du parasitoïde *L. testaceipes* (LT). Cette expérience présente deux facteurs : les modalités de combinaison de prédateurs (C7AvsC7A, NTvsNT et C7AvsNT) et la modalité nombre de pucerons parasités ou sains : 60PS, 60PP ou 30PS+30PP. Deux types de paramètres ont été étudiés:

- Le premier concerne le taux de prédation en fonction de l'espèce prédatrice, en fonction du type de compétition et de la source alimentaire.
- Le second concerne le nombre de momies compté après le passage des prédateurs.

La figure 96 montre des momies d'*A. gossypii* parasitées par *L. testaceipes* (96A) et attaquées par *C. algerica* (96B) et *N. tenius* (96C).

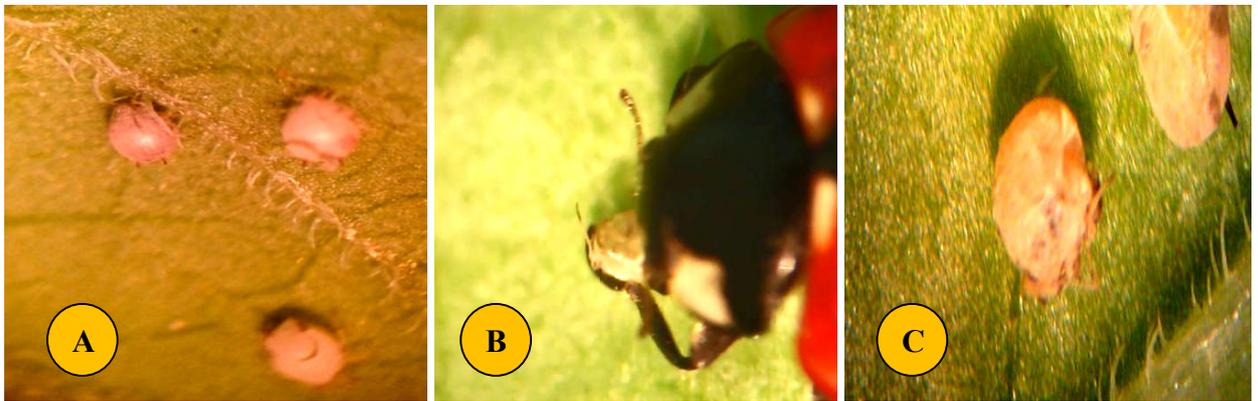


Figure 96: Parasitisme et prédation vis-à-vis d'*A. gossypii* : **A** : momies de *A. gossypii* parasitées par *L. testaceipes* (LT); **B** : adulte *C. algerica* (C7A) consommant une momie d'AG; **C** : Momie attaquée et vidée par *N. tenius* (NT) (photos originales).

III.3.2.3.1. Taux de prédation selon le prédateur, le type de compétition et de la ressource

Nous avons testé l'effet d'une compétition intra-spécifique ou interspécifique entre les 2 prédateurs *C. algerica* (C7A) et *N. tenius* (NT) vis-à-vis d'*A. gossypii* en présence ou non du parasitoïde *L. testaceipes* (LT), et l'influence du statut parasitaire des pucerons sur le taux de prédation.

La figure 97 montre les résultats obtenus par ces interactions.

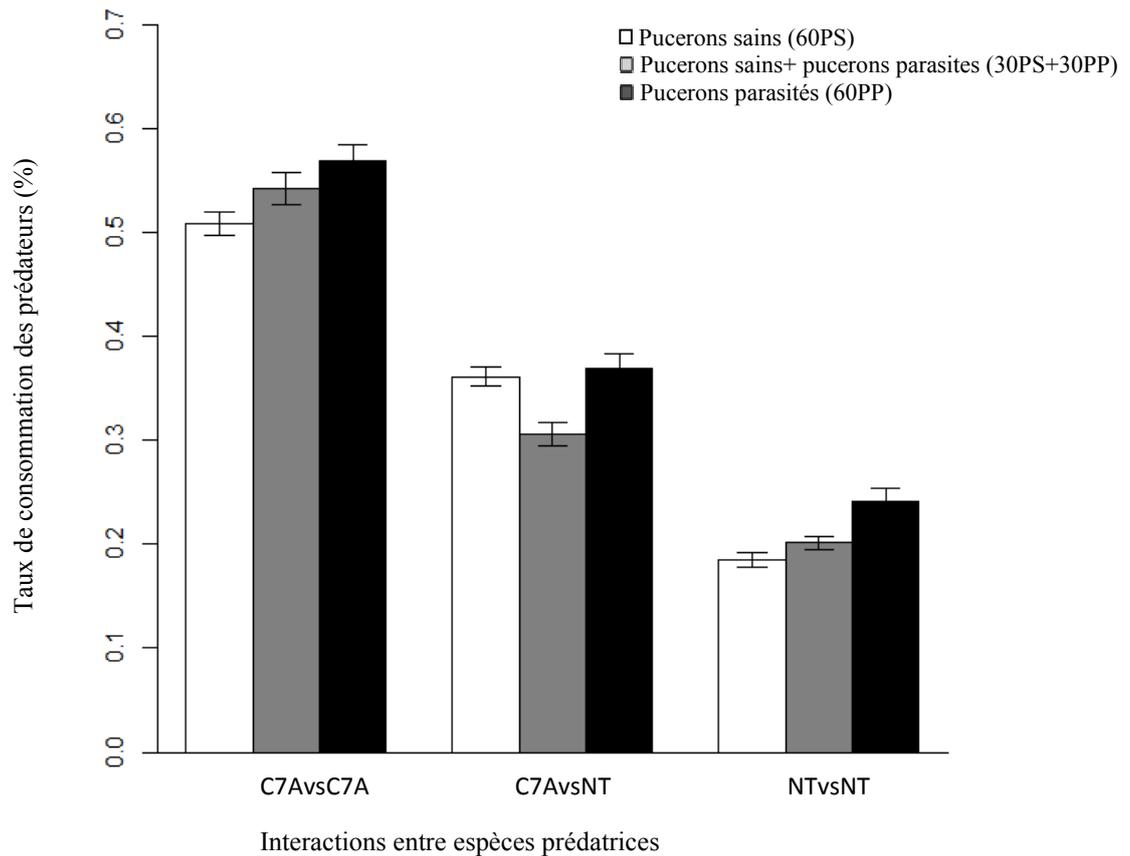


Figure 97 : Capacité de prédation en 6h vis-à-vis d'*A. gossypii* (n=60) par deux prédateurs *C. algerica* (C7A) et *N. tenius* (NT) selon trois modalités : (60PS), (60PP) et (30PS+30PP). Le parasitoïde du puceron est *L. testaceipes*.

Les données (fig.97) montrent que c'est la coccinelle *C. algerica* (C7A) qui est la plus vorace lorsque le nombre de pucerons sains est de 60. Le couple (C7AvsC7A) consomme un taux de $50.83 \pm 3.09\%$. Ce taux est largement plus élevé que celui du couple intra-spécifique (NTvsNT) qui est de $18.54 \pm 2.08\%$ ($p \leq 0.001$). Un taux intermédiaire ($36.04 \pm 2.66\%$) est enregistré pour le couple interspécifique (C7AvsNT) (fig. 94).

Lorsqu'il s'agit d'une ressource mixte composée de la même quantité entre pucerons sains et pucerons fraîchement parasités (30PS+30PP), la même tendance est observée chez les espèces prédatrices (prédateurs IG) *C. algerica*, *N. tenius* et chez les deux en interaction, car ces espèces consomment respectivement $54.17 \pm 4.45\%$, $20.00 \pm 1.78\%$ et $30.63 \pm 3.20\%$ ($p \leq 0.01$).

En présence de pucerons parasités (60PP), les 03 couples de prédateurs consomment de façon différente avec un taux de $56.88 \pm 4.22\%$ chez le couple (C7AvsC7A) qui est plus élevé que celui observé chez la punaise ($24.17 \pm 3.45\%$). Cette différence est très significative ($p \leq 0.001$). La situation pour l'assemblage C7AvsNT montre le taux de prédation intermédiaire de $36.88 \pm 4.03\%$, avec une différence significative à 1% ($p \leq 0.01$).

En conclusion, on peut dire que la coccinelle *C. algerica* est plus vorace que la punaise *N. tenius* et la situation interspécifique génère un taux intermédiaire. Les résultats montrent que le nombre de pucerons parasités par *L. testaceipes* consommés est plus élevé que celui des pucerons sains ou en mélange ($PP > (PS+PP) = PS$). Cette différence est significative $p \leq 0.01$).

Lorsque les pucerons parasités sont préférentiellement consommés, il peut y avoir un déséquilibre sur le terrain à certaines périodes de la culture avec une raréfaction des parasitoïdes puisque la compétition est asymétrique. Cela peut affecter la coexistence de certaines espèces dans un milieu donné. D'après Wissinger et Mc Grady (1993), une interaction entre la compétition et la prédation détermine la coexistence d'espèces dans de nombreuses guildes de prédateurs.

Dans ce cas d'IGP entre prédateurs et parasitoïdes, plusieurs travaux sur différentes espèces ont donné des résultats parfois contradictoires. Meyhofer et Klug (2002), ont trouvé qu'en général, les espèces prédatrices consomment beaucoup plus de pucerons parasités que de pucerons non parasités. On a pu observer chez des pucerons d'*A. fabae* parasités mais encore vivants capturés par les larves de *C. septempunctata* et de *C. carnae*. En revanche, on a noté que la larve du syrphe *E. balteatus* tue les proies parasitées et non parasités dans les mêmes proportions. On a pu observer que les momies de pucerons pleines ont été détruites beaucoup moins fréquemment que les pucerons non parasités par les adultes de *C. septempunctata* et les larves d'*E. balteatus*. Par contre, selon Bilu et Coll (2009), *C. septempunctata* consomme de façon indifférente *M. persicae* parasitées ou non par *A. colemani*. C'est le même constat fait par Royer et al. (2008) pour les coccinelles *C. septempunctata* et *Hippodamia convergens* ne font pas de distinction entre les proies de l'espèce *Schizaphis graminum* Rondani parasités ou non par *L. testaceipes*. Au contraire Fischer et al. (2005) ont constaté qu'un pourcentage élevé de momies de *Metopeurum fuscoviride* Stroyan parasités par *Lysiphlebus hirticornis* Mackauer a été détruit par la punaise anthocoride *Anthocoris nemorum* Linnaeus. Mottaghinia et al., (2018), ont noté que les larves d'*A. aphidimyza* consomment seulement des individus d'*A. gossypii* parasités par *A. colemani*, mais encore vivants, et elles ne détruisent pas les momies sans doute à cause de leur spécificité de consommation. Lorsque les pucerons sains et parasités vivants sont offerts ensemble, *A. aphidimyza* consomme moins de pucerons parasités. D'après Bordeur et Rosenheim (2000), l'incidence de la prédation par trois espèces aphidophages (coccinelle, syrphe et cécidomyie) est similaire dans le cas du puceron de la pomme de terre *M. euphorbiae* lorsqu'il est parasité ou non parasité par *Aphidius nigripes*. Au contraire Colfer et Rosenheim (2001) rapportent que la coccinelle *H. convergens* se nourrit plus de pucerons *A. gossypii* non parasités par rapport à ceux qui sont parasités par *L. testaceipes*. En effet *H. convergens* a consommé en

moyenne jusqu'à $21,9 \pm 3,6$ momies et $32,9 \pm 4,6$ pucerons non parasités ce qui diminue sensiblement l'activité du parasitoïde à la génération suivante. C'est un constat fait par Lucas (2012) qui considère que les coccinelles peuvent affecter les parasitoïdes intra-guildes par la prédation directe des proies extra-guildes parasitées.

III.3.2.3.2. Nombre de momies formés après passage des prédateurs

Après l'estimation du taux de prédation des deux espèces *C. algerica*, *N. tenius* selon différentes modalités nous avons dénombré les momies formées (non consommées). Les résultats sont représentés dans la figure 98 :

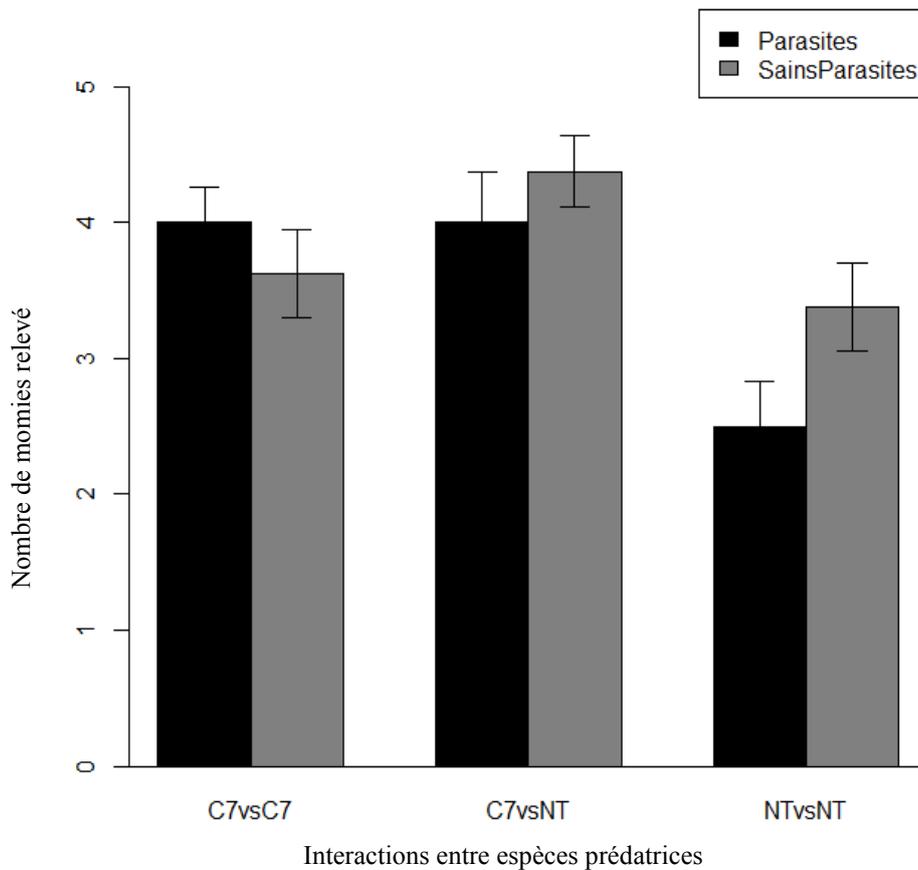


Figure 98 : Nombre de momies d'*A. gossypii* (AG ; n=60) relevées après le passage des 02 espèces *C. algerica* (C7A) et *N. tenius* (NT) dans les deux modalités: (60PP) et (30PS+30PP) ; AG parasité par *L. testaceipes* (LT).

Dans la modalité (60PP), le nombre de momies comptées après le passage des prédateurs pour le couple (C7AvsC7A) est égal à 4.00 ± 0.76 momies ; celui dans la modalité (30PS+30PP) est de 3.63 ± 0.92 momies. La différence est significative à 1% ($p \leq 0.01$). Pour le couple (C7AvsNT), le nombre de momies est équivalent sans différence significative ($p=0.28$), compris entre 4.00 ± 1.07 et de 4.38 ± 0.74 momies pour les modalités 60PP et 30PS+30PP respectivement. Concernant le couple punaise (NTvsNT), le nombre de momies est de 2.50 ± 0.93 pour la modalité 60PP qui est inférieur à celui de la modalité 30PS+30PP qui équivaut à 3.38 ± 0.92 momies

($p \leq 0.01$). Colfer et Rosenheim (2001), ont enregistré entre 98 et 100% de momies d'*A. gossypii* parasitées par *L. testaceipes* consommées par la coccinelle *H. convergens*.

A travers ces résultats, nous pouvons constater que le nombre de momies formées le moins important est obtenu dans le cas de *N. tenius* (NTvsNT) avec au maximum 2.5 momies. Pourtant dans cette modalité, le taux de prédation est le plus faible. La punaise *N. tenius* semble avoir une préférence pour les pucerons parasités au regard du nombre réduit de momies formées après le passage des prédateurs. Le nombre de momies est équivalent dans les modalités 60PP et 30PS+30PP ce qui laisse penser que les pucerons parasités seraient préférés pour ces deux espèces prédatrices. Par conséquent, les deux prédateurs pourraient avoir un impact négatif sur le parasitoïde *L. testaceipes* qui risque d'être éliminé du biotope tant que la présence des prédateurs persiste dans le même espace.

Ces résultats permettent de comprendre des situations complexes sur le terrain dans lesquelles les populations du puceron cible ne sont pas bien maîtrisées par le cortège de parasitoïdes inventoriés à un moment donné de la culture. La complexité est certainement plus grande quand on associe à ces organismes utiles le rôle joué par les parasitoïdes secondaires c'est-à-dire les hyperparasitoïdes qui peuvent modifier le comportement des autres espèces en concurrence. Rappelons que notre inventaire n'a comporté qu'une seule espèce (du genre *Dendrocerus*) dont le niveau est resté très faible et qui n'a été inventorié qu'en 2014.

Conclusion générale et perspectives

Cette étude qui s'est déroulée dans plusieurs communes de la wilaya de Djelfa sur culture de pomme de terre variété Désirée de 2013 à 2017 a permis de dresser un inventaire de la faune aphidienne rencontrée sur cette culture au printemps et d'évaluer l'importance et la diversité des entomophages qui lui sont associés pendant la même période.

Notre objectif principal était de mesurer l'importance de la faune antagoniste des pucerons en absence de traitements chimiques ponctuels pour mettre en évidence les espèces dominantes susceptibles de constituer une alternative à la lutte chimique à laquelle les agriculteurs ont recours sans discernement. Il fallait aussi comprendre quelles sont les interactions (intra ou inter spécifiques) entre différents groupes qui seraient susceptibles d'interférer sur la lutte biologique contre les pucerons.

A partir des inventaires des 2 niveaux trophiques, nous avons réalisé différentes expérimentations en conditions semi- contrôlées en optant pour une température moyenne de 25°C qui correspond à la période chaude de production avec une HR basse (inférieure à 40%).

Concernant les pucerons qui se nourrissent de la culture, nous avons inventorié seulement 5 principales espèces dont les 3 plus importantes sont : *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* et *Macrosiphum euphorbiae*. Notons que ces espèces figurent parmi tous les inventaires de pucerons cités dans la littérature scientifique dans le monde qui comptent un nombre plus élevé qui comptabilise aussi les espèces capturées par piégeage sur la culture de la pomme de terre ou à proximité.

Ce peuplement aphidien a attiré une diversité d'organismes entomophages (prédateurs et parasitoïdes) qui se multiplient en fonction de leurs besoins nourriciers mais aussi en fonction des rapports qui peuvent exister entre populations de différents groupes. Pour connaître leur composition, nous avons également réalisé un inventaire des principaux antagonistes de pucerons. Pour les espèces prédatrices, les espèces inventoriées appartiennent à 05 ordres (Coléoptères, Hétéroptères, Neuroptères, Diptères et Dermaptères). Ce sont les Coléoptères (famille des Coccinellidae) qui ont dominé en nombre d'espèces (8), et en effectifs. La coccinelle *Coccinella septempunctata* est la plus représentée suivie par deux autres (*Hippodamia tredecimpunctata* et *C. undecimpunctata*).

Nous avons récolté 6 espèces de punaises de la famille des Miridae avec trois espèces dominantes *Nesidiocoris tenius*, *Dicyphus* sp., *Macrolophus pygmaeus*. Chez la famille Chrysopidae, seule *Chrysoperla carnea* a été trouvée.

Pour l'inventaire des parasitoïdes primaires, nous avons enregistré 5 espèces dont l'identité a été confirmée par la technique moléculaire. Il s'agit de : *Lysiphlebus testaceipes*, *Aphidius ervi*, *A. matricariae*, *L. fabarum* et *A. rhopalosiphi*. C'est l'espèce *L. testaceipes* qui a dominé dans tous les sites, chaque année avec une abondance relative maximale de 67.74%.

Curieusement nous n'avons recensé qu'une seule espèce de parasitoïde secondaire (hyperparasitoïde) du genre *Dendrocerus* qu'il n'a pas été possible d'identifier au niveau espèce. De plus cette espèce a été retrouvée dans les émergences des momies collectées seulement en 2014 sur 3 sites.

L'étude des traits biologiques des 3 principales espèces de pucerons en conditions semi-contrôlées ($T = 25 \pm 1^\circ\text{C}$; HR= 37-45% et 16h de lumière/24), a permis de noter que la durée de développement larvaire ou la longévité de *M. euphorbiae* ne sont pas affectés par le nombre de pucerons mis en expérimentation par boîte. Seule la fécondité varie sensiblement en fonction de chaque cas. Pour *A. gossypii* la longévité est supérieure pour la femelle seule par rapport à celle de 5 VA groupées tandis que la fécondité de la femelle solitaire d'*A. gossypii* donne 85 larves par VA en moyenne alors que la moyenne obtenue par 5 VA groupées est seulement de 17 larves/VA.

Pour *M. euphorbiae* la fécondité est également très différente selon que la ressource soit utilisée par une seule VA (92,60 larves par femelle) ou par un groupe de 5 VA (15,83 larves/VA). Ici on voit bien que le rôle de la qualité de la plante est très important.

Les expérimentations sur la capacité prédatrice des mirides durant 24h en fonction du nombre de pucerons offerts ont concerné les punaises *N. tenuis* et *M. pygmaeus* ayant comme proie *M. persicae*. C'est *N. tenuis* qui a consommé le plus de proies (20) par rapport à *M. pygmaeus* qui n'en a consommé que 12 ($p < 0.001$). La consommation par la coccinelle *C. septempunctata* a été évaluée sur 2 espèces (*A. gossypii* et *M. persicae*). Sur 40 proies offertes séparément par espèce, on note que c'est *A. gossypii* qui est préféré par *C. septempunctata* (33 proies consommées) alors que *C. undecimpunctata* n'en consomme que 28. En augmentant le nombre de proies à 60, *C. septempunctata* consomme plus d'*A. gossypii* que *H. tredecimpunctata*. Cette dernière consomme plus d'*A. gossypii* que *M. persicae*. En définitive, c'est *C. septempunctata* qui a la plus grande capacité prédatrice avec une préférence marquée pour *A. gossypii*. Ce qui invite à sa protection contre les traitements abusifs et à l'aménagement de sites d'hivernation ou d'espaces verts en bordure des cultures. La dynamique temporelle du taux de prédation chez *C. carnea* varie selon la source de nourriture durant le développement larvaire. La consommation totale cumulée de la chrysope sur *A. gossypii* a été plus grande que

celles enregistrées sur *M. euphorbiae* et sur *M. persicae*. Le développement de *C. carnea* s'accélère en fonction du nombre de proies consommées.

La comparaison du potentiel de régulation des populations d'*A. gossypii* par les deux parasitoïdes *L. testaceipes* et *A. matricariae* durant toute leur période de vie, a fait ressortir que même si les deux espèces ont des caractéristiques biologiques proches, la différence essentielle réside dans la réussite parasitaire car *L. testaceipes* engendre plus de descendants viables par rapport à *A. matricariae* dont le taux d'émergence des adultes reste limité.

Les résultats des tests d'interactions entre différents prédateurs sur *A. gossypii* ont montré que les coccinelles (*H. tredecimpunctata* et *C. septempunctata*) sont plus efficaces que les punaises (*N. tenuis* ou *M. pygmaeus*) en situation intra-spécifiques. En situation interspécifique, nos résultats n'ont pas permis de noter une différence significative entre les coccinelles et les punaises.

Lorsque des pucerons *A. gossypii* parasités par *L. testaceipes* sont exposés à la prédation par la coccinelle *C. algerica* et par la punaise *N. tenuis* c'est encore la coccinelle *C. algerica* qui se montre plus vorace. La même tendance est observée lorsque les pucerons sont offerts sous deux modalités (pucerons parasités et pucerons sains). Les résultats ont montré que ce sont les pucerons parasités qui sont les plus consommés. Dans ce dernier test sur les interactions entre prédateurs et parasitoïdes, on constate qu'il y a une compétition en faveur des prédateurs car les parasitoïdes sont éliminés par la consommation des hôtes qui les hébergent. Cette observation peut expliquer en partie le faible taux de momies sur le terrain à certaines périodes de la culture.

Ces résultats qui ne reflètent que très partiellement la réalité du terrain, permettent de mieux comprendre le fonctionnement des équilibres fauniques dans un espace donné à une période donnée.

Cette étude pourrait servir de base pour d'autres recherches en vue de valoriser au mieux la faune utile autochtone. Il faudrait analyser les conséquences sur les 3 niveaux trophiques et des conditions climatiques à moyen terme suite au réchauffement climatique.

Une étude plus détaillée montrant l'effet des températures élevées et d'une hygrométrie très basse sur la bio-écologie des espèces associées à la culture de pomme de terre serait d'une grande utilité pour maintenir la biodiversité, pour ajuster et développer les méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique car nous ne pourrions pas continuer à déverser des quantités de pesticides dans notre environnement en ignorant tous leurs méfaits.

Références bibliographiques

- Abdel-Salam, A. H., El-Serafi H.A.K., Bayoumy M. H. & Abdel-Hady A.A.A., 2018: Effect of Temperature and Aphid-Host Plant Variety on Performance and Thermal Requirements of *Coccinella undecimpunctata* L. and *Cheilomenes propinqua isis* (mulsant). J. Plant Prot. and Path., Mansoura Univ., vol. 9(6): pp375-380.
- Adabi S.T., Talebi A.A., Fathipour Y. & Zamani A.A., 2010: Life history and demographic parameters of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) and its parasitoid, *Aphidius matricariae* (hymenoptera: aphidiidae) on four sugar beet cultivars. Acta entomologica serbica, 2010, vol. 15(1): pp61-73.
- Agamy E. A., El-Heneidy, A. H., El-Hussien M. M. & Dalia Adly D., 2003: Biological studies on certain aphid species and their parasitoid *Aphidius matricariae* Hal. (Hymenoptera: Aphidiidae). Proceeding of the Int. Egyptian-Romanian Conference of Zagazig University 6-8 December 2003: pp77-89.
- Aït Chabane A., 1991. Etude comparée des facteurs du potentiel biotique de *Myzus persicae* Sulzer (Hom : Aphididae) et *Aphis gossypii* Glover (Hom : Aphididae). Mise en évidence de l'efficacité d'*Aphidius matricariae* Haliday (Hym : Aphidiidae) sur *Myzus persicae* Sulzer (Hom : Aphididae). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie. I.T.A de Mostaganem. Algérie : 59 p.
- Al-Deghairi M.A., Abdel-Baky N.F., Fouly A.H. & Ghanim N.M., 2014: Foraging Behavior of Two Coccinellid Species (Coleoptera: Coccinellidae) Fed on Aphids. Journal of Agricultural and Urban Entomology, vol. 30(1): pp12-24.
- Aldrich J.R., Chauhan K. & Zhang Q., 2015: Pharmacophagy in green lacewings (Neuroptera: Chrysopidae: *Chrysopa* spp.)? PeerJ. Ed. Chandan Goswami: 17p.
- Alghamdi A., Al-Otaibi S. & Sayed S.M., 2018: Field evaluation of indigenous predacious insect, *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuroptera: Chrysopidae), fitness in controlling aphids and whiteflies in two vegetable crops. Egyptian Journal of Biological Pest Control, 28.20: 08p.
- Alptekin Y., 2011: Integrated pest management of potatoes. Agricultural Sciences, vol. 2(3): pp297-300.
- Alston D.G. & Tebeau A., 2011: European Earwig (*Forficula auricularia*). Utah pests. Fact sheet. Utah State University Extension & Utah State University Extension, vol. 145(11): 03p.
- Alvarado P., Balta O., & Aloma O., 1997: Efficiency of four Heteroptera as predators of *Aphis gossypii* and *Macrosiphum euphorbiae* (Hom. : Aphididae). Entomophaga, vol. 42 (1/2): pp215-226.
- Amorós-Jiménez R., Pineda A., Fereres A. & Marcos-García M.Á., 2012: Prey availability and abiotic requirements of immature stages of the aphid predator *Sphaerophoria rueppellii*. Biological Control, vol. 63: pp17-24.
- Aristizábal L.F. & Arthurs S.P., 2018: Convergent Lady Beetle *Hippodamia convergens* Guérin-Ménéville (Insecta: Coleoptera: Coccinellidae). Department of Entomology and Nematology, UF/IFAS Extension: 05p.
- Armer C.A., Berry R.E. & Kogan M., 2000: Longevity of phytophagous Heteropteran predators feeding on transgenic Btt-potato plants. Entomologia Experimentalis and Applicata, vol. 95: pp329-333.
- Aroun M.E., 2015 : Le complexe aphides et ennemis naturels en milieu cultivé et forestier en Algérie. Thèse Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique-El Harrache-Alger : 169p.
- Arshad M., Khan H.A.A., Hafeez F., Sherazi R. & Iqbal N., 2017: Predatory Potential of *Coccinella septempunctata* L. against Four Aphid Species. Pakistan J. Zool., vol. 49(2): pp 623-627.
- Arvy M.P. et Gallouin F., 2007 : Légume d'hier et d'aujourd'hui. Ed. Belin, Paris : 608p.
- Atlihan R. Kaydan B. & Özgoökçe M. S., 2004: Feeding activity and life history characteristics of the generalist predator, *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) at different prey densities. J Pest Sci (2004), vol. 77: pp17-21.
- Austin A.D. & Downton M., 2000: The Hymenoptera. An Introduction. Hymenoptera Evolution, Biodiversity and Biological Control. Ed. Andrew D. Austin & Mark Downton. Part 01: pp3-7.
- Awmack C.S. & Leather S.R., 2007 : Growth and Development. Aphids as Crop Pests Chapter 02. Ed. H. van Emden and R. Harrington: pp135-151.
- Azevedo A.G.C., Steinwender B.M., Eilenberg J. & Sigsgaard L., 2017: Interactions among the Predatory Midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae), the Fungal Pathogen *Metarhizium brunneum* (Ascomycota: Hypocreales), and Maize-Infesting Aphids in Greenhouse Mesocosms. Insects 2017, vol. 8(44): 12p.
- Bahy El-Din, I.A. & El-Khawas, M.A.M., 2013: A Comparison of the Effect of Some Ecological Parameters on the Occurrence of the Cotton Aphid, *Aphis gossypii* (Glov.) and Their Common Predators

Références bibliographiques

- of Family Coccinellidae, on the Guava Trees in Qalubia Governorate, with Performing an Applied Biological Pest Control Experiment. Egypt. Acad. J. Biolog. Sci., vol. 11(3): pp97-123.
- Bakroune N.E., 2012 : Diversité spécifique de l'aphidofaune (Homoptera, Aphididae) et de ses ennemis naturels dans deux (02) stations: El-Outaya et Ain Naga (Biskra) sur piment et poivron (Solanacées) sous abris-plastique. Thèse Master, Option : Agriculture et environnement en régions arides. Département des Sciences Agronomiques. SNV. Université Mohamed Khider – Biskra : 124p.
- Bale J.S, Masters G.J, Hodkinson I.D., Awmack C.,..., Watt A.D. & Whittaker J.B., 2002 : Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. Global Change Biology (2002), vol. 8 : pp1-16.
- Barahoei H., Madjzadeh, S.M. & Mehrparvar M., 2012: Aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) and their tritrophic relationships in Kerman province, Southeastern Iran. Iranian Journal of Animal Biosystematics (IJAB), vol. 8(1): pp1-14.
- Barahoei H., Rakhshani E., Nader E., Starý P., Kavallieratos N.G., Tomanović Z. & Mehrparvar M., 2014: Checklist of Aphidiinae parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) and their host aphid associations in Iran. J. Crop Prot. 2014, vol. 3(2): pp199-232.
- Bayoumy M.H. & Awadalla H.S., 2018: Foraging responses of *Coccinella septempunctata*, *Hippodamia variegata* and *Chrysoperla carnea* to changing in density of two aphid species. Biocontrol Science and Technology: 16p.
- Bejan M., 2007 : Études sur la résistance d'accessions de *Solanum* sauvages envers le puceron de la pomme de terre *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) et le puceron vert du pêcher *Myzus persicae* (Sulzer) (Aphidae). Mémoire de la maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal : 78p.
- Ben Halima-Kamel M. & Ben Hamouda M. H., 2005: A propos des pucerons des arbres fruitiers de Tunisie. Notes fauniques de Gembloux 2005 58: pp11-16.
- Ben Halima-Kamel M., 2010: Les ennemis naturels de *Coccinella algerica* Kovár dans la région du Sahel en Tunisie. Entomologie faunistique – Faunistic Entomology 2010 (2009) 62 (3): pp97-101.
- Ben Halima-Kamel M., Rebhi R. & Ommezine A., 2011 : Habitats et proies de *Coccinella algerica* Kovar dans différentes régions côtières de la Tunisie. Entomologie faunistique – Faunistic Entomology 2011 (2010), vol. 63 (1) : pp35-45.
- Benia F., 2010 : Étude de la faune entomologique associée au chêne vert (*Quercus ilex* L.) dans la forêt de Tafat (Sétif, Nord-est d'Algérie) et bio-écologie des espèces les plus représentatives. Thèse Doctorat, Option : Biologie Animale. Université Ferhat Abbas- Sétif : 250p.
- Benoufella-Kitous K., Doumandji S. & Hance T., 2014 : Inventaire des aphides et de leurs ennemis naturels dans un verger d'agrumes. AFPP, Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture Montpellier 22 et 23 Octobre 2014 : 10p.
- Bensaad R., 2011 : Lutte intégrée contre la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) ; Identification des prédatrice des punaises dans la Wilaya de Mostaganem. Premiers résultats sur leur capacité de prédation. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Département d'Agronomie. Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem: 56p.
- Bensaad R., Guenaoui Y. et Outreman Y., *al.*, 2018 : Intraguild interactions between two aphid predators species and the parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* both feeding on *Aphis gossypii* reared on potato plant. Communication affichée. Journées Scientifiques de l'INAT/International Scientific Symposium INAT - 120th Anniversary, 17-19 octobre 2018, INAT, Tunis, Tunisie.
- Bensusan K.J., Batet J.M. & Perez C.E., 2006: *Coccinella algerica* Kovář, 1977: A new species to the fauna of mainland Europe, and a key to the *Coccinella* Linnaeus, 1758 of Iberia, The Maghreb and the Canary islands (Coleoptera, Coccinellidae). Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, n1 39 (2006): pp323-327.
- Berry R.E., 1998: Green peach aphid (Homoptera: Aphididae) *Myzus persicae*. Insects and mites of economic importance in the northwest. 2nd Ed: 221p.
- Bessin R., 2019: Green Lacewing. Cooperatvie Extension Service. University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment, Lexington: 02p.
- Beukeboom L.W. & Zwaan B.J., 2005: Genetics. Insects as Natural Enemies; A Practical Perspective. Ed. Mark A. Jervis: pp166-218.
- Bilu E. & Coll M., 2009 : Parasitized Aphids Are Inferior Prey for a Coccinellid Predator: Implications for Intraguild Predation. Environmental Entomology, vol. 38(1): pp153-158.
- Blackman R.L. & Eastop V.F., 2000: Aphids on the World's Crops. An Identification and Information Guide. 2nd Ed. New York. : John Wiley and Sons Publishers: 466p.

Références bibliographiques

- Blackman R.L. & Eastop V.F., 2006: Aphids on the World's Herbaceous Plants and Shrubs, The Natural History Museum; John Wiley & Sons Ltd: 1439p.
- Blackman R.L. & Eastop V.F., 2007: Taxonomic Issues. Aphids as Crop Pests Chapter 02. Ed. H. van Emden and R. Harrington: pp01-29.
- Bloc A., Thievent P. et Montagner H., 1984: Etude préliminaire de la dynamique des populations d'un puceron producteur de miellat : *cinara pectinatae* Nördl. (Homoptera-Lachnidae) dans le doubs. Relation avec la pluviométrie. *Apidologie*, vol. 15(1) : pp11-22.
- Boiteau G., 2008: État de la lutte dirigée contre les insectes ravageurs en production biologique de pommes de terre. Centre de recherche en pomme de terre, Agriculture, Cahiers Agricultures vol. 17(4): pp282-287.
- Boivin G., Hance T. & Brodeur J., 2012: Aphid parasitoids in biological control. *Can. J. Plant Sci.*, vol. 92: pp1-12.
- Bonnaud L., 2019: Le commerce des insectes auxiliaires. Point de vue de Joop C. van Lenteren. <https://ritme.hypotheses.org/1960>. Consulté le 29/06/2020.
- Booij C.J.H. & Noorlander J., 1992: Farming systems and insect predators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 40: pp125-135.
- Brambila J. & Hodges G.S., 2008: Bugs (Hemiptera). *Encyclopedia of Entomology*. Ed. John L. Capinera University of Florida. 2nd edition: pp591-611.
- Brinza L., Viñuelas J., Cottret L., Calevro F., Rahbé Y.,..., Sagot M.F. & Charles H., 2009 : Systemic analysis of the symbiotic function of *Buchnera aphidicola*, the primary endosymbiont of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *C. R. Biologies* 332 (2009) : pp1034-1049.
- Brodeur J. & Rosenheim J.A., 2000 : Intraguild interactions in aphid parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 97: pp93-108.
- Brodeur J., Boivin G., Bourgeois G., Cloutier C., Doyon J., Grenier P. & Gangon A.E., 2013 : Impact des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels: conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec. Université de Montréal, Canada : 124p.
- Bueno V.H.P., Sampaio M.V., Bruno J.C.L., Robson F.C, Silva J., Rodrigues S.M.M., and Carnevale A.B., 2006: Evaluation of two aphid parasitoids as candidates for biocontrol of aphid pests in protected cultivation in Brazil. *Bulletin*, vol. 29(4) : pp175-180.
- Bug Guide, 2007 : Potato Aphids - *Macrosiphum euphorbiae*. Identification, Images & Information for insects, spiders & their kin. <https://bugguide.net/node/view/98628>. Consulté le 21/06/2020.
- Bugg R.L., Colfer R.G., Chaney W.E., Smith H.A. & Cannon J., 2008: Flower flies (Syrphidae) and other biological control agents of aphids in vegetable crops. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 8285 May 2008: 25p.
- C.I.P. (International Potato Center), 1996 : Major Potato Diseases, Insects, and Nematodes Ed. Bill Hardy. : 111p.
- Cabral S., Soares A.S., Moura R. & Garcia P., 2006: Suitability of *Aphis fabae*, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) and *Aleyrodes proletella* (Homoptera: Aleyrodidae) as prey for *Coccinella undecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control*, vol. 39: pp434-440.
- Cabral S., Soares A.S. & Garcia P., 2009: Predation by *Coccinella undecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) on *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae): Effect of prey density. *Biological Control*, vol. 50: pp25-29.
- Cabral S., Soares A.S. & Garcia P., 2011: Voracity of *Coccinella undecimpunctata*: effects of insecticides when foraging in a prey/plant system. *J. Pest Sci*, vol. 84: pp373-379.
- Capinera J.L., 2008: Potato Aphid, *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae). *Encyclopedia of Entomology*. Ed. John L. Capinera University of Florida. 2nd edition: pp3008-3011.
- Cardinale B.J., Weis J.J., Forbes A.E., Tilmon K.J. & Ives A.R., 2006 : Biodiversity as both a cause and consequence of resource availability: a study of reciprocal causality in a predator-prey system. *Journal of Animal Ecology* 2006, vol. 75 : pp497-505.
- Carletto J., LombaerT E., Chavigny P., Brévault T.,Lapchin L. & Vanlerberghe-Masutti F., 2009: Ecological specialization of the aphid *Aphis gossypii* Glover on cultivated host plants. *Molecular Ecology* (2009), vol. 18: pp 2198-2212.
- Carli C. & Baltaev B., 2008: Aphids infesting potato crop in the highlands of Uzbekistan. *American Journal of Potato Research*, vol. 35(3-4): pp134-140.

Références bibliographiques

- Carnevale A.B., Bueno V.H.P. & Sampaio M.V., 2003: Parasitism and Development of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Aphidiidae) on *Aphis gossypii* Glover and *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology*, vol. 32(2): pp293-297.
- Carver M. & Franzmann B., 2001 : *Lysiphlebus* Förster (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in Australia. *Australian Journal of Entomology*, vol. 40 : pp198-201.
- Cassola F. & Pearson D.L., 2001: Neotropical Tiger Beetles (Coleoptera: Cicindelidae): Checklist and Biogeography. *Cassola & Pearson Biota Colombiana*, vol. 2(1): pp3-24.
- Castañé C., Agustí N, Arnó J., Gabarra R., Riudavets J., Comas J. & Alomar Ó., 2013: Taxonomic identification of *Macrolophus pygmaeus* and *Macrolophus melanotoma* based on morphometry and molecular markers. *Bulletin of Entomological Research* (2013) 103: pp204-215.
- Chaouche T.S. & Laamari M., 2015: Aphid parasitoid species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) and their associations in Biskra province, Algeria. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, vol. 3(2): pp179-184.
- Chase J.M., Abrams P.A., Grover J.P., Diehl S., Chesson P., Holt R.D., Richards S.A., Nisbet R.M., Case T.J., 2002: The interaction between predation and competition : a review and synthesis. *Ecology Letters*, vol. 5: pp302-315.
- Chebbah A., 2016: Contribution à l'étude de la production de quelques variété des pomme de terre dans la region de Tlemcen. Master en Agronomie, Amélioration Végétale. Département Agronomie. Université de Tlemcen: 63p.
- Chow F.J. & Mackau M., 1984 : Inter- and intraspecific larval competition in *Aphidius smithi* and *Praon pequodorum* (hymenoptera: aphidiidae). *Can. Ent.* 116: pp1097-1107.
- Chown S.L., & Nicolson S.W., 2004 : *Insect Physiological Ecology. Mechanisms and Patterns*. Ed. Oxford University Press : 254p.
- Cividanes F.J & Souza V.P., 2003: Thermal Requirements and Age-Specific Life Tables of *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) in Laboratory. *Neotropical Entomology* 32(3): pp413-419.
- Cœur d'Acier A., Hidalgo N.P. & Petrovic-Obradovic O., 2010: Aphids (Hemiptera, Aphididae). Chapitre 9.2. *BioRisk*, vol. 4(1): pp435-474.
- Cœur d'acier A., Jouselin E., Martin J.F. & Rasplus J.Y., 2007: Phylogeny of the Genus *Aphis* Linnaeus, 1758 (Homoptera: Aphididae) inferred from mitochondrial DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 42: pp598-611.
- Cohen A.C., 2005: *Insect diets. Science and Technology*. Insect Diet and Rearing Institute, LLC Tucson, Arizona. Ed. Taylor & Francis e-Library, 2005: 312p.
- Colfer R.G. & Rosenheim J.A., 2001 : Predation on immature parasitoids and its impact on aphid suppression. *Oecologia*, vol. 126: pp292-304.
- Collier T. & Van Steenwyk R., 2004: A Critical Evaluation of Augmentative Biological Control. *Biological Control*, vol. 31(2): pp245-256.
- Combes C., Gavotte L., Moullia C. & Moullia C., 2000: *Parasitisme. Ecologie et évolution des interactions durables*. Ed. Dunod Paris : 321p.
- Cornelis M. & Coscarón M.C., 2013: The Nabidae (Insecta, Hemiptera, Heteroptera) of Argentina. *ZooKeys*, vol. 333: pp1-30.
- Cornell J.D., 2007: Biocontrol: Limits to Use. *Encyclopedia of Pest Management*. Ed. Pimentel D. Vol 2: pp33-36.
- Correa L.R.B., Cividanes F.J. & Sala S.R.D., 2013: Biological aspects of *Aphis gossypii* Glöver, 1877 (Hemiptera: Aphididae) on colored lint cotton cultivars. *Arq. Inst. Biol., São Paulo*, vol.80 (3): pp325-333.
- Costa A. & Sary P., 1988: *Lysiphlebus testaceipes*, an introduced aphid parasitoid in Portugal (Hym.: Aphidiidae). *Entomophaga*, vol. 33(4): pp403-412.
- D.P.A.T. (Direction de la Planification et d'Aménagement de Territoire), 2004 : Monographie de Djelfa : 224p.
- D.P.A.T. (Direction de la Planification et d'Aménagement de Territoire), 2010 : Monographie de Djelfa : 297p.
- D.S.A. (Direction des Services Agricoles - Djelfa), 2013 : Statistiques agricoles de la Wilaya de Djelfa Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche. Algérie.
- D.S.A. (Direction des Services Agricoles- Djelfa), 2018 : Statistiques agricoles de la Wilaya de Djelfa. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural et de la Pêche. Algérie.
- Dahliz A., 2009 : Influence de la plante sur les relations hôte-parasite entre le puceron *Aphis gossypii* Glover (Hom : Aphididae) et son ennemi naturel *Trioxys angelicae* Haliday (Hym : Braconidae:

Références bibliographiques

- Aphidiinae). Mém. Magister en Sciences Agronomiques. Lutte biologique et intégrée contre les bioagresseurs des cultures. Département d'Agronomie. Université Abdelhamid Ibn Badis. Mostaganem: 51p.
- Darwish A.A.F.S., 2019: Stage-specific Life Table Parameters of *Coccinella septempunctata* Linnaeus and *Coccinella undecimpunctata* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) on Different Host Species under Laboratory Conditions. Egypt. Acad. J. Biolog. Sci., vol. 12(3): pp37-47.
- De Backer L., 2012: Evaluation of *Macrolophus pygmaeus* (Heteroptera: Miridae) as biocontrol agent against aphids. Master Bioingénieur en sciences Agronomiques. Université de Liege. 85p.
- De Backer L., Wäckers F.L., Francis F. & Verheggen F.J., 2015: Predation of the Peach Aphid *Myzus persicae* by the mired Predator *Macrolophus pygmaeus* on Sweet Peppers: Effect of Prey and Predator Density. Insects 2015, vol. 6: pp514-523.
- De Conti B.F., Bueno V.H.P., Sampaio M.V. & Sidney L.A., 2010: Reproduction and fertility life table of three aphid species (*Macrosiphini*) at different temperatures. Revista Brasileira de Entomologia, vol. 54(4): pp654-660.
- De Conti B.F., Bueno V.H.P., Sampaio M.V. & Van Lenteren J.C., 2011: Development and survival of *Aulacorthum solani*, *Macrosiphum euphorbiae* and *Uroleucon ambrosiae* at six temperatures. Bulletin of Insectology, vol. 64 (1): pp63-68.
- Dedryver C.A., Le Ralec A. & Fabre F., 2010 : The conflicting relationships between aphids and men: A review of aphid damage and control strategies. Academie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. Comptes Rendus Biologies, vol. 333: pp539-553.
- Dent D., 2000: Cultural and Interference Methods. Insect Pest Management. 2nd Edition. CABI Bioscience UK Centre. Ascot UK. Chapitre 07: pp235-266.
- Deschamps C., 2007 : *Macrolophus caliginosus* (Wagner) auxiliaire de lutte contre *Bemisia tabaci* (Gennadius) en culture de tomate sous abris : Capacité d'agrégation sur les foyers et détection de la proie. Master 2 professionnel « Contrôle et Conservation des Populations d'Insectes ». Université François Rabelais. France : 67p.
- Dewar A.M, 2007: Chemical Control. Aphids as Crop Pests. Ed. H. van Emden and R. Harrington: p391-422.
- Dey S.R. & De M., 2018: Report on winter crop plant-aphid- aphidophagous Chrysopidae (Neuroptera: Insecta) association from Murshidabad district, West Bengal, India International Journal of Experimental Research and Review (IJERR), vol. 16: pp7-13.
- Dhooria M.S., 2008: Ane's Encyclopedic Dictionary of General & Applied Entomology. Ane Books India: 302p.
- Dib H., 2010 : Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera aphididae) en vergers de pommiers. Thèse Doctorat. INRA, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse: 253p.
- Dib H., Sauphanor B. & Capowiez Y., 2016: Report on the life history traits of the generalist predator *Forficula auricularia* (Dermaptera: Forficulidae) in organic apple orchards in southeastern France. Can. Entomol, vol. 149: pp5-72.
- Dion E., 2011: Effet de l'écologie d'un hôte sur l'évolution de son principal parasitoïde. Thèse doctorat Biologie et Agronomie. Docteur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agro-alimentaires, Horticoles et du Paysage : 177p.
- Doremus M.R. and Oliver K.M., 2017 : Aphid heritable symbiont exploits defensive mutualism. Appl. Environ. Microbiol. : 45p.
- Douglas A.E. & Van Emden H.F., 2007: Nutrition and Symbiosis. eds H. van Emden and R. Harrington. Aphids as Crop Pests: pp115-134.
- Doury G., Pottier J. Ameline A., Mennerat A., Dubois F., Rambaud C. & Couty A., 2015: Bioenergy Crops and Natural Enemies: Host Plant-Mediated Effects of Miscanthus on the Aphid Parasitoid *Lysiphlebus testaceipes*. Bioenerg. Res. (2015), vol. 8: pp1275-1283.
- Duarte L., Pacheco R., Quiñones M., Martínez M.A. & Bueno V.H.P., 2013: *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hemiptera: Miridae) and *Cycloneda sanguinea limbifer* (Casey) (Coleoptera: Coccinellidae): Behaviour and predation activities on *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera: Aphididae). 13° Siconbiol. Bonit Mato Grosso do Sol Brasil, 15 a 18 setembro 2013.
- Dubey J.K. & Patyal S.K., 2007: Chemistry of Pesticides. Encyclopedia of Pest Management. Vol 2, Ed. Pimentel D. Cornell University, Ithaca, New York, U.S.A.: pp67-74.

Références bibliographiques

- Dufour R., 2001: Biointensive integrated pest management (IPM). Fundamentals of Sustainable Agriculture. ATTRA (Appropriate Technology Transfer for Rural Areas): National Center for Appropriate Technology: 52p.
- Duron O. & Weill M., 2009: Pleiotropy of adaptative genes: How insecticide resistance genes mediate outcomes of symbiosis. Insect symbiosis, volume three. Ed. Thomas A. Miller, Chapitre 4: pp77-93.
- Edson J.L., 1985 : The Influences of Predation and Resource Subdivision on the Coexistence of Goldenrod Aphids. Ecology, vol. 66(06) : pp1736-1743.
- Eggleton P. & Gaston K.J., 1990 : « parasitoid » species and assemblages : convenient definitions or misleading compromise? Oikos 1990, vol. 59(03) ref.45 : pp417-421.
- El Arnaouty S. A. & Kortam M. N., 2012: First Record of the Mired Predatory Species, *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Heteroptera: Miridae) on the Tomato Leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Egypt. Egyptian Journal of Biological Pest Control, vol. 22(2): pp223-224.
- El-Zahi S.E., 2017: Preference and Predatory Potential of *Chrysoperla carnea* (Stephens) and *Coccinella undecimpunctata* Linnaeus on *Phenacoccus solenopsis* Tinsley: A New Threat to the Egyptian Economic Crops. Alexandria Science Exchange Journal, vol. 38(4): pp837-843.
- Evans E.W., 2009: Lady beetles as predators of insects other than Hemiptera. Biological Control, vol. 51: pp 255-267.
- Evergreen Growers Supply, 2013: *Aphidius matricariae* <https://www.evergreengrowers.com/aphidius-matricariae-group-matri.html>. Consulté le 30.03.2020.
- Eyles A.C., Marais T. & George S., 2008: First New Zealand record of the genus *Macrolophus* Fieber, 1858 (Hemiptera: Miridae: Bryocorinae: Dicyphini): *Macrolophus pygmaeus* (Rambur, 1839), a beneficial predacious insect. Zootaxa 1779: pp33-37.
- Fantinou A.A., Perdikis D.Ch., Labropoulos P.D. & Maselou D.A., 2009: Preference and consumption of *Macrolophus pygmaeus* preying on mixed instar assemblages of *Myzus persicae*. Biological Control 51 (2009): pp76-80.
- FAO, 2008 : Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture. La pomme de terre. www.fao.org/potato-2008/fr/pommedeterre/pdf.html. Date de consultation : 11.04.2017.
- FAO., 2015 : Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture. La pomme de terre. <http://www.fao.org/fr/>. Consulté le: 16.09.2017.
- FAOstat., 2020 : Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture. Culture ; La pomme de terre. <http://www.fao.org/statistics/fr/.com>. Consulté le: 28.02.2020.
- Farooq M., Shakeel M., Iftikhar A., Shahid M.R. & Zhu X., 2018: Age-Stage, Two-Sex Life Tables of the Lady Beetle (Coleoptera: Coccinellidae) Feeding on Different Aphid Species. Journal of Economic Entomology, vol. 111(2): pp575-585.
- Fellowes M.D., van Alphen J.J.M. & Jervis M.A., 2005: Foraging Behaviour. Insects as natural enemies. A Practical Perspective. Ed. Mark A. Jervis: pp01-71.
- Fick S.E. and Hijmans R.J., 2017: Worldclim 2. New 1-km spacial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatologie. www.rmets.org. Consulté le 01/10/2020.
- Firlej A., Boivin G., Lucas E. & Coderre D., 2005 : First report of *Harmonia axyridis* Pallas being attacked by *Dinocampus coccinellae* Schrank in Canada. Biological Invasions (2005) 7: pp553-556.
- Fischer M.K., Hoffmann K.H. & Völkl W., 2001 : Competition for mutualists in an ant-homopteran interaction mediated by hierarchies of ant attendance. OIKOS, vol. 92: pp531-541.
- Foufou A., Kechiched R., Lekoui S., Mahammedi K. & Ramdani S., 2013: Ressources en eau et gestion intégrée dans la ville d'Ain-Oussera (W. De Djelfa, Algérie). Proceeding du Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement SIHE 2013 Ouargla : pp05-08.
- Francis F., Haubruge E., Haster P. & Gaspar C., 2001: Effect of Aphid Host Plant on Development and Reproduction of the Third Trophic Level, the predator *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Environ. Entomol., vol. 30(5): 947-952.
- Fraival A., 2006: Les pucerons. 1ère partie. Insectes, vol. 3. N° 141- 2006 (2): 6p.
- Fréchette B. & Coderre D., 2000: Oviposition strategy of the green lacewing *Chrysoperla rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae) in response to extraguild prey availability. Eur. J. Entomol. 97: pp507-510.
- Fréchette B., Dixon A.F.G., Alauzet C., Boughenou N. & Hemptinne J.L., 2006: Should aphidophagous ladybirds be reluctant to lay eggs in the presence of unsuitable prey? Entomol Exp Appl, vol. 118:121-127.
- Fuentes-Contreras E., Pell J.K. & Niemeyer H.M., 1998 : Influence of plant resistance at the third trophic level: interactions between parasitoids and entomopathogenic fungi of cereal aphids. Oecologia, vol. 117: pp426-432.

- Futuyma D.J., 2003 : Accounting for biological diversity. *Evolution*, vol. 57(5) : pp1216-1220.
- Gagnon A.E., Roy M. & Roy A., 2013 : Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis des cultures. *Agriculture, Pêche et Alimentation*, Québec : 80p.
- Gavkare O., Kumar S. & Japoshvili G., 2014: Effectiveness of native parasitoids of *Myzus persicae* in greenhouse environments in India. *Phytoparasitica* (2014), vol. 42: pp141-144.
- Gianessi L.P., Silvers C.S., Sankula S. & Carpenter J.E., 2002: Insect/Viral Resistant Potato. *Plant Biotechnology: Current and Potential Impact For Improving Pest Management In U.S. Agriculture. An Analysis of 40 Case Studies*. National Center for Food and Agricultural Policy: 21p.
- Gianoli E. & Hannunen S., 2000 : Plasticity of leaf traits and insect herbivory in *Solanum incanum* L. (Solanaceae) in Nguruman, SW Kenya. *Afr. J. Ecol.*, 38 : 1pp83-187.
- Gillott C., 2005: *Entomology*. 3rd edition, Springer. University of Saskatchewan Saskatoon, Saskatchewan, Canada: 831p. <https://en.calameo.com/read/00041071531d5a0f203a8>. Consulté le 16/06/2020.
- Giordanengo P., 2004: Ravageurs des cultures agents de contrôle lutte biologique et intégrée. Université de Picardie Jules Verne : 93p.
- Godfrey L.D., 1997: Potato aphids (*Myzus persicae*, *Macrosiphum euphorbiae*). UC Pest Management Guidelines. University of California, Statewide Integrated Pest Management Project: pp1-3.
- Goggin F.L., 2007: Plant-aphid interactions: molecular and ecological perspectives. *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 10: pp399-408.
- Goubault M., 2003 : Exploitation des hôtes chez un hyménoptère parasitoïde solitaire : Conséquences adaptatives de la compétition intra-spécifique sur les stratégies comportementales des femelles. Thèse Doctorat en Biologie. Université de Rennes 1 : 197p.
- Grafius E.J & Douches D.S, 2008: The Present and Future Role of Insect-Resistant Genetically Modified Potato Cultivars in IPM. *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*. Ed. J. Romeis, A.M. Shelton, G.G. Kennedy. Chapter 7: pp195-221.
- Guenauoui Y, 1988 : Lutte intégrée en culture protégées : Contribution à l'étude des interactions entre *Aphis gossypii* Glover et son endoparasite *Aphidius colemani* Viereck. Essai de lutte biologique sur concombre. Thèse Docteur, ingénieur en sciences agronomique. ENSA, Rennes.
- Guenauoui, Y., 1990 : Contribution a l'etude des relations hôte-parasitoïde entre *Aphis gossypii* Glover (Hom. : Aphididae) et *Aphidius colemani* Viereck (Hym.: Aphidiidae). Application de lutte biologique sur culture de concombre. Thèse Doctorat en Sciences biologiques. Université Rennes01- France : 91p.
- Guenauoui Y., 1991 : Role of temperature on the host suitability of *Aphis gossypii* Glover (Hom. : Aphididae) for parasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hym : Aphidiinae) Redia, vol. 74 : pp153-165.
- Guenauoui Y. & Mahiout R., 1993: The role of a thelytokous strain of *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hymenoptera: Aphidiidae) in the population control of the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in North Algeria. (Symposium I.O.B.C.). *Aphidophaga* 5, Abstracts, 62.
- Guenauoui Y., Mahiout R., Boualem M. & Kerachi R., 1994 : Recherches de moyens biologiques pour lutter contre *Aphis gossypii* Glover (Hom. : Aphididae) en cultures protégées. Première évaluation de l'action parasitaire d'une souche thélytoque *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hym : Aphidiinae) d'aorigine algérienne sur son hôte *A. gossypii*. IOBC WPRS Bulletin 17 : pp165-165.
- Guenauoui Y., 1999: Relationship of two primary parasitoids *Aphidius colemani* Viereck and *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hymenoptera: Aphidiidae) with their common host *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae). Canard M. & Beyssat-Arnaouty V. (Eds), Toulouse : pp 127-131.
- Guenauoui Y., Labdaoui Z.E, & Tekkouk I., 2014 : Efficacy of the native ladybird *Coccinella algerica* Kovar (Coleoptera:Coccinellidae) against *Aphis gossypii* Glover (Heteroptera:Aphididae) infesting sweet pepper crop. Fifth International Scientific Agricultural Symposium Agrosym 2014, Joharina 23-24 October 2014, p196 In book of Abstracts.
- Guesmi B., Sahnoune M. & Chakali G., 2017: Analysis of the air temperature records of Djelfa's meteorological station from 1975 to 2014 'the reality of Djelfa's climate warming' *Int. J. Global Warming*, vol. 12(1): pp66-84.
- Gullan P.J. & Cranston P.S., 2005: *The Insects, an Outline of Entomology*. 3rd Edition. Blackwell Publishing: 511p.
- Harmel N., Francis F., Haubruge E. et Giordanengo P., 2008: Physiologie des interactions entre pomme de terre et pucerons : vers une nouvelle stratégie de lutte basée sur les systèmes de défense de la plante. *Cahiers Agricultures*, vol. 17(4) : pp395-398.
- Harrington R, Clark S.J, Welham S., Verrier P.J., Denholm C.H, Hullé M., Maurice D., Rounsevell M.D. & Cocu G.E., 2007: Environmental change and the phenology of European aphids. *Journal compilation, 2007, Blackwell Publishing Ltd. Global Change Biology* (2007), vol. 13: pp1550-1564.

Références bibliographiques

- Haubruge E., Alabi T., Martin C. & Verheggen F., 2014: Le syrphe ceinturé, *Episyrphus balteatus*. Gembloux Agro-Bio Tech-Université de Liège. <https://www.gembloux.ulg.ac.be/entomologie-fonctionnelle-et-evolutive/recherche/episyrphus-balteatus/>. Consulté le 23.03.2020.
- Heimpel G.E. & de Boer J.G., 2008 : Sex Determination in the Hymenoptera. Annu. Rev. Entomol. 2008, vol. 53: pp209-30.
- Hemidi W., Laamari M. & Chaouche S.T., 2013 : Les Hyménoptères parasitoïdes des pucerons associés aux plantes ornementales de la ville de Biskra. USTHB-FBS-4th International Congress of the Populations & Animal Communities "Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems" CIPCA4 TAGHIT (Bechar)-Algeria, 19-21 November, 2013: pp363-371.
- Hendrichs J. & Robinson A., 2009: To kill a pest. The use of radiation is improving the biological control of insect pests. Animal Kingdom. IAEA's Insect Pest Control Section. Bulletin vol. 51-1: pp34-38.
- Henneberry T.J., 2007: Insect Pest Management. Encyclopedia of Pest Management. Vol. 2, Ed. Pimentel D. Cornell University, Ithaca, New York, U.S.A.: pp258-260.
- Henry C.S., Brooks S.J., Duelli P. & Johnson J.B., 2002: Discovering the True *Chrysoperla carnea* (Insecta: Neuroptera: Chrysopidae) Using Song Analysis, Morphology, and Ecology. Ann. Entomol. Soc. Am., vol. 95(2): pp172-191.
- Hindayana D. Meyhöfer R., Scholz D. & Poehling H.P., 2001 : Intraguild Predation among the Hoverfly *Episyrphus balteatus* de Geer (Diptera: Syrphidae) and Other Aphidophagous Predators. Biological Control, vol. 20, 236-246.
- Hinkelman T.M. & Tenhumberg B., 2013: Larval Performance and Kill Rate of Convergent Ladybird Beetles, *Hippodamia convergens*, on Black Bean Aphids, *Aphis fabae*, and Pea Aphids, *Acyrtosiphon pisum*. Journal of Insect Science, vol. 13(46): pp1-10.
- Hochberg M.E. & Lawton J.H., 1990 : Competition Between Kingdom. Ed. Tree, vol. 5(11): pp367-371.
- Hodek I. & Evans E.W., 2012: Food Relationships. Ecology and behaviour of the ladybird beetles (Coccinellidae). Edited by I. Hodek, H.F. van Emden and A. Honek. 1(2012): pp141-274.
- Hogue R., 2010 : Impact des virus sur la production de pomme de terre. Colloque sur la pomme de terre. 11 Novembre 2010. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec : 10p.
- Holt R.D & Polis G.A., 1997 : A theoretical framework for intraguild predation. The American Naturalist. vol. 149(04): pp754-764.
- Hullé M., Chaubet B., Turbpeau E. & Simon J.C., 2019: Encyclop'Aphid: a website on aphids and their natural enemies. Entomologia generalis. https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons_eng/. Consulté le 25/08/2019.
- I.N.P.N. (Inventaire National du Patrimoine Naturel), 2020 : *Solanum tuberosum* L., 1753. Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, Ed. MNHN. Site web: <https://inpn.mnhn.fr>. Consulté le: 28.02.2020.
- I.N.P.V., 2013 : Comment lutter efficacement contre la teigne de la pomme de terre ? Institut National de la Protection des Végétaux. Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural et de la Pêche. Algérie : 2p.
- I.N.R.A., 2009 : Identification des deux principaux aleurodes sur pomme de terre *Bemisia tabaci* Gennadius et *Trialeurodes vaporariorum* West. <https://www.inra.fr>. 09p. Consulté le : 04.05.2013.
- I.N.R.A., 2014: *Macrolophus pygmaeus*. Biocontrol. Cycle, conditions de développement. <http://ephytia.inra.fr>. Consulté le: 20.03.2020.
- I.N.R.A., 2018: Encyclopedie-pucerons. <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Qu-est-ce-qu-un-puceron/Morphologie>. Consulté le 25.08.2019.
- I.N.R.A., 2018: www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Predateursinsectes/Dermaptera-Forficulidae. Consulté le 20.03.2020.
- I.N.R.A.E., 2017 : Le virus Y de la pomme de terre. https://www6.inrae.fr/pvy_organization/Virus-Y-pomme-de-terre. Consulté le 16/06/2020.
- Iablokoff-Khnzorian S.M., 1982 : Les coccinelles. Coléoptères-Coccinellidae. Tribu Coccinellini des régions Paléarctiques et Orientales. Ed. Société nouvelle des éditions boubée : 568p.
- Iluz D., 2011 : The plant-aphid universe. Cellular origin, life in externe habitats and Astrobiology, vol. 16: pp91-118.
- Imam I.I., 2015: Biological characteristic of eleven-spot ladybird *Coccinella undecimpunctata* (Linnaeus) reared on cowpea aphid, *Aphis craccivora* (Kock), under laboratory conditions. J. Plant Prot. and Path., Mansoura Univ., vol. 6 (6): pp909-914.
- Irwin M.E., Thresh J. M. & Harrison B. D., 1988 : Long-Range Aerial Dispersal of Cereal Aphids as Virus Vectors in North America. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 1988 321 : pp42-446.

Références bibliographiques

- Irwin M.E., Gail E. Kampmeier G.E. and Weisser W.W., 2007: Aphid Movement: Process and Consequences. Ed. Van Emden H. and Harrington R.; Aphids as Crop Pests: pp153-186.
- Jahn G., Almazan L.P. & Pacia J.B., 2005 : Effect of Nitrogen Fertilizer on the Intrinsic Rate of Increase of *Hysteroneura setariae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae) on Rice (*Oryza sativa* L.). *Environ. Entomol.*, vol. 34(4): pp938-943.
- Jaloux B, 2013 : Cultures associées et contrôle des populations de pucerons, mécanismes et perspectives. Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques GRAB/ITAB, Déc 2011, Rennes (FR), France: pp76-80.
- Jansen J.P & Hautier L., 2008: Ladybird population dynamics in potato: comparison of native species with an invasive species, *Harmonia axyridis*. *BioControl*, vol. 53: pp223-233.
- Jansen J.P., 2014: Lutte contre les taupins en pomme de terre. Département Lutte biologique et Ressources phylogénétiques-Unité de zoologie. Ministère de l'Agriculture flamand : 03p.
- Joshi S., Rabindra R.J. & Rajendran T.P., 2010: Biological control of aphids. *Journal of Biological Control*, vol. 24(3): pp185-202.
- Kalushkov P. & Hodek I., 2004: The effects of thirteen species of aphids on some life history parameters of the ladybird *Coccinella septempunctata*. *BioControl*, vol. 49: 21-32.
- Karley A. J., Douglas A.E. & Parker W. E., 2002: Amino acid composition and nutritional quality of potato leaf phloem as for Aphids. *The Journal of Experimental Biology*, vol. 205: pp3009-3018.
- Kavallieratos N.G. & Lykouressis D.P., 2004: The coloration of *Aphis gossypii* mummies as a useful tool for Aphidiinae parasitoid identification (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Entomology*, vol. 34: pp75-82.
- Kersting U., Satar S. & Uygun N., 1999 : Effect of temperature on development rate and fecundity of apterous *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae) reared on *Gossypium hirsutum* L. *J. Appl. Ent.*, vol. 123 : pp23-27.
- Khatri D., 2017: Biological control ecology of *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Thesis Doctor of Philosophy in Plant Sciences (Entomology). Massey University, Palmerston North, New Zealand: 177p.
- Kift N.B., Sime S., Reynolds K.A., Jones J.E. & Tatchell G.M., 2005: *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) controls *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) despite behavioural differences between aphid clones that are associated with MACE-based insecticide resistance, *Biocontrol Science and Technology*, vol. 15(1): pp97-103.
- Klüeken A. M., Hau B., Ulber B. & Poehling H.M., 2009 : Forecasting migration of cereal aphids (Hemiptera: Aphididae) in autumn and spring. *J. Appl. Entomol.* 133 (2009) : pp328-344.
- Koczor S., Szentkirályi F. & Tóth M., 2019: New perspectives for simultaneous attraction of *Chrysoperla* and *Chrysopa* lacewing species for enhanced biological control (Neuroptera: Chrysopidae). *Scientific RepoRts.* (2019) 9:10303: 06p.
- Kolaï N., 2001. La lutte biologique contre les pucerons des cultures maraîchères : Cas d'*Aphis gossypii* Glover (Hom : Aphididae) et de son parasitoïde *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hym : Aphidiidae). Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie. Université de Mostaganem. Algérie : 52 p.
- Kos K., Tomanović Z., Petrović-Obradović O., Laznik Z., Vidrih M. & Trdan S., 2008: Aphids (Aphididae) and their parasitoids in selected vegetable ecosystems in Slovenia. *Acta agriculturae Slovenica*, 91 - 1, maj 2008 str.: pp15-22.
- Koul O. & Dhaliwal G.S., 2003: Predators and parasitoids: an introduction. *Predators and parasitoids*, vol 3. Ed. Opende Koul and G.S. Dhaliwal: 15p.
- Kovanci O.B., Canbulat S. & Kovanci B., 2014: The brown lacewings (Neuroptera, Hemerobiidae) of northwestern Turkey with new records, their spatio-temporal distribution and harbouring plants. *Revista Brasileira de Entomologia*, vol. 58(2): pp147-156.
- Kuhar T., Reiter S. and Doughty H., 2009: Potato Aphid on Tomatoes; Homoptera: Aphididae, *Macrosiphum euphorbiae*. Virginia Cooperative Extension: 03p.
- Kunkel B.A. & Cottrell T.E., 2007: Oviposition Response of Green Lacewings (Neuroptera: Chrysopidae) to Aphids (Hemiptera: Aphididae) and Potential Attractants on Pecan. *Environ. Entomol.*, vol. 36(3): pp577-583.
- Kutsukake M. & Simon J.C., 2020: Quand les pucerons se socialisent. Pucerons sociaux. <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Pucerons-et-recherche/Pucerons-sociaux>. Consulté le 24.01.2020.

Références bibliographiques

- Kutsukake M., Shibao H., Nikoh N., Morioka M., Tamura T., Hoshino T., Ohgiya S. & Fukatsu T., 2014: Venomous protease of aphid soldier for colony defense. PNAS August 3, 2004 vol. 101(31): pp11338-11343.
- Laamari M., 2004: Etude éco-biologique des pucerons de quelques localités de l'est algérien. Thèse de Doctorat d'Etat en sciences agronomiques. I.N.A. El Harrach- Alger; 204p.
- Laamari M., Chaouche S.T., Benferhat S., A. S.B., Merouani H., Ghodbane S., Khenissa N. & Stary P., 2011: Interactions tritrophiques: plante-puceron-hyménoptère parasitoïde observées en milieux naturels et cultivés de l'Est algérien. Entomologie faunistique – Faunistic Entomology 2011 (2010), vol. 63(3): pp115-120.
- Laamari, M., Coeur d'Acier A. & Jousselin E., 2013: New data on aphid fauna (Hemiptera, Aphididae) in Algeria. ZooKeys, vol. 319: pp223-229.
- Labdaoui Z.E., 2019: Aménagement de la protection phytosanitaire contre les pucerons des agrumes dans le Nord-Ouest algérien en faveur d'une lutte biologique durable. Thèse Doctorat en Sciences Agronomiques ; Productions agricoles et développement agricole durable. Université Abdelhamide Ibn Badis de Mostaganem : 175p.
- Laghfiri M., Madani I., Joutei A.B., Abdelali B., 2017 : Étude de l'impact du déficit hydrique et azoté sur les infestations de *Myzus persicae* (Sulzer) dans le verger du pêcher. Conférence: 6ème Conférence sur les moyens alternatifs de protection pour une production intégrée, Lille – 21, 22 et 23 Mars 2017- France : 11p. <https://www.researchgate.net/publication/321229157>. Consulté le 20/06/20.
- Lakhal M.A., Ghezali D., Nedvěd O. & Doumandji S., 2018: Checklist of ladybirds of Algeria with two new recorded species (Coleoptera, Coccinellidae). ZooKeys, vol. 774: pp41-52.
- Latour X., Faure D., Diallo S., Cirou A., Smadja B., Dessaux Y. & Orange N., 2008 : Lutte contre les maladies bactériennes de la pomme de terre dues aux *Pectobacterium* spp. (*Erwinia carotovora*). Cahiers Agricultures, vol. 17(4) : pp355-360.
- Le Guigo P., 2011 : Interactions tritrophiques entre des Brassicacées, des pucerons et un parasitoïde : Importance des plantes hôtes et des plantes voisines. Thèse de doctorat Spécialité Sciences Agronomiques. Agrocampus Ouest -Centre d'Angers. France. 172p.
- Le Monnier Y. & Livory A., 2003 : Atlas des coccinelles de la Manche. Les dossiers de Manche- Nature n°5 : 208p. <http://manche-nature.fr/atlas-des-coccinelles-de-la-manche/>. Consulté le 21.03.2020.
- Le Roux V., Brunissen L., Vincent C. & Giordanengo P., 2008 : Amélioration génétique de la pomme de terre et résistance aux pucerons : du terrain à la réponse moléculaire de la plante. Cahiers Agricultures, vol. 17(4) : pp401-406.
- Leather S.R., 1985 : Atmospheric humidity and aphid reproduction. Z.ang. Ent., vol. 100 : pp510-513.
- Leclant. F., 1999 : Les pucerons des plantes cultivées : clefs d'identification. II cultures maraîchères, INRA, Paris : pp9-14.
- Leclant. F., 2000 : Les pucerons des plantes cultivées : clefs d'identification. ACTA, INRA, Paris : 328p.
- Leroy P, Capella Q, Haubruge E., 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., vol. 13(2) : pp325-334.
- Liu T.X. & Chen T.Y., 2001: Effects of three aphid species (Homoptera: Aphididae) on development, survival and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Appl. Entomol. Zool., vol. 36(3): pp361-366.
- Lommen S.T.E., Middendorp C.W., Luijten C.A., Schelt J., Brakefield P.M. & Jong P.W., 2008: Natural flightless morphs of the ladybird beetle *Adalia bipunctata* improve biological control of aphids on single plants. Biological Control, vol. 47: pp340-346.
- Lopes C., 2007 : Dynamique d'un système hôte-parasitoïde en environnement spatialement hétérogène et lutte biologique Application au puceron *Aphis gossypii* et au parasitoïde *Lysiphlebus testaceipes* en serre de melons. Thèse Doctorat., Agro Paris Tech, Paris : 311p.
- Losey J.E. & Denno R.F., 1998 : Positive predator-predator interactions: enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. Ecology, vol. 79(6) : pp. 2143-2152.
- Lucas E., Coderre D. & Brodeur J., 1998 : Intraguild predation among aphid predators: characterization and influence of extraguild prey density. Ecology, vol. 79(3): pp1084-1092.
- Lucas E., 2001 : Prédation intraguild et lutte biologique. VertigoO. - la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 02(02) : 08p.
- Lucas E. & Alomar O., 2002a: Impact of the presence of *Dicyphus tamaninii* Wagner (Heteroptera: Miridae) on whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) predation by *Macrolophus caliginosus* (Wagner) (Heteroptera: Miridae). Biological Control, vol. 25: pp123-128.

Références bibliographiques

- Lucas E. & Alomar O., 2002b: Impact of *Macrolophus caliginosus* presence on damage production by *Dicyphus tamaninii* (Heteroptera: Miridae) on tomato fruits. *Journal of Economic Entomology*, vol. 95(6): pp1123-1129.
- Lucas E., 2005 : Intraguild predation among aphidophagous predators. *European. J. Entomol.*, vol. 102: pp351-364.
- Lucas E. & Rosenheim J.A., 2011 : Influence of extraguild prey density on intraguild predation by Heteropteran predators: A review of the evidence and a case study. *Biological Control*, vol. 59: pp61-67.
- Lucas E., 2012 : Intraguild Interactions. *Ecology and Behaviour of the Ladybird Beetles (Coccinellidae)*, First Edition. Edited by I. Hodek, H.F. van Emden, A. Honek: Chapitre 07 : pp343-374.
- Lykouressis D.P, Perdikis D.C. & Gaspari M.D., 2007: Prey preference and biomass consumption of *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae) fed *Myzus persicae* and *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *Eur. J. Entomol.*, vol. 104: pp199-204.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et de Développement Rural), 2019 : Statistiques agricoles, Maraîchage, pomme de terre.
- Mahyoub J.A., Mangoud A.A.H., Al-Ghamdi K.M., & Al-Ghramh H.A., 2013: Method For Mass Production the Seven Spotted Lady Beetle, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) and Suitable Manipulation of Egg Picking Technique. *Egypt. Acad. J. Biolog. Sci.*, vol.6(3): pp31-38.
- Maisonhaute J. É., 2018 : L'aleurode du tabac, un ravageur à surveiller dans les cultures serricoles ? *Bulletin de la Société d'entomologie du Québec. Antennæ*, vol. 25(3): pp9-10.
- Malina R. & Praslička J., 2008: Effect of Temperature on the Developmental Rate, Longevity and Parasitism of *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae). *Plant Protect. Sci.*, vol. 44(1): pp19-24.
- Margaritopoulos J.T., Tsitsipis J.A. & Perdikis D.C., 2003: Biological characteristics of the mirids *Macrolophus costalis* and *Macrolophus pygmaeus* preying on the tobacco form of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Bulletin of Entomological Research* (2003), vol. 93: pp39-45.
- Mari F.G., 2009: Plagas de Citricos. *Guia de Campo*. Ed. Phytoma: 170p.
- Martinez-Cascales S.I., Cenis J.L., Cassis G. & Sanchez J.A., 2006: Species identity of *Macrolophus melanotoma* (Costa 1853) and *Macrolophus pygmaeus* (Rambur 1839) (Insecta: Heteroptera: Miridae) based on morphological and molecular data and bionomic implications. *Insect Syst. Evol.*, vol. 37: pp385-404.
- Maselou D.A., Perdikis D.Ch. & Fantinou A.A., 2018: Prey-mediated changes in the selectivity of the predator *Macrolophus pygmaeus* (Heteroptera: Miridae). *Entomological Science* (2018): 10p.
- Mazollier C, Oudard E., Béliard E. et Lambion J., 2001 : Les Lépidoptères ravageurs en légumes biologiques. Maraîchage. ITAB, GRAB. Paris, 04p.
- Medina R.F., Rondon S.I., Reyna S.M & Dickey A.M., 2010: Population Structure of *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae) in the United States. *Molecular Ecology and Evolution*. *Entomological Society of America.*, vol. 39 (3): pp1037-1042.
- Medri C. 2014. Contribution à l'inventaire des pucerons et de leurs ennemis naturels sur culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) dans la région d'Ain Oussara (Djelfa); Test de lutte biologique. Mémo. Master en Biosystématique et Ecologie des Arthropodes Terrestres. Université Ziane Achour, Djelfa, Algérie : 71p.
- Messelink G.J., Bloemhard C.M.J., Hoogerbrugge H., van Schelt J., Ingegnò B.L. & Tavella L., 2014: Evaluation of mirid predatory bugs and release strategy for aphid control in sweet pepper. *J. Appl. Entomol.* (2014): pp1-9.
- Meyhofer R. & Klug T. 2002: Intraguild predation on the aphid parasitoid *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hymenoptera: Aphidiidae): mortality risks and behavioral decisions made under the threats of predation. *Biological Control*, vol. 25: pp239-248.
- Meziane D., 1991 : Histoire de la pomme de terre. *Diététique* vol. 25 : 29p.
- Mignault M.P., Roy M. & Brodeur J., 2005: Soybean aphid predators in Québec and the suitability of *Aphis glycines* as prey for three Coccinellidae. *BioControl* 51: pp89-106.
- Miller G.L. & Footitt R.G., 2009 : The taxonomy of crop pests: The aphids. *Insect Biodiversity: Science and Society* : pp463-473.
- Miller J., Hirnyck R. & Downey-Blecker L., 2008: Pest Management Strategic Plan for Organic Potato Production in the West. Ed.: Diane Clarke: 108p.
- Mitrovic, M., Petrovic, A., Kavallieratos, N.G., Stary, P., Petrovic-Obradovic, O., Tomanovic, Z., & Vorburger, C., 2013: Geographic structure with no evidence for host-associated lineages in European populations of *Lysiphlebus testaceipes*, an introduced biological control agent. *Biological Control* 66 (2013): pp150-158.

- Morales-Ramos J.A. & Rojas M.G., 2003: Natural enemies and pest control: an integrated pest management concept. Southern Regional Research Center, United States Department of Agriculture, New Orleans, USA. Ed. Opender Koul and G.S. Dhaliwal., vol 3: 23p.
- Moran A.N., 1992: The evolution of aphid life cycles. *Annu. Rev. Entomol.* Ed. Annual Reviews Inc.37: pp321-348.
- Moreau S.J., 2016 : Interactions Hyménoptères parasitoïdes – systèmes immunitaires hôtes : Les mécanismes « actifs » et « passifs » redéfinis. *Ann. Soc. entomol. Fr. (n.s.)*, 2003, 39 (4) : pp305-314.
- Mottaghinia L., Hassanpour M., Razmjou J., Hosseini M. & Chamani E., 2015: Functional Response of *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptera: Cecidomyiidae) to *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae): Effects of Vermicompost and Host Plant Cultivar. *Neotrop Entomol*, vol. 45: pp88-95.
- Mottaghinia L., Hassanpour M., Razmjou J., Chamani E. & Hosseini M., 2018: Intraguild Predation on the Parasitoid Wasp *Aphidius colemani* by the Predator *Aphidoletes aphidimyza*: Effect of Host Plant Cultivars. *J. Agr. Sci. Tech.* (2018), vol. 20: pp533-542.
- Müller C.B., Adriaanse I.C.T., Belshaw R. & Godfray H.C.J., 1999: The structure of an aphid-parasitoid community. *Journal of Animal Ecology* 1999, vol. 36: pp346-370.
- Müller F.P., 1986: The role of subspecies in aphids for affairs of applied entomology. *Sektion Biologie, Wilhelm-Pieck- Universität Rostock, Rostock, GDR. J. Appl. Ent.*, vol. 101: pp295-303.
- Muratori F.B., Gagne R.J. & Messing R.H., 2009: Ecological traits of a new aphid parasitoid, *Endaphis fugitive* (Diptera: Cecidomyiidae), and its potential for biological control of the banana aphid, *Pentalonia nigronervosa* (Hemiptera: Aphididae). *Biological Control*, vol. 50: pp185-193.
- Nakashima Y., M.A., Pye B.J., Pickett J.A. & Powell W., 2004: The role of semiochemicals in the avoidance of the seven-spot ladybird, *Coccinella septempunctata*, by the aphid parasitoid, *Aphidius ervi*. *Journal of Chemical Ecology*, vol. 30(6): pp1103-1116.
- Narjary B., Adak T., Meena M.D. & Chakravarty N.V.K., 2013: Population Dynamics of Mustard Aphid in relation to Humid Thermal Ratio and Growing Degree Days. *Journal of Agricultural Physics.*, vol. 13(1): pp39-47.
- Nedved O. & Kovar I., 2012: Phylogeny and Classification. *Ecology and behaviour of the ladybird beetles (Coccinellidae)*. Ed. I. Hodek, H.F. van Emden and A. Honek. Chapitre 01: pp01-12.
- Nelson E.H, Hogg B.N, Mills N.J. & Daane K.M., 2012: Syrphid flies suppress lettuce aphids. *BioControl* (2012), vol. 57: pp819-826.
- New T.R., 1975: The biology of Chrysopidae and Hemeroptera (Neuroptera), with reference to their usage as biocontrol agents: a review. *Trans. R. ent. SOC. Lond.* 127 (2) : pp115-140.
- New T.R., 1999: Neuroptera and Biological Control (Neuropterida) zugleich Kataloge des OÖ. Landesmuseums. *Neue Folge*, vol. 138: pp147-166.
- Nguyen T.T.A., Boudreault S., Michaud D. & Cloutier C., 2008: Proteomes of the aphid *Macrosiphum euphorbiae* in its resistance and susceptibility responses to differently compatible parasitoids. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, vol. 38: pp730-739.
- Nikoh N., Koga R., Oshima K., Hattori M. & Fukatsu T., 2019 : Genome Sequence of “*Candidatus Serratia symbiotica*” Strain IS, a Facultative Bacterial Symbiont of the Pea Aphid *Acyrtosiphon pisum*. *Irene L. G. Newton, Indiana University, Bloomington.*, vol. 8(19): pp1-3.
- Nishida K., Rotheray G. & Thompson F.C., 2002: First non-predaceous syrphine flower fly (Diptera: Syrphidae): A new leaf-mining *Allograpta* from Costa Rica. *Studia dipterologica* 9 (2002) Heft, vol. 2: pp421-436.
- Noronha C., Vernon R.S. et Vincent C., 2008 : Les insectes ravageurs importants de la pomme de terre au Canada. *Cahiers Agricultures*, vol. 17(4) : pp375-381.
- O.E.P.P., 2000 : Directives sur la bonne pratique phytosanitaire, Pomme de terre. Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes. PP 2/2(2) Français : 13p.
- O.N.M. (Office National de Météorologie Djelfa), 2019: Relevés météorologiques de la Wilaya de Djelfa.
- Obyrcki J.J., Giles K.L. & Ormrod A.M., 1998: Interactions between an introduced and indigenous coccinellid species at different prey densities. *Oecologia* (1998), vol. 117: pp279-285.
- Omkar & Srivastava S., 2003: Influence of six aphid prey species on development and reproduction of a ladybird beetle, *Coccinella septempunctata*. *BioControl*, vol. 48: 379-393.
- Ortiz-Martínez S., Pierre J.B., van Baaren J., Le Lann C., Zepeda-Paulo F. & Lavandero B., 2019 : Interspecific competition among aphid parasitoids: molecular approaches reveal preferential exploitation of parasitized hosts. *Scientific Reports*, (2019), vol. 9: 11p.
- Ouahad F., 2009 : Lutte biologique contre les pucerons. Interaction entre parasitoïde et prédateurs: Cas du parasitoïde d’*Aphis gossypii* Glover (Hom : Aphididae) *Lysiphlebus fabarum* Marshall (Hym: Braconidae)

Références bibliographiques

- : Aphidiinae) et de la cécidomyie prédatrice *Aphidoletes aphidimyza* Rondani (Diptère : Cecidomyiidae). Mém. Magister en Sciences Agronomiques. Lutte biologique et intégrée contre les bioagresseurs des cultures. Département d'Agronomie. Université Abdelhamid Ibn Badis. Mostaganem. Algérie: 90p.
- Ouanouki B., 2012 : Modélisation de la demande en eau dans une région aride. Cas de la Wilaya de Djelfa. Nature & Technologie, n° 06, Janvier 2012 : pp 93-105.
- Özder N. & Saglam O., 2002: Effects of Aphid Prey on Larval Development and Mortality of *Adalia bipunctata* and *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae). Biocontrol Science and Technology (June 2003), vol. 13(4): pp449-453.
- Parry D., 2008: Beyond Pandora's Box: quantitatively evaluating non-target effects of parasitoids in classical biological control. Ecological Impacts of Non-Native Invertebrates and Fungi on Terrestrial Ecosystems. Ed. David W. Langor D.W & Sweeney J., vol. 11(1): pp47-58.
- Parry H.R., 2013 : Cereal aphid movement: general principles and simulation modelling. Parry Movement Ecology 2013, vol. 1: 14p.
- Patil S.J. & Patel B.R., 2013: Biology of aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) Glover infesting isabgol crop, Medicinal Plant Research, vol. 3(7): pp52-56.
- Perdikis D.CH., Lykouressis D.P. & Economou L.P., 1999: The influence of temperature, photoperiod and plant type on the predation rate of *Macrolophus pygmaeus* on *Myzus persicae*. BioControl, vol. 44: pp281-289.
- Pérez-Hedo M. & Urbaneja A., 2014: Prospects for predatory mirid bugs as biocontrol agents of aphids in sweet peppers. J. Pest. Sci.: 09p.
- Pettersson J., Tjallingii W.F. & Hardie J., 2007: Host-plant Selection and Feeding. Ed. H. van Emden and R. Harrington, Aphids as Crop Pests: pp87-113.
- Phoofolo M. & Obrycki J.J., 1998: Potential for intraguild predation and competition among predatory Coccinellidae and Chrysopidae. Entomologia Experimentalis et Applicata 89: pp47-55.
- Pianka E.R., 1980 : Guild Structure in Desert Lizards. Ed. OIKOS, vol. 35(02) : pp194-201.
- Piffaretti J., 2012 : Différenciation génétique et écologique des populations du puceron *Brachycaudus helichrysi* (Hemiptera : Aphididae) : mise en évidence de deux espèces sœurs aux cycles de vie contrastés. Thèse de Doctorat. Univ. Montpellier Sup Agro. 30/12/2012. Montpellier : 259p.
- Pineda A. & Marcos-Garcia M.M., 2008: Seasonal Abundance of Aphidophagous Hoverflies (Diptera: Syrphidae) and Their Population Levels In and Outside Mediterranean Sweet Pepper Greenhouses. Ecology and Population Biology. Entomological Society of America., vol. 101(2): pp284-391.
- Pineda S., Henry T.J., Corrales-Madrid J.L., Martínez A.M. & Figueroa J.I., 2017: First Records of the Dicyphine Plant Bug *Nesidiocoris tenuis* (Hemiptera: Heteroptera: Miridae: Bryocorinae) in Mexico. Proc. Entomol. Soc. Wash., vol. 119(2): pp. 290-295.
- Pinto M.L., Wajnberg E., Colazza S., Curty C. & Fauvergue X., 2003 : Olfactory response of two aphid parasitoids, *Lysiphlebus testaceipes* and *Aphidius colemani*, to aphid-infested plants from a distance. Entomologia Experimentalis et Applicata, vol. 110: pp159-164.
- Polis G.A. & Holt R.D., 1992 : Intraguild Predation: The Dynamics of Complex Trophic Interactions. TREE vol. 7(05): pp151-154.
- Polis G.A., Myers C.A. & Holt R.D., 1989 : The ecology and evolution of intraguild predation: Potential Competitors That Eat Each Other. Annu. Rev. Ecol. Syst. 1989, vol. 20: pp297-330.
- Pontes M., Smith K., Smith W. & Dale C., 2009: Insect facultative symbionts: biology, culture, and genetic modification, Insect symbiosis, volume three. Ed. Thomas A. Miller, Chapitre 08: pp377-395.
- Poulin R. & Morand S., 2000 : The diversity of parasites. The Quarterly Review of Biology., vol. 75(03) : pp277-293.
- Powell G., Tosh C. R. & Hardie J., 2006: Host plant selection by aphids: Behavioral, Evolutionary, and Applied Perspectives. Annual Review of Entomology, vol. 51(1): pp309- 330.
- Powell W. & Pell J.K., 2007: Biological Control. Aphids as Crop Pests. Ed. H. van Emden and R. Harrington: pp469-513p.
- Prado S.G., Jandric S.E. & Frank S.D., 2015: Ecological Interactions Affecting the Efficacy of *Aphidius colemani* in Greenhouse Crops. Insects 2015, 6: pp538-575.
- Quinlan J. & Evenhuis H.H., 1980 : Status of the subfamily names Charipinae and Alloxystinae (Hymenoptera: Cynipidae). Systematic Entomology (1980), vol. 5 : pp421-430.
- Quisenberry S.S. & Ni X., 2007: Feeding Injury. Ed. H. van Emden and R. Harrington. Aphids as Crop Pests: pp331-352.
- Radcliffe E.B. & Ragsdale D.W., 2002: Aphid-transmitted Potato Viruses: The Importance of Understanding Vector Biology. Amer. J. of Potato Res., vol. 79: pp353-386.

Références bibliographiques

- Radcliffe E.B., Ragsdale D.W. & Surányi R.A., 2007: IPM Case Studies: Seed Potato. Aphids as Crop Pests, chapter 02. Ed. H. van Emden and R. Harrington: pp613-625.
- Rakhshani E., Kazemzadeh S., Starý P., Barahoei H., Kavallieratos N.G., Četković A., Popović A., Imran Bodlah I. & Tomanović Ž., 2012: Parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of Northeastern Iran: Aphidiine-Aphid-Plant Associations, Key and Description of a New Species. *Journal of Insect Science*, vol. 12(143): pp1-26.
- Rakhshani E., Starý P., Tomanović Z. & Mifsud D., 2015: Aphidiinae (Hymenoptera, Braconidae) aphid parasitoids of Malta: review and key to species. *Bulletin of the entomological Society of Malta* (2015) Vol. 7: pp121-137.
- Rauf M., Haq E., Khan J., Rehman A., Gillani W.A. & Ali A., 2013: Biology and predatory potential of *Coccinella septempunctata* Linn. on *Schizaphis graminum* aphid under controlled conditions. *Pakistan J. Agric. Res.*, vol. 26(2): pp124-129.
- Raynal C., Julhia L. & Nicot P., 2014 : Fertilisation et sensibilité des cultures de laitue et de tomate aux bioagresseurs. *Innovations Agronomiques*, vol. 34: pp1-17.
- Rekad F.Z., Cooke D.E.L., Puglisi I., Randall E., Guenaoui Y., Bouznad Z., Evoli M., Pane A., Schena L., Magnano Di San Lio G., Cacciola S.O., 2017 : Characterization of *Phytophthora infestans* populations in northwestern Algeria during 2008-2014. *Fungal Biology*, vol. 121: pp467-477.
- Rezaei M., Talebi A.A., Fathipour Y., Karimzadeh J. & Mehrabadi M., 2019 : Foraging behavior of *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae) on tobacco aphid, *Myzus persicae nicotianae* (Hemiptera: Aphididae). *Bulletin of Entomological Research* : pp1-9.
- Robert Y., 1987 : Aphids and their environment. In: Minks, A.K. and Harrewijn, P. (eds) *Aphids. Their Biology, Natural Enemies, and Control*, Volume 2A. Elsevier, Amsterdam, pp299-313.
- Rochat J., 1997 : Modélisation d'un système hôte-parasitoïde en lâcher inoculatif : application au couple *Aphis gossypii* et *Lysiphlebus testaceipes* en serre de concombre. Thèse de doctorat. Université Claude Bernard-Lyon 01 : 354p.
- Rodrigues S.M.M. & Bueno V.H., 2001: Parasitism Rates of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hym.: Aphidiidae) on *Schizaphis graminum* (Rond.) and *Aphis gossypii* Glover (Hem.: Aphididae). *Biological Control. Neotropical Entomology*, vol. 30(4): pp625-629.
- Rodrigues S.M.M. Bueno, V.H.P., Sampaio M.V. & Soglia M.C.M., 2004: Influence of the temperature on the development and parasitism of *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) reared on *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) *Neotrop. Entomol.*, vol. 33(3): pp341-346.
- Root R.B., 1967 : The Niche Exploitation Pattern of the Blue-Gray Gnatcatcher. *Ecological Monographs*, vol. 37(04) : pp317-350.
- Rosenheim, J.A. & Wilhoit R., 1993 : Why lacewings may fail to suppress aphids? Predators that eat other predators disrupt cotton aphid control. *California Agriculture*, September-October: pp7-9.
- Rosenheim J.A, Wilhoit L.R. & Armer C.A., 1993 : Influence of intraguild predation among generalist insect predators on the suppression of an herbivore population. *Oecologia* (1993), vol. 96: pp439-449.
- Rosenheim J.A, Kaya H.K., Ehler L.E., Mario J.J. & Jaffee B.A., 1995 : Intraguild predation among biological-control agents : Theory and Evidence. *Biological Control.*, vol. 5 : pp303-335.
- Rosenheim J.A., 1998 : Higher-order predators and the regulation of insect herbivore populations. *Annu. Rev. Entomol.* 1998, vol. 43: pp421-47.
- Rousselin A., 2017 : Contribution des pratiques culturales (irrigation et fertilisation azotée) à la gestion des populations de pucerons en verger fruitier : Cas des systèmes pêcher - puceron vert du pêcher (*Prunus persica-Myzus persicae*) et pommier-puceron cendré (*Malus domestica-Dysaphis plantaginea*). Thèse doctorat en sciences agricoles. Université d'Avignon : 140p.
- Rousselle P., Robert Y. et Crosnier J. C., 1996 : Origine socio-historique ; La pomme de terre. Production, amélioration, ennemis et maladies, utilisations. 1^{ère} éd. Paris: INRA; https://books.google.dz/books?id=PxoHapWTrx0C&pg=PA25&hl=fr&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false. Consulté le 16/06/2020.
- Royer T.A., Giles K.L., Lebusa M.M. & Payton M.E., 2008: Preference and suitability of greenbug, *Schizaphis graminum* (Hemiptera: Aphididae) mummies parasitized by *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Aphidiidae) as food for *Coccinella septempunctata* and *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Biological Control*, vol. 47: pp82-88.
- Ryckewaert P. & Fabre F., 2011: Food and Agricultural Research Council, Réduit, Mauritius. AMAS: pp99-103.
- S.E.R.A.I.L., 2015 : *Aphidius* sp. Station d'Expérimentation Rhône-Alpes Information Légumes : 10p.

Références bibliographiques

- Saguez, S., Giordanengo, P. & Vincent C. 2013: Aphids as Major Potato Pests (Chapitre 03). Part II. Biology of Major Pests. Agriculture and Agri-Food Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada, Elsevier Inc, 31-63.
- Sahraoui L., Hemptinne J.L. & Magro A., 2014 : Biogéographie des coccinelles (Coleoptera: Coccinellidae) d'Algérie. Entomologie Faunistique - Faunistic Entomology, vol. 67 : pp147-164.
- Sahraoui L., 2018 : Les coccinelles algériennes (Coleoptera, Coccinellidae): analyse faunistique et structure des communautés. Thèse Doctorat, Discipline ou spécialité: Ecologie, Biodiversité et Evolution de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier : 194p.
- Saleh, A.A.A., El-Sharkawy H.M., El-Santel F.S. & Rehab A.S., 2017: Studies on the Predator *Chrysoperla carnea* (Stephens) in Egypt. International Journal of Environment; vol 6(2): pp70-77.
- San Martin G., 2004 : Clé de détermination des Chrysopidae de Belgique, Jeunes & Nature, Wavre. 1ère édition : 44p.
- Sanchez J.A., Lacasa A., Arno J., Castané C. & Alomar O., 2009: Life history parameters for *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Het., Miridae) under different temperature regimes. J. Appl. Entomol., vol. 133: pp125-132.
- Satar S., Kersting U. & Uygun N., 1999: Development and Fecundity of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) on Three Malvaceae Hosts. Tr. J. of Agriculture and Forestry, vol. 23: pp637-643.
- Sattar M., Hamed M. & Nadeem S., 2008 : Biology of *Coccinella septempunctata* Linn. (Coleoptera: Coccinellidae) and its predatory potential on cotton aphids, *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae). Pakistan Journal of Zoology 2008, vol. 40(4): pp239-242.
- Sauvion N., 1995 : Effets et modes d'action de deux lectines à mannose sur le puceron du pois, *Acyrtosiphon pisum* (Harris). Potentiel d'utilisation des lectines végétales dans une stratégie de création de plantes transgéniques résistantes aux pucerons. Thèse doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. France : 258p.
- Schellhorn N.A. & Andow D.A., 2005: Response of coccinellids to their aphid prey at different spatial scales. Popul Ecol (2005), vol. 47: pp71-76.
- Schiffers B. & Wainwright H., 2011: Lutte biologique et protection intégrée. Ed. PIP, COLEACP. Bruxelles, Belgique, vol. 10 : 126p.
- Schowalter T.D., 2006: Insect Ecology, Second Edition: An Ecosystem Approach by Timothy D. Schowalter. 576p.
- Schwarz T. & Frank T., 2019: Aphid feeding by lady beetles: higher consumption at higher temperature. BioControl, vol. 64: pp323-332.
- Sehnal F., Nedved O. & Kos'ál V., 2003 : Temperature, Effects on Development and Growth. Encyclopedia of Insects. Editors Vincent H. Resh & Ring T. Cardé: pp1116- 1119.
- Shaukat MA, 2018: Feeding behaviour and life durations of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) feeding on a variety of hosts. Journal of Entomology and Zoology Studies 2018, vol. 6(1): pp691-697.
- Silva R.J., Bueno V.H.P. & Sampaio M.V., 2008a: Qualidade de Diferentes Espécies de Pulgões como Hospedeiros do Parasitóide *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae). Neotropical Entomology, vol. 37(2): pp173-179.
- Silva R.J., Bueno V.H.P., Silva D.B. & Sampaio M.V., 2008b: Tabela de vida de fertilidade de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) em *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) e *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera, Aphididae). Revista Brasileira de Entomologia, vol. 52(1): pp124-130.
- Simelane D.O., Steinkraus D.C. & Kring T.J., 2008: Predation rate and development of *Coccinella septempunctata* L. influenced by *Neozygites fresenii*-infected cotton aphid prey. Biological Control, vol. 44: pp128-135.
- Singh S.R., Walters K.F.A., Port G.P. & Northing P., 2004: Consumption rates and predatory activity of adult and fourth instar larvae of the seven spot ladybird, *Coccinella septempunctata* (L.), following contact with dimethoate residue and contaminated prey in laboratory arenas. Biological Control, vol. 30: pp127-133.
- Skuhrava M, Skuhravý V. & Meyer H., 2014: Gall midges (Diptera: Cecidomyiidae: Cecidomyiinae) of Germany - Faunistics, ecology and zoogeography. Faunis tisch-Ökologischen Arbeitsgemeinschaft. Suppl., vol. 38: pp1-200.
- Soglia M.C.M., Bueno V.H.P., Sampaio M.V., Rodrigues S.M.M. & Ledo C.A.S., 2006: Desenvolvimento e Parasitismo de *Lysiphlebus testaceipes* (Cresson) e *Aphidius colemani* Viereck

- (Hymenoptera: Braconidae) em *Aphis gossypii* Glover (Hemiptera: Aphididae) em Duas Cultivares de Crisântemo. *Neotropical Entomology*, vol. 35(3): pp364-370.
- Sohrabi F. & Hosseini R., 2015 : *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) (Heteroptera: Miridae), a predatory species of the tomato leafminer, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) in Iran, vol. 55(3) : pp322-323.
- Solomon, M. E. 1964: Analysis of processes involved in the natural control of insects. *Adv. Ecol. Res.*, vol. 2: pp1-58.
- Sorensen J.T., 2009: Aphids. *Encyclopedia of insects*. Edt. Vincent H. Resh and Ring T. Cardé. Academic Press, An imprint of Elsevier Science: pp32-37.
- Sary P., 1975: *Aphidius colemani* Viereck: its taxonomy, distribution and host range (Hymenoptera, Aphidiidae). *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 1975, vol. 72(3): pp156-163.
- Sary P., 1988: Aphidiidae. Aphids, their biology, natural enemies and control, vol. 2: pp171-184.
- Sary P., 1999: Biology and distribution of microbe-associated thelytokous populations of aphid parasitoids (Hym. Braconidae, Aphidiinae). *J. Appl. Ent.*, vol. 123: pp231-235.
- Sary, P., Lumbierres, B., & Pons, X., 2004: Opportunistic changes in the host range of *Lysiphlebus testaceipes* (Cr.), an exotic aphid parasitoid expanding in the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Entomology*, vol. 77: pp139-144.
- Sary P., Sampaio M.V. & Bueno V.H.P., 2007 : Aphid parasitoids (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) and their associations related to biological control in Brazil. *Revista Brasileira d'Entomologia* 51 (1): 107-118.
- Sary P. & Havelka J., 2008: Fauna and associations of aphid parasitoids in an up-dated farmland area (Czech Republic). *Bulletin of Insectology*, vol. 61(2): pp251-276.
- Sary P., Rakhshani E., Havelka J., Tomanovi Ž., Kavallieratos N.G. & Sharkey M., 2010: Review and Key to the World Parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of Greenideinae Aphids (Hemiptera: Aphididae), Including Notes on Invasive Pest Species. *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 103(3): pp307-321.
- Statgraphics19, 2020: Logiciel de statistiques; <https://www.statgraphics.com>. Consulté le 02.10. 2020.
- Stoner K. 2019: Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Department of Entomology, Connecticut Agricultural Experiment Station. <https://portal.ct.gov>. Consulté le: 22.08.2019.
- Straub C.S. & Snyder W.E., 2008: Increasing enemy biodiversity strengthens herbivore suppression on two plant species. *Ecology*, vol. 89(6): pp1605-1615.
- Suhail A., Sabir A.M., Hussain A. & Saeed A., 1999: Predatory Efficacy of *Coccinella septempunctata* L. on Cotton Aphids, *Aphis gossypii* Glov. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 2 (3): pp603-605.
- Sullivan D.J., 2008: Aphids. *Encyclopedia of Entomology*. Ed. Capinera J.L. University of Florida. Second edition. Fordham University, Bronx, NY, USA: pp191-215.
- Sylla S., Brévault T., Diarra K., Bearez P. & Desneux P., 2016b : Life-History Traits of *Macrolophus pygmaeus* with Different Prey Foods. *Plos One*. November 21, 2016: 08p.
- Sylla S., Brévault T., Streito J.C. & Diarra K., 2016a: First record of *Nesidiocoris tenuis* Reuter (Hémiptères: Miridae), as a predator of the tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Senegal. *Egyptian Journal of Biological Pest control*, vol. 26(4): pp851-851.
- Takada H. & Tada E., 2000 : A comparison between two strains from Japan and Europe of *Aphidius ervi*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 97: pp11-20.
- Talebi, A.A., Zamani, A.A., Fathipour, Y., Baniameri, V., Kheradmand, K., & Haghani, M., 2006: Host stage preference by *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae) as parasitoids of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on greenhouse cucumber. . *Bulletin* vol. 29(4): pp181-185.
- Tardieux I., 1987 : Etudes préalables à l'utilisation en lutte biologique d'*Aphidius colemani* VIER (Hym: Aphididae).Caractérisation taxonomique, relations hôte parasitoïde, aspects démographiques. Thèse de doctorat en Sciences Paris 92 pages+ annexes.
- Tauber M.J. & Tauber C.A., 1983: Life History Traits of *Chrysopa cornea* and *Chrysopa rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae): Influence of Humidity. *Annals of the Entomological Society of America.*, vol. 76(2): pp282-285.
- Tepa-Yotto G.T., Hofsvang T., Godonou I., Tchibozo I. & Saether M.G., 2013. Host instar suitability of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) for *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Braconidae) and parasitism effect on aphid life table. *The Japanese Society of Applied Entomology and Zoology*, vol. 48: pp447-453.

- Terra W.R. & Ferreira C., 2003: Digestive System. Encyclopedia of insects. Ed. Resh V.H. & Cardé R.T.: pp313-323.
- Thierry D., Rat-Morris E. & Caldumbide C., 2002: Selective attractivity of artificial overwintering chambers for the common green lacewing species of the *Chrysoperla carnea* (Stephens) complex in Western Europe (Neuroptera: Chrysopidae). Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae, vol. 48(2): pp351-357.
- Tomanović Ž., Kavallieratos N.G., Starý P., Athanassiou C.G., Žikić V. Petrović-Obradović O. & Sarlis G.P., 2003: *Aphidius* NEES aphid parasitoids (Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae) in Serbia and Montenegro: Tritrophic associations and key. Acta entomologica serbica, vol. 8(1/2): pp15-39.
- Tomanović Z., Mitrović M., Petrović A., Kavallieratos N.G., Žikić V., Ivanović A., Rakhshani E., Starý P. & Vorburger C., 2018 : Revision of the European *Lysiphlebus* species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) on the basis of COI and 28SD2 molecular markers and morphology. Arthropod Systematics & Phylogeny, vol. 76(2) : pp179-213.
- Tsuchida T., Koga, R., Horikawa M., Tsunoda T., Maoka T., Matsumoto S., Simon J.C. & Fukatsu T., 2010 : Symbiotic Bacterium Modifies Aphid Body Color. Ed Science, vol. 330: pp1102-1104.
- Turpeau A.I.E., Dedryver C.A., Chaubet B. et Hullé M., 1999a : Les pucerons des grandes cultures. Cycle biologique et activités de vol. Edition 01, Quae et A.C.T.A. I.N.R.A. Paris.44 : 136p.
- Turpeau A.I.E., Dedryver C.A., Chaubet B. et Hullé M., 1999b : Les pucerons des plantes maraichères. Cycle biologique et activités de vol. Ed A.C.T.A. I.N.R.A. Paris.44 : 136p.
- Unal S., Er A., Akkuzu E. & Šálek L., 2017: Predation Efficacy of the Predator *Coccinella septempunctata* L. on the Aphid Species *Macrosiphum rosae* (L.) in Kastamonu Province, Turkey. Pakistan J. Zool., vol. 49(1): pp345-349.
- Uniyal V.P. & Bhargav V., 2007: Tiger Beetles - A Field Study in the Shivaliks of Himachal Pradesh Wildlife Institute of India, Dehradun: 79p.
- Van Emden H.F., 2007: Integrated Pest Management and Introduction to IPM Case Studies. Aphids as Crop Pests. Ed. H. van Emden and R. Harrington: pp537-548.
- Van Lenteren J.C., 2003: Quality Control and Production of Biological Control Agents. Theory and Testing Procedures. Ed. J.C. van Lenteren. Laboratory of Entomology, Wageningen University, Wageningen. The Netherlands: 327p.
- Van Lenteren J.C., Bolckmans K., Köhl J., Ravensberg W.J. & Urbaneja A., 2017 : Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. Bio. Control: 21p.
- Van Steenis, M.J., 1995: Evaluation of four aphidiine parasitoids for biological control of *Aphis gossypii*. Entomologia Experimentalis et Applicata, vol. 75: pp151-157.
- Villegas C.M., Žikić V., Stanković S.S., Ortiz-Martínez S.A., Peæalver-Cruz A. & Lavandero B., 2017 : Morphological variation of *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Braconidae) associated with different aphid hosts. Peer J. : 14p.
- Volkl W. & Stadle B., 1991 : Interspecific larval competition between *Lysiphlebus testaceipes* and *Aphidius colemani* (Hym., Aphidiidae). J. Appl. Ent., vol. 111: pp63-71.
- Volkl W. et al., 2007: Predators, Parasitoids and Pathogens. Aphids as Crop Pests. Ed. H. van Emden and R. Harrington: pp187-233.
- Vosteen I, Gershenson J. & Kunert G., 2018: Dealing with food shortage: larval dispersal behavior and survival on non-prey food of the hoverfly *Episyrphus balteatus*. Ecological Entomology (2018), vol. 43: pp578-590.
- Voynaud L., 2008: Prédation intragilde entre prédateurs actif et furtif au sein d'une gilde aphidiphage. Université du québec à Montréal: 86p.
- Wajnberg É. & Ris N., 2007 : Parasitisme et lutte biologique. Ecologie et évolution des systèmes parasités. Chapitre 8, INRA: pp257-299.
- Weinzierl R. & Henn T., 1998: Alternatives in insects' management, Biological and Biorational Approaches. North Central Regional: 73p.
- Weseloh R.M., 2003: Predation/Predatory Insects. Encyclopidia of Inscts. Ed. Resh V.H & Cardé R.T. Academic Press: pp944-947.
- Whalon M.E., Mota-Sanchez D. & Hollingworth R.M., 2008: Analysis of Global Pesticide Resistance in Arthropods. Global pesticide resistance in arthropods. Department of Entomology, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA: pp5-31.
- Williams I.S & Dixon A.F.G., 2007: Life Cycles and Polymorphism. Aphids as Crop Pests Chapitre 03. Edited by Helmut F. van Emden. CAB International 2007: pp69-85.

Références bibliographiques

- Wissinger S. & McGrady J., 1993: Intraguild predation and competition between larval dragonflies: Direct and indirect effects on shared prey. *Ecology*, vol. 74(1): pp207-218.
- Wissinger S.A., Sparks G.B., Rouse G.L., Brown W.S. & Steltzer H., 1996 : Intraguild Predation and Cannibalism among Larvae of Detritivorous Caddisflies in Subalpine Wetlands. *Ecology*, vol. 77(8) : pp 2421-2430.
- Wratten S.D, Gurr G.M, Tylianakis J.M & Robinson K.A., 2007: Cultural Control. Aphids as Crop Pests. Ed. H. van Emden and R. Harrington: pp423-445.
- www.biodiversidadvirtual.org, 2017: *Nesidiocoris tenuis*. Invertebrados. Consulté le 20.03.2020.
- www.birdspiders.com, 2020 : Beetle, Thirteen-spot ladybird beetle, *H. tredecimpunctata*, Victoria BC, Canada. Consulté le 30/05/2020.
- www.buguide.net, 2016 : Ladybird *C. undecimpunctata*. Consulté le 30/05/2020.
- www.entomofaune.qc.ca, 2010 : Les Hémiptères du Québec- puceron. Pucerons-prédateurs Consulté le 30/05/2020.
- www.galerie-insecte.org, 2019: *Coccinella septempunctata*. Consulté le 31/05/2020.
- www.monaconatureencyclopedia.com, *Coccinella septempunctata*. Monaco Nature Encyclopedia. Discover the biodiversity. Consulté le 31/05/2020.
- Yahiaoui SR. 2014. Contribution à l'inventaire des pucerons et de leurs ennemis naturels sur culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) dans la région de Dar Chioukh- Djelfa- Test de lutte biologique. Djelfa, Algérie: Université Ziane Achour. Master en Biosystématique et Ecologie des Arthropodes Terrestres : 88p.
- Yattara A.A.A., 2013 : Etude des relations pucerons-virus en pomme de terre et perspectives de stratégies alternatives de lutte. Thèse Doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège-Gembloux Agro-Bio Tech. 114p.
- Yattara A.A.A., Coulibaly A.K. et Francis F., 2014 : Diversité et abondance des pucerons (Homoptera: Aphididae) et leur impact sur la dissémination des virus infectant la pomme de terre au Mali. La société de protection des plantes du Québec. *Phytoprotection*, vol. 94(1) : pp1-7.
- Zaki F.N., El-Shaarawy M.F. & Farag N.A., 1999: Release of two predators and two parasitoids to control aphids and whiteflies. *J. Pest Science*, vol. 72: pp19-20.
- Zamani A.A., Talebi A.A., Fathipour Y. & Baniaméri V., 2006: Temperature-dependent functional response of two aphid parasitoids, *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Aphidiidae), on the cotton aphid. *Journal of Pest Science*, vol. 79: pp183-188.
- Zamani A.A., Talebi A.A., Fathipour Y. & Baniaméri V., 2007: Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.*, vol. 36(2): pp263-271.
- Zamani A.A., Haghani M. & Kheradmand K., 2012: Effect of temperature on reproductive parameters of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) in laboratory conditions. *J. Crop Prot.* 2012, vol. 1(1): pp35-40.
- Zarghami S, Allahyari H., Bagheri M.R. & Saboori A., 2010 : Effect of nitrogen fertilization on life table parameters and population growth of *Brevicoryne brassicae*. *Bulletin of Insectology*, vol. 63 (1): pp39-43.
- Zarpas K.D., Margaritopoulos J.T. & Tsitsipis J.A., 2007: Life histories of generalist predatory species, control agents of the cotton aphid *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae). *Entomo Gener.*, vol. (30)1: pp85-102.
- Zhang F., Li X., Zhang Y., Coates B., Zhou X.J. & Cheng D., 2015: Bacterial symbionts, Buchnera, and starvation on wing dimorphism in English grain aphid, *Sitobion avenae* (F.) (Homoptera: Aphididae). *Front. Physiol.*, vol. 6:155: 09p.
- Zhu J., Obrycki J.J., Ochieng S.A., Baker T.C., Pickett J.A. & Smiley D., 2005: Attraction of two lacewing species to volatiles produced by host plants and aphid prey. *Naturwissenschaften*, vol. 92: pp277-281.
- Zuparko R.L., 2008: Parasitic Hymenoptera (Parasitica). *Encyclopedia of Entomology*. Ed. John L. Capinera University of Florida. 2nd edition: pp2730-2736.

Annexes

Annexe 01 : Nombre total des espèces récoltées dans différents sites de la région de Djelfa entre 2013 et 2017

		Nombre d'espèces récolté par site expérimental														Total
		2013	2014					2015	2016		2017					
		El Maâlba	El Merdja	Sersou	Sayada	Oussaïra	Elbaida	Khencg	Rous Layoun	Bentaka	Jnène Elarar	Dzaira 01	Dzaira 02	Rous Layoun	Rouss Laayoun (ITMAS)	
Pucerons	<i>M. euphorbiae</i>	196	226	102	86	-	74	18	47	-	-	-	-	-	-	749
	<i>A. gossypii</i>	420	550	344	411	-	365	48	14	-	119	213	170	-	47	600
	<i>M. persicae</i>	98	212		145	103		10	32		17	56	42	51	110	960
	<i>A. fabae</i>	-	109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	89	-
	<i>H. amygdali</i>	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>A. nasturtii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2040
Coccinelles	<i>C. septempunctata</i>	47	122	31	51	22	62	13	12	12	35	14	22	39	24	67
	<i>C. undecimpunctata</i>	25	-	6	1	1	-	-	3	2	-	-	-	1	-	-
	<i>C. novemnotata</i>	-	-	1	-	-	3	-	-	5	-	-	-	-	-	-
	<i>C. algerica</i>	-	14	-	7	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>H. variegata</i>	-	21	-	-	-	-	4	9		-	-	-	-	-	-
	<i>H. tredecimpunctata</i>	-	39	20	11	4	14	6	3	2	1		1	2	-	77
	<i>Scymnus sp.</i>	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>P. vigintiduopunctata</i>	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	2	-	-
Chrysope	<i>C. carnea</i>	-	58	23	30	18	21	9	11	1	3	17	16	21	9	2
Punaises	<i>M. pygmaeus</i>	-	13	7	-	5	-	6	20	-	11	7	10		5	
	<i>N. tenius</i>	-		3	-	-	-	-	15	-	56	11	9	27	41	17
	<i>Dicyphus sp.</i>	-	11		-	3	4	-	-	-	-	14	16	26	12	20
	<i>Nabidae sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	24	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Orius sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
	<i>P. apterus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Syrphes	<i>E. balteatus</i>	2	23	6	-	7	11	-	16	7	-	-	3	5	7	-
	<i>S. scripta</i>	-		2	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-
Forficule	<i>F. auricularia</i>	-	22	17	-		7	6	14	1	-	23	11	32	24	19
Carabidés	<i>Cicindelidae sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-
	<i>Carabus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Parasitoïdes	<i>A. ervi</i>	-	18	6	-		2	4	-	-	-	3	5	5	-	19
	<i>A. rhopalosiphi</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>A. matricariae</i>	-	16	11	17	10	9	-	-	-	1		1	-	1	15
	<i>L. fabarum</i>	-	9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>L. testaceipes</i>	-	105	14	22	-	16	-	-	-	-	-	7	-	4	35
	<i>Dendrocerus spp.</i>	-	6	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(-) : absence de l'espèce.

Annexes

Annexe 02 : Autres espèces de ravageurs sur culture de pomme de terre récoltées dans la région de Djelfa durant la période 2013-2017.

Année d'étude	Lieu-dit	Espèce						
		Homoptère				Hétéroptère		Coléoptère
		<i>Empoasca</i> sp.	<i>Deltacephalus</i> sp.	<i>Zyginella</i> sp.	<i>Typhalocyba</i> sp.	<i>Closterotomus norvegicus</i>	<i>Spilostethus pandurus</i>	<i>Mylabris variabilis</i>
2013	Maalba	+	-	-	+	+	-	-
2014	Elmerdja	+	+	+	+	+	+	+
2014	Sersou	+	+	-	-	-	+	+
	Sayada	-	-	+	+	+	+	-
	Oussaissira	-	+	+	+	+	+	-
	Elabida	-	+	+	-	+	-	+
2015	Kheneg	+	+	+	+	-	+	+
2016	Rous Layoun	+	+	-	-	+	+	-
2016	Bentaka	+	+	+	-	+	+	+
2017	Djnèn Elarar	+	-	-	-	+	+	+
	Dzira 01	+	-	-	-	+	-	-
	Dzira 02	+	+			+	+	-
2017	Rous Layoun	-	-	-	-	+	+	-
	Rous Layoun (ITMAS)	-	+	+	+	+	-	-
2017	Bichia	-	+	+	-	+	-	+

Annexe 03 : Images d'autres ravageurs récoltés sur culture de pomme de terre dans la région de Djelfa entre 2013 et 2017.



Figure A : Adultes d'espèces de cicadelle ; **A :** *Empoasca* sp. ; **B :** *Deltacephalus* sp. ; **C :** *Zyginella* sp. ; **D :** *Typhalocyba* sp. (photos originales, 2015).

Annexes

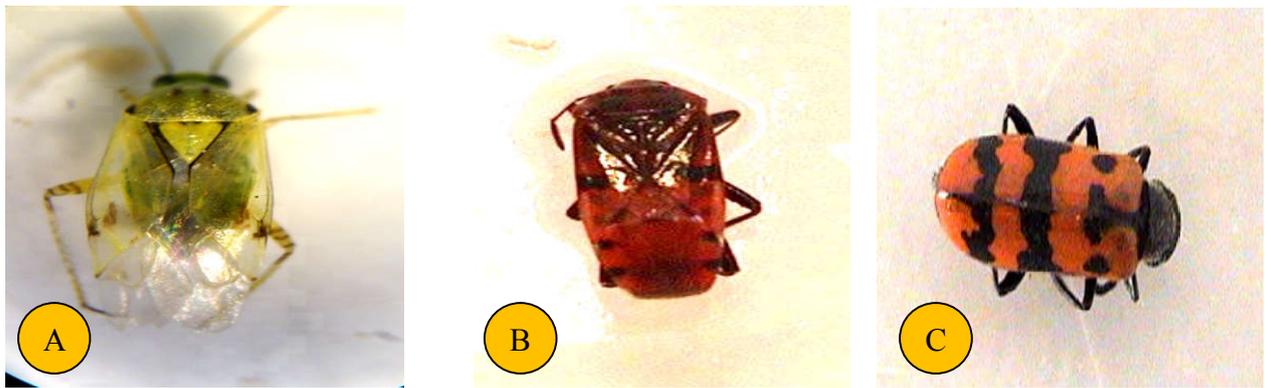


Figure B : Adultes d'espèces de punaise ; **A :** *C. norvegicus* ; **B :** *S. pandurus* ; **C :** *M. variabilis* (photos originales, 2016).

Annexe 04 : Analyse de la variance (ANOVA) de la durée moyenne de développement des stades larvaires des pucerons (*A. gossypii* et *M. euphorbiae* sur pomme de terre et *A. gossypii* sur tomate) pour le protocole 05 ♀/boîte

	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr (>F)
(L1) species	2	0.89833	0.44917	18.672	1.095e-05 ***
(L2) species	2	0.18213	0.091067	6.0889	0.00701 **
(L3) species	2	1.16762	0.58381	16.582	2.606e-05 ***
Residuals	25	0.88017	0.03521		
(L4) species	2	0.07998	0.039990	1.2341	0.3082
Residuals	25	0.81012	0.032405		
species	2	4.4922	2.24608	25.349	9.675e-07 ***
Residuals	25	2.2151	0.08861		

- Signification des codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- Df : Degré de liberté

- SumSq : Somme de carrés

- MeanSq : Moyenne des carrés

- F value : Valeur de Fisher

- Pr (>F) : Probabilité.

Annexe 05 : Durée moyenne de développement stade L1 (protocole 05♀/Bt)

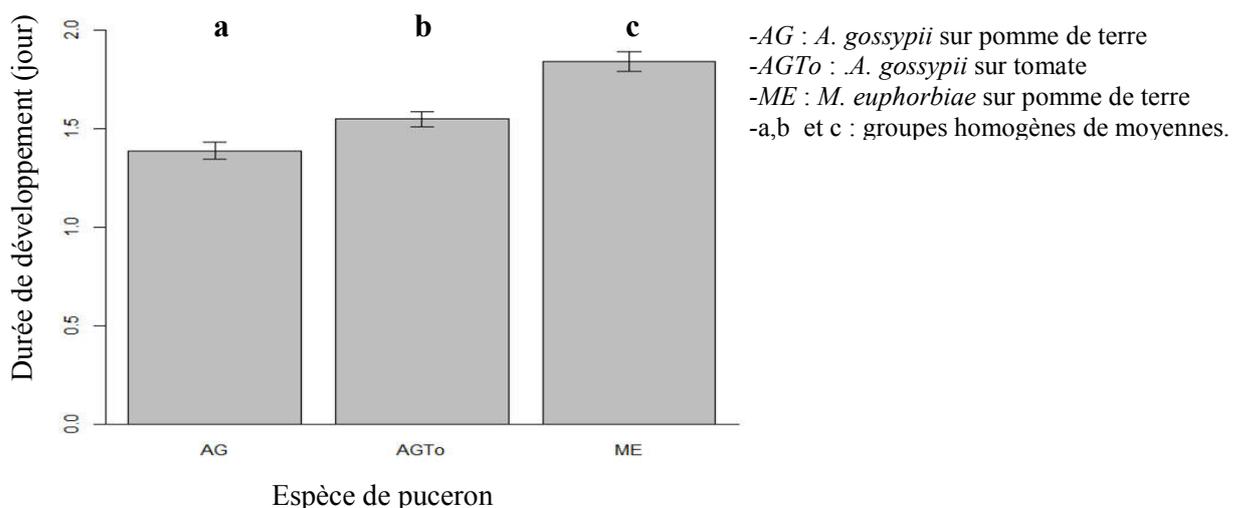


Figure C : Durée moyenne de développement en jour avec écart type, du stade L1 d'AG, d'AGTo et de ME ; protocole 05♀/Bt.

Annexe 06: Durée moyenne de développement stade L2 (protocole 05♀/Bt)

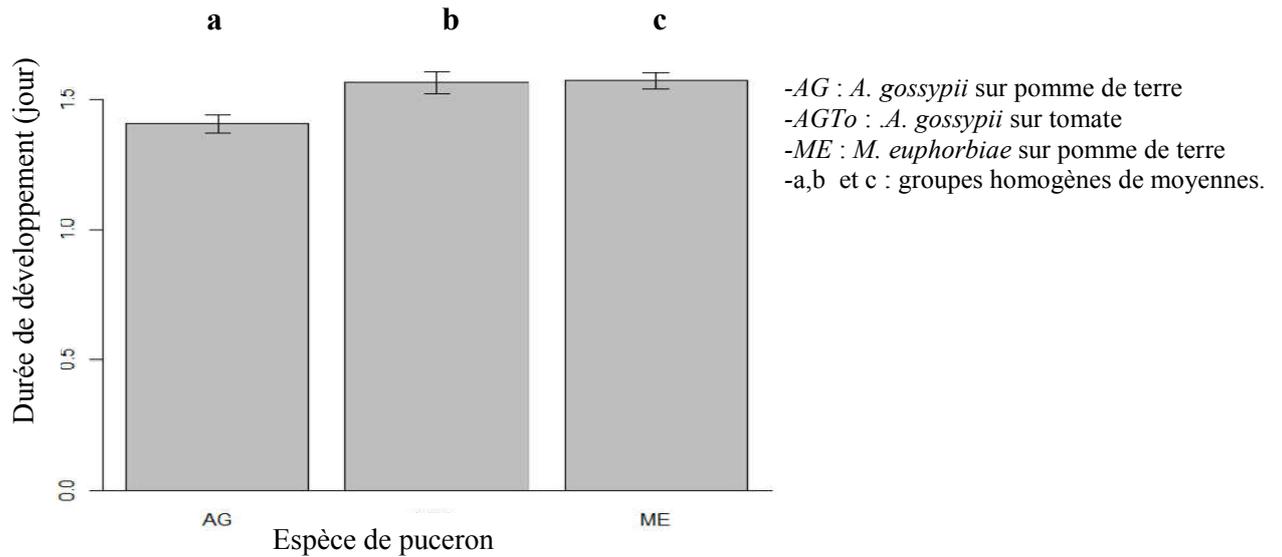


Figure D : Durée moyenne de développement (jour) du stade L2 d'AG, d'AGTo et de ME; protocole 05♀/Bt.

Annexe 07: Durée moyenne de développement stade L3 (protocole 05♀/Bt)

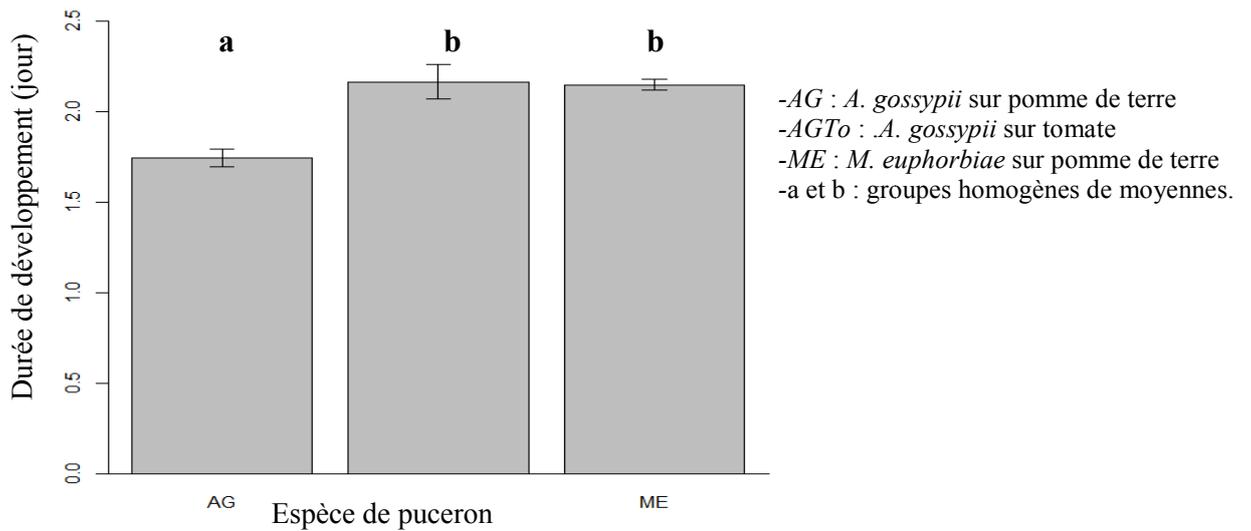


Figure E : Durée moyenne de développement en jour du stade L3 d'AG, d'AGTo et de ME; protocole 05♀/Bt.

Annexe 08: Durée moyenne de développement stade L4 (protocole 05 ♀/Bt)

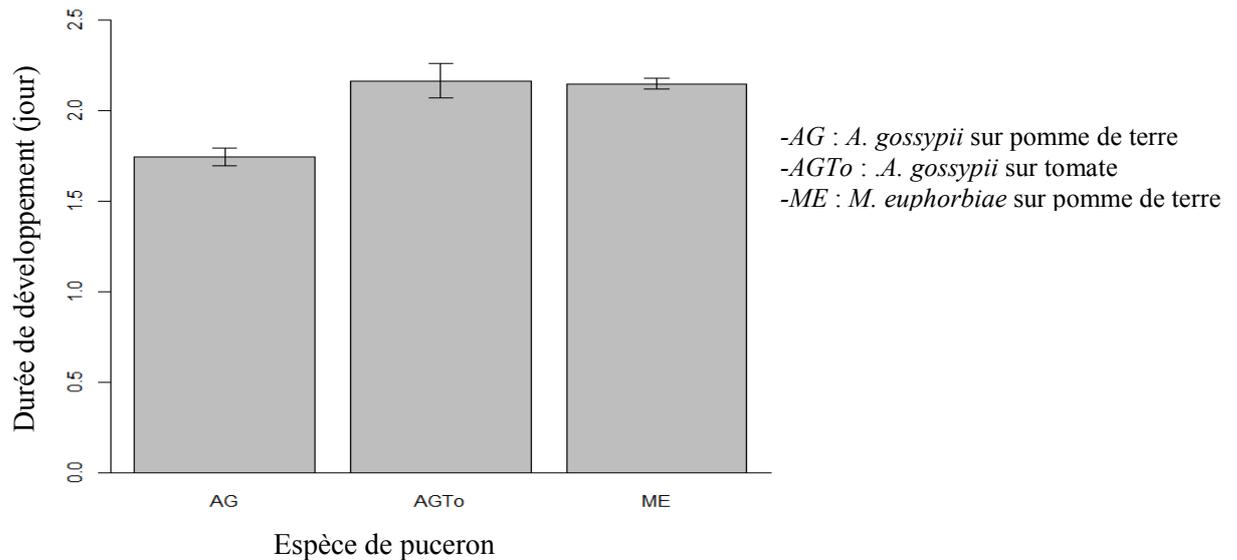


Figure F : Durée moyenne de développement en jour du stade L4 d'AG, d'AGTo et de ME; protocole 05 ♀/Bt.

Annexe 09 : Analyse de la variance (ANOVA) de la longévité totale des pucerons (*A. gossypii* et *M. euphorbiae* sur pomme de terre et *A. gossypii* sur tomate) pour le protocole 05 ♀/boîte

	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr (>F)
species	2	3.4412	1.72058	3.8505	0.03485 *
Residuals	25	11.1713	0.44685		

Annexe 10 : Analyse de la variance (ANOVA) de la fécondité totale des (*A. gossypii* et *M. euphorbiae* sur pomme de terre et *A. gossypii* sur tomate) pour le protocole 05 ♀/boîte

	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr (>F)
species	2	205.731	102.865	30.629	1.891e-07 ***
Residuals	25	83.962	3.358		

Annexe 11: Analyse de la variance (ANOVA) de la durée moyenne de développement des stades larvaires des pucerons (*A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae* sur pomme de terre) pour le protocole 01 ♀/boîte

	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr (>F)
(L1) species	3	0.2579	0.08598	11.97	3.63e-05 ***
Residuals	27	0.1939	0.00718		
(L2) species	3	0.2804	0.09345	6.985	0.00126 **
Residuals	27	0.3612	0.01338		
(L3) species	3	0.3949	0.13162	5.209	0.00573 **
Residuals	27	0.6822	0.02527		
(L4) species	3	1.345	0.4484	11.25	5.75e-05 ***
Residuals	27	1.076	0.0399		
species	3	5.461	1.8202	17.4	1.73e-06 ***
Residuals	27	2.825	0.1046		

Annexes

Annexe 12: Durée moyenne de développement stade L1 (protocole 01♀/Bt)

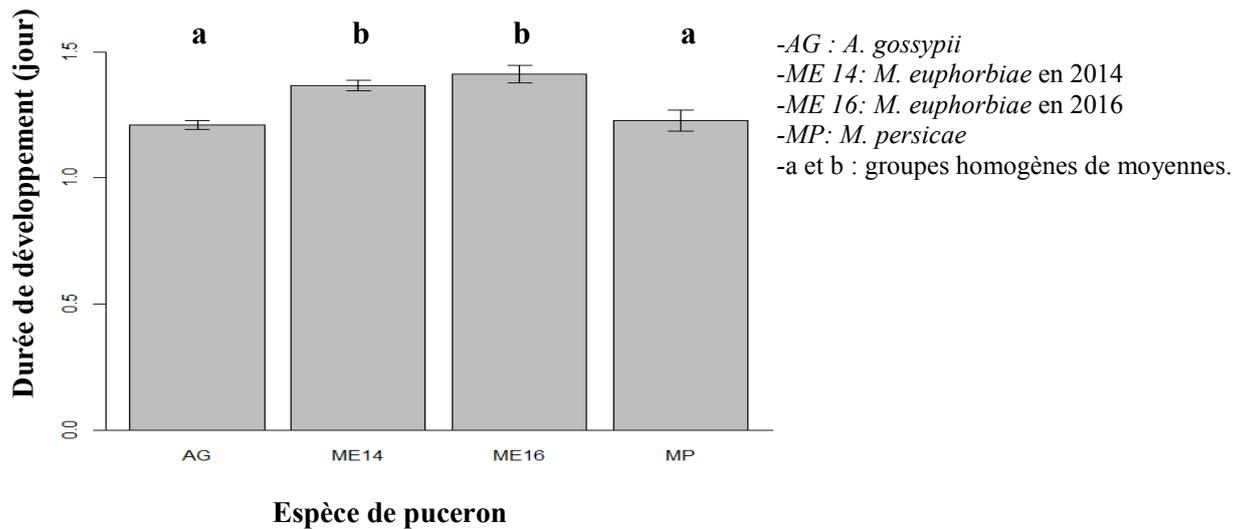


Figure G : Durée moyenne de développement en jour du stade L1 d'AG, ME14 et ME16 de MP; protocole 01♀/Bt.

Annexe 13: Durée moyenne de développement stade L2 (protocole 01♀/Bt)

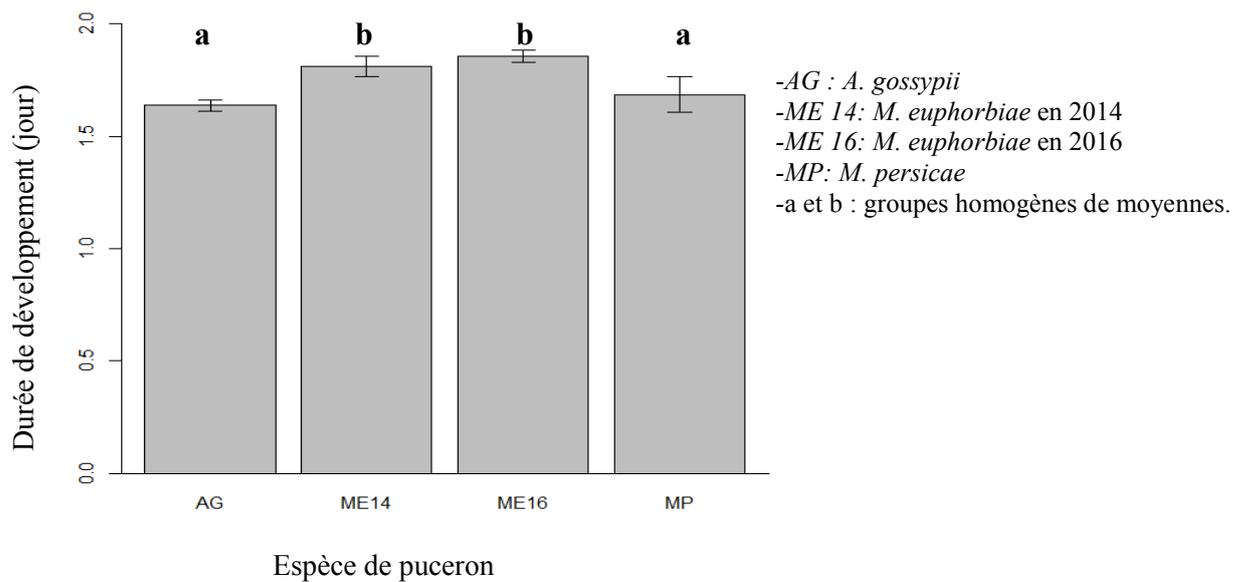


Figure H : Durée moyenne de développement en jour du stade L2 d'AG, ME14 et ME16 de MP; protocole 01♀/Bt.

Annexe 14: Durée moyenne de développement stade L3 (protocole 01 ♀/Bt)

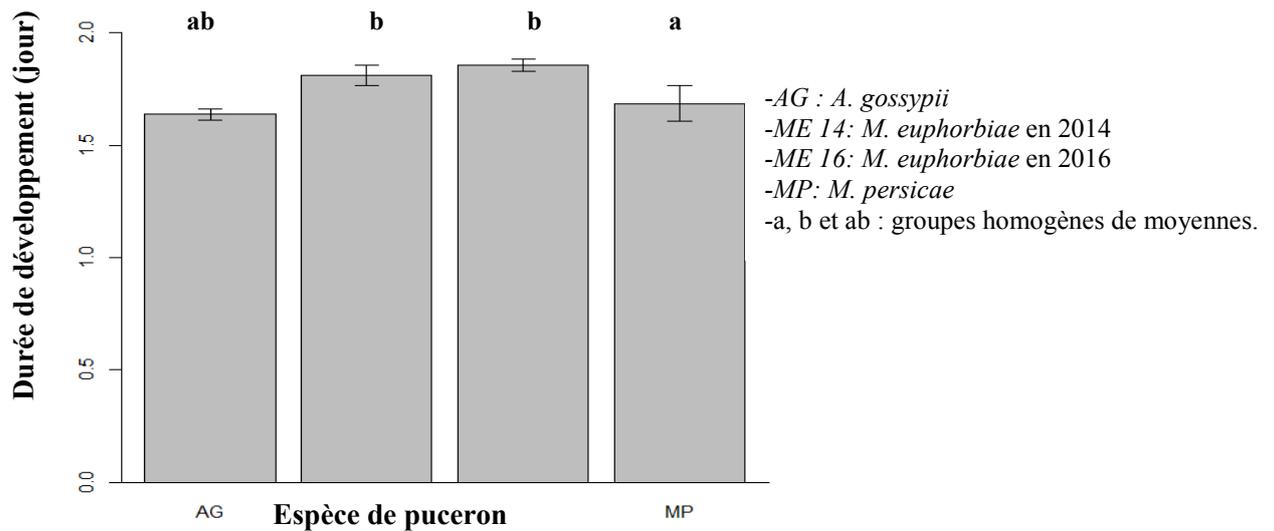


Figure I : Durée moyenne de développement en jour du stade L3 d'AG, ME14 et ME16 de MP; protocole 01 ♀/Bt.

Annexe 15: Durée moyenne de développement stade L4 (protocole 01 ♀/Bt)

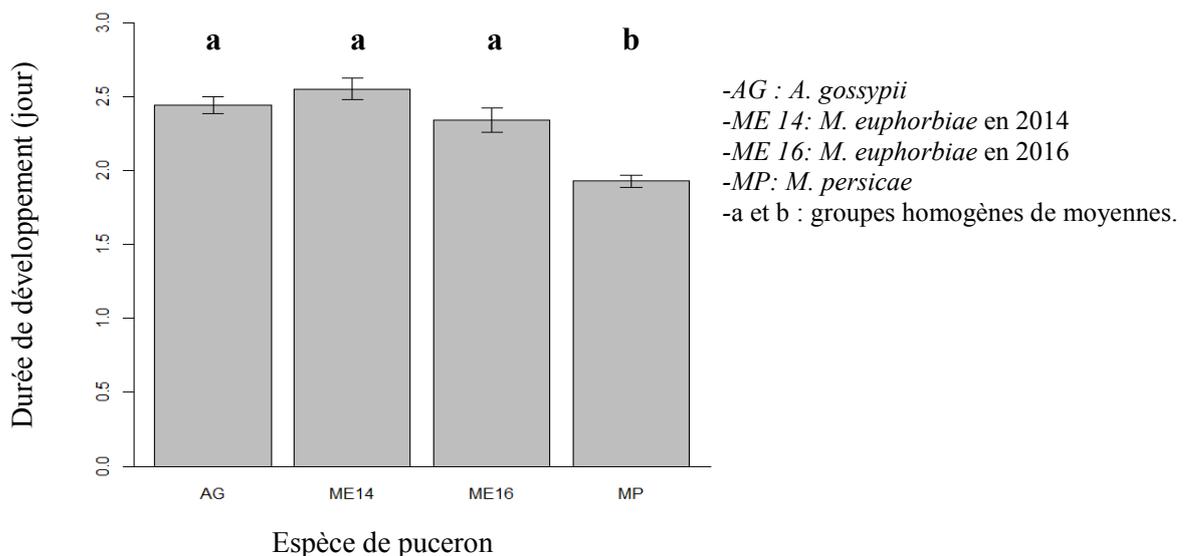


Figure G: Durée moyenne de développement en jour du stade L4 d'AG, ME14 et ME16 de MP; protocole 01 ♀/Bt.

Annexe 16: Analyse de la variance (ANOVA) de la longévité totale des pucerons (*A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae* sur pomme de terre) pour le protocole 01 ♀/boîte

	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr (>F)
species	3	38.95	12.984	11.48	4.94e-05 ***
Residuals	27	30.53	1.131		

Annexes

Annexe 17 : Analyse de la variance (ANOVA) de la fécondité totale des pucerons (*A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae* sur pomme de terre) pour le protocole 01 ♀/boîte

	Df	SumSq	MeanSq	F value	Pr (>F)
species	3	1324.64	441.55	12.4459	3.093e-05 ***
Long	1	194.69	194.69	5.4876	0.02708 *
Residuals	26	922.41	35.48		

Annexe 18 : Analyse de la variance (ANOVA) de la prédation de *M. pygmaeus* et *N. tenius* sur *M. persicae*

	X^2	Df	Pr (>Chisq)
Prédateur	59.015	1	1.565e-14 ***

Annexe 19 : Analyse de la variance (ANOVA) de la prédation de *C. septempunctata* et *C. undecimpunctata* sur *A. gossypii* et *M. persicae*

	X^2	Df	Pr (>Chisq)
Prédateur	41.454	2	9.962e-10 ***

Annexe 20 : Analyse de la variance (ANOVA) de la prédation de *C. septempunctata* et *H. tredecimpunctata* sur *A. gossypii* et de *M. persicae*

	X^2	Df	Pr (>Chisq)
Prédateur	35.982	2	1.537e-08 ***

Annexe 21: Analyse de la variance (ANOVA) de la dynamique temporelle du taux de prédation de *C. carnae* selon l'espèce de puceron (*A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae*)

	X^2	Df	Pr (>Chisq)
(Intercept)	30.765	1	2.912e-08 ***
Puceron	681.495	2	<2.2e-16 ***
poly(Time, 2)	1085.662	2	<2.2e-16 ***
Puceron:poly(Time, 2)	853.797	4	<2.2e-16 ***

Annexe 22: Analyse de la variance (ANOVA) de la prédation globale de *C. carnae* selon l'espèce de puceron (*A. gossypii*, *M. euphorbiae* et *M. persicae*)

	SumSq	Df	F value	Pr (>F)
(Intercept)	5546	1	11.9416	0.002148 **
puceron	248332	2	267.3478	<2.2e-16 ***
Longévité	198	1	0.4259	0.520466
Residuals	10682	23		

- Signification des codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- Df : Degré de liberté

- SumSq : Somme de carrés

- MeanSq : Moyenne des carrés

- F value : Valeur de Fisher

- Pr (>F) : Probabilité.

- X^2 (Chisq): Chi2

- Pr (>Chisq) : probabilité.

Annexes

Annexe 23 : Analyse de la variance (ANOVA) du parasitisme de *L. testaceipes* et *A. matricariae* sur *A. gossypii*

		X^2	Df	Pr (>Chisq)
Dynamique temporelle de momification	Intercept	352.2166	1	< 2e-16 ***
	sp	4.7077	1	0.03003 *
	day	459.6609	1	< 2e-16 ***
	sp:day	0.8227	1	0.36441
Taux global de momification	Sp	32.534	1	1.171e-08 ***
	longevity	5.565	1	0.01832 *
Dynamique temporelle de parasitisme	Intercept	46.6486	1	8.493e-12 ***
	sp	28.8649	1	7.761e-08 ***
	day	244.6318	1	< 2.2e-16 ***
	sp:day	0.0962	1	0.7564
Taux global de parasitisme	sp	38.279	1	6.131e-10 ***
	longevity	2.182	1	0.1396
Dynamique temporelle du Sex-ratio	Intercept	12.6382	1	0.0003779 ***
	sp	0.7643	1	0.3820005
	day	0.1524	1	0.6962364
	sp:day	0.2992	1	0.5843559
Taux global du sex-ratio	sp	0.52455	1	0.4689
Longévité des parasitoïdes	sp	68.311	1	< 2.2e-16 ***
Dynamique temporelle de la fécondité des parasitoïdes	Intercept	3639.729	1	< 2.2e-16 ***
	sp	1.437	1	0.2306250
	day	291.426	1	< 2.2e-16 ***
	sp:day	11.259	1	0.0007924 ***
Fécondité globale selon l'espèce de parasitoïde	sp	2.4078	1	0.1207
	longevity	1.8396	1	0.1750

Annexe 24: Interactions entre différents prédateurs ; *H. tredecimpunctata*, *C. septempunctata*, *N. tenius* et *M. pygmaeus* sur *A. gossypii*

	Chisq	Df	Pr (>Chisq)
Interaction	920.36	8	< 2.2e-16 ***

Annexe 25: Interaction entre parasitoïdes ; Situation de compétition intra-spécifique de l'espèce *L. testaceipes* sur *A. gossypii*

	Chisq	Df	Pr (>Chisq)
Taux de momification	2.1153	1	0.1458
Taux de parasitisme	1.7635	1	0.1842
Sex-ratio	0.02901	1	0.8648

Annexe 26 : Interaction entre prédateur et parasitoïde ; *C. algerica* et *N. tenius* et *L. testaceipes* sur *A. gossypii*; Taux de prédation selon le prédateur, le type de compétition et la ressource

	Chisq	Df	Pr (>Chisq)
Interaction	110.728	2	<2e-16 ***
Statut puceron	3.540	2	0.1703
Interaction: Statut puceron	5.178	4	0.2695

Annexes

Annexe 27 : Nombre de momies d'*A. gossypii* parasitées par *L. testaceipes* relevés après le passage des prédateurs (*C. algerica* et *N. tenius*)

	Chisq	Df	Pr (>Chisq)
Interaction	15.8173	2	0.0003676 ***
Statut puceron	0.6426	1	0.4227722
Interaction: Statut puceron	4.5641	2	0.1020759