

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences de la nature et de la vie

Département d'Agronomie

THESE DE DOCTORAT

En Agronomie

Spécialité : Protection des plantes et environnement

MUTUALISME FOURMIS (HYMENOPTERA) COCHENILLES (HOMOPTERA)

D'AGRUMES

Par

abla BOUKOFTANE

Devant le jury composé de :

Z.E. DJAZOULI	Professeur, U.S.B. Blida	Président
A. GUENDOZ-BENRIMA	Professeur, U.S.B. Blida	Promoteur
F. BOUNACEUR	Professeur, U.I.KH. Tiaret	Examineur
F. KARA	Professeur, U.S.B. de Blida	Examineur
F.Z. BESSAD	Professeur, U.M.B. Boumerdès	Examineur
N.CHEBOUTI	Professeur, U.M.B. Boumerdès	Examineur

Blida 2019

RESUME

MUTUALISME FOURMIS (HYMENOPTERA) COCHENILLES (HOMOPTERA) D'AGRUMES

Depuis des décennies, les relations mutualistes que peuvent présenter fourmis et Homoptères passionnent les entomologistes, comme en atteste l'abondante littérature sur le sujet à l'échelle mondiale, elle est modérée à l'Algérie.

Le groupe des Homoptères comprend plusieurs espèces hautement préjudiciables à l'agrumiculture dans la plaine de la Mitidja, en Algérie. Ils constituent, donc, un danger permanent pour le développement de l'agrumiculture dans les différentes régions du pays.

L'objectif de cette thèse est donc d'améliorer la compréhension de la relation mutualiste, et plus particulièrement dans l'étape de recherche de partenaire, tant du point de vue de la fourmi que de celui de cochenille. Et l'impact de cette relation sur la pullulation de cochenille dont l'intérêt de la lutte contre les ravageurs d'agrumes.

La présente étude est ciblée pour la gestion intégrée des insectes nuisibles car le calendrier de contrôle biologique ou chimique repose sur la prévision du temps d'apparition d'événements phénologiques. Les résultats des indices de diversité montrent l'abondance des colonies de *Parlatoria ziziphi* dans le verger de *Thomson navel* par rapport aux autres espèces de cochenille et l'abondance de la fourmi *Tapinoma Simrothi*.

La guildes coccidiphage de *Parlatoria ziziphi* est composée par la guildes parasitoïde de trois familles, la famille Mymaridae par l'espèce *Anagyrus sp.* La famille des Braconidae par l'espèce *Binodoxys sp.* La famille des Aphelinidae par 05 espèces : *Aphelinus sp* ; *Aphytis sp* ; *Aphytis chrysomphali (Mercet)*, *Aphytis hispanicus (Mercet)*, *Encarsia sp.* La guildes prédatrice est composée de *Typhlodromus pyri*, *Coccinella undecimpunctata*.

Le stress thermique module significativement les réponses numériques des différents stades biologiques de *Parlatoria ziziphi*. Et l'activité de la fourmi *Tapinoma simrothi*, au niveau de la région de Blida, proclame une relation symbiotique entre ces deux espèces dans une période trop limitée (juillet-août-mi-septembre) et en présence des Aphides.

La cochenille *Parlatoria ziziphi* et le puceron *Aphis citricola* sont les espèces préférées par les *Tapinoma simrothi* dans le verger *Thomson navel*.

Cette thèse met en évidence l'importance des facteurs climatiques sur les relations mutualistes fourmis-cochenille, complétant ainsi par un modèle biologique déjà bien documenté sur fourmi-puceron par expérience d'exclusion.

A travers notre étude nous avons estimé les températures de développement des cochenilles dans son milieu naturel par une régression non linéaire de YAN et HUNT.

Les résultats des deux années 2009 et 2010 ont donné le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est de 23 °C à 34°C présenté par un taux de 20,44% de jeune femelle et 34,12% pour larve fixe. On raisonne que cette saison est favorable pour le stade femelle et au stade larve fixe de l'arbre âgé.

Les résultats des deux années 2013 et 2014 ont donné le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est de 17°C à 31°C présenté par un taux de 23% de larve 1fixe de la population, et un taux de 6,88% mâle adulte de la colonie. On pense que cette saison est favorable au développement du mâle adulte et larve 1fixe dans la jeune parcelle.

Cette étude permet aux utilisateurs d'utiliser des modèles paramétriques non linéaires pour prédire les temps d'apparition de la phénologie des insectes dans le milieu naturel.

Mots clé : mutualisme, fourmis, *Tapinoma simrothi* Krauss, cochenille, puceron, climat.

ABSTRACT

MUTUALISM ANTS (HYMENOPTERA) AND SCALES (HOMOPTERA) OF CITRUS.

Mutualism has increasingly considered playing an important role in shaping community structure, diversity and ecological functions. The role of mutualistic interactions in nature has considered as one of the “key gaps in population and community ecology

Ant-hemiptera interaction is one of the most common mutualistic interactions in nature; in the interaction, ants take the honeydew excreted by Hemipterans as food and in return, they protect those insects from natural enemies. More studies that are recent show that this mutualistic interaction has a wider range of ecological effects, especially for the host plants and related arthropods on foliage.

This study conducted to determine the diversity of scales insects in the Orchard of *Thomson navel* on presence of the ants *Tapinoma simrothi* Krauss and deepened in the comprehension of mutualism between ants and scales.

Through our study, we estimated temperatures of development of scale in its natural environment by a regression no linear of YAN and HUNT.

The results of the year 2009-2010 give the maximum development of *Parlatoria ziziphi* is 23 ° C to 34 ° C presented by a rate of 20.44% of young female and 34, 12% for fixed larva. We are reason that this season is favorable for the female stage and fixed the old tree larva stage.

The results of the year 2013-2014 give the maximum development of *Parlatoria ziziphi* is 17 ° C to 31 ° C by a rate of 23% of Larval 1fixe of the

population, and 6.88% male adult of the colony. This season believed to be conducive to the development of the male adult and larva 1fixe in the young plot.

Parlatoria ziziphi coccidiphage Guild they composed by the Guild parasitoid from three families, the family Mymaridae by the *Anagyrus sp.* species. Family Braconidae by the species of *Binodoxys sp.* Family Aphelinidae by 05 species: *Aphelinus sp.*; *Aphytis sp.*; *Aphytis chrysomphali* (mark), *Aphytis hispanicus* (mark), *Encarsia sp.* The predator Guild is composed of (*Panonychus ulmi*, *Typhlodromus pyri*, *Coccinella undecimpunctata*).

We identified four species of scale associated with ant *Tapinoma simrothi* Krauss (Hymenoptera, Formicidae) in the Orchard they are: *Parlatoria ziziphi*, *Pseudococcus citriculus*, *Lepidosaphes beckii*. The results of diversity index show an abundance of colonies of *Parlatoria ziziphi*.

There is a correlation between the number of cochineal and index maintenance by ants. The results by index maintenance reveal the ants prefer *Parlatoria ziziphi*, the number of scales that contains a colony of cochineal is important and most index maintenance of ants is high and should therefore benefit of mutualism with ants.

Ant-aphid interactions are therefore an ideal model for the study of the evolution of mutualisms, providing multiple independent examples of its gain and loss. It has been hypothesize that the pattern of ant mutualism among aphids may explained by differences in feeding position on their host plant.

Key words: mutualism, Ants, *Tapinoma simrothi* Krauss, scale, Aphid.

تعايش النمل و القشريات في حقول الحمضيات

على مدى عقود و العلاقات المتبادلة بين النمل و الحشرات المتشابهة الأجنحة (اوموبتيرا) يستقطب اهتمام العلماء. كما يتضح من الأدب العالمي وفترة الدراسات العالمية في هذا الموضوع و ندرتها في دول المغرب العربي و الجزائر.

بما أن القشريات تعتبر من أهم الحشرات خطورة على الحوامض و تؤثر على الإنتاج كما ونوعا اقترحنا هذا الموضوع.

إن الهدف من هذه الدراسة هو تحسين فهم العلاقة المتبادلة نخص بالذكر التعايش بين القشريات و النمل من جهة و تأثيرها على انتشار القشريات من جهة أخرى.

هذه الدراسة موجهة للتسيير الإدماجي للحشرات الضارة لان رزنامة المكافحة البيولوجية و الكيماوية تستند على توقع زمن تغير حدث فيزيولوجي.

أظهرت دراسة دلالات التنوع كثرة مستعمرات القمل الأسود في حقل البرتقال الحلو(طومسون) مقارنة مع الأنواع الأخرى. كما أظهرت أيضا الدراسة كثرة نمل (تابينوما سيمروتي).

أظهرت دراستنا أن نقابة القشريات تتكون من ثلاثة عائلات متطفلة على القمل الأسود و هي كالتالي (ميرماريدي, العنكبوتيات و بركونيات). كما أن النقابة تتكون أيضا من عائلات مفترسة للقمل الأسود تبين لنا منها الدعاسق و العث.

إن الإجهاد الحراري يؤثر إيجابا على التجاوب العددي لمختلف مراحل حياة القمل الأسود و نشاط النمل في منطقة البليدة.

بينت دراستنا وجود علاقة متبادلة بين النمل و القمل الأسود في فترة محدودة جدا (جويلية, أوت و سبتمبر) و بوجود المن (افيد). أظهرت أيضا دراستنا أن النملة (تابينوما سيمروتي) تفضل القمل الأسود و المن (افيس سيتريكولا).

لقد أظهرت دراستنا أهمية تأثير درجة الحرارة على القشريات في الوسط الطبيعي بواسطة الانحدار غير خطية للعالمين (يان و هانت).

نتائج السنتين 2009 و2010 أظهرت التطور الأقصى للقمل الأسود يتراوح بين الدرجتين 23 درجة مئوية و 34 درجة مئوية بمعدل 20.44% للإناث اليافعة و 34.12% لليرقة الثابتة. نحن نرى أن هذا الموسم موافيا لمرحلة الإناث اليافعة و اليرقات الثابتة من شجرة متقدمة في السن.

نتائج السنتين 2013 و 2014 بينت أن أقصى تطور للقمل الأسود ما بين الدرجتين 17 درجة مئوية و 31 درجة مئوية بمعدل 23% لليرقة الثابتة و 6.88% للذكر البالغ.نظن أن هذا الموسم ملائم لتطور الذكور البالغين و اليرقات الثابتة من شجرة فتية.

يمكننا أن نصل من خلال النتائج المختلفة أن هذه الدراسة تسمح للباحثين باستعمال نماذج حدودي غير الخطية لتوقع زمن ظهور تطور الحشرات في الوسط الطبيعي لاستغلالها في مكافحة البيولوجية للحشرات الضارة في حقول الحمضيات.

كلمات المفتاح : تعايش, نمل, قشريات, المن, الحرارة.

REMERCIEMENTS

Je remercie mon dieu الله et mes parents Abdelkader et BACHIR CHIRIF Djamila. Au terme de cette thèse, je souhaite remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Je souhaite avant tout adresser mes plus vifs remerciements à ma directrice de thèse professeur GUENDOUZ-BENRIMA pour ses exceptionnelles qualités tant humaines que scientifiques, pour son soutien tout au long de ce travail. Je souhaite également remercier professeur Ferran GARCIA MARIE, mon co-promoteur, pour ses conseils et explications, son aide précieuse lors de la réalisation de stage, ainsi que pour m'avoir donné l'opportunité de participer à une formation extrêmement intéressante en protection des plantes à l'université polytechnique de l'Espagne. Ma reconnaissance va également à professeur DJAZOULI, dont l'expertise en matière de relation plante insecte fut particulièrement utile au cours de ce travail. Mes sincères remerciements à l'ensemble des membres jury : Les professeurs BOUNACEUR, KARA et BESSAD également à CHEBOUTI.

Je voudrais également adresser toute ma gratitude au Laboratoire de zoologie de l'université Blida 1 et laboratoire et de l'université de Valence, Espagne au complet ainsi que ses occupants, pour le soutien que j'y ai trouvé, les bons moments partagés, aux unités de l'agronomie ainsi qu'à tous ceux et celles avec qui j'ai pu collaborer dans le cadre de cette thèse, et tout spécialement, les docteurs AROUN et RAMDANE et MOSTEFAOUI. Je remercie l'inspectrice BENZEROUK et à la mémoire de BENREKIYA et de chaque enseignant de mon parcours. Enfin, je souhaite remercier toute ma famille mon marie l'ingénieur AMEUR et ma sœur et mon frère et mes enfants, pour leur soutien et la motivation qu'ils m'ont apporté durant toute ma thèse, ainsi que tous ceux que je n'ai cités, mais qui se reconnaîtront.

TABLE DES MATIERES

RESUME

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

INTRODUCTION	19
1. LE MUTUALISME	25
1.1. Définition de mutualisme	25
1.2. Interactions entre espèces	26
1.3. Le défi posé par l'évolution du mutualisme	31
1.4. Importance des mutualismes symbiotiques	33
1.5. Les fourmis comme modèle d'étude du mutualisme	34
1.5.1. Mutualismes symbiotiques entre plantes et fourmis	35
1.5.2. Mutualisme fourmis et Homoptère	37
1.6. Mutualisme cochenille-fourmis	39
1.7. Les sémiochimiques volatiles impliqués dans le mutualisme	41
1.8. Le mutualisme est une stratégie défensive	46
1.9. L'impact de miellat sur les fourmis	48
1.10. L'impact de miellat sur les ennemis	48
1.11. Effet de composés volatils sur partenaire mutualiste	49
1.12. L'effet des composés volatils sur le comportement alimentaire	49
1.13. Le comportement d'apprentissage de partenaires mutualistes	51
1.13.1. L'efficacité de mimétisme dépend de l'apprentissage	52
1.14. Les effets écologiques du Mutualisme	53
2. BIOECOLOGIE DES ESPECES MUTUALISTES	56

2.1.	Bio-écologie des Fourmis	53
2.2.	Bio-écologie des cochenilles d'agrumes	62
2.2.1.	Méthodes de lutte contre <i>Parlatoria ziziphi</i>	66
2.3.	Bio-écologie des pucerons d'agrumes	67
2.4.	Généralités sur la plante hôte	68
2.4.1.	La description de la <i>Thomson navel</i>	68
2.5.	Aperçu générale sur l'agrumiculture en Algérie	70
2.5.1.	Les affronte de programme agrumicole	70
2.5.2.	Actualités sur la production d'agrumes	71
2.5.3.	Réhabilitation des vergers agrumicoles	72
3.	MUTUALISME FOURMI-COCHENILLE	76
3.1.	Introduction	76
3.2.	Matériels et méthodes	76
3.2.1.	Présentation de la Zone d'étude	77
3.2.2.	La situation géographique de la Wilaya de Blida	79
3.2.3.	Choix de site d'étude	80
3.2.4.	Objectifs et choix de la méthode	82
3.2.5.	Expériences d'exclusion	82
3.2.5.1.	Protocole détaillé	83
3.2.5.2.	Méthodes et techniques de dénombrement des fourmis	85
3.2.5.3.	Méthode adoptée pour l'étude de l'activité des fourmis	88
3.2.5.4.	Echantillonnage des arthropodes	89
3.2.5.5.	Méthodes et techniques de dénombrement des cochenilles	89
3.2.5.6.	Méthodes et techniques de dénombrement des pucerons	96
3.2.5.7.	Analyse statistiques	95
3.2.5.7.1.	Comparaison entre ennemis naturels	95
3.2.5.8.	L'indice d'entretien	96
3.2.5.8.1.	Evaluation de calcule de l'indice d'entretien par les	96

	fourmis pour chaque espèce de cochenille ou et puceron	
3.3.	Résultats	98
3.3.1.	Activité de fourmi dans le verger	95
3.3.1.1.	Richesse des espèces de Formicidés échantillonnées par la méthode des pots-Barber dans le site d'étude	95
3.3.1.2.	Reconnaissance des espèces de fourmis capturées	98
3.3.1.3.	Abondance relative des espèces de fourmis capturées dans les pièges	99
3.3.1.4.	Activité de <i>Tapinoma simrothi</i>	100
3.3.1.4.1.	Effets d'exclusion sur l'abondance de <i>Tapinoma simrothi</i> dans les pièges	100
3.3.1.4.2.	Abondance de <i>Tapinoma simrothi</i> sur les arbres	101
3.3.1.5.	Discussion Activité de fourmi dans le verger	102
3.3.2.	Influence de l'exclusion sur l'abondance de <i>Parlatoria ziziphi</i>	104
3.3.3.	Influence de l'exclusion sur la composition de guildes coccidiphage.	108
3.3.4.	Influence de l'exclusion sur le parasitisme	108
3.3.4.1.	Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme (larve,adulte)	110
3.3.5.	Influence de l'exclusion sur les prédateurs	111
3.3.6.	Discussion de composition de guildes coccidiphage en présence de fourmi	113
3.3.7.	Influence de l'exclusion sur le taux de mortalité	118
3.3.8.1.	La diversité des espèces de cochenille	119
3.3.8.2.	Indice d'entretien par fourmis pour chaque espèce de cochenille	119
3.3.8.3.	Le nombre moyen de cochenilles par fourmis en fonction des espèces de cochenilles étudiées	120
3.3.8.4.	L'effet du nombre de cochenille sur l'indice d'entretien des fourmis	121

3.3.8.5.	L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvé au sein des colonies des différentes espèces de cochenille étudiées	121
3.3.9.	Discussion de l'indice d'entretien <i>Tapinoma simrothi-Parlatoria ziziphi</i>	122
3.3.10.	Indice d'entretien par <i>Tapinoma simrothi</i> -puceron	125
3.3.10.1.	Comparaison annuelle de la diversité des espèces de fourmis et de pucerons présentes dans le verger	125
3.3.10.2.	Fréquence de présence des espèces de fourmis et pucerons	125
3.3.10.3.	La diversité des espèces de puceron	126
3.3.10.4.	L'effet du nombre de pucerons sur la dynamique de fourmis	127
3.3.10.5.	Les valeurs d'indice d'entretien par fourmis pour chaque espèce de puceron	128
3.3.10.6.	L'effet du nombre de puceron sur l'indice d'entretien des fourmis	130
3.3.10.6.1.	L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de puceron étudiées	130
3.3.10.7.	Discussion de l'indice d'entretien <i>Tapinoma simrothi</i> -puceron.	131
4.	EFFET DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES ESPECES MUTUALISTES	135
4.1.	Introduction	135
4.2.	Méthodes d'études et objectif	138
4.2.1.	Présentation de la région d'étude	138
4.2.1.2.	Présentation de la station d'étude	139
4.2.2.	Méthodes d'étude pour les cochenilles	140
4.2.3.	Traitement des données thermiques	142
4.2.4.	Estimations des températures cardinales et du taux maximal de développement	145

4.2.4.1.	Objectif	145
4.2.4.2.	Estimations des températures par l'équation de YAN & HUNT (1999)	146
4.3.	Résultats	149
4.3.1.	Les plantes adventices recensées dans le verger	149
4.3.2.	Effet des paramètres thermiques sur le taux de développement des stades biologiques de <i>Parlatoria ziziphi</i> (année 2009-2010)	149
4.3.3.	Effet des paramètres thermiques sur le développement des stades biologiques de <i>Parlatoria ziziphi</i> après un ajustement linéaire (année 2009-2010).	153
4.3.4.	Analyse de variance par Test One way ANOVA de l'effet des paramètres thermiques sur la densité de chaque stade larvaire de <i>Parlatoria ziziphi</i>	156
4.3.5.	Effet de Variation saisonnière des précipitations sur la fluctuation temporelle des larves de <i>Parlatoria ziziphi</i> (2009-2010).	157
4.3.6.	Effet des paramètres thermiques sur le taux de développement des stades biologiques de <i>Parlatoria ziziphi</i> (2013-2014)	158
4.3.7.	Effet de pluviométrie sur la fluctuation temporelle des populations de cochenille <i>Parlatoria ziziphi</i> (2013-2014)	160
4.3.8.	Effets des températures et pluviométrie sur l'activité des fourmis (2013-2014)	161
4.4.	Discussion	162
4.5.	Conclusion	169
	CONCLUSION GENERALE	172
	APPENDICE	176
	REFERENCES	188

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure 1.1.	Les Interaction entre espèces BARY (1879)	27
Figure1.2.	Deux partenaires d'une association symbiotique <i>Squamellaria</i> et <i>Philidris nagasau</i>	36
Figure 1.3.	Photos de mutualisme fourmi -puceron	39
Figure 1.4.	Cochenille (<i>Coccus hesperidum</i>) avec fourmi (<i>Lasius alienus</i>).	41
Figure 1.5.	L'emplacement des ouvertures des glandes pygidiales	51
Figure 2.1.	Les photos des individus de la fourmi <i>Atta cephalote</i>	61
Figure 2.2.	Les fleurs et le fruit de la <i>Thomson navel</i>	70
Figure 3.1.	Situation géographique de la Wilaya de Blida	79
Figure 3.2.	Présentation de Station d'étude domaine SI- KHLED	81
Figure 3.4.	Plans expérimental de l'Expériences d'exclusion	84
Figure 3.5.	Identification des fourmis par comparaison morphométrique	88
Figure 3.6.	Application de la colle (glu) sur le tronc	92
Figure 3.7.	Effets d'exclusion sur l'abondance de <i>Tapinoma simrothi</i>	100
Figure 3.8.	L'activité des fourmis	101
Figure 3.9.	Influence de l'exclusion sur l'abondance de <i>Parlatoria ziziphi</i>	104
Figure 3.10.	Influence de l'exclusion sur l'abondance d' <i>Aphis citricola</i> .	105
Figure 3.11.	Influence de l'exclusion sur l'abondance d' <i>Aphis gossypii</i>	106
Figure 3.12.	Influence de l'exclusion sur l'abondance de <i>Toxoptera aurantii</i> .	106
Figure 3.13.	Influence de l'exclusion sur le parasitisme (1 ^{ère} année).	109

Figure 3.14.	Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme (2 ^{ème} année)	109
Figure 3.15.	Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme des larves.	110
Figure 3.16.	Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme des adultes.	110
Figure 3.17.	Influence de l'exclusion sur les prédateurs de <i>Parlatoria ziziphi</i> .	112
Figure 3.18	Influence de l'exclusion Taux de mortalité de <i>Parlatoria ziziphi</i> .	118
Figure 3.19.	Graphe de nombre moyen de cochenilles par fourmis en fonction des espèces de cochenilles étudiées (2014).	120
Figure 3.20.	L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de cochenille étudiées.	122
Figure 3.22.	L'effet du nombre de pucerons sur la dynamique de fourmis.	128
Figure 3.23.	L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de pucerons étudiées.	130
Figure 4.1.	Dispositif expérimental de parcelle étudiée dans le verger d'Oued El Alleug.	141
Figure 4.2.	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN relatif aux années d'études.	142
Figure 4.3.	Localisation de la Mitidja dans le Climagramme d'EMBERGER (2000-2015).	144
Figure 4.4.	Analyse de régression linéaire des paramètres thermiques appliquée aux différents stades larvaires de <i>Parlatoria ziziphi</i> de l'année 2009-2010 sur arbre âgé.	154
Figure 4.5.	Analyse de régression linéaire des paramètres thermiques appliquée aux stades adultes de <i>Parlatoria ziziphi</i> de l'année 2009-2010 sur arbre âgé.	155
Figure 4.6.	Effet de pluviométrie sur la fluctuation temporelle des	160

	populations de cochenille <i>Parlatoria ziziphi</i> (Cinq palmier).	
Figure 4.7.	Effets des facteurs climatiques sur l'activité de fourmi (année 2014, Cinq palmier).	161
Figure 4.8	Effet des facteurs climatiques sur l'activité de fourmi (année 2013 et 2014, Cinq palmier).	162
Tableau 2.1.	L'enregistrement pour l'indicateur : Production d'agrumes	73
Tableau 3.1.	Richesse des Formicidae capturées dans les pièges de verger de domaine SI-KHALED, Bouarfa (Mitidja centrale) en 2013 et 2014.	98
Tableau 3.2.	L'abondance relative des espèces de fourmis capturées dans les pièges.	99
Tableau 3.3.	Résultats d' <i>one-way</i> ANOVA sur l'effet de l'expérience d'exclusion sur <i>Parlatoria ziziphi</i> , <i>Aphis gossypii</i> , <i>Toxoptera aurantii</i> . <i>Aphis citricola</i> .	107
Tableau 3.4.	Richesse des parasites dans le verger de domaine SI-KHALED.	111
Tableau 3.5.	Influence de l'exclusion sur les prédateurs de <i>Parlatoria ziziphi</i> .	112
Tableau 3.6.	La diversité des espèces de cochenille.	119
Tableau 3.7.	Tableau des indices d'entretien par fourmis de chaque espèce de cochenille.	119
Tableau 3.8.	Type de répartition de <i>Parlatoria zizyphi</i> .	122
Tableau 3.9.	Calcul des indices de diversité des espèces de pucerons	125
Tableau 3.10.	Fréquence de présence des espèces de fourmis et pucerons	125
Tableau 3.11.	Résultats de l'exploitation des indices de diversité des pucerons.	127
Tableau 3.12.	Tableau des indices d'entretien par fourmis de chaque espèce de puceron.	129
Tableau 4.1.	Les températures maximales, minimales mensuelles et leurs moyennes des années 2009, 2010.	149
Tableau 4.2.	Le taux de développement des stades biologiques de <i>Parlatoria ziziphi</i> sur les feuilles durant les deux années.	150

Tableau 4.3.	Résultats de l'analyse de régression non-linéaires appliquée à <i>Parlatoria ziziphi</i> (2009-2010).	151
Tableau 4.4.	Estimation de taux de développement maximal saisonnier pour chaque stade biologique de <i>Parlatoria ziziphi</i> (année 2009-2010).	152
Tableau 4.5.	Analyse de variance des paramètres thermiques sur la densité (D) de chaque stade larvaire de <i>Parlatoria ziziphi</i> .	156
Tableau 4.6.	Effet de la variation saisonnière des précipitations sur la fluctuation temporelle des larves de <i>Parlatoria ziziphi</i> (2009-2010).	157
Tableau 4.7.	Les températures maximales, minimales mensuelles et leurs moyennes et les précipitations des années (2013 – 2014, Cinq palmier).	158
Tableau 4.8.	Estimation de taux de développement maximal saisonnier pour chaque stade larvaire de <i>Parlatoria ziziphi</i> (année 2003-2014, Cinq palmier).	159
Tableau 4.9.	Résultats de l'analyse de régression non-linéaires YAN et HUNT (1999) appliquée à <i>Parlatoria ziziphi</i> (2013-2014, Cinq palmier).	159

PARTIE I

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Des études portant sur le rôle de la biodiversité dans l'économie, montrent que la pauvreté et la perte des écosystèmes et de la biodiversité sont inextricablement liées. Les bénéficiaires immédiats des écosystèmes et de la biodiversité concernent la frange la plus défavorisée de la population. Les activités les plus touchées sont l'agriculture de subsistance, l'élevage, la pêche et la sylviculture informelle, dont dépendent, d'ailleurs, la plupart des pauvres du monde entier.

Dans la majorité des pays, la biodiversité revêt un rôle vital, notamment dans la répartition des richesses. En Algérie, pays assez peu industrialisé (hors secteur hydrocarbures), le rôle de l'Agriculture et des secteurs connexes reste relativement important. En effet, l'agriculture est intimement liée à la problématique de la biodiversité tant par les revenus qu'elle génère que par les impacts négatifs qu'elle peut occasionner. D'autres secteurs économiques peuvent également bénéficier de la biodiversité, directement ou indirectement, comme l'énergie, et l'industrie (secteur agro – alimentaire, industrie du cuir, du bois, du liège, et du papier) (5ème Rapport National, Algérie).

Les systèmes de culture agricoles sont devenus des systèmes productifs simplifiés mais sont également fortement dépendants des banques de graines, des pesticides chimiques et des manipulations génétiques. De nombreux scientifiques et agriculteurs s'inquiètent de ces systèmes hautement dépendants et écologiquement simplifiés, de l'utilisation de ressources non renouvelables, de la perte de biodiversité et de la perte des terres à travers l'érosion des sols [1]. En outre, l'utilisation non raisonnée des produits chimiques agricoles impacte sur la santé humaine et animale, la sécurité et la qualité alimentaire et environnementale.

L'agro-écologie, recherche visant à tendre vers une régulation naturelle des systèmes agricoles par la réduction des intrants chimiques et l'augmentation

des régulations naturelles, implique une connaissance des processus écologiques et des réseaux trophiques des cultures. Dans les agro-écosystèmes, le réseau trophique est souvent simplifié et centré sur les plantes cultivées et leurs bio-agresseurs [1].

Les systèmes de culture durable pourraient reposer sur une complexification écologique du système. Plusieurs approches permettent de complexifier un système, comme par exemple la gestion des ressources primaires par l'ajout d'une plante de couverture. Les conséquences de la complexification écologique sont difficiles à prédire en raison de la nature aléatoire des interactions, trophiques ou non, qui se mettent en place et de leur dynamique [2].

La complexité des interactions (mutualisme, compétition, parasitisme et prédation) entre les différents organismes végétaux et animaux dans un agrosystème, rend nécessaire l'étude approfondie des différents acteurs, de leurs traits de vie, de leur comportement et de leurs interactions. En revanche, bien que les relations de mutualisme soit connue dès le 19ème siècle, leur étude approfondie a été laissée de côté pendant une bonne partie du 20ème siècle essentiellement pour des raisons idéologiques [3].

Il faut donc attendre les années 70 pour que les écologistes se penchent sur le mutualisme. Au cours des trente dernières années, le mutualisme est alors apparu comme une interaction forte et ubiquiste au sein des différents écosystèmes, supposant même que toutes les espèces sur la planète sont impliquées dans au moins une relation de mutualisme [4].

Dans le cadre de la lutte contre les ravageurs l'agrumiculture a rencontré l'introduction des ennemis naturels dans ces dernières années. L'efficacité de ces ennemis naturels dépend de nombreux facteurs parmi lesquels le synchronisme entre leur cycle biologique et celui de leurs proies/hôtes, ainsi que leur capacité à les détecter et les exploiter. En cas d'effets différentiels de la température entre ravageurs et ennemis naturels, on peut s'attendre à des effets considérables pour l'agriculture. Les connaissances actuelles sont encore insuffisantes pour prédire avec exactitude quelles seront les conséquences des changements climatiques sur l'agriculture, et particulièrement sur la lutte biologique. Si l'efficacité des prédateurs et des parasitoïdes en lutte biologique dépend du synchronisme de

leur cycle de vie avec celui des ravageurs des cultures, elle dépend également de leur capacité à trouver et exploiter les ravageurs efficacement [5].

Les effets de la température sur le comportement des ravageurs et de leurs ennemis naturels pourraient ainsi représenter des facteurs tout aussi importants que les traits physiologiques, mais ceux-ci ne sont pour l'instant que très peu étudiés en Algérie [5].

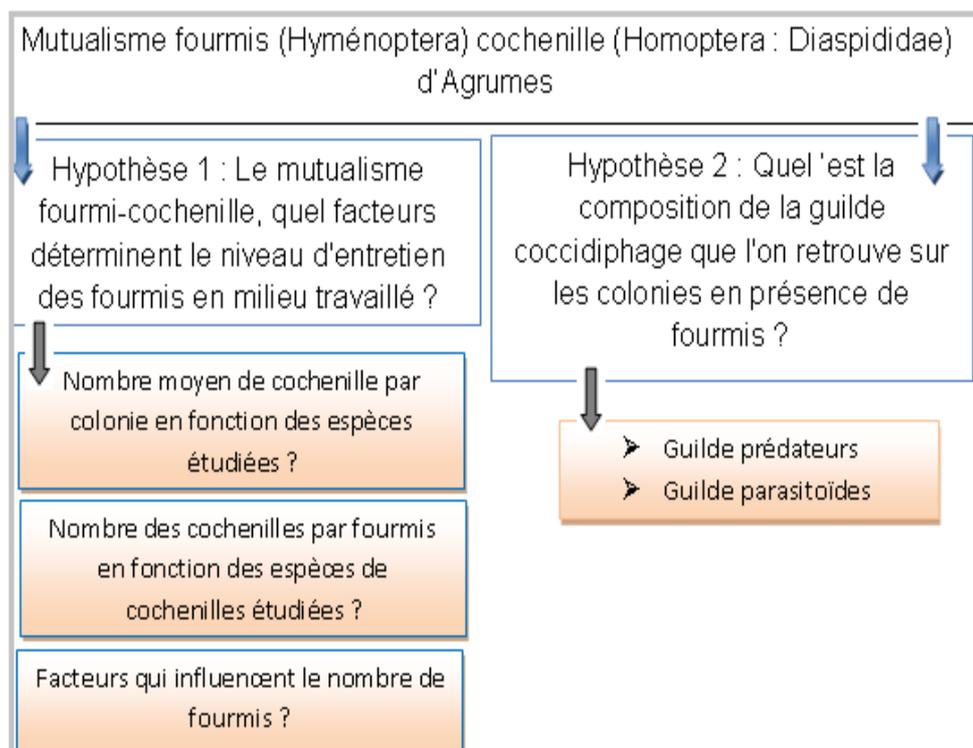
Malgré les efforts déployés dans le cadre de développement agricole, l'agrumiculture reste victime de tous les insectes ravageurs des agrumes, les cochenilles constituent le groupe qui pose le plus de problèmes comme maladie insidieuse qui affecte presque tous les vergers d'agrumes [6].

Le mutualisme participe pleinement à la distribution, les comportements et l'évolution des organismes impliqués et affecte également les organismes qui interagissent avec les partenaires de ce mutualisme. Les fourmis ont développé des relations de mutualisme avec des organismes aussi variés que des bactéries, des plantes, des champignons ou encore des insectes. Parmi ceux-ci, l'ordre des Homoptères, et plus particulièrement les pucerons et les cochenilles sont connus pour offrir une source de nourriture grâce au miellat en échange de bénéfices variés. De nombreuses revues et documents de référence couvrent déjà de manière exhaustive les divers aspects connus de la relation mutualiste fourmis-puceron.

Cependant aucun travail sur le modèle mutualisme fourmis – cochenilles n'a été étudié en Algérie c'est dans cet objectif que nous souhaitons de toucher au minimum cet aspect à travers une étude sur la relation entre fourmi et cochenille qui est la première évoquée en Algérie. Cette étude est menée pour la lutte contre les cochenilles afin de rattraper le temps perdu et donner à l'orangerie algérienne une dimension internationale.

Ce mémoire se divise en deux parties, une partie bibliographique constitué de deux chapitres, le premier chapitre engendre une remise en contexte de la problématique du mutualisme fourmis-Homoptère, le chapitre II est consacré aux généralités et actualités sur les espèces mutualistes et la plante hôte. Dans la

partie expérimentale nous sommes intéressés au modèle fourmis-cochenilles, nous avons développé deux chapitres qui ont tous pour base le modèle fourmis-cochenille mais qui diffèrent par leur approche. Dans le premier chapitre nous avons étudié l'effet de la présence de fourmi sur la pullulation des homoptères par l'expérience d'exclusion. Dans le deuxième chapitre nous avons évalué l'effet des facteurs climatiques sur les espèces mutualistes. Le but maintenu dans ce travail de thèse de doctorat, comporte sur **le mutualisme fourmis (Hyménoptera) cochenille (Homoptera : Diaspididae) d'Agurmes** : pose deux hypothèses principales, chaque hypothèse regroupe énormément de questions :



Plusieurs facteurs climatiques peuvent affecter le développement et le potentiel en lutte biologique des ennemis naturels, dans le cadre du présent travail nous nous limitons aux effets de la température.

- Comment estimer les températures de développement des cochenilles dans son milieu naturel (*Parlatoria ziziphi*) ?
- Quelle est l'impact du changement climatique sur la biologie des cochenilles (*Parlatoria ziziphi*) ?
- Comment s'expriment les Aphides d'agurmes (*Aphis citricola*, *Aphis gossypii* et *Toxoptera aurantii*) face aux changements climatiques à

l'échelle spatiale et temporelle ? la réponse de cette question est illustrée dans une publication d'un article)

- Quelle relation y'a-t '-il entre les cochenilles et fourmi ?
- Comment se présentent les infestations comparées sur les homoptères (cas des cochenilles et Aphides) d'oranger en présence de fourmi ?

CHAPITRE 1

LE MUTUALISME

CHAPITRE 1

LE MUTUALISME

1.1. Définition de mutualisme

Le mutualisme est une relation de coopération entre espèces, bénéfique pour les deux partenaires, pouvant aller d'interactions assez diffuses à des relations très étroites entre organismes. Ce type d'interaction est ubiquiste tant d'un point de vue géographique qu'évolutif, étant observé dans l'ensemble des écosystèmes, tant marins que terrestres, et touchant tous les règnes d'organismes vivants [3].

Il paraît indispensable de prendre en compte toutes les formes d'interactions entre espèces pour pouvoir comprendre puis théoriser le fonctionnement des systèmes écologiques. Or, toutes n'ont justement pas reçu la même attention. Les interactions négatives comme la prédation et la compétition ont contribué de façon très majoritaire à l'élaboration des théories écologiques modernes. La nécessité d'y intégrer les interactions interspécifiques positives n'a été soulignée que récemment. Ce retard dans le traitement de la question des interactions positives par rapport aux interactions négatives a été discuté par de nombreux auteurs s'intéressant au mutualisme. Des analogies récurrentes entre mutualisme et coopération dans les sociétés humaines auraient ainsi freiné l'étude du mutualisme pendant toute la première moitié du vingtième siècle, tandis qu'au même moment celle de la prédation et de la compétition était en plein essor [7 et 8]. BRONSTEIN, (1994) insiste, quant à elle, sur le fait que ce n'est pas tant un désintérêt des scientifiques vis-à-vis du mutualisme que la façon de l'aborder qui explique sa sous-représentation dans les théories écologiques modernes [9]. Ainsi, les études auraient souvent été concentrées sur le point de vue d'une seule des espèces impliquées, sans analyser les effets réciproques de l'interaction sur tous les

partenaires, comme cela était fait plus couramment dans l'étude des interactions négatives [9]. De plus, le mutualisme n'était pas souvent étudié en tant que forme d'interaction. En effet, l'objectif et les résultats de ces études menées sur différents systèmes individuels étaient rarement mis en relation avec des questions d'ordre général sur le sujet. Aujourd'hui, bien que de très nombreuses recherches expérimentales et théoriques aient été conduites depuis une quarantaine d'années pour combler ce retard, plusieurs aspects du mutualisme restent imparfaitement compris [9].

1.2. Interactions entre espèces

La symbiose concerne l'association étroite de deux espèces vivant ensemble. Cette relation peut prendre différentes formes (parasitisme, mutualisme, commensalisme, etc.) mais les frontières entre les différents types d'interactions symbiotiques ne sont pas bien définies. Il est dès lors difficile de compartimenter les différentes formes qui apparaissent faire partie d'un grand ensemble. Nous proposons ici un graphe qui devrait permettre d'illustrer simplement les relations entre les différentes formes d'associations. Ce graphe repose sur deux axes, correspondant à deux facteurs :

- l'impact de l'association sur la fitness de l'organisme hôte (bénéfice ou perte ;
- la durée relative de l'association (DRA) qui correspond au rapport de la durée de l'association sur l'espérance de vie du symbionte ;

Les chiffres sur la figure (1.1), illustrent des cas concrets, ceux accompagnés d'un indice montrent que la relation peut changer et être à l'origine de différents impacts sur l'hôte et ceux accompagnés d'un losange indiquent que la relation peut évoluer au cours de la vie du symbionte. Ce graphe est actuellement conceptuel et devrait principalement être utilisé pour illustrer et comparer les relations entre les différentes formes de symbiose [10].

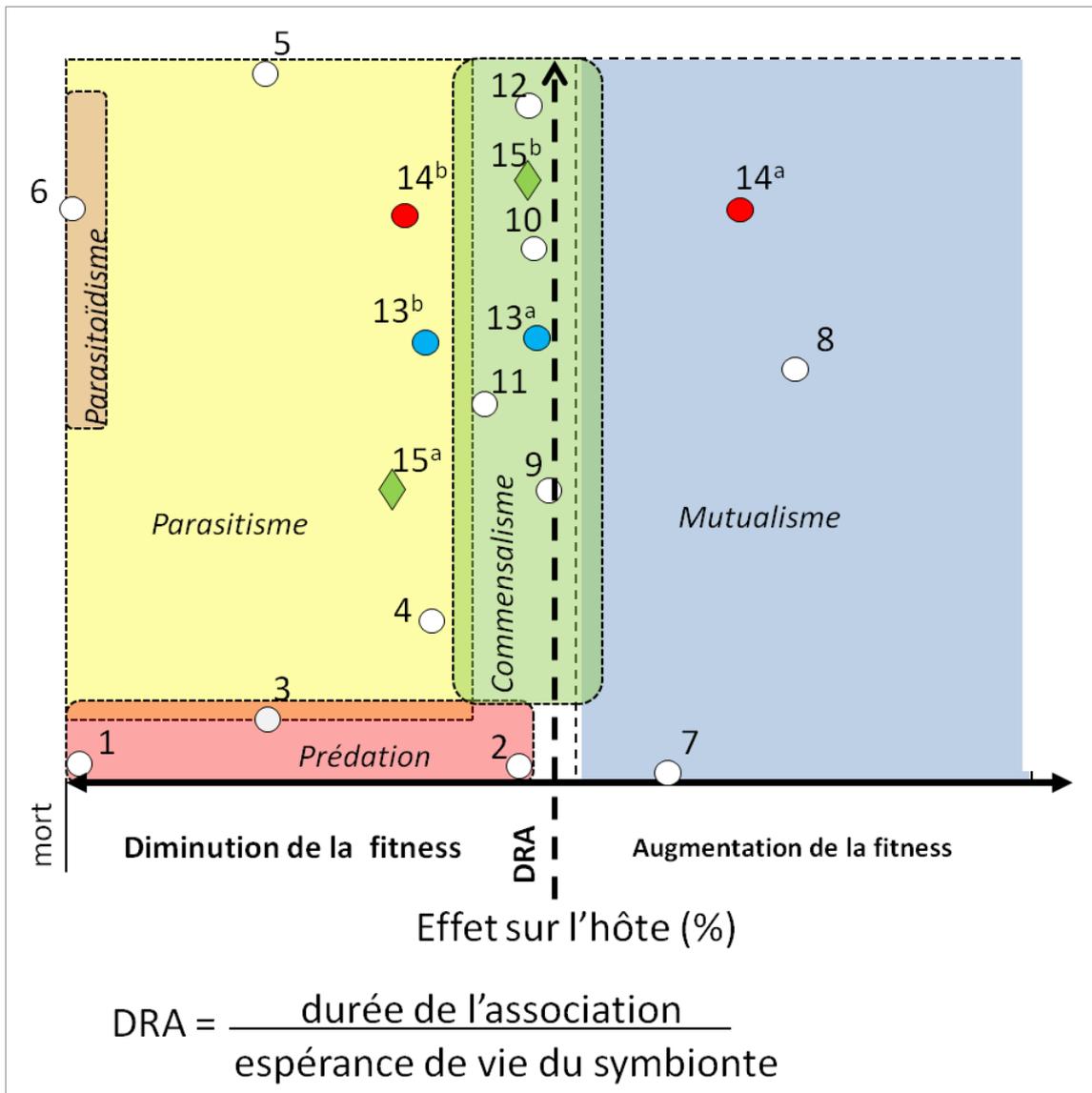


Figure1.1 : Les Interaction entre espèces BARY, (1879) [10].

1. Cas de prédation classique : le loup se nourrit du lapin.
2. Micro prédation : le moustique qui suce le sang d'un mammifère.
3. Relation brève endommageant en partie la proie sans toutefois la mettre à mort : cas de la chèvre qui se nourrit (en partie) d'un buisson.
4. Cas du vers à soie (*Bombyx*) qui passe une partie de sa vie sur son hôte végétal.
5. L'orobranche, dépourvue de chlorophylle, dépend complètement de son hôte. Sa DRA est automatiquement très proche de 1.

6. Parasitoïdisme qui entraîne la mort de l'hôte. Les larves d'ichneumons mettent leurs hôtes (araignées par exemple.) à mort lors de leur mue imaginale.
7. Cas des Labridae (*Labroides dimidiatus*) qui nettoient la cavité buccale de leur hôte.
8. Cas du *poisson-clown* et *anémone* de mer.
9. Cas des *poissons rémoras* qui se nourrissent des restes de repas de leurs hôtes (*principalement des requins*).
10. Cas des balanes fixées sur des *baleines* – phorétisme.
11. Cas des poissons *Carapidae* qui vivent dans leur hôte mais qui le quitte pour chasser à l'extérieur – inquilinisme.
12. Cas des *Loxosoma (Entoprocta)* qui se fixent sur l'hôte et profitent du courant d'eau pour se nourrir – épibiontisme.
13. Le crabe *Pinnotheres* se nourrit des excréments de l'hôte (*moule*) dans lequel il vit (= *commensalisme*, 13a) mais peut aussi se nourrir des cténidies (=branchies) de son hôte en cas de disette (13b).
14. Les algues *Chlorella* font la photosynthèse et procurent des hydrates de carbone (14a) à leur hôte (l'hydre). Mais, durant l'obscurité, le flux de carbone est inversé et c'est l'algue qui profite de l'hydre (14).
15. Les *mysostomides* sont parasites de leur hôte crinoïde au début de leur vie (15a) mais deviennent ensuite des commensaux (15b) [10].

Cette figure souligne également que les interactions ne présentent pas de limites strictes. Ainsi, les commensaux ne causent a priori pas de dégâts physiques à leurs hôtes. Cependant, même si les effets peuvent être minimes, la simple présence d'un symbiote peut perturber l'hôte dans son maintien, ses déplacements ou dans son accès aux ressources alimentaires ce qui explique que le commensalisme puisse dépasser la barre des 0% [10].

La prédation (du latin *predator* : pilleur) est une relation purement alimentaire dans laquelle les prédateurs obtiennent de l'énergie en consommant

entièrement ou non leur proie. La prise de nourriture par des insectes phytophages et des herbivores est aussi une prédation [11 ; 12]. La prédation et le parasitisme ont en commun l'établissement de transferts d'énergie entre deux organismes. La différence fondamentale entre un prédateur et un parasite vis-à-vis respectivement de sa proie et de son hôte réside donc dans la durée de l'association : elle est immédiate dans la prédation et pérenne dans le cas du parasitisme la frontière n'est cependant pas nette et une gradation dans l'interaction peut être établie entre la prédation et le parasitisme. A titre d'exemple, les tiques seront considérées comme des parasites alors que le moustique qui a sur son hôte une interaction beaucoup plus brève pourra être considéré comme un prédateur [11], [13].

Les relations entre organismes ne sont pas nécessairement trophiques dans tous les types de **symbiose**, terme employé ici dans son sens originel donné par le botaniste allemand BARY, (1879) qui l'a créé pour désigner toute association étroite de deux espèces différentes qui vivent ensemble [10]. Le concept d'interaction durable dans les relations interspécifiques permet de réunir, à côté du parasitisme des situations particulières comme le phorétisme, le commensalisme, l'inquilinisme, le mutualisme et le parasitoïdisme [13].

Le mutualisme implique une relation bénéfique réciproque, souvent obligatoire [13]. La limite entre le mutualisme et le parasitisme est cependant ténue. Si le bilan de l'association est avantageux pour chacun des protagonistes, il y a mutualisme. Si le bilan est à l'avantage du parasite, il s'agit de parasitisme classique. Par contre le bilan de l'association peut être favorable à l'hôte. Celui-ci devient alors le parasite qui exploite son locataire [14]. Dans ce type d'association, on distingue un **mutualisme symbiote** et **mutualisme non symbiote**. Dans le premier cas, il s'agit d'un mutualisme à long terme comme par exemple celui des bactéries de la faune intestinale de nombreux organismes. Dans le second cas, l'interaction serait de plus courte durée et dépourvue de liens physiologiques, ce serait par exemple le cas des insectes pollinisateurs ou des poissons nettoyeurs. Ainsi des poissons *Labroidesse* nourrissent de crustacés parasites, de peaux mortes ou du mucus d'autres poissons. Ils ont pour habitude de fréquenter une zone précise des récifs où ils attirent leurs « clients » à l'aide de leur rayure longitudinale et d'une danse caractéristique. Certains auteurs vont en plus

distinguer les **mutualismes facultatifs** des **mutualismes obligatoires**, selon que les partenaires peuvent survivre l'un sans l'autre ou pas. Ainsi, l'association semble obligatoire pour le poisson-clown qui vit en symbiose avec certaines espèces d'anémones de mer. Par contre, ces mêmes espèces d'anémones peuvent survivre sans le poisson clown [3].

Le parasitoïdisme est une forme particulière de parasitisme où la relation se termine toujours par la mise à mort de l'hôte par le parasite [15]. Ce type d'association est uniquement connu chez les insectes, notamment les larves d'ichneumons qui parasitent les larves de lépidoptères ou certaines araignées. Il convient cependant d'être prudent lorsque l'on cherche à qualifier une association. Ainsi certains des hyménoptères vont tuer directement la proie (au lieu de la paralyser) pour la donner en pâture à leur larve, il s'agit alors de prédation [16 et 17].

Le commensalisme (du latin *com*, avec et *mensa*, table) signifie « manger à la même table ». La différence étymologique avec le parasitisme pourrait être imagée comme suit : le parasite est le pique-assiette, le commensal mange à la même table mais dans son assiette, les deux partageant cependant le même plat. Si l'étymologie est rigoureusement suivie, le commensalisme est l'état d'animaux qui côtoient d'autres espèces et profitent de leurs aliments [18 ; 19]. Cette définition implique un détournement indirect d'énergie au profit du symbiote sans pour autant que cela nuise significativement à l'hôte. L'exemple classique est celui du rémora (symbiote) profitant des restes du repas du requin (hôte). Certains auteurs dépassent cependant le cadre purement alimentaire et renvoient le tout à un bénéfice unidirectionnel, quelle que soit sa nature [20 et 21]. Si le bénéfice encouru est le déplacement, il pourra dans ce cas s'agir de **phorétisme** (du grec *pherein*, porter), si le bénéfice est l'abri, c'est de l'inquilinisme. L'**inquilinisme** (du latin *in*, dans et *colere*, habiter) réfère à « locataire », « habiter dans ». Le terme sera employé dans le cas du symbiote habitant dans l'abri de l'hôte ou dans l'hôte [18] ; [11]. Epizoaires et Epiphytes font partie des **épibiontes** qui se servent de leur hôte comme support [16 et 15]. Ils ne lui empruntent pas de nourriture mais certains organismes aquatiques profitent du courant produit par l'hôte pour ingérer les particules alimentaires qui passent à leur portée [16]. Le terme d'épiphyte désigne que le symbiote est un animal tandis

que celui d'épizoaire renseigne sa nature animale. La position relative de l'inquilinisme, du phorétisme et de l'épibiontisme se justifie par le type même de la relation. Un inquilin qui ne profite de son hôte que comme abri est obligé de le quitter pour assouvir ses besoins énergétiques. Le phorétique peut avoir une interaction plus longue puisque les déplacements de l'hôte peuvent lui permettre d'obtenir des apports énergétiques ; la durée relative de cette association augmente inévitablement lorsque le symbiote vit fixé sur un hôte qui se déplace. Finalement, par définition, l'épibionte passera la majeure partie de sa vie sur son hôte [15].

1.3. Le défi posé par l'évolution du mutualisme

Selon la définition communément admise à l'heure actuelle, le **mutualisme désigne les interactions interspécifiques à bénéfices réciproques**. Etant donné que les organismes impliqués dans des mutualismes sont rencontrés dans tous les écosystèmes et qu'ils présentent une très grande diversité taxonomique, ce type d'interaction apparaît comme universel (aussi bien au niveau géographique qu'évolutif) [3].

Un grand nombre d'études empiriques, concernant des modèles variés, ont pu mettre en évidence la diversité des mutualismes et le rôle majeur que ceux-ci jouent dans le fonctionnement des systèmes écologiques [9]. De cette variété de situations ont été dégagés quelques critères pouvant aider à préciser la nature des mutualismes qui peuvent être :

- symbiotiques ou non-symbiotiques, selon que les partenaires soient associés pendant une grande partie de leur cycle de vie ou pas [17].
- facultatifs ou obligatoires, selon que les partenaires peuvent survivre l'un sans l'autre ou pas (ce critère sera à déterminer pour les différents partenaires puisque ceux-ci peuvent différer dans leur dépendance à l'autre au sein d'une même association [9].
- à transmission verticale ou horizontale, selon que la reproduction d'un partenaire dépende complètement de celle de son associé (la descendance d'un partenaire est directement transmise à celle de son

associé), ou que les deux soient indépendantes (la rencontre des partenaires doit se faire à chaque génération) [9] et [17].

Cependant, tout en mettant en avant l'importance écologique des mutualismes, ces études ont aussi fait naître de nombreuses questions quant à leur apparition et leur évolution. Dans la plupart des types de mutualismes, la gamme des interactions connues s'étend d'associations facultatives à obligatoires, généralistes à spécifiques, symbiotique à non symbiotiques. Concernant le mode de transmission, il est le plus souvent horizontal. Seul le mutualisme entre les insectes Aphidae et les bactéries endosymbiotiques du genre *Buchnera* est à transmission verticale [9].

Ainsi, il apparaît que dans la plupart des mutualismes, un des partenaires conduit certaines actions qui bénéficient à l'autre (« services »), et reçoit lui-même un bénéfice suite à cette action (« récompense »), ces services et récompenses représentent un coût énergétique pour leurs auteurs : c'est donc le ratio entre ces coûts et les bénéfices obtenus qui détermine le caractère mutualiste d'une association [18]. L'importance des coûts dans le façonnement des mutualismes a d'ailleurs été mise en exergue par certains auteurs décrivant ces derniers comme des « exploitations réciproques offrant un bénéfice net à chaque partenaire » [19].

Or, ces interactions doivent être considérées comme des situations d'équilibres dynamiques. En effet, il est reconnu qu'au sein de ces systèmes, les coûts et bénéfices varient dans le temps et dans l'espace en fonction des conditions écologiques on parle de « conditionnalité » pour désigner ce caractère dynamique du mutualisme [9]. Cette relation peut donc être perçue comme de l'exploitation mutuelle globalement positive. Selon la majorité des modèles évolutifs actuels, le maintien d'une relation mutualiste ou son glissement vers d'autres types d'interactions se base sur une approche économique entre les coûts liés au maintien de la relation et les bénéfices qui en ressortent pour chacun des protagonistes [10 ; 11 ; 12]. Dès lors, en fonction des conditions, cette relation peut se renforcer, ce qui est par exemple l'effet d'une forte pression de prédation sur un mutualisme fourmis-homoptères, s'estomper, ou évoluer vers du commensalisme, bénéfique pour seulement un seul des deux partenaires, voire du

parasitisme [11 ; 12].

Outre les bénéfices et coûts directs pour les partenaires, l'importance de la sanction potentiellement infligée au partenaire qui sortirait de la relation, par exemple, la prédation, ainsi que le coût de la défection pour le partenaire lui-même, pouvant aller jusqu'à la mort dans le cas de mutualismes obligatoires, entrent également en ligne de compte pour le maintien d'une relation mutualiste. En effet, les différents partenaires peuvent être plus ou moins dépendants de cette relation [11].

Le mutualisme peut être facultatif, lorsqu'il ne conditionne pas directement la survie des partenaires, ou obligatoire dans le cas contraire. Dans ce cas, l'obligation peut ne concerner qu'un seul des deux partenaires, l'autre restant dans un cas de mutualisme facultatif [11].

Dans tous les cas, ces relations mutualistes influencent sensiblement l'organisation des biosystèmes et ont un impact sur la diversité de nombreux taxa [3 ; 20]. Pour résumer, tout semble indiquer que les espèces impliquées dans les mutualismes se trouvent dans des situations évolutivement instables : ratio coûts/bénéfices fluctuant et mode de transmission souvent horizontal. Mais cela est clairement contredit par l'abondance et la diversité des mutualismes observés dans la nature [3 ; 20].

1.4. Importance des mutualismes symbiotiques

Les mutualismes (symbiotiques ou non) varient dans leur degré de spécificité : certains consistent en des associations facultatives entre un grand nombre d'espèces, alors que d'autres sont obligatoires pour la survie et concernent des associations spécialisées entre quelques partenaires très spécifiques. Cette variation au niveau du degré de spécialisation des mutualismes dans les communautés est considérée comme essentielle pour le fonctionnement des écosystèmes et pour le maintien de la biodiversité. On peut également noter qu'une dépendance obligatoire à un mutualisme peut engendrer une potentielle « cascade de co-extinction » [3 ; 20].

1.5. Les fourmis comme modèle d'étude du mutualisme

Les fourmis et la dominance écologique grâce aux trophobiontes, les fourmis (Hyménoptères : Formicidés), depuis leur apparition au Crétacé il y a 100 à 120 millions d'années, se sont répandues sur la quasi-totalité de la planète. Leurs rôles dans les écosystèmes terrestres sont très variées, elles agissent comme prédateurs, herbivores et détritivores et participent à un grand nombre d'associations avec des plantes et d'autres insectes. Elles sont, à leur tour, consommées par divers prédateurs spécialistes, incluant des reptiles, des mammifères, des araignées, des insectes et sont des hôtes de diptères et d'hyménoptères parasitoïdes. Elles interviennent également dans la pollinisation, la dispersion de plantes et le brassage du sol [22].

Enfin, elles interviennent aussi dans la modification des caractéristiques chimiques du sol en favorisant l'apport d'éléments nutritifs comme le phosphore et le potassium, provenant de la décomposition de la matière organique résultant de leurs activités [11]. Lorsque l'on parle de mutualisme, il est difficile de passer à côté de la famille des Formicidés tant les exemples d'associations avec d'autres organismes sont nombreux et divers dans les formes qu'ils peuvent alors prendre. On sait ainsi que les fourmis ont développées des relations de mutualismes avec des bactéries, des champignons et avec plus de 465 espèces de plantes mais, c'est avec les insectes que l'on chiffre aujourd'hui le plus grand nombre d'associations, car près de 10 000 espèces d'insectes sont connues pour avoir des relations obligatoires avec les fourmis [11 ; 23].

Bien que toutes ne soient pas forcément des relations de mutualisme, deux groupes d'insectes sont très bien connus pour leur relation de trophobiose avec les fourmis : les Homoptères et certains Lépidoptères à partir desquels elles collectent le miellat ou le nectar [24] et [25].

Les principales familles avec lesquelles on les retrouve sont les Aphididés, Cercopidés, Cicadellidés, Coccidés, Fulgoridés, Membracidés, Pseudococcidés et des Psyllidés et aussi des chenilles de papillons de la famille des Lycaenidés qui produisent une solution sucrée pour les fourmis à partir de leur glandes à miel [26 ; 27].

1.5.1. Mutualismes symbiotiques entre plantes et fourmis

Les fourmis sont bien connues pour former de nombreux mutualismes, notamment avec les plantes, tels que les mutualismes de défense impliquant des nectaires extrafloraux (petites glandes produisant du nectar sur les feuilles de plus de 3 000 espèces de plantes vasculaires. Ceux-ci offrent une récompense sucrée aux fourmis qui sont attirées sur la plante en question et s'attaquent aux herbivores. Autre type de relation entre ces partenaires : la myrmécochorie, c'est-à-dire la dispersion de graines par des fourmis, qui en retour se nourrissent d'une expansion de la graine riche en lipides et protéines : l'élaïosome. Plusieurs milliers d'espèces de plantes possèdent des graines à élaïosomes qui sont ainsi dispersées par les fourmis [28].

Il existe aussi des symbioses entre plantes et fourmis – exclusivement tropicales – où la plante offre aux fourmis une maison, appelée domatie (structure végétale modifiée permettant aux fourmis de nicher). En retour, les fourmis défendent leur hôte contre les herbivores. La spécialisation de ces symbioses est difficile à cause d'un conflit inhérent : ces symbioses sont dites à transmission horizontale (par opposition à verticale), ce qui signifie qu'elles doivent se réassembler *de novo* à chaque génération. Ces symbioses commencent donc par un stade très critique où les partenaires (plantes et fourmis) ne sont pas encore associés, et où l'investissement dans la reproduction des partenaires se fait aux dépens de la symbiose [28].

Une fourmi de la sous-famille des Dolichoderinées semble avoir résolu ce conflit (aux îles Fidji) : cette dernière cultive son hôte, et donc contrôle entièrement sa dispersion. Cette fourmi vit dans les domaties de plantes épiphytes (qui poussent sur les arbres) du genre *Squamellaria* (Rubiacées, famille du caféier et de la garance voyageuse), et se nourrit en partie de nectar offert par la plante [28]. *Phylidris nagasau* collecte les graines de son hôte, les plantes dans des fissures d'écorce d'arbres, et patrouille autour de ces graines tout au long de leur germination pour éviter qu'elles ne soient mangées ou attaquées (figure 1.2). Elle crée donc des méta-colonies de plantes (parfois plus de 50 plantes sur un même arbre), habitées par une seule colonie de fourmis. Les fourmis y gagnent le gîte et le couvert (les chercheurs parlent de **bed and breakfast**) mais les plantes ne sont

pas en reste. Dès que les semis atteignent une taille d'environ deux centimètres de diamètre, et que leur domatie commence à se développer avec une toute petite cavité (qui à ce stade ne peut encore rien offrir aux fourmis), les travailleuses entrent dans la cavité de ces semis et défèquent, offrant ainsi aux jeunes semis une source d'azote et de phosphore essentielle dans un milieu limité en nutriments [28].

Les fourmis continuent à fertiliser leurs hôtes tout au long de leurs vies, et défendent également leurs hôtes contre les herbivores. Cette symbiose est obligatoire pour les deux partenaires : en l'absence de fourmis (expérience d'exclusion), ces plantes deviennent chlorosées au bout de quelques mois, attaqués par des insectes et finissent par mourir [28].

De l'autre côté, les fourmis sont entièrement dépendantes de leurs hôtes pour nicher. Alors que les fourmis arboricoles ont la capacité de créer leur propre nid en agglomérant des débris végétaux avec des sécrétions, *Philidris nagasau* a perdu la capacité de créer son propre nid (capacité pourtant existante chez les autres espèces de *Philidris*). C'est ce que l'on appelle une **perte compensée d'un trait**, phénomène que l'on retrouve dans de nombreux mutualismes spécialisés, comme la perte de la capacité à synthétiser certains acides aminés essentiels chez des aphides (« pucerons ») qui les obtiennent via des bactéries endosymbiotiques [28].



Figure1.2. Deux partenaires d'une association symbiotique *Squamellaria* et *Philidris nagasau* [28].

1.5.2. Mutualisme fourmis et Homoptère

Les associations entre les fourmis et les Homoptères peuvent être hautement spécialisées. Si la survie du partenaire est impossible sans la présence des fourmis, on parle de myrmécophile obligatoire ; dans les cas les plus répandus où le partenaire peut survivre sans la présence des fourmis, on parle alors de myrmécophile facultative [29 et 30]. Il semble que la dominance écologique des communautés de fourmis peut être corrélée à l'accès aux ressources riches en hydrates de carbone [31]. Les insectes vivants constituent des sources riches en protéines et en calories, mais coûteuses en énergie par leur capture et leur localisation incertaine dans le temps et dans l'espace. Les espèces de fourmis dites prédatrices complètent leur diète carnivore par des cadavres et/ou par des sécrétions d'Homoptères : le miellat [32]. Quand les proies sont rares, les fourmis maintiennent alors de larges populations d'Homoptères pour obtenir du miellat. La protection des fourmis permet parfois à certains Homoptères, comme ceux sur le hêtre, d'atteindre un seuil critique et dommageable [33]. De la même façon, les relations de mutualismes entre les fourmis et les Homoptères sont répandues dans les écosystèmes agricoles et peuvent être désastreuses pour le contrôle biologique des Homoptères. Des espèces comme *Solenopsis invicta* Buren se retrouvent même en serres à s'approvisionner sur les colonies de pucerons [34].

1.5.2.1. Du mutualisme facultatif au mutualisme obligatoire

Le mutualisme obligatoire est rare entre hémiptères et fourmis. Il n'a pu se produire que si une série de coévolutions morphologiques, physiologiques et comportementales ont été réalisées. Par exemple, on a suggéré que les cornicules des pucerons, qui émettent chez les espèces libres des substances défensives, ont une longueur réduite chez les espèces fréquentées par les fourmis. Cette réduction contribuerait à assurer une ressemblance entre l'extrémité abdominale d'un puceron et la tête d'une fourmi offrant une trophallaxie [35]. Les pattes postérieures du puceron ressembleraient aux antennes de la fourmi, ses cornicules réduits aux mandibules et la région anale aux pièces buccales de l'ouvrière (figure 1.3). Cette hypothèse n'est toutefois pas très

convaincante, car la présentation d'une tête de fourmis étrangère déclenche plus souvent l'attaque qu'une offre trophallactique [36]. Les modifications anatomiques présentées par certaines cochenilles pseudococcides semblent plus en rapport avec la fréquentation des fourmis. Les soies qui entourent l'anus sont incurvées et jouent le rôle d'un panier recueillant les gouttes sucrées, avant que les fourmis ne viennent les consommer [37]. Des glandes exocrines s'observent chez des punaises Plataspidae ou chez le fulgoride *Euphyonarthex phyllostoma*. Situées sur l'abdomen et le thorax chez cette dernière espèce, leur contenu attire les fourmis associées et même les ouvrières d'espèces non associées [38] ; [39].

Un des meilleurs exemples de mutualisme obligatoire est fourni par les « fourmis-bergères » de Malaisie [40]. *Dolichoderus cuspidatus* entretient des relations trophiques obligatoires avec la cochenille (*Malaicoccus formicarii*, (Pseudococcidae), L'originalité de la symbiose vient du comportement des fourmis lié au cycle de la sève en milieu tropical. Dans ces forêts, des plantes se développent ou arrêtent leur croissance à tout moment. Les sucres de sève doivent émigrer fréquemment, afin de trouver des plantes en forte croissance, les seules dont la sève contient assez de protéines pour assurer le développement des homoptères. Cette migration est assurée par les fourmis. Dès qu'un arbre cesse d'être exploitable par le trophobionte, les fourmis l'abandonnent et construisent une piste vers une nouvelle plante. Les ouvrières transportent alors les milliers de cochenilles vers un site provisoire, une sorte de parking. Elles utilisent pour le transport leurs mandibules, mais les cochenilles peuvent d'elles-mêmes s'accrocher sur leur dos. À partir du site provisoire, des ouvrières portent quelques *Malaicoccus* vers de nouvelles feuilles. Si les cochenilles commencent à perforer les canaux du phloème, marquant en cela l'excellence du site, c'est l'ensemble des *Malaicoccus* qui seront déménagés vers le nouveau support. En cas d'échec, les ouvrières recommencent leur transport sur de nouvelles feuilles. Il existe là une étonnante analogie avec le comportement des nomades humains dont les déplacements sont conditionnés par les exigences alimentaires des troupes [41].

Outre la recherche des meilleurs lieux d'alimentation, les fourmis-bergères procurent protection à leur cheptel. Tant sur le site temporaire que sur le lieu d'alimentation, les ouvrières, dont le nombre peut atteindre 10 000 individus,

forment une véritable couche protectrice qui dissimule totalement les milliers de cochenilles. Les prédateurs éventuels sont attaqués et tués, et la pluie tropicale ruisselle sans atteindre les trophobiontes [41]. Sur les sites alimentaires, le miellat qui s'écoule à l'anus de la pseudococcine adhère à des poils où les fourmis viennent l'ingérer. Ces ouvrières se dirigent immédiatement vers le nid, qui est situé à une dizaine de mètres du troupeau de trophobiontes. Le nid est plutôt un bivouac, car il est déplacé pour suivre au plus près le site d'alimentation des cochenilles. Le bivouac abrite le couvain du *Dolichoderus*, mais aussi des femelles de la cochenille et des jeunes larves, alors même qu'il n'y a aucun végétal pour les nourrir. Les femelles du pseudococcus sont toujours des individus gravides, transportés dans le bivouac à seule fin qu'ils produisent leurs larves par viviparité en toute sécurité. Le mutualisme est obligatoire. Dans des conditions naturelles, la fourmi n'a jamais été vue obtenir des carbohydrates à partir d'une source qui ne soit pas son trophobionte. De même, elle ne ramène jamais dans son nid des proies animales [41].

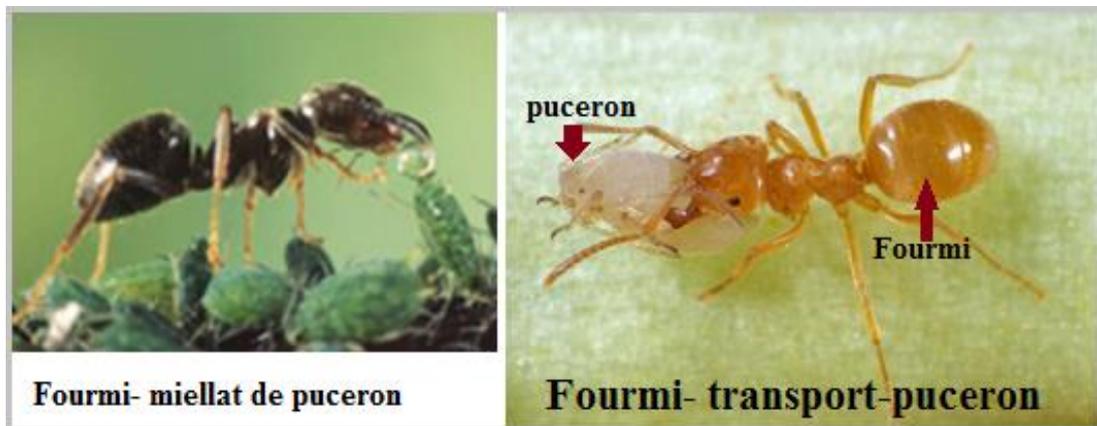


Figure 1.3. Photos de mutualisme fourmi -puceron (<https://www6.inra.fr>).

1.6. Mutualisme cochenille-fourmis

Les fourmis entretiennent des Homoptères producteurs de miellat et agressent les autres arthropodes, incluant les prédateurs de ces Homoptères,

créant alors des niches sans prédateur pour les Homoptères [42]. La Cochenille noire de l'olivier (*Cochonilla negra*) entretient avec les fourmis des relations de mutualisme : la Cochenille fournit du miellat (aliment énergétique) et, en retour, la Fourmi, par ses mouvements incessants, limite fortement l'action des entomophages de la Cochenille (Fiche HYPP Zoologie).

1.6.1. Miellat de cochenille et fourmis

Durant la plus grande partie de leur cycle de vie, les Coccidae sont sédentaires. L'élimination efficace du miellat qu'elles produisent est vitale. En effet, contrairement à d'autres groupes d'Hémiptères mobiles, les Coccidae ne se déplacent pas vers un nouvel hôte quand ce dernier, couvert de fumagine, dépérit et fournit moins de nourriture. Plus encore, le miellat peut engluer les cochenilles du premier stade mobile et les tuer. Le miellat doit donc être évacué au loin, surtout si les insectes s'établissent en colonies denses [43].

Les Hémiptères producteurs de miellat ont développé diverses stratégies pour l'expulser au loin, les Coccidae retournent leur anus vers l'extérieur, grâce au mouvement des deux plaques anales (toutefois absentes chez les *Physokermes*). Ce faisant, la goutte est enrobée d'une couche de cire poudreuse, puis éjectée sur une distance de 10 à 15 mm ou plus. Très souvent, ce sont des fourmis qui récoltent le miellat. Lorsqu'elles sont présentes, la goutte de miellat n'est pas éjectée au loin mais gardée en place entre les poils de la rondelle anale. Les fourmis sollicitent les cochenilles avec leurs antennes (figure 1.4). Certains chercheurs ont observé des fourmis enlever ou tuer des cochenilles. Toutefois, les preuves que les fourmis ont réellement consommé les cochenilles sont plutôt rares. La quantité de miellat produite par les cochenilles peut être phénoménale. Un chercheur a calculé que la récolte annuelle des fruits d'un gros oranger correspond à 14 livres de sucrose (6,4 kg). Sur le même arbre et durant la même période de temps, les fourmis pouvaient récolter l'équivalent de 600 livres de sucrose (272 kg) provenant du miellat d'une importante infestation de la cochenille *Coccus hesperidum* [43].

Le paradoxe évoqué ci-dessus a fait naître l'idée qu'il existait

nécessairement des facteurs stabilisant les mutualismes. Depuis une trentaine d'années, de très nombreux travaux théoriques ont été conduits dans le but d'éclaircir la nature de ces facteurs.

Par le biais d'une approche mathématique utilisée dans des cadres conceptuels tels que la théorie des jeux ou plus récemment les marchés biologiques. Ces études ont exploré divers mécanismes pouvant influencer la stabilité des associations sur le long terme, comme le choix du meilleur partenaire, la possibilité de sanctions à l'égard des tricheurs ou le mode de transmission [44 ; 45 ; 46 ; 47 ; 48 ; 49 ; 50 ; 51]. Tous ces travaux tendent *in fine* à développer un modèle général capable d'expliquer l'évolution des mutualismes. Mais comme en témoignent les publications les plus récentes, ce but n'est encore que partiellement atteint puisque les modèles proposés font encore l'objet de nombreuses discussions [52 ; 53 ; 54 ; 55].



Figure 1.4. Cochenille (*Coccus hesperidum*) avec fourmi (*Lasius alienus*).

1.7. Les sémiochimiques volatiles impliqués dans le mutualisme

Les relations mutualistes fourmis-pucerons ont fait l'objet d'un important travail scientifique, synthétisé de manière assez complète au travers de plusieurs revues successives [11 ; 56 ; 57 ; 58]. Le mutualisme fourmis-pucerons Basée sur la production de nourriture en échange de services, la trophobiose est une forme de mutualisme largement répandue entre homoptères producteurs de miellat et fourmis. Ce type de mutualisme, probablement apparu pour la première fois

durant le Tertiaire, s'est à de multiples reprises manifesté puis éteint dans des taxa distincts, et a probablement commencé par une relation prédateur-proie ayant évolué suite, entre autres, à la présentation de gouttelettes de miellat à l'assaillant [57 ; 11].

Constituant l'un des principaux modèles de ce type d'interaction, le mutualisme fourmis-pucerons est l'une des relations mutualistes les plus étudiées du règne animal. En échange de la défense des colonies et de leur entretien, les pucerons fournissent aux fourmis une source de nourriture durable, abondante et appréciée : le miellat [56 ; 59].

Cette relation découle du mode de vie spécifique de chacun de protagonistes et des besoins inhérents.

Les pucerons vivent en colonies denses, qui peuvent atteindre un nombre important d'individus. Parmi les principales raisons expliquant ce mode de vie colonial figurent leur rapide moyen de reproduction parthénogénétique ainsi que la mobilité réduite des individus aptères constituant l'essentiel des colonies. Cette mobilité limitée, couplée à leurs faibles défenses, les désigne comme des proies faciles pour bon nombre de prédateurs et parasitoïdes (syrphes, coccinelles, guêpes parasitoïdes...) [57 ; 59 ; 60 ; 61 ; 62].

1.7.1. Le miellat influence l'entretien par les fourmis

Les pucerons se nourrissent de sève phloémienne, très riche en sucres par rapport aux autres nutriments nécessaires à leur entretien et leur reproduction. Conséquence de cette alimentation déséquilibrée, ils excrètent de grandes quantités de carbohydrates sous forme d'un liquide sucré, le miellat. Tombant à proximité des colonies, ce miellat constitue un risque pour l'hygiène et la santé de la colonie s'il s'y accumule. Il constitue en effet une source potentielle de développement de pathogènes ainsi qu'un signal de la présence de la colonie perceptible par de nombreux ennemis naturels du puceron tels les syrphes, coccinelles et guêpes parasitoïdes [11 ; 62 ; 63].

Comme pour toute autre société d'insecte et bien que rudimentaires par rapport à certaines de ces sociétés, l'organisation sociale et la communication au sein d'une colonie de pucerons, passe par le biais de la communication chimique [64 ; 65]. Les fourmis, second partenaire, sont quant à elles parmi les insectes aux comportements sociaux les plus évolués. La communication chimique impliquée dans cette organisation sociale est également des plus complexes [64 ; 65].

Les colonies comportent une caste d'individus explorateurs, dont la fonction première est d'assurer la survie de la colonie en explorant l'environnement proche et en y exploitant les ressources disponibles. Cette exploitation, orientée par les besoins de la colonie et par les ressources disponibles, peut donner lieu à divers types de marquages chimiques tels que le marquage d'aire, à caractère territorial ou non, et le pistage [66 ; 67 ; 68 ; 6 ; 70 ; 71]. Parmi les sources principales de nutriments, les plantes (et leurs sécrétions), les insectes et les fruits occupent une place importante [72, 73].

Pour de nombreuses espèces de fourmis, le miellat excrété par les pucerons est également collecté comme source de sucres. Certaines espèces de fourmis deviennent alors de véritables éleveuses, exploitant la ressource miellat, tout en entretenant les colonies de pucerons, en veillant à leur hygiène et en les défendant contre leurs ennemis tant pathogènes que prédateurs et parasitoïdes.

A l'occasion, en fonction des besoins de la colonie, de l'état des colonies de pucerons entretenues et du comportement individuel de ces pucerons, les fourmis peuvent prélever des pucerons de cet élevage en tant que source de protéines [21 ; 56 ; 73 ; 75 ; 76 ; 77 ; 78 ; 79 ; 80 ; 81]. Elles sont également capables de reconnaître un puceron entretenu par la colonie d'un autre puceron, notamment par le biais d'hydrocarbures cubiculaires transférés au puceron au cours de son entretien [82 ; 83].

Les pucerons myrmécophiles exploiteraient également les hydrocarbures cuticulaires, en présentant un profil caractéristique identifiable par les fourmis, pouvant être semblable à celui de ces dernières [84 ; 38 ; 85]. Cependant, bien que constituant un exemple classique fréquemment décrit dans la littérature

certains aspects de cette relation mutualiste restent méconnus, la grande majorité des données disponibles concernant des situations où les partenaires potentiels ou avérés sont déjà entrés en contact [27].

Ainsi, certains facteurs importants pour conserver les soins par les fourmis présentes, tels la concentration et la nature des sucres contenus dans le miellat, les quantités de miellat produites ainsi que le nombre de pucerons par fourmis, sont déjà bien décrits dans la littérature. Mais il existe toujours très peu d'informations portant sur la recherche et la découverte de nouveaux partenaires potentiels et sur les facteurs influençant cette recherche [75 ; 86 ; 87 ; 88 ; 89 ; 90 ; 91].

La place du miellat dans la relation mutualiste Source indirecte de composés volatils, et donc potentiellement impliqué dans les interactions distantes entre partenaires en plus de servir de monnaie d'échange, le miellat constitue un des éléments clefs du mutualisme fourmis-pucerons à divers égards. Sa composition ainsi que ses différents rôles et impacts sur les relations mutualistes fourmis-pucerons ont fait l'objet d'un important travail scientifique, synthétisé de manière assez complète au travers de plusieurs revues successives [11 ; 26 ; 56 ; 57 ; 93,].

1.7.2. Les paramètres qui influencent la composition du miellat

Mélange complexe de sucres, d'acides organiques, d'acides aminés et de quelques lipides ; le miellat est excrété en grandes quantités lorsque les pucerons se nourrissent de sève phloémienne [26, 93]. Sa composition varie en fonction de différents facteurs liés entre autres au puceron, tels que l'espèce, l'âge et l'état physiologique, et à son environnement, tels que l'état physiologique de la plante hôte et les endosymbiontes du puceron [11, 76, 93, 90, 94,63].

En effet, la composition de la sève phloémienne se reflète partiellement dans les sucres et acides aminés du miellat ; bien que d'autres acides aminés, dont certains essentiels, soient synthétisés par des bactéries endosymbiotiques pour pallier les déséquilibres et les faibles teneurs en ces composés observés dans la sève phloémienne [96, 95]. Les pucerons sont également capables de

produire d'eux-mêmes des sucres supplémentaires, dont le mélézitose [98, 99]. Cependant, d'autres paramètres peuvent également influencer la composition du miellat. C'est le cas de la présence de fourmis et de l'occurrence du mutualisme [11 ; 76 ; 99].

1.7.3. Le miellat affecte les partenaires mutualistes

Illustrant bien la grande diversité de composition de cette sécrétion ainsi que sa variabilité, LEROY et *al.* 2009 [99] proposent une revue de la composition du miellat en acides aminés et en sucres en fonction de l'espèce de puceron et de la plante. Cette composition en sucres ainsi que sa variabilité affectent les partenaires mutualistes à différents niveaux. Ainsi, lorsqu'un choix entre plusieurs colonies de pucerons établies à proximité de la fourmilière se présente, les fourmis tendent à concentrer leur attention sur les colonies produisant le miellat le plus profitable, par son abondance, sa composition et sa teneur en sucres et en acides aminés de miellats excrétés par diverses espèces de pucerons se nourrissant sur différentes plantes hôtes [99].

La richesse en sucre d'une source de miellat, constituée par le volume pondéré par la concentration, est un élément déterminant l'intensité de **l'entretien** d'une colonie [99]. Ces éléments influent sur différents paramètres physiologiques tels l'appétence, la quantité ingérée, la digestibilité des sucres et l'impact général sur la survie de la fourmi, qui peuvent être reliés aux préférences montrées individuellement par les fourmis exploratrices et aux volumes ingérés mais également avoir un impact au niveau du comportement de la colonie de par l'induction ou non de recrutement et de dépôt de pistes [92].

Une hiérarchisation des sucres couramment rencontrés dans le miellat a ainsi été observée chez *Lasius niger* L. tant au niveau de l'ingestion que du recrutement ; mélézitose, saccharose et raffinose étant préférés au glucose et fructose, eux-mêmes préférés au maltose et trehalose, alors que seuls les trois premiers induisent le dépôt de pistes [92]. Le mélézitose semble être un des sucres clefs, assez spécifique au miellat et particulièrement apprécié par les fourmis [99 ; 92 ; 100]. Sa teneur dans le miellat tend d'ailleurs à augmenter en

cas d'interaction mutualiste [89, 101]. Ce phénomène pourrait être l'un des paramètres liés à une coévolution visant à produire un miellat apprécié par le partenaire [92].

Les sucres jouent également en rôle de régulation de la pression osmotique dans le tractus digestif des pucerons. En effet, la synthèse d'oligosaccharides régule l'osmolarité chez les pucerons myrmécophiles. Pour ces derniers, l'ingestion de sève phloémienne augmente au-delà des besoins des insectes e11, n cas d'entretien par les fourmis afin d'assurer une production de miellat suffisante [99 ; 101 ; 102].

WOODRING et *al.* (2007) ont pu mettre en évidence que la synthèse d'importantes quantités de mélézitose et de moindres quantités de tréhalose par les enzymes digestives du puceron myrmécophile *Metopeurum fuscoviride* (StroYAN), concomitante à la rapide dégradation du saccharose en glucose et fructose, réduit l'osmolalité de l'intestin de ce puceron jusqu'au quart de ce qu'elle serait en l'absence de ces synthétases. Ce mécanisme n'est pas observé chez d'autres pucerons non myrmécophiles, dont *Macrosiphoniella tanacetaria* (Kaltenbach) et *Acyrtosiphon pisum* (Harris), produisant moins de miellat, et ne présentant donc pas la nécessité de synthétiser ces oligosaccharides pour réguler leur pression osmotique et attirer les fourmis [102]. Contrairement à ce qui a longtemps été pensé, le miellat n'est donc pas qu'un simple déchet pour un puceron mutualiste et tant sa production que sa composition sont activement modifiées par ce dernier, ce qui représente un coût [103].

1.8. Le mutualisme est une stratégie défensive

Le mutualisme est une stratégie défensive où le puceron mutualiste cherche à réduire le coût global d'une rencontre avec un ennemi potentiel tel que la fourmi, sans chercher à éviter ces rencontres [19]. Au sein d'une même espèce, la production de miellat ainsi que sa composition et concentration en sucres peut significativement varier en fonction des générations, mais également entre clones [90,114].

VANTAUX et *al.* (2011) ont ainsi observé d'énormes différences entre clones du puceron myrmécophile *Aphis fabae* en termes de production de mélézitose [114].

Plus de la moitié des clones testés se sont révélés déficients en ce composé tant en présence qu'en absence de leur partenaire mutualiste. Ce type de comportement ne semble pas directement puni par le partenaire mutualiste qui collecte cependant moins fréquemment le miellat de ces clones, diminuant de ce fait sa présence à proximité de ces individus, et donc leur protection, mais également sa demande de miellat et le coût de cette surproduction pour le puceron [114].

Les clones tricheurs peuvent ainsi partiellement bénéficier des avantages apportés par les fourmis attirées par les lignées non déficientes présentes sur la même plante sans pour autant en payer le coût. Du point de vue du puceron, la balance coûts-bénéfices liée au mutualisme et aux modifications dans la production de miellat reste assez discutée dans la littérature [114, 115].

Certains auteurs attribuent au mutualisme un effet globalement positif sur le développement des colonies. Le taux de reproduction, les capacités de vol et la survie générale de l'insecte [11 ; 74 ; 116], d'autres observent un coût lié à l'entretien par les fourmis, notamment sous la forme d'une réduction de taille des colonies et des insectes eux-mêmes, ainsi qu'une diminution des capacités de dispersion et de reproduction [57 ; 103 ; 117].

L'effort constitué par la production de miellat en qualités et quantités satisfaisant une fourmi mutualiste est récompensé par une prédation par la fourmi fortement réduite ou nulle, ainsi qu'une protection contre d'autres ennemis naturels [11, 118].

Ceci constitue un intérêt non négligeable, particulièrement pour les espèces se nourrissant plus profondément dans la plante, aux pièces buccales plus longues et plus lentes à rétracter limitant les possibilités de fuite, ce qui explique la haute fréquence de mutualisme observée pour ces espèces [119].

1.9. L'impact de miellat sur les fourmis

Du point de vue de la fourmi, l'impact du miellat est nettement moins contrasté. Il constitue en effet une source de nourriture abondante et appréciée, impactant positivement la croissance des colonies par l'augmentation de la production de couvain et d'ouvrières liée à l'apport de sucres [11 ; 57 ; 120].

Cette ressource critique fait l'objet d'une compétition entre espèces locales, mais également avec certaines espèces invasives. C'est notamment le cas de la fourmi d'Argentine *Linepithema humile* Mayr, dont les propagules se nourrissant initialement essentiellement de proies riches en protéines ont évolué en supercolonies se nourrissant de miellat, ce régime apportant plus de bénéfices en termes de survie de la propagule et de croissance que les proies, même à faible densité de pucerons [121 ; 122].

1.10. L'impact de miellat sur les ennemis

Le miellat a également son influence sur les espèces gravitant autour de cette interaction mutualiste, source de nourriture pour de nombreux ennemis naturels d'homoptères, le miellat agit également à la fois comme source de sémiochimiques volatils et de contact, pouvant influencer les comportements des ennemis naturels, dont la recherche, la localisation et l'attaque de leur hôte ou proie ainsi que l'oviposition [62].

LEROY et *al.* (2009) proposent un tableau synthétique reprenant les différents effets du miellat sur divers ennemis naturels du puceron (par exemple). La place centrale du miellat au sein des interactions mutualistes n'est donc plus à établir, de nombreux aspects de cette problématique étant largement documentés [62].

Cependant, bien que déjà mise en évidence en ce qui concerne les ennemis naturels du puceron, l'influence des composés volatils émis par le miellat sur le comportement du partenaire mutualiste reste à étudier. Implication des sémiochimiques volatils dans la communication intra et interspécifique chez les partenaires mutualistes Bien que de complexités différentes, les organisations

sociales et la communication au sein des colonies de fourmis et de pucerons passent entre autres par le biais de la communication chimique.

Bien que la nature et les rôles primaires des composés impliqués soient des plus divers, ils constituent des indicateurs de la présence de l'insecte, voire même de son état physiologique ou de stress, potentiellement perceptibles à distance par d'autres, tant conspécifiques que prédateurs ou partenaires potentiels [62].

1.11. Effet de composés volatils sur partenaire mutualiste

Plusieurs catégories de composés volatils ont déjà été identifiées chez le puceron. D'une part, les différents isomères de népétalactone (I-II) et de népétalactol (III-VI), phéromones sexuelles émises de manière ponctuelle au moment de la reproduction sexuée de l'insecte [123,124, 125, 126,127]. Le mélange phéromonal observé chez la majorité des espèces de pucerons est généralement constitué d'un des énantiomères I et II de népétalactone, et/ou d'un des énantiomères III et VI de népétalactol, en proportions variables selon les espèces. Des stéréoisomères supplémentaires de népétalactol (IV et V) ont été identifiés chez le puceron du houblon, *Phorodon humuli Schrank*. La stéréochimie de ces composés ainsi que les ratios entre composés constituent des éléments majeurs expliquant la spécificité de l'action de ces mélanges phéromonaux [127]. Du fait de leur émission éphémère et intervenant en fin de saison, ils constituent des indicateurs de présence probablement peu intéressants dans le cadre d'une recherche de partenaire mutualiste Structure de sémiochimiques observés chez le puceron Phéromones sexuelles [127].

1.12. L'effet des composés volatils sur le comportement alimentaire

Les pucerons peuvent produire une large gamme de terpènes, au sein de laquelle le E- β -farnésène (EBF) (VII) occupe une place prépondérante cette molécule a en effet été identifiée dans 21 des 23 espèces étudiées par FRANCIS et al. (2005) il constitue un sémiochimique clef, aux rôles multiples, et largement répandu chez les pucerons. Impliqué dans l'évaluation de l'environnement social d'un individu lorsqu'il est relâché continuellement en faible dose constante, l'EBF

prend un rôle de phéromone d'alarme incitant les congénères à un comportement de fuite lorsqu'il est émis en pics de forte intensité par un individu soumis à l'attaque d'un ennemi naturel [126 ; 128 ; 129 ; 130]. Émis par l'insecte de manière régulière, l'EBF constitue potentiellement un bon indicateur de sa présence. Plusieurs études réalisées en conditions de laboratoire suggèrent d'ailleurs que divers ennemis naturels du puceron, dont des coccinelles, des syrphes et des chrysopes, sont capables de détecter ce composé et de s'en aider afin de localiser leur proie ou leur hôte [126, 131, 132, 133, 134].

Dans le cadre des interactions avec les fourmis, NAULT et *al.* (1976) ont démontré la capacité des fourmis à détecter de fortes doses d'EBF et à y réagir. Les fourmis adoptent alors un comportement agité et agressif, suggérant une réaction de défense d'un partenaire mutualiste soumis à une attaque [135].

La capacité des fourmis à détecter de faibles niveaux d'émission d'EBF, correspondant à son taux d'émission en l'absence d'attaque, et à s'en aider afin de localiser un partenaire mutualiste reste à démontrer. Bien que l'impact de ces volatils indicateurs indirects de la présence de pucerons sur leurs ennemis naturels soit déjà bien documenté, leur rôle dans les relations mutualistes reste encore largement à étudier. Concernant les fourmis, le nombre, la diversité et les fonctions des composés connus impliqués dans leur communication intraspécifique sont bien supérieurs, et largement influencés par l'espèce [135].

Ces sémiochimiques ; secrétés par diverses glandes telles les glandes mandibulaires, à poison, sternale, pygidiale (Figure 1.4), métapleurale, de Dufour... (plus de 75 glandes exocrines sont connues chez les Formicidae contribuent à des aspects variés des interactions au sein des colonies, dont les comportements d'alarme, la reconnaissance et l'appartenance à une colonie, le marquage du territoire et du nid, ainsi que le dépôt de pistes [136]. Leur nature ainsi que leur degré de volatilité varient également fortement, ces composés incluant notamment hydrocarbures, cétones, aldéhydes, alcools, acides carboxyliques et esters de différentes longueurs de chaînes, linéaires ou cycliques, ramifiés ou non ; terpénoïdes divers ; pyrazines substituées et autres composés azotés cycliques ou non. Bien qu'il soit communément admis que le

partenaire le plus actif dans l'établissement d'une relation mutualiste soit la fourmi, il est possible qu'un puceron myrmécophile, et plus spécifiquement sa forme ailée, la plus mobile, soit capable d'utiliser ces sémiouchimiques afin de s'établir préférentiellement sur une plante hôte fréquentée par un potentiel partenaire mutualiste ou à proximité d'une fourmilière [137,138, 139].

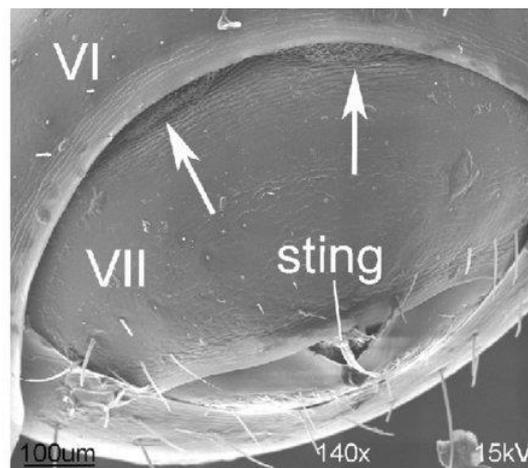


Figure 1.5 : L'emplacement des ouvertures des glandes pygidiales (indiquées par des flèches) sur le dos de *Messor andrei*. Les tergites abdominaux VIème et VIIème sont indiqués. Barre d'échelle = 100 µm [225].

1.13. Le comportement d'apprentissage de partenaires mutualistes

Les fourmis apprennent des espèces de puceron en tant que partenaires mutualistes : Dans les associations de fourmis-pucerons, de nombreuses espèces de pucerons fournissent des fourmis avec des miels d'abeille et sont soignées par des fourmis, tandis que d'autres ne sont jamais tendues et sont fréquentées par des fourmis. Dans ces relations, les fourmis doivent avoir la possibilité de discriminer parmi les espèces de pucerons, les pucerons mutualistes étant acceptés comme partenaires plutôt que comme proies. Bien que les fourmis utilisent probablement des hydrocarbures cuticulaires (CHC) de pucerons pour différencier les espèces mutualistes et non mutualistes [140].

Lorsque les travailleurs de la fourmi *Tetramorium tsushimae* avaient précédemment tendu le puceron du niébé, *Aphis craccivora*, ils étaient moins

agressifs envers cette espèce. En outre, les fourmis ont également réduit leur agressivité envers une autre espèce de puceron mutualiste, *Aphis fabae*, après avoir soigné *A. craccivora*, alors que les fourmis restaient agressives envers le puceron non-mutualiste, *Acyrtosiphon pisum*, qu'elles aient ou non une expérience antérieure dans le traitement de *A. Craccivora*. Lorsque des fourmis ont eu des mannequins en verre traités avec des CHC de ces espèces de pucerons, les fourmis qui avaient tendance à *A. craccivora* ont montré une agression réduite contre les CHC d'*A. craccivora* et *A. fabae* [140].

1.13.1. L'efficacité de mimétisme dépend de l'apprentissage

Le mimétisme chimique est une stratégie efficace lorsque les récepteurs de signaux reconnaissent et discriminent les modèles en s'appuyant sur des indices chimiques. Certains ennemis des pucerons imitent les produits chimiques cuticulaires des pucerons par divers moyens, évitant ainsi la détection et l'attaque par des fourmis tendues par des aphètes. Cependant, comme on a signalé aux hormones d'apprendre les signatures chimiques des pucerons afin de distinguer les pucerons, l'efficacité du mimétisme chimique dépend de l'expérience des fourmis qui avaient tendu des pucerons) [140].

L'étude de HAYASHI et *al.* (2016) a testé l'hypothèse de l'efficacité de mimétisme chimique par les prédateurs de pucs qui dépendre de l'apprentissage des aphides par les fourmis à l'aide de deux espèces prédatrices : les larves de la *Mallada Desjardinsi* et les larves de *Ladybeetle Scymnus posticalis*. Les larves portent les carcasses de pucerons sur lesquelles elles se sont taquinées, et elles fonctionnent par camouflage chimique pour réduire l'agressivité des fourmis tendues par les aphètes vers les larves [140]. Les larves de Ladybeetle produiraient une couverture de structures de cire, et leurs produits chimiques semblent atténuer l'agression des fourmis [140].

Le comportement de la fourmi *Tetramorium tsushimae* envers ces prédateurs a changé en fonction de leur expérience de pucerons. Les fourmis ont modéré leur agressivité vis-à-vis des deux prédateurs lorsqu'ils avaient précédemment tendu des pucerons, ce qui indique que le mimétisme chimique

des deux prédateurs dépend de l'expérience antérieure des fourmis dans les pucerons. Le mimétisme chimique par les prédateurs de pucerons fourmis est considéré comme exploitant des systèmes de reconnaissance des aphètes dépendants de l'apprentissage des fourmis [140].

1.14. Les effets écologiques du Mutualisme

L'interaction protectrice des fourmi-planté a été considérée comme un système modèle dans l'étude des interactions mutualistes, mais nous connaissons peu les effets écologiques du mutualisme à des échelles spatiales relativement plus grandes. Dans l'étude de ZANG et al. (2013), ils ont exclu les espèces de fourmis ophidiennes (*Lasius fuliginosus*) de tous les chênes hôtes (*Quercus liaotungensis*) dans des parcelles de 20x20 m, ils ont évalué les effets des fourmis sur l'herbivorie, la production de fruits et la ténacité des feuilles de l'arbre hôte. Au cours d'une étude de deux ans, ils ont constaté que les fourmis ont un effet anti-herbivorie significatif sur l'arbre hôte, sans effets sur la production de fruits [141]. À la fin de la saison de croissance, la ténacité des feuilles pour les plantes sans fourmis a considérablement augmenté. Cela suggère que les fourmis sont des gardes du corps fiables et efficaces pour les plantes à plus grande échelle spatiale [141].

Plusieurs paramètres ont été observés en milieu extérieur sur des plants de fèves des marais infestés initialement par 100 individus en présence ou non d'une colonie de *L. niger*. En présence de fourmis, les plantes étaient constamment infestées par un nombre de pucerons plus important, et la proportion d'individus ailés y était également similaire ou plus grande, selon la date d'observation. Un nombre moins important de prédateurs aphidiphages sur les plantes en présence de fourmis a permis d'expliquer en partie ces observations. Les nombres moyens de pucerons parasités ne différaient pas que les plantes soient explorées ou non par les fourmis suggérant que *L. niger* est peu efficace face aux attaques de parasitoïdes. Par contre, très peu de pucerons appartenant à des espèces différentes d'*A. fabae* ont été observés sur les plants mis en présence des fourmis. Ces observations suggèrent que *L. niger* adopte un

comportement de prédation sur les pucerons avec lesquels elle n'entretient aucune relation mutualiste [142].

Des tâches de miellat étaient présentes sur les plantes dont les colonies de pucerons étaient visitées par *L. niger* cette fourmi améliore les conditions de vie des colonies de pucerons d'*Aphis fabae* dont elle exploite le miellat, principalement grâce à la protection qu'elle apporte contre les prédateurs et la réduction de la pression de compétition exercée par les autres espèces non myrmécophiles de pucerons [142].

CHAPITRE 2

BIOECOLOGIE DES ESPECES MUTUALISTES

CHAPITRE 2

BIOECOLOGIE DES ESPECES MUTUALISTES

Dans ce chapitre nous avons ciblé notre concentration sur les organismes nuisibles suscités dans l'expérimentation de notre étude qui constituent deux modèles de mutualismes, nous avons le modèle de mutualisme fourmis-cochenille et le modèle de mutualisme- fourmis -puceron. Pour la plante hôte, on va tenter d'une approche actuelle sur l'état d'agrumiculture en Algérie.

2.1. Bio-écologie des Fourmis

La communication des fourmis : Le Coran indique, en rapportant un événement lié à l'histoire du Prophète Salomon, que les fourmis ont un système de communication :

« Quand ils arrivèrent à la Vallée des Fourmis, une fourmi dit : "O fourmis, entrez dans vos demeures, [de peur] que Salomon et ses armées ne vous écrasent [sous leurs pieds] sans s'en rendre compte." (Coran, Sourat An-Naml 27 (les fourmis), 93 versets-pré_hég n°48. Aya n°18) ».

Les études éthologistes ont montré que dans la nature, les petites créatures faibles que sont les fourmis, arrivent à résoudre collectivement des problèmes quotidiens nombreux et trop complexes pour une seule fourmi tels que : recherche de nourriture, construction du nid, division du travail et allocation des tâches entre les individus, avec une organisation extrêmement structurée et sans aucune supervision. Par les comportements simples de chacune des fourmis, des interactions limitées à travers une coopération inconsciente, émergent des comportements collectifs intelligents et des modèles d'auto-organisation [1]. Les fourmis sont devenues une nouvelle source d'inspiration pour la conception de

méthodes de résolution de problèmes complexes. De plus cette source d'inspiration n'est pas unique étant donné que les fourmis sont dotées d'une grande diversité de caractéristiques disjointes et de comportements collectifs variés. Une nouvelle classe d'algorithmes est alors apparue sous le nom « algorithmes de fourmis artificielles ». Leur popularité est due d'une part à la facilité de mise en œuvre et d'autre part à la complexité des fonctions réalisables [143 ; 144 ; 145].

Notion de biomimétiques : Dans les domaines mathématiques et informatiques deux comportements collectifs ont été principalement étudiés chez les fourmis : l'optimisation de chemin et le tri des cadavres. Le premier comportement appelé aussi fourrageage permet aux fourmis de retrouver le plus court chemin entre leur nid et une source de nourriture grâce à un système de marquage de phéromones. Ce comportement naturel a été modélisé et transposé à la résolution de nombreux problèmes d'optimisation combinatoires sous le nom d'une nouvelle métaheuristique « optimisation par les colonies de fourmis ou OCF ». Le deuxième comportement collectif des fourmis concerne la capacité de certaines espèces de fourmis à organiser collectivement des cimetières composés de cadavres empilés les uns sur les autres. Là aussi, les chercheurs ont exploité ce comportement pour fournir des algorithmes de classification pour lequel l'informatique classique n'a pas donné de solution satisfaisante [146].

La biomasse d'une espèce est le poids total de l'ensemble des individus qui la composent. 4,5 millions de fourmis sont nécessaires pour égaler le poids moyen d'un seul être humain d'environ 65 kg (moyenne) mais leur biomasse est plus importante. Calculons un peu : sur une base moyenne de 65 kg par être humain multipliée par 7 milliards d'individus, nous obtenons 455 milliards de kilos. Les fourmis se comptant par millions de milliards, la biomasse des fourmis est par conséquent nettement plus importante que celle des êtres humains. L'entomologiste suisse Laurent Keller (Le spécialiste des fourmis Laurent Keller a reçu le prix Marcel BENOIST en 2015. Université de Lausanne) avec son équipe ont découvert la plus importante colonie connue à ce jour : plusieurs milliards de fourmis noires sur plus de 6 000 kilomètres le long du littoral méditerranéen. Il existe 12 500 espèces connues de fourmis et leur nombre est estimé à 25 ou 30 000 au total. En Amazonie, les scientifiques en ont dénombré 365 espèces (2009

– source relais-sciences) rien que sur 5 ha de forêt péruvienne tandis que dans toute l'Europe, seules 400 espèces sont dénombrées (ce nombre peut changer au fil du temps et des découvertes scientifiques). Petite information supplémentaire sur leurs caractéristiques : leur cerveau est doté en moyenne de 500 000 neurones, leurs yeux sont composés de 1 300 hublots et les fourmis ont une vision panoramique de 180 degrés. Les fourmis représentent un pourcentage de 10 à 15% de la biomasse animale totale dans la plupart des écosystèmes terrestres, les fourmis ont attirés longtemps l'attention de plusieurs chercheurs depuis l'ancien siècle, ce sont des insectes sociaux de l'ordre des hyménoptères. Leur famille est celle des Formicidae, et comptent plus de 11 000 espèces réparties en 16 sous-familles [147, 14]. Plus de 3 000 espèces de plantes sur 270 000 (environ 1,2 %) ont été recensées dans le monde comme myrmécochores. Elles appartiennent à 80 familles différentes et sont présentes dans de nombreux écosystèmes de part et d'autre dans le monde [149]. Des centaines d'espèces de fourmis ont été observées transportant des graines. Dans un même habitat, une plante peut être disséminée par plusieurs espèces de fourmis [150]. Dans la zone méditerranéenne, il existe des fourmis moissonneuses, essentiellement granivores (*Aphaenogaster*, *Messor* et *Tetramorium*), qui jouent un rôle fondamental dans la dispersion en raison de leur comportement de stockage pour la mauvaise saison. Mais il existe d'autre genres, tels que *Camponotus*, *Pheidole* et *Tapinoma* qui jouent un rôle non négligeable dans la myrmécochorie, sans doute en raison de leur régime alimentaire omnivore [150].

Dans le monde, nombreuse études ont été menées notamment sur leur biologie et bioécologie. En Algérie, plusieurs travaux ont été désignés sur les fourmis datant de 1882 (ANDRÉ, 1886) [151], FOREL de 1894 au 1902 [152 ; 153], parmi ces études nous citons ceux de CAGNIANT (1966, 1967, 1968a, 1968b, 1968c, 1969 et 1970a, 1970b, 1970c, 1973, 1996a, 1996b, 1997 et 2005) [157 à 169]. Ceux de BERNARD (1948, 1951, 1968, 1983) [170 à 173] sur l'inventaire des espèces de fourmis. DOUMANDJI et DOUMANDJI-MITICHE (1988), se sont intéressés à la relation prédateur-proies entre *Crabo quinquenotatus* (Sphecidae) et *Tapinoma simrothi* sur le terrain. BARECH et DOUMANDJI (2002) [175], sur la clé pédagogique des fourmis. BARECH et *al.* (2011, 2015, 2016), [176 ; 177 ; 178], Sur la diversité des fourmis en Algérie.

BELKADI (1990) [179], sur la biologie de *Tapinoma simrothi* dans la Kabylie. DEHINA (2007 et 2009) [180 ; 181], AIT SAID (2005) [182], Des études ont été réalisés dans l'Atlas Blidien sur l'effet de produit chimique sur l'abondance des populations de la pédofaune par DJAZOULI et *al.* (2013) [183]. Des identifications ont été réalisées par DJIOUA & SADOUDI (2015) [185]. Au Sahara, les travaux ont été réalisés par CHEMALA (2017) [185] dans les régions (Djamaa, El-Oued et Ouargla), l'étude de bioécologie des Formicidae dans la région de Laghouat réalisé par AMARA (2010), GHEHEF (2012 et 2016) à Ouargla et Souf, BOUHAFS (2013) à Djamaa, BEN ABEDALLAH (2014) et ABBA (2014) dans la région d'Ouargla, les travaux d'ADDI et NOUHA (2014) et ACHBI et CHAFOU (2015) aussi GHEHEF (2016) se sont intéressés à l'étude myrmécoriques dans un agro-système céréalière.

En Algérie, les fourmis existent partout, en forêt comme en lieux découverts, au bord des eaux comme dans les endroits secs, sur l'argile comme sur les rochers. Leurs sociétés sont divisées en trois castes à savoir :

- La femelle qui est la reine, c'est la seule à pouvoir pondre des œufs. A sa naissance, la reine a des ailes, qu'elle perdra après le vol, elles vivent 10 à 15 ans ce qui est impressionnant quand on sait qu'une seule reine peut générer une colonie de plusieurs milliers ou millions d'individus. Précisons que l'on peut avoir reine monogynie ou plusieurs reines par nid, on parlera alors de « polygynie ». De cette reine sortira des œufs qui deviendront larves puis nymphe.
- Les mâles sont inactifs, ailés et possède trois ocelles. Ils séjournent dans le fond de la fourmilière, jusqu'au jour du vol nuptial, où, là, on les voit hors de la fourmilière. Ils ont pour unique rôle de féconder les futures reines. Peu après l'accouplement ils meurent.
- Les ouvrières (*Workers*) sont des femelles stériles qui ont "la tâche matérielle du nid" (entretien, provisions, soins au couvain et à la reine, défense). Toutes ont la même taille, mais on peut aussi avoir deux tailles différentes, ce qui permet de faire deux groupes : les plus grosses sont les soldats qui assurent la défense, les plus petites sont les ouvrières qui

s'occupent des " tâches ménagères ". Dans certaines espèces, on peut classer les ouvrières en trois groupes : les plus grosses sont les soldats, les plus petites s'occupent de l'entretien du nid, et enfin les plus âgées de la récolte et du soin à la reine (Figure 2.1) [162 ; 172].

Les fourmis comme tous les insectes, ont un corps divisé en trois parties distinctes, la tête, le thorax et l'abdomen. Elles ont trois paires de pattes, une paire d'antennes et une paire de mandibules, le thorax porte les deux paires d'ailes chez la reine et les mâles. Le pétiole est formé par le deuxième segment de l'abdomen [172 ; 186].

De nombreuses espèces de fourmis jouent un rôle important dans le maintien de certains équilibres biologiques jouant le rôle des prédateurs ou des parasites [172]. Ce sont des principales prédatrices d'invertébrés et d'importants vecteurs de dispersion des graines [189]. Cette dernière est appelée myrmecochorie [190 ; 191].

Les fourmis jouent un rôle primordial dans l'écologie des sols en déplaçant plus que les vers de terre ou les termites. L'accumulation de matière organique au sein ou à proximité des colonies contribue en outre à l'enrichissement du sol notamment en azote et phosphore, éléments indispensables à la croissance de nombreux végétaux [187 ; 188].

Les fourmis peuvent jouer un rôle important dans la dynamique des populations de nombreux insectes ravageurs des cultures, en particulier des homoptères [65 ; 192]. Chez les cochenilles (*Hom. Coccoidea*), l'association avec les fourmis consommatrices de miellat, souvent qualifiée de trophobiose peut dans certains cas induire une augmentation des effectifs de ces ravageurs, les causes de cette augmentation sont multiples et dépendent en grande partie du matériel biologique considéré les fourmis limitent l'efficacité des prédateurs des parasitoïdes et des pathogènes [189].

Le Classement taxonomique de l'espèce : *Tapinoma simrothi* Krausse, 1911 est de la Classe : Hexapoda Blainville, 1816; Sous-Classe : Insecta Linnaeus, 1758 ; Infra-classe : Pterygota Brauer, 1885 ; Cladus : Neoptera Martynov, 1923 ; Ordre : Hymenoptera Linnaeus, 1758; Sous-Ordre : Apocrita Gerstäcker, 1867; Super-Famille : Vespoidea Latreille, 1802 ; Famille : Formicidae

Latreille, 1809; Sous-Famille : Dolichoderinae Forel, 1878; Tribu : Tapinomini Emery, 1913; Genre : *Tapinoma foerster*, 1850 CASEVITZ-WEULERSSE & GALKOWSKI (2009) [193].

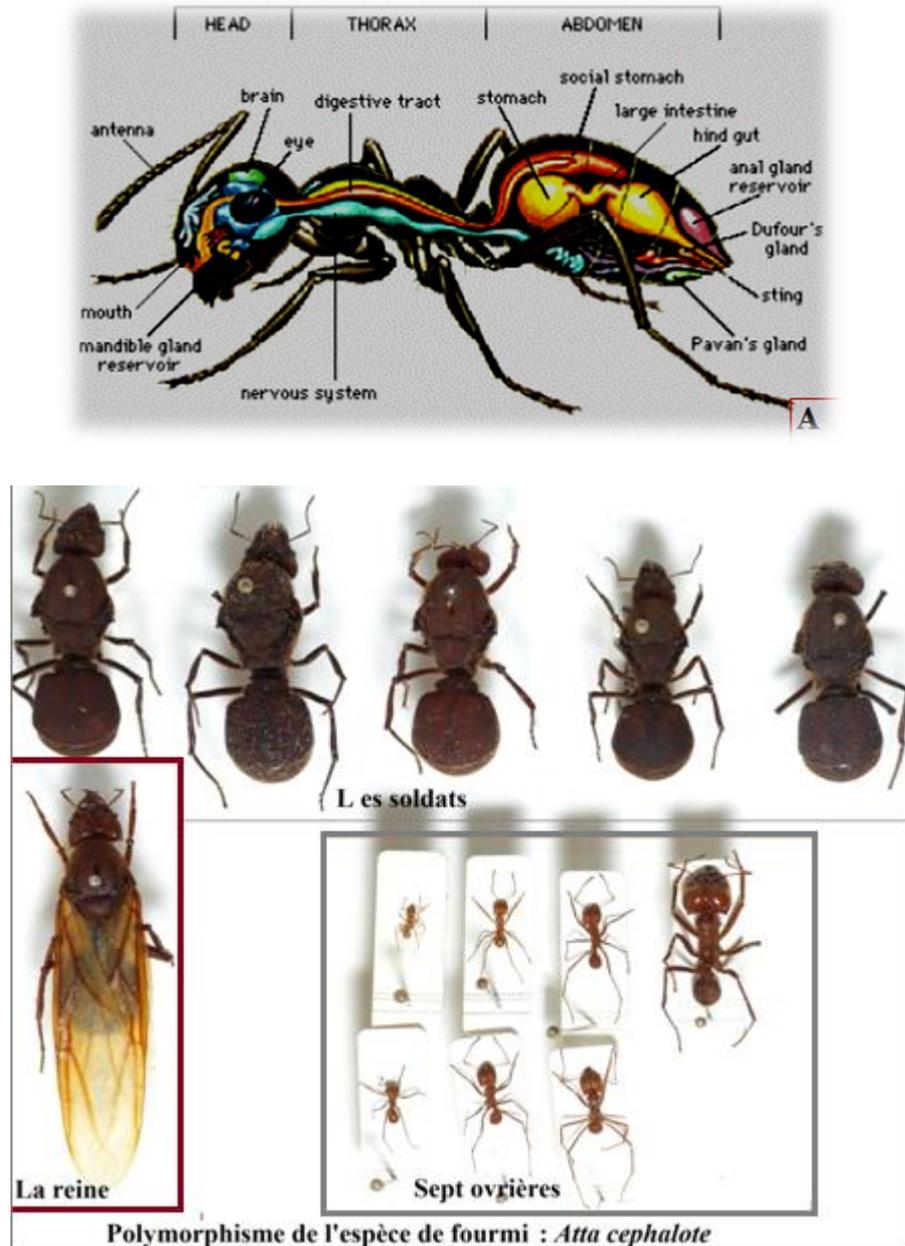


Figure 2.1 : Les photos des individus de la fourmi *Atta cephalote* (SAREFO, 2007, Encyclopédie Wikipedia, x 2,016 pixels, modifiée).

A : le corps des fourmis.

Les fourmis entretiennent des Homoptères producteurs de miellat et agressent les autres arthropodes, incluant les prédateurs de ces Homoptères, créant alors des niches sans prédateur pour les Homoptères.

Dans ces dernières années les entomologistes sont s'intéresser d'étudié les relations mutualistes entre fourmis et Homoptères pour cela nous souhaitons de toucher le minimum de cet aspect à travers de notre étude qui est la premières évoqué en Algérie.

2.2. Bio-écologie des cochenilles d'agrumes

Les résultats de la recherche historique ont révélé que avant 1850 les Diaspines ne furent pas connu en Algérie en raison peut être de l'absence des importations des produits agricoles. Ce n'est qu'après 1850 jusqu'à 1900 que 12 espèces ont été signalées. L'avènement des échanges commerciaux à partir de 1900 a favorisé l'introduction de plusieurs espèces de cochenilles Diaspines ou le taux été de 46,61 % entre 1901 et 1950. Il y'a eu découverte d'autre espèces à partir de 1951 à 2003 grâce aux développements agricole et l'intérêt des entomologistes pour ces insectes [194].

La cochenille noire *Parlatoria ziziphi* est une espèce polyvoltine, elles sont toutes chevauchantes, les individus de tous les stades de développement peuvent être observé durant toute l'année [195]. L'infestation de cette cochenille se classe parmi les ravageuses tolérances des agrumes. La cochenille *Parlatoria ziziphi* (LUCAS, 1853) est un ravageur spécialisé des plants d'agrumes est considéré comme l'un de leurs principaux ravageurs dans certaines zones [196]. L'insecte provoque le dépérissement des brindilles, chute prématurée des fruits et des feuilles, et la déformation des fruits. Il est généralement si bien partie du fruit qui ne peut pas être enlevé, ce qui provoque une infestation importante. Cela réduit la valeur commerciale des fruits et peut les rendre impropres à la consommation humaine. La cochenille *Parlatoria ziziphi* une espèce commune, appelée localement Pou noir de l'Oranger. Elle peut manifester des pullulations intenses dans les vergers serrés, mal aérés. Elle prend une importance économique particulière du fait qu'elle résiste bien aux nettoyages, au cours du conditionnement des fruits [197]. *Parlatoria ziziphi* est probablement originaire du

Sud de la Chine mais s'est largement disséminée à travers le monde entier, surtout sous les tropiques mais aussi dans certaines régions tempérées. Les cochenilles se déplacent peu d'elles-mêmes sinon sur l'arbre. Tant qu'elles ne se sont pas fixées sur un support végétal (au stade L1 mobile), elles peuvent être véhiculées par le vent ou sur des animaux. A plus grande échelle, la dissémination se fait par le transport de matériel végétal infesté. Elle est très fréquente rencontrer en Italie, Espagne, Afrique du Nord. Elle est également présente en Malaisie, Philippines, Inde et en Afrique occidentale [198 ; 199].

Le Classement taxonomique des cochenilles est de la classe Insecta, Ordre : Hemiptera, Sous-ordre : Sternorrhyncha, Superfamille : Coccoidea Famille : Diaspididae. Les synonymes de la cochenille *Parlatoria ziziphi* (Lucas, 1853) sont *Coccus ziziphi* Lucas, 1853, *Parlatoria lucasii* Targioni Tozzetti, *Parlatoria ziziphus* (Lucas) Fernald *Parlatoria zizyphus* (Lucas) Cockerell. Leurs noms communs sont en Français : Cochenille noire de l'orange, en Anglais : Black parlatoria scale, Black scale, Citrus parlatoria, Leaf black scale, Mediterranean scale. En Espagnol : Piojo negro, Piojo negro del naranjo. Code BAYER : PARLZI.

La cochenille *Parlatoria ziziphi* est déterminée par les Taches noires ovales, de petite taille (0,6 à 0,75 mm x 1,25 à 1,4 mm pour les adultes). Une identification précise nécessite l'examen au microscope des femelles adultes montées sur lames. Les femelles adultes sont relativement faciles à distinguer de celles des autres espèces du Genre *Parlatoria* par la présence de lobes en forme d'oreilles de chaque côté de la tête. L'inspection sur les fruits, feuillage et plants est possible par sa petite taille mais sa couleur noire et son bouclier aplati contre le support peuvent la rendre difficile à voir, sauf si elle est présente en grand nombre. Les femelles sont pourtant bien visibles sur un feuillage pale ou des fruits de couleur claire comme les oranges ou les citrons mais peuvent être facilement confondues avec de quelconques poussières sur fond sombre [199].

Le cycle biologique :

Les œufs mesurent 0,18 à 0,25 mm de longueur et 0,12 mm de largeur. Ils ont une forme ovale de couleur violette pâle avec le chorion lisse, transparent et

brillant. Après une incubation de deux semaines, l'œuf le plus éloigné de la femelle donne naissance à une larve néonate qui est dépourvu de segments abdominaux et de poils courts. Dès son émergence, la jeune larve quitte le bouclier maternel par l'ouverture surélevée de la partie postérieure du bouclier maternel [200]. La larve néonate de la taille très petite, très mobile et douée d'une très grande activité et se déplace vers les feuilles, les fruits et les branches durant 1 à 3 jours en quête d'un endroit favorable pour enfoncer son rostre [201]. Ces larves peuvent être transportées par le vent et assure la contamination des arbres voisins [197]. Après fixation, la larve devient immobile, perd ses pattes, ses antennes et secrète son bouclier protecteur qui reste habituellement attaché à l'exuvie larvaire. A ce stade, il est impossible de différencier entre les sexes et ce n'est qu'au deuxième stade que le dimorphisme apparaît [202]. Quand on a des larves de deuxième stade on va avoir des larves qui vont nous donner des futures femelles et d'autres des futures mâles. Ces larves de deuxième stade diffèrent totalement de la larve du premier stade, non seulement par son mode de vie. Si le 1^{er} stade larvaire est avant tout un stade de dissémination, le 2^{ème} stade larvaire est un stade de croissance et d'assimilation, c'est durant la 2^{ème} phase larvaire, qui est généralement de longue durée que l'individu accumulera des réserves nutritives [197].

Cycle de la femelle : Après le premier stade apparaît la larve du deuxième stade qui est de forme arrondie de couleur blanchâtre avec l'exuvie larvaire noire intense rejetée en avant. Après quelques temps, la jeune femelle qui présente un follicule de couleur noir luisant, son corps mesure 12mm, et plus aplati, subpiriforme et de couleur violette pâle imprégnée de jaune. Puis à la femelle ovigère et en fin de compte à la femelle pondreuse, l'ovogenèse s'active et les premiers signes de ponte apparaissent un mois plus tard [197 ; 201].

Cycle de mâle : Les mâles diffèrent complètement des femelles et leur développement apparaît à partir du deuxième stade larvaire. La larve mâle se distingue nettement de la larve femelle, où les bourgeons imaginaux des pattes, des antennes et des yeux apparaissent ; ces premiers sont souvent difficiles à observer en raison de leur faible développement et coloration, alors que les yeux sont particulièrement visibles en raison de leur pigmentation foncée. Après la

deuxième mue larvaire, le troisième stade est appelé pronymphe qui est de couleur violette, chez laquelle les séparations entre les divers segments apparaissent, et qui mesure 060 mm de large ; la troisième mue est qualifiée de nymphe, ou la nymphe qui mesure 069 mm est couleur violette foncée et se reconnaît à un appendice caudal plus ou moins allongée ; à la fin après la cinquième mue on a l'apparition de l'imago. Les individus males ont une vie éphémère, c'est-à-dire qu'ils sont incapables de se nourrir, à cause de leur pièces buccales atrophiées, et meurent juste après l'accouplement [202].

La fécondité : La femelle pondrait en moyenne de 18 à 22 ou de 15 à 22 œufs au Maroc, en Algérie, la femelle n'émet que 10 à 15 œufs. Signale que le nombre d'œufs ne dépasse pas une douzaine dans les régions d'Europe, du nord de l'Afrique et du bassin méditerranéen [202 ; 197].

Nombre de génération : *Parlatoria ziziphi* est une espèce polyvoltine, elle peut manifester jusqu'à quatre générations par an et toutes chevauchantes. Les individus de tous les stades de développement peuvent être observés durant toute l'année. La durée d'évolution d'une génération s'allonge sous l'action de basses températures, provoquant une diapause hivernale [197].

Dissémination et dispersion : Les cochenilles se déplacent peu d'elles-mêmes sinon sur l'arbre. Tant qu'elles ne se sont pas fixées sur un support végétal (au stade L1 mobile), elles peuvent être véhiculées par le vent ou sur des animaux. A plus grande échelle, la dissémination se fait par le transport de matériel végétal infesté Conditions favorables à la survie, au développement, à la reproduction et à la dispersion de *Parlatoria ziziphi*.

- Survie de *Parlatoria ziziphi* dans des conditions défavorables : La femelle adulte de *P. ziziphi* est assez résistante au froid.
- Capacité d'adaptation : Certainement bonne étant donnée sa très large répartition mondiale [195].

Plantes hôtes : Hôtes primaires : *Citrus spp.* dont *Citrus aurantifolia* (lime), *Citrus aurantium* (orange amère), *Citrus hystrix*, *Citrus limon* (citron), *Citrus nobilis* (tangor), *Citrus reticulata* (mandarine), *Citrus sinensis* (orange), *Citrus x paradisi* (pamplemousse) .

Hôtes secondaires : D'autres Rutaceae ornementales, *Severinia buxifolia* et *Murraya paniculata* ; *Cymbidium*, *Damnocanthus*.

2.2.1. Méthodes de lutte contre *Parlatoria ziziphi*

En Chine, *P. ziziphi* a été combattue de manière efficace grâce à diverses matières actives : ométhoate, chlorpyrifos, méthidathion, quinalphos, lambda-cyhalothrine, fenvalérate ou cyperméthrine. En Floride, conseille la pulvérisation d'huiles, de malathion mélangé avec des huiles, de diméthoate ou de parathion. Des traitements inconsidérés, néfastes à la faune auxiliaire peuvent favoriser *Parlatoria ziziphi* : il faut donc veiller à une application raisonnée des insecticides contre les autres ravageurs des agrumes [203 ; 204].

Les champignons entomopathogènes (Genre *Aschersonia*), des hyménoptères parasitoïdes des genres *Aspidiotiphagus* (*Encarsia*) et *Aphytis*, et des prédateurs *Chilocorus nigritus*, *Lindorus (Rhizobius) lophanthae* et *Orcus (Halmus) chalybeus* sont des agents de la lutte biologiques contre les cochenilles [204].

L'utilisation de parasitoïdes et de prédateurs en bio contrôle contribue au développement d'une agriculture durable, aspects environnement et la santé humaine. Dans ce contexte les résultats de l'étude de BELGUENDOZ et *al.*, (2009) sur la relation entre les Diaspines et leurs parasitoïde et prédateurs, mettent en évidence trois familles prédatrices : Coccinellidae, familles Nitidulidae et Coniopterygidae, le premier, représenté par l'espèce plus vorace que *Rhizobius lophanthae* vivant sur 19 Diaspines observées sur 121 plantes, deux parasitoïdes vivaient sur 39 espèces Diaspididae affectant 125 plantes et étaient représentés par quatre genres et 23 espèces comme *Aphytis* et *Encarsia* (*Aphelinidae*) vivait sur les 31 espèces diaspididae des 125 plantes hôtes [205]. Les espèces les plus voraces et polyphages identifiées sont intéressantes pour IPM [206].

2.3. Bio-écologie des pucerons d'agrumes

Les pucerons se caractérisent par leurs apparitions massives sous formes de colonies denses et serrées. Ils sont localisés le plus souvent sur le feuillage et les jeunes pousses, leurs piqûres provoquent un enrroulement et recroquevillèrent de la croissance des jeunes rameaux, AROUN, (2014) a recensé 74 espèces de pucerons sur différents milieux dont 17 espèces inféodées aux plantes cultivées [207]. sept espèces de pucerons dans les vergers d'agrumes de la Mitidja il s'agit de : *Toxoptera aurantii* BOYE DE FONSCOLOMB ; *Aphis citricola* VANDER GOOT ; *Aphis gossypii* GLOVER ; *Aphis craccivora* KOCH ; *Myzus persicae* SULZER ; *Macrosiphumu euphorbiae* THOMAS ; et *Brachycandus helichrysi* KLTB. Les deux premières espèces comptant parmi les *Aphides* les plus abondants et les plus nuisibles dans les vergers agrumicoles de la Mitidja. Dans la région d'Oued-Aissi ont dénombré vingt-six espèces. Toutefois, il existe d'autres espèces qui peuvent également s'installer sur les agrumes mais leur importance est secondaire. Quelques espèces aphidiennes endommageant les agrumes [208], [209].

Les espèces *Toxoptera aurantii* BOYE DE FONSCOLOMB, 1841 ; *Aphis citricola* VANDER GOOT, 1912; *Aphis gossypii* GLOVER, 1877 sont parmi les *Aphides* les plus abondants et les plus nuisibles dans les vergers agrumicoles de la Mitidja.

1. Puceron du cotonnier *Aphis gossypii* (Glover) A. *gossypii* est un ravageur dévastateur à plus de 20 cultures à travers le monde [210]. Ce puceron a été signalé pour la première fois au Maroc sur *Agave americana* L. (Agavaceae) par Mimeur en 1931 (*Mimeur*, 1931 cité par *Holman*, 2009). Il s'attaque à de très nombreuses plantes spontanées, ornementales et cultivées (Cucurbitacées et Malvacées principalement) [211]. En outre, il peut transmettre plus de 50 phytovirus à des cultures comme le haricot, le pois, le soja, les crucifères, le céleri, le niébé, la patate douce, les tulipes et les fraises [212]. C'est un vecteur efficace de nombreux isolats de *Citrus Tristeza closterovirus* Il est le vecteur le plus important de ce virus dans les

régions où *Toxoptera citricudus* n'est pas présent [213], [214]. Il a été rapporté comme étant à l'origine des épidémies importantes dans le bassin méditerranéen. En Algérie, il a été identifié sur différentes plantes réparties sur plusieurs régions [207 ; 215 ; 216].

2. Puceron vert des agrumes *Aphis spiraecola* (Patch), c'est un aphide qui peut vivre sur une très large gamme d'hôtes secondaires appartenant à plus de 20 familles, notamment, les Caprifoliaceae, Asteraceae, Rosaceae, Rubiaceae et Rutaceae ce puceron est très dommageable aux agrumes en Algérie. Au Maroc, *Aphis spiraecola* a été observé pour la première fois en 1962, entre Rabat et Kenitra bové [217]. Il peut transmettre des phytovirus, tels que *Cucumber mosaic virus* (CMV), Plum pox virus (PPV) et *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV) [218]. Il peut intervenir également dans la transmission du CTV [207].
3. Puceron noir des agrumes *Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe) est un ravageur bien connu des agrumes dans la région méditerranéenne [219]. Il est complètement polyphage, et il a été enregistré sur 120 plantes hôtes différentes en particulier sur les Anacardiaceae, Anonaceae, Araliaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Moraceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sterculiaceae et Theaceae. C'est un vecteur important des phytovirus des cultures stratégiques [218], [220]. Cependant, il est considéré comme un vecteur secondaire de quelques isolats de virus de la tristeza [214]. En Afrique du Nord, il existe depuis de nombreuses années en Algérie [215, 221].

2.4. Généralités sur la plante hôte

D'après PARLORAN (1971) la position taxonomique des agrumes est indiquée comme suite : Règne : Végétale ; Embranchement : Angiospermes ; Classe : Eudicotes ; Sous classe : Archichlomydeae

Ordre : Germinale (Rutales) ; Famille : Rutaceae ; Sous-famille : Aurantioideae ; Tribus : Citreae Sous-tribu : Citrinae ; Genre : *Poncirus*, *Fortunella* et *Citrus* [199].

Bien que les arbres d'agrumes puissent être cultivés sous une gamme très vaste de conditions climatiques et édaphiques, le choix adéquat de la zone continue à être l'élément clé pour une production réussie. Les facteurs importants sont :

- le climat, et caractéristiques du sol ainsi que la disponibilité et la qualité de l'eau d'arrosage.
- Le manque sévère d'eau inhibe la croissance de la végétation et le développement des fruits (taille et qualité) des agrumes. La clé pour la gestion réussie des irrigations est la réduction de la durée du manque d'eau.
- Un élagage annuel est essentiel pour maintenir la pénétration de la lumière à travers le feuillage et la pénétration de l'air car, la bonne aération contribue également à la prévention contre des épidémies et des maladies.
- Les pratiques de fertilisation des agrumes ont pour but d'augmenter le rendement et d'améliorer la qualité des fruits en renforçant la vitalité de la plante, en minimisant les problèmes d'épidémies et de maladies ainsi qu'en améliorant la vie microbienne du sol.
- La gestion des mauvaises herbes doit faire partie d'une gestion de couverture du sol à buts multiples.

2.4.1. La description de la *Thomson navel*

Dans notre travail nous avons réalisé l'étude sur la variété *Thomson navel* qui est une oranger « *Citrus sinensis* (LINNE) » est l'espèce la plus importante tant par le nombre de variétés qu'elle renferme que par l'importance de ses produits [199] ; [222] L'arbre est de taille et de vigueur moyenne, elle dépasse rarement 9 m de haut. Les feuilles sont persistantes, ovales et luisantes et les fleurs blanches et parfumées [223]. Le fruit est une sorte de baie ou Hespéride. Il se compose de plusieurs carpelles, faciles à séparer, chacun contenant plusieurs graines et de nombreuses cellules juteuses (Figure 2.1). L'exocarpe est coriace et comporte de nombreuses glandes productrices d'huiles. On extrait des oranges trois huiles essentielles : L'essence d'orange, extraite de l'écorce du fruit (l'essence du Portugal), utilisée principalement comme agent aromatisant et en pharmacie ou dans la fabrication de liqueur. L'essence de petit-grain, extraite des

feuilles et des branches est utilisée en parfumerie. L'essence de néroli extraite des fleurs est utilisée dans les arômes et les parfums [223]. Les agrumes sont atteints de plusieurs maladies principalement par ceux qu'ils sont cités en APPENDICE D.



Figure 2.2. Les fleurs et le fruit de la *Thomson navel* (BOUKOFTANE, 2014).

2.5. Aperçu générale sur l'agrumiculture en Algérie

2.5.1. Les affronte de programme agrumicole

Les conditions pédoclimatiques de l'Algérie sont très favorables au développement et à l'extension des agrumes. D'ailleurs plusieurs régions à vocation agrumicole, connues à travers le pays, ont été encouragées ces dernières années à travers le programme de soutien (FNRDA : Fond National de régulation et développement agricole) qui a démarré à partir de la campagne agricole 2000-2001. Selon les dernières statistiques, établies par les services du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, l'agrumiculture occupe 9% de la surface agricole utile. La région de Blida est connue par les oranges, plantées sur un tiers de la surface utiles de la wilaya et dont la production occupe les premières places à l'échelle nationale au cours de la campagne agricole 2013-2014 Blida a atteint son plus haut seuil depuis l'indépendance avec une récolte de

plus de quatre (04) millions de quintaux (Source : (D.S.A) Direction Services Agricoles de la Willaya de Blida, 2014).

Durant ces dernières années, la région de Blida a enregistré une véritable dynamique de développement grâce, notamment, au passage de l'autoroute Est-Ouest, ajouté à la création de nombreuses zones industrielles qui lui ont conféré un caractère industriel d'importance. (Source : (D.S.A) Direction Services Agricoles de la Willaya de Blida, 2014).

Des moyens humains et matériels mis en œuvre pour le redéploiement et la promotion de cette culture, le problème des maladies reste un facteur limitant les objectifs tracés dans tous les programmes de développement. Depuis 2004 jusqu'à 2013, la production des oranges en Algérie a augmenté d'un taux d'environ 113.51 %.(Source M.A.D.R, 2016).

2.5.2. Actualités sur la production d'agrume

L'agrumiculture s'étend d'Alger jusqu'à Tamanrasset et de Tlemcen jusqu'à El-Taraf, avec des conditions et des variétés différentes, également d'une région à l'autre.

À partir des sondages qui ont été faites, notamment dans La Mitidja qui détermine l'évolution de toute l'agrumiculture, il y a des rendements qui oscillent entre 185 et 190 quintaux à l'hectare, alors qu'ils étaient à 200 et 205 quintaux/ha. Sur les 63 000 ha d'agrumes en Algérie, 55 000 ha sont en production, la différence de 8 000 ha concerne les jeunes plantations, c'est-à-dire les plantations de 2008 qui ne sont pas encore en production et qui entreront en production en 2014. La moyenne des rendements est de 190 à 200 quintaux/ha, ce qui fait un potentiel de production de 10 millions à 11 millions de quintaux annuellement. «A terme, avec l'entrée en production des 8 000 ha, nous projetons d'arriver à une production de 13 à 14 millions de quintaux d'agrumes». Le verger agrumicole algérien est constitué de trois classes d'âge : les plantations de 0 à 10 ans, celles entre 10 et 40 ans (la catégorie qui produit le maximum) et celles de 45 et 50 ans, qui représentent à peine 12 000 ha font partie d'un programme de rajeunissement

consistant en l'arrachage graduel de ces plantations et à leur replantation. On souligne que si l'urbanisation dans la Mitidja s'est faite, en partie, au détriment des agrumes (en particulier dans les années 90), il y a eu par contre dans la même Mitidja des plantations d'agrumes en substitution à d'autres cultures (Source : (D.S.A) Direction Services Agricoles de la Wilaya de Blida, 2014).

La production d'agrumes pour la campagne agricole 2013-2014 à Blida a atteint son plus haut seuil depuis l'indépendance avec une récolte de plus de quatre (4) millions de quintaux. Les facteurs à l'origine de cette performance sont :

- les conditions climatiques favorables,
- suivi technique régulier assuré par les services compétents,
- les agriculteurs, qui ont bénéficié de sessions de formation sur l'entretien idoine des arbres, et leur protection des maladies, en plus du respect de l'itinéraire technique,

Le soutien financier des agrumiculteurs a contribué au développement de la filière, grâce à l'acquisition de nouveaux matériels et équipements qui ont permis une amélioration de son rendement tant sur le plan de la qualité que de la quantité.

La production d'oranges représente un taux de 70 % de la récolte agrumicole. Une grande partie des surfaces d'agrumes de la région de la Mitidja est concentrée au niveau de localité d'Oued El Alleug, et à un degré moindre celles de Mouzaia, Chebli, et Boufarik. La superficie agrumicole locale est estimée à 17.363 ha.

2.5.3. Réhabilitation des vergers agrumicoles

Actuellement, des efforts sont déployés par la DSA en coordination avec ses différents partenaires du secteur, pour la réhabilitation des vergers agrumicoles de la wilaya, dont un grand nombre sont devenus improductifs en raison de leur âge avancé. Le programme de développement de la filière agrumicole dans la Mitidja, a ainsi permis la plantation d'une surface de 1.422 ha en agrumes, au titre du quinquennal écoulé. Une partie de ces plantations a été destinée au remplacement des vieux vergers, remontant à l'époque coloniale,

alors que l'autre partie représente des extensions de vergers agrumicoles dans les communes de Blida, Boufarik, Chebli, Oued Alleug, Larbaa et de Chiffa, a-t-on indiqué de même source. Une autre surface de 3164,5 ha d'agrumes est programmée à la plantation, au titre du présent quinquennal 2014-2019, est-il encore signalé. La Chambre d'agriculture de Blida est partie intégrante dans ce programme de relance de la filière agrumicole, à travers l'organisation, à chaque campagne, de sessions de formation au profit des professionnels du secteur, mais aussi à l'endroit de jeunes intéressés par cette filière arboricole (Source : D.S.A., 2014).

Données	Date	Evolution
1 205 401 Tonnes	2013	≈ 117 019 
1 088 382 Tonnes	2012	≈ -18 957 
1 107 339 Tonnes	2011	≈ 318 687 
788 652 Tonnes	2010	≈ -56 300 

Tableau 2.1. L'enregistrement pour l'indicateur : Production d'agrumes (FAO, 2015).

Le classement du pays (Algérie) au niveau mondial est (donnée la plus élevée à la plus faible) : 18 / 131. L'Algérie : 53 enregistrements depuis 1961, la moyenne de ces enregistrements : 484 618 Tonnes. Donnée la plus élevée : 2013 est l'année la plus élevée pour l'indicateur : Production d'agrumes (tonnes). Le résultat est de : 1 205 401 Tonnes. Données la plus faible : 1985 est l'année la plus faible pour l'indicateur : Production d'agrumes (tonnes). Le résultat est de 244 106 Tonnes (FAO, 2015) [224].

PARTIE II

EXPERIMENTALE

CHAPITRE 3

MUTUALISME FOURMI-COCHENILLE

CHAPITRE 3

MUTUALISME FOURMI-COCHENILLE

3.1. Introduction

Les différentes approches biologiques, écologiques et éthologiques, sont complémentaires. Elles ont pour but de préciser le support de l'association fourmi-cochenille, de connaître la nature et le fonctionnement de cette association, et d'en mesurer les conséquences pour l'agrumiculture. L'activité des fourmis dans les vergers est en relation avec la répartition spatio-temporelle des cochenilles et directement ou indirectement avec la plante-hôte. Nous abordons l'association fourmi-cochenille. Une étude quantitative réalisée dans le verger à différentes échelles d'observation permet d'évaluer l'impact des fourmis sur les cochenilles et de montrer la variabilité des effets dans le temps. Un autre point important de notre travail concerne l'excrétion du miellat. Il existe une communication entre les deux insectes et la stratégie utilisée par les fourmis dans la récolte, semble la meilleure possible. En 1992 le travail de DARTIGUES [280] en Algérie a été apporté sur la relation entre fourmis et pucerons dans les orangeries de Kabylie il a constaté que l'action de la fourmi sur les pucerons dans les jeunes parcelles amène un dépassement des seuils économiques (seuils de dégâts tolérés) l'évolution des populations d'aphides est sous l'étroite dépendance de la plante-hôte et de la faune auxiliaire (prédateurs Aphidiphages). Notre travail est tenu sur le mutualisme cochenille-fourmi dans la zone de la Mitidja à climat méditerranéen.

3.2. Matériels et méthodes

cette partie porte sur la présentation de la région d'étude et la description de la station d'étude et objectif de choix de cite d'étude dans la région de Mitidja. Suivi par différentes méthodes (méthodes d'exclusion et les différentes méthodes d'échantillonnage) qui sont proposés. Les indices écologiques et les statistiques appropriés.

3.2.1. Présentation de la Zone d'étude

L'Algérie est située au centre du continent Nord-africain, avec une superficie de 2.381.741 km², elle est le plus grand pays en Afrique. Avec près de 1200 Km de côte sur la mer Méditerranée, elle est bordée à l'Est par la Tunisie, au Sud Est par la Libye, au Sud par le Niger et le Mali, au Sud-Ouest par la Mauritanie et à l'Ouest par le Sahara Occidental et le Maroc. Le relief algérien se compose de deux principales chaînes montagneuses : l'Atlas tellien et l'Atlas saharien : ce sont deux ensembles parallèles qui parcourent le pays d'Ouest en Est, elles se rapprochent au centre du pays jusqu'à presque se confondre à l'extrême Est (Aurès) vers la Tunisie. Ces deux chaînes constituent des frontières naturelles entre lesquelles s'intercalent de vastes plaines et hauts plateaux [230 ; 231].

Au Nord, au pied de l'Atlas Tellien, se trouvent les plaines côtières qui donnent directement sur la mer méditerranée. La bande du Tell, large de 80 à 190 km, s'étend sur près de 1200 km de côtes. Elle est formée par une chaîne de montagnes qui longe le littoral. Ces montagnes sont, souvent, séparées par des vallées parcourues de cours d'eau. Ce caractère confère à la région une richesse floristique et faunistique importante. Les plaines et les vallées du Tell abritent une grande partie des terres fertiles du pays - Entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien, on trouve un ensemble de plaines et hauts plateaux semi-arides parsemés de nombreuses dépressions appelées « Chotts », lesquels se transforment en lacs salés à la saison des pluies. Le point le plus bas d'Algérie se trouve au Chott Melrhir (-40m). L'ensemble s'étend des frontières marocaines à l'Ouest à la vallée du Hodna à l'Est du pays. Ces steppes se caractérisent par une végétation pauvre et clairsemée ; ces étendues sont colonisées par des associations d'herbacées et des touffes d'alfa [230 ; 231].

- Précipitation

Les précipitations constituent la variable climatique la plus anciennement utilisée et la plus couramment enregistrée. Pour ces raisons, elles sont précieux indicateurs pour étudier l'évolution de climat. Les données de pluies utilisées dans cette étude appartiennent aux stations météorologiques du réseau de l'Office

National de la Météorologie (ONM). L'importance de la variation saisonnière des précipitations, concorde avec son rôle primordial de régisseur des secteurs sensibles telles que : les activités agricoles et le mode de vie. Pour mieux comprendre le régime pluviométrique saisonnier, nous avons usité la méthode qui consiste à diviser l'année en quatre trimestres astronomiques, de sorte que les mois initiaux de chaque trimestre contiennent soit un solstice, soit un équinoxe [245]. Cette méthode définit quatre saisons de manière à ce que :

- la saison hivernal comporte les mois de : décembre, janvier et février (DJF).
- le printemps quant à lui intègre les mois de : mars, avril et mai (MAM).
- l'été les mois de : juin, juillet et août (JJA).
- l'automne est défini comme la période de septembre à novembre (SON).

- Zone d'étude

La Mitidja est la plus vaste plaine sublittoral d'Algérie. Avec une superficie totale de 1400 km². A une altitude moyenne de 50 m, avec une latitude (D.M.S) : 36° 36' 0Nord, et une longitude (D.M.S) : 3° 0' 0Est. L'analyse climatique de l'année 1982 à 2016 classe la région de notre étude dans la (Région 2) comme suit :

Région2 (centre du pays) : les stations météorologiques représentatifs sont Dar-El-Beida, Msila, Ksar Chellala leur températures moyenne est respectivement de 18.02°C, 19.08°C, 16°C. On peut parler d'un climat tempéré à cause de ces températures moyenne qui varient entre 15°C et 20°C .Le mois le plus chaude à 26.33°C (Dar-El-Beida), 31.69°C (Msila), 27.45°C (Ksar Chellala) en moyenne, pendant que le mois le plus froid à 11.21°C, 9.43°C, 6.86°C en moyenne, ce qui entraine une amplitude thermique (AT) annuelle de 15.12°C (Dar-El-Beida), 22.26°C (Msila), 20.59°C (Ksar Chellala) : on peut parler donc d'une amplitude forte car 15°C<AT<20°C. Les précipitations de toute la série pour El-Beida, Msila, Ksar Chellala est respectivement de 600.24mm ,122.57mm, 274.01mm. La précipitation est concentrée sur quelques mois, le mois le plus précipité est novembre [231].

Le climat de la région est typiquement méditerranéen avec une somme des précipitations qui varie entre 600 et 900 mm et une température moyenne de

19,45 à 30°C [246]. Le coefficient pluviométrique d'EMBERGER calculé sur la période 2000-2015 affiche un Q2 = 83,17 et une T_{min} = 1,5°C ce qui nous a conduit à situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique subhumide à hiver frais (Voire 4^{ème} Chapitre) [246].

3.2.2. La situation géographique de la Wilaya de Blida

La wilaya de Blida (la Ville des roses) est une collectivité publique territoriale algérienne située à 36° 29' 00" Nord, 2° 50' 00" Est, dans la plus vaste plaine sublittoral d'Algérie (La Mitidja). D'une superficie de 1478.62 Km² dont S.A.T (Surface Agricole Totale) = 66.280 Ha, de 65.253 Ha de surface forestière et 183.810 km² superficie agglomérations (Source : D.S.A de Blida, Algérie, 2017). Blida est entaillée dans les substrats profonds de l'Atlas tellien, les Gorges de la Chiffa serpentent transversalement dans la zone occidentale du Parc national de Chréa en un tracé sinueux suivant sub-parallèlement le cours de l'Oued Chiffa. Les Gorges sont traversées du nord vers le sud par la route nationale n° 1 reliant en un trafic très dense, la frange centro-tellienne du pays à sa partie méridionale. Les gorges de la Chiffa soutiennent de luxurieux endroits riches en cascades d'eau et en sculptures paysagères (figure 3.1).

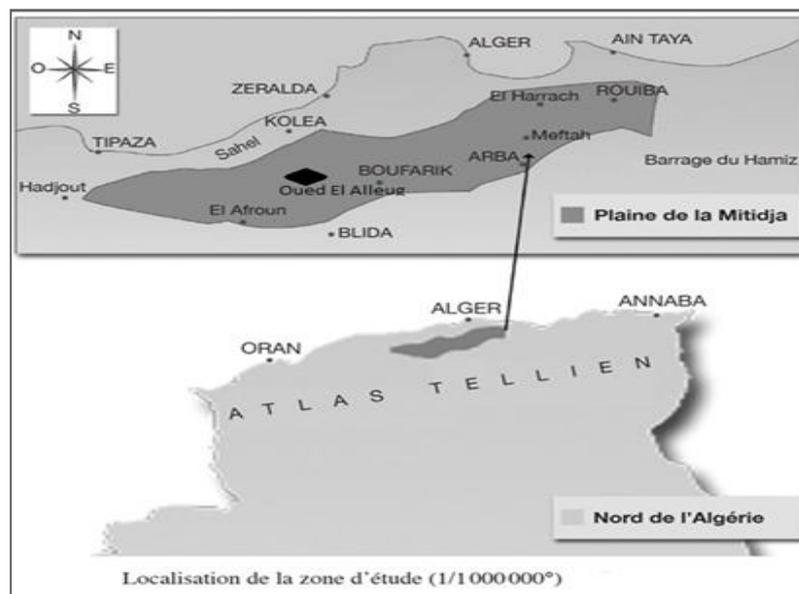


Figure 3.1. Situation géographique de la Wilaya de Blida (Source : support Stellite, 2014, modifié).

La commune occupe depuis six (6) années la première place nationale en matière de production d'agrumes. Il a néanmoins déploré un déficit en eau d'irrigation, en dépit de l'existence d'une importante nappe d'eau souterraine dans la région de Megtaâ Kheira. Ceci ajouté à l'interdiction faite aux agriculteurs locaux de procéder à des forages anarchiques sans autorisation (Source : D.S.A et U.N.P.A).

3.2.3. Choix de site d'étude

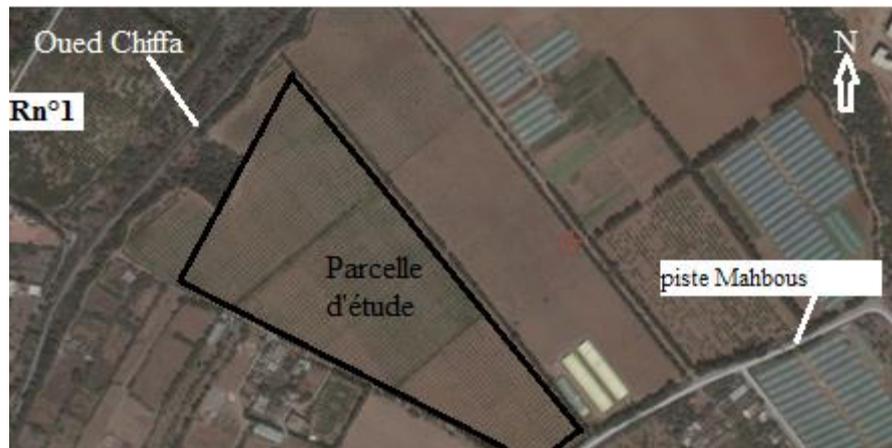
Après des sorties effectuées sur terrain dans la région de Blida au niveau de plusieurs vergers agrumicoles, le choix des sites d'étude est orienté par les critères suivants :

- Disponibilité du matériel biologique, à savoir la présence des fourmis et leurs nids ;
- Accessibilité dans la station d'étude durant toute l'année ;
- Facilité de transport ;
- Absence de piétinements, surtout d'enfants pouvant détruire le matériel installé sur terrain.

Pour des raisons expérimentales et des moyennes, nous avons préféré la station d'étude domaine SI-KHALED dans la commune de Bouarfa qui est située dans le centre de la Zone de Mitidja au sud de la wilaya de Blida, à environ 1 km au sud-ouest de wilaya de Blida et à environ 47 km au sud-ouest d'Alger et à environ 26 km au nord-est de wilaya de Médéa. La superficie est 67,16Km² les coordonnées (D.M.S) 36° 28' 01" nord, 2° 48' 59" Est (Figure 3.1). Nous avons effectué l'expérimentation dans le domaine SI-KHALED qui est constitué par l'arboriculture, plasticulture, et des cultures maraichères.

L'étude a été menée pendant deux saisons consécutives de croissance, de février 2013 à novembre 2014 dans un verger d'agrumes de 4 hectares situé dans ce domaine. Le verger a été irrigué et les plantes adventices étaient contrôlées par l'application locale d'herbicides. Dans ce verger, l'essai a été réalisé sur l'arbre jeune de *Thomson navel* âgé de 10 – 15 ans. La distance de plantation est de 5 m sur la ligne et 5 m entre les lignes, entouré de brise-vent constitué de cyprès et des oliviers. Pas d'insecticides dont les cinq années

précédentes ou au cours de la période expérimentale de deux années (Figure 3.2).



Rn°1 : Route nationale n°1.

A : Situation de domaine SI-KHALED, Bouarfa (Google earth, 2016, Originale).



Les bordures de verger (dans la photo à droite ligne de brise vent en perpendiculaire avec la ligne des oliviers)

B. Présentation de verger d'étude domaine SI- KHLED

Figure 3.2. Présentation de Station d'étude domaine SI- KHLED (Photo originale, 2016).

3.2.4. Objectifs et choix de la méthode

La méthode d'échantillonnage exige un ou plusieurs techniques de collecte des données et l'établissement d'un plan d'échantillonnage en fonction d'une stratégie, elle est choisie au préalable grâce à la littérature et aux quelques informations que l'on a de la population. Dans le cadre de la présente recherche, nous avons adopté une méthode de travail aussi bien sur terrain qu'au laboratoire.

3.2.5. Expériences d'exclusion

Les expériences d'exclusion consistent à séparer artificiellement les deux partenaires d'un mutualisme. Il s'agit d'une manipulation de terrain très classique dans l'étude des associations entre myrmécophytes et fourmis. Après avoir été utilisée avec succès par JANZEN en 1966 [281] sur des acacias, de nombreux auteurs l'ont par la suite appliquée à divers modèles en utilisant des protocoles variés. On peut citer l'injection d'insecticides à faible rémanence [281 ; 283 ; 284 ; 285 ; 286 ; 287 ; 288 ; 289], la mise en place de pièges collants empêchant les ouvrières d'accéder aux branches expérimentales [290 ; 291 ; 292] l'injection de solution savonneuse ou même l'ouverture des domaties [293 ; 294].

Notre protocole s'affranchit des biais potentiels pouvant résulter des méthodes énoncées ci-dessus, c'est-à-dire un effet répulsif ou létale des insecticides sur les reines décolonisatrices ou sur certains insectes phytophages, ou bien leur attraction vers les parties blessées de la plante. La recolonisation des plants traités n'a pu représenter qu'un biais marginal vis-à-vis de la protection contre les attaques de phytophages. En effet, même au bout de plusieurs mois, seules des reines fondatrices et de petites colonies naissantes étaient présentes. Leur impact sur les insectes visitant les plantes ne pouvaient qu'être minimales en comparaison de celui que peut avoir une colonie mature de plusieurs centaines d'individus entretenant un piège bien développé. Nos deux objectifs ont ainsi pu être atteints par cette expérience d'exclusion. Dans le cadre de notre étude, nous avons souhaité utiliser un protocole qui puisse non seulement garantir une mesure fiable du taux d'infestation des homoptères en absence de fourmis mais aussi

permettre la colonisation de ces mêmes plantes par des insectes. C'est pourquoi nous avons choisi d'exclure les fourmis en procédant à des emplacements de la colle (glu) non toxique au niveau du tronc d'arbres. Ainsi, puisqu'il ne nécessite ni substances chimiques artificielles ni produits nocif à la plante et à l'environnement.

3.2.5.1. Protocole détaillé

Nous avons procédé à des expériences d'exclusion en utilisant une technique non-destructive et ne nécessitant pas l'utilisation d'insecticide. Une fois testées avec succès sur quelques plants pendant l'année 2012 dans le verger de cinq palmiers d'Oueled El Alleug (Blida). Dont l'objet de la réalisation de notre étude nous avons exécuté le protocole dans le verger de domaine SI-KHALED Bouarfa en 2013 et 2014, les étapes suivantes étaient appliquées à chaque fois :

- Elimination des plantes adventices.
- Les ouvrières de fourmi présentes à la surface de l'arbre étaient toutes prélevées à l'aide d'un aspirateur à bouche ou manuellement avec prudence.
- Tous les individus exclus étaient récoltés, de façon à les empêcher de recoloniser leur plante à partir du sol. De plus, tous les arbres étaient visités au moins une fois dans les 10 jours suivant l'exclusion.

L'unité expérimentale est composé de quatre blocs répétés, auquel un seul traitement a été appliqué à deux parcelles (*plots*) : avec les fourmis (*Ants - allowed*) et parcelle sans fourmis car les fourmis sont exclues (*Ant-exclusion*). Cette somme équivalente à 8 emplacements par verger chacun d'entre eux contenant 16 arbres (quatre rangées de quatre arbres par rang). Fourmis ont été exclues dans les 16 arbres des parcelles sans fourmi et laissés inchangés dans les 16 arbres des parcelles avec fourmi. Seulement les quatre arbres centraux de chaque parcelle (de 16 arbres) ont été utilisés pour les échantillonnages selon PEKAS et *al.* (2011) et CALABUIG et *al.* (2013) [295 ; 296].

Avec cette méthode, nous assurons que les arthropodes capturés provenaient les arbres de la même parcelle et le traitement correspondant. Ant-exclusion a débuté en Février 2013 et a été maintenue jusqu'en novembre 2014 (durée de 22 mois). Au cours de la première saison (2013) ; l'exclusion

de la fourmi a été atteint en peignant une bande large de 25 cm de peinture et de glu non toxique (*Colla topicida non velenosa*, KENDA FARBEN, made in Italy®) sur le tronc CALABUIG et al. (2013) [296], *ant-exclusion* des arbres ont été inspectés chaque mois et la bande a été renouvelée si les fourmis ont été observées en traversant la bande. Dû au fait que nous avons observé des fourmis traversant les bandes peintes dans certains des arbres au cours de la première saison de croissance. Les arbres ont été élagués régulièrement et la végétation au sol a été coupée pour empêcher des moyens alternatifs pour les fourmis rejoindre les marquises [296] (Figure 3.3).

Remarque : dans notre étude le terme Traitement est spécifique à la méthode d'exclusion indique un échantillon mesurer avec- fourmi ou en exclusion de fourmi.

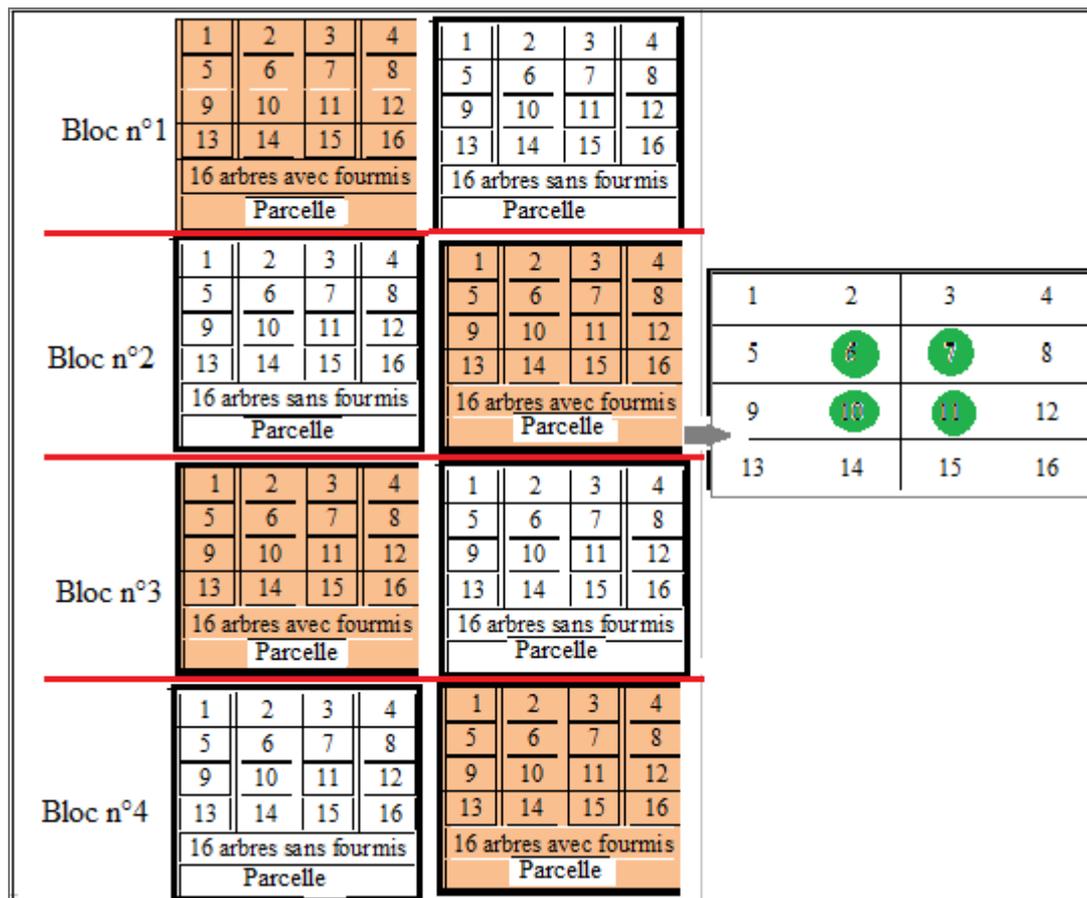


Figure 3.4 : Plans expérimental de l'Expériences d'exclusion (Original).

3.2.5.2. Méthodes et techniques de dénombrement des fourmis

La mise en évidence de la myrmécofaune s'élabore à partir de la confrontation des relevés sur le terrain. D'après McGAVIN (2000) [297], La meilleure époque de l'année pour effectuer des relevés s'étend de la fin avril à la fin juillet. Les fourmis sont alors en pleine activité. Mais pendant les périodes froides (fin octobre à début avril) toute recherche est évidemment inutile, les fourmis se réfugiant pour hiverner [297].

A. Capture des ouvrières

Chez certaines espèces de fourmis, il y a deux sortes d'ouvrières ; de petites de forme normale et des grosses à tête et mandibule énormes. La capture des espèces de fourmis s'effectue sur des fourmis vivantes qui se trouvent souvent sur le sol chaque fois que possible. Les espèces de grande taille comme le genre *Messor* et *Cataglyphis* sont chassées aisément à la main. On peut utiliser une pince ou un sachet afin d'éviter leurs morsures. Alors que les espèces minuscules et arboricoles comme le genre *Crematogaster* sont récolté à l'aide d'une pince pour ne pas les tuer [298].

B. Capture des sexuées

De façon régulière nous avons suivis les fourmis en fonction de données bibliographiques sur la période d'essaimage sur les espèces connues dans les régions d'étude. Pendant la reproduction les sexués mâles et femelles sont reconnues par la présence d'ailes entières parfaitement développées. Parfois elles sont plus grandes que les ouvrières. Leur thorax est proportionnellement plus gros, mais leur tête plus petite [299]. Bien que les sexuées sont ailées, de ce fait elles sont chassées au filet (filet à papillon). Pour une ultérieure étude systématique, les espèces de fourmis capturées sont préparées au laboratoire.

- Montage des génitalia

Les genitalia représentent les pièces sclérotinisées de l'appareil reproducteur mâle et femelle des insectes, ils jouent un rôle primordial dans

l'identification des espèces. La méthode d'étude des génitalia consiste en une incision de l'extrémité abdominale de la fourmi à l'aide d'une paire de ciseau fin. Les extrémités abdominales sont introduites dans un bêcher contenant de la potasse (KOH) et sont portées sur une plaque chauffante pendant 5 à 10 minutes, selon la sclérotinisation des structures génitales [162]. La préparation subit ensuite plusieurs bains dans de l'eau distillée afin d'éliminer les résidus de la potasse. Les impuretés sont nettoyées avec des épingles entomologiques sous une loupe binoculaire. A la fin, le génitalia est mis entre lame creuse et lamelle dans une goutte de liquide de Faure, puis passée sur une source de chaleur (plaque chauffante) pour homogénéiser et éviter ainsi la formation de bulles d'air. Les représentations des génitalia sont effectuées en utilisant une loupe binoculaire [162].

- Méthode des pots Barber ou pièges trappes (pitfall)

Le pot Barber permet l'échantillonnage des biocénoses d'invertébrés qui se déplaçant à la surface du sol et les insectes volant qui tombent par accident. Il consiste en un récipient de toute nature ; un gobelet, des boîtes de conserve, ou différents types de boucaux et de bouteilles en plastique coupée [301]. Dans le cas présent, les pots pièges utilisés sont des boîtes de conserve cylindriques vides, récupérées, de 15 cm de diamètre et de 18 cm de hauteur et d'un volume d'un litre. Ces pièges d'interception au nombre de 20 pièges sont enterrées verticalement, de façon que leur bords supérieures soit au ras du sol. Chaque pot est rempli au deux tiers de sa hauteur avec de l'eau et une pincée de détergent en poudre pour fixer les fourmis qui tombent dans le pot. Les 10 pots Barber utilisés, sont installés en ligne de 100 m à intervalle régulier de 10 m entre chaque deux pot avec trois répétitions. Après 4 jours de leurs installation, les contenus de ces pièges sont récupérés séparément dans des boîtes de pétris portant des étiquettes où la date, le lieu et le numéro des pots sont mentionnés.

Un prélèvement direct à la main consiste à échantillonner les individus qui se propagent sur terre. Dans ce travail, la capture directe consiste à ramasser pendant 3 minutes, au moment de récupération des contenus des pièges enterrés, toutes les fourmis visibles dans un rayon de 2 mètres autour de chaque pot

Barber. Ces dernières sont mises dans des boîtes de pétris portant des étiquettes, où la date, le lieu et le numéro de piège sont mentionnés [302]. Cette opération est répétée chaque mois de la saison printanière et estivale de chaque année (2013-2014).

C. Méthode du filet fauchoir

Le filet fauchoir permet la capture des insectes peu mobiles, existant dans les herbes et les buissons. Cette méthode consiste à animer le filet par des mouvements de va-et-vient, proche de l'horizontale, tout en maintenant le plan perpendiculaire au sol [302]. Dans le présent travail, le filet utilisé est composé d'un cercle de fer de 30 cm de diamètre, relié à un sac en tulle de 80 cm de profondeur. Son manche est de 120 cm. Une sortie par mois est effectuée, dont laquelle 5 fois à 10 coups de filet fauchoir sont appliqués sur la végétation herbacée. Le contenu du filet est récupéré dans une boîte de Pétri où sont mentionnés la date, le lieu et le numéro de capture. Les boîtes sont ensuite ramenées au laboratoire pour la détermination des spécimens capturés. Cette opération est répétée chaque mois de l'année 2013 à 2014.

D. Méthode des appâts

Cette méthode est inspirée de celle appliquée par PABLO (2004) qui a réalisé un inventaire de la myrmécofaune [303]. 5 appâts sur une ligne de 25 m avec un intervalle de 5 m entre pièges ont été installés. L'appât utilisé est composé d'un mélange de sucre mis sur une feuille en papier. Les pièges sont laissés une heure de temps, puis les fourmis existant sur chaque appât sont récupérées séparément et sont mises dans des boîtes de Pétri, qui portent une étiquette où sont notés, la date, le lieu et le numéro d'appât. Cette opération est répétée chaque mois.

E. Méthode des pièges jaunes

Les pièges jaunes sont des récipients en matière plastique de couleur jaune, dans lesquels on place de l'eau additionnée de produit détergent. Ces récipients sont placés près de la végétation, soit au sol en herbe rase, soit sur des plateaux fixés à des piquets ou directement aux branches. Ces pièges colorés ont

une double attractivité d'une part, due à leur teinte et d'autre part à la présence de l'eau [301 ; 304].

La reconnaissance et l'identification

La reconnaissance et l'identification des fourmis est rendu possible grâce à l'utilisation d'une loupe binoculaire et des clefs de déterminations comme celles de CAGNIANT (1996, 1968), BERNARD (1954, 1968) et BARECH et DOUMANDJI (2002) [305 ; 306 ; 307 ; 308 ; 309], un ruban de papier millimétrique est également nécessaire pour les mensurations. La comparaison morphométrique à l'aide de l'indice de détermination morphométrique b/a : Longueur entre la carène supérieure du clypeus et la base de l'échancrure / Profondeur de l'échancrure du clypeus (BERVILLE et al, 2013) [310] (figure 4.5).

On souhaite d'identifier les espèces à la venir par des études chimiques telles que l'identification spectrométrique des hydrocarbures cicutulaires [310].

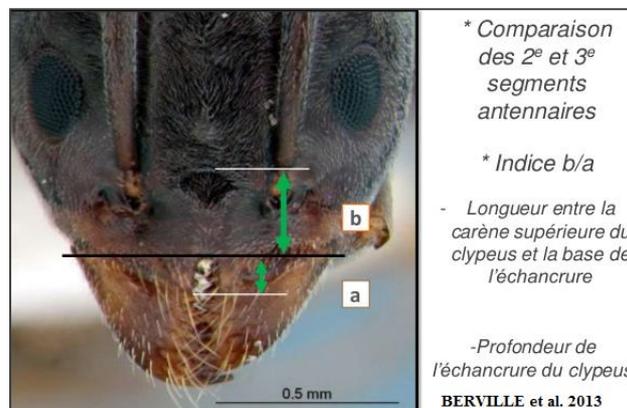


Figure 3.5 : Identification des fourmis par comparaison morphométrique [310].

3.2.5.3. Méthode adoptée pour l'étude de l'activité des fourmis

La méthode consiste à effectuer une surveillance de l'activité selon la méthode de PEKAS et al. (2011) [311]. L'activité de fourmi a été définie comme le nombre de fourmis passe de haut en bas traversant les lignes horizontales imaginaires sur le tronc de l'arbre pendant 1 min. Nous avons mesuré l'activité de

fourmi en observant le tronc des quatre arbres centrales sur chaque parcelle à traitement avec-fourmi et traitement fourmi-exclut de 10.00 heure de matin à 14.00 heure, une période de la journée quand les fourmis sont actives (PEKAS et al., 2011). L'activité de fourmi a été suivie le même jour que les ennemis naturels ont été prélevés. L'échantillonnage a duré dix mois (cinq mois de l'année 2013 - Avril, mai, juin, juillet, août) et cinq mois de l'année 2014 (Avril, mai, juin, juillet, août). La manipulation doit être réalisée délicatement pour ne pas perturber l'activité normale des fourmis [311].

3.2.5.4. Echantillonnage des arthropodes

Les arthropodes ont été échantillonnées avec des pièges collants jaunes et en utilisant l'aspiration dans les quatre arbres de chaque parcelle (voire Protocole détaillé), un piège collant jaune 100 mm 250 mm, a été placé à 1,60 m d'altitude en l'accrochant sur une brindille [312]. Les pièges collants ont été remplacés tous les mois. Les échantillons ont été transférés au laboratoire et maintenus dans un congélateur à 4°C jusqu'à leur identification. Les différentes méthodes : Méthode des pièges jaunes, méthode du filet fau choir, la méthode des pots Barber ou pièges trappes (vital) sont aussi utilisées pour les Arthropodes et ennemis naturels [313].

3.2.5.5. Méthodes et techniques de dénombrement des cochenilles

Pour quantifier les variations d'abondance de la cochenille et analyser l'influence des facteurs de régulation, nous avons procédé à des dénombrements sur le terrain. Les comptages sont pratiques selon un protocole rigoureux : Toutes les cochenilles rencontrées sont dénombrées avec mention du stade de développement (L1premier stade larvaire mobile, L1premier stade larvaire fixe, L2 deuxième stade larvaire mâle, L3 adulte ailée ou mâle adulte, jeunes femelles, femelles pondeuses (avec ovisac), femelle adulte) et de leur état (vivantes, mortes, parasitées ou mycosées). Des numérations analogues sont opérées sur 6 feuilles, repérées au hasard sur le rameau, dans deux catégories d'âge : jeunes feuilles (5 dernières feuilles vers l'apex) et vieilles feuilles (5 dernières feuilles vers

la base). 180 feuilles différentes sont ainsi examinées chaque semaine. Enfin sur 100 apex repérés au hasard et parmi lesquels figurent les 30 apex du comptage, on contrôle la présence ou l'absence de cochenilles en attribuant à chaque apex un coefficient subjectif d'infestation :

- 0 à 25 très faible à faible ; 25 à 50 faible à moyen.
- 50 à 75 moyen à fort ; 75 à 100 fort à très fort.

On obtient ainsi, chaque semaine, trois paramètres qui nous permettront d'étudier les variations de la densité du ravageur : pourcentage des apex infestés ; taux moyen d'infestation ; nombre moyen de cochenilles par apex [214].

En période de faible densité, les dénombrements sur le terrain sont aisés. En phase de pullulation, les colonies apicales sont extrêmement denses et le comptage à vue est difficile et moins précis. On recourt alors à une numération sur place du stade le plus visible et le moins abondant dans la colonie (femelle) que l'on associe à un comptage au laboratoire, sous la loupe binoculaire, de toutes les cochenilles présentes sur 10 apex prélevés parmi les 30 repères au hasard. On obtient ainsi un coefficient d'erreur qui permet de corriger le dénombrement visuel de terrain et de quantifier avec exactitude l'abondance de la cochenille. Ces numérations au laboratoire permettent également de connaître la proportion de chaque stade au sein de la colonie et d'avoir une image de la structure de la population au moment du prélèvement [314].

Nous avons contrôlé la précision de la méthode en appliquant les tests de comparaison des moyennes et des variances sur des échantillons prélevés simultanément. Ils ont révélé que l'échantillon de 30 apex était représentatif quelle que soit la densité du ravageur et qu'en période de pullulation, un échantillon limite de 10 apex était suffisant. Pour mesurer les variations de la densité des parasites et des prédateurs qui se développent aux dépens de la cochenille et influent sur la dynamique de ses populations, nous avons utilisés plusieurs techniques : le piégeage sur cylindres coloré englués, les comptages à vue sur le terrain ou au laboratoire, sous la loupe binoculaire [315].

3.2.5.6. Méthodes et techniques de dénombrement des pucerons

Les observations ont été menées simultanément avec les cochenilles pendant deux années 2013-2014 dans le même verger de *Thomson navel* les colonies de pucerons entretenues par fourmis étaient inspectées. Lorsqu'une colonie était découverte, celle-ci était identifiée à l'aide d'un ruban rouge (Figure 4.6) pour permettre son suivi au cours des prochains relevés [11]. Au début de chaque nouveau relevé, les sites déjà découverts précédemment étaient inspectés en premier, puis lorsque certaines colonies de pucerons avaient disparu, de nouveaux sites étaient recherchés à fin de conserver le nombre de colonies étudiées. Pour chaque relevé, le nombre de fourmis se trouvant sur la colonie de pucerons ou dans sa proximité immédiate (environ 10 cm autour) était estimé visuellement et une approximation du nombre de pucerons était faite.

Prélèvement direct : Dans le but d'avoir des informations sur la population du puceron et l'identification des espèces de puceron nous avons suivi une autre méthode d'échantillonnage dans le même verger durant la période d'étude, allant de janvier 2013 à décembre 2014, des prélèvements sont effectués à raison d'une fois par mois. Au cours de ces deux années d'étude, 16 jeunes feuilles infestées sont prélevées de 4 arbres soit 4 feuilles par arbre, suivant les 4 points cardinaux. Ces jeunes feuilles sont prélevées au niveau des extrémités des jeunes pousses. Cette technique est déjà appliquée par FADAMIRO et al. (2008), YOLDAS et al. (2011) et MOSTEFAOUI et al. (2012), pour étudier les pucerons aux Etats-Unis, en Turquie et en Algérie respectivement [316 ; 317 ; 318]. A chaque date d'échantillonnage, les feuilles prélevées sont conservées dans des sachets de papier afin de les transporter au laboratoire. Les pucerons sains collectés ont été conservés dans des flacons contenant de l'éthanol jusqu'à leur identification. Bien que les arbres échantillonnés d'après cette méthode soient or les quarts arbres incluent dans le traitement avec-fourmi et fourmi –exclut.

Une incision au niveau de l'abdomen est pratiquée. Ensuite, les échantillons sont plongés dans une solution de potasse (KOH) chaude pendant quelques minutes. Il est procédé à un nettoyage dans deux bains d'eau pour se débarrasser de la potasse. Les individus sont transférés dans une solution de

chloral phénol pendant quelques jours afin d'éclaircir les spécimens. Le montage est effectué dans une goutte D'EUKITT placée entre lame et lamelle [319].

L'identification des pucerons passe par l'observation de certains caractères morphologiques, tels que, la nervation des ailes, le tubercule frontal, la longueur des antennes, la forme et la couleur des cornicules, la forme de la cauda et le nombre de ses poils. La détermination des pucerons a été réalisée au niveau de l'espèce en utilisant les clés d'identification de STOETZEL (1994) et BLACKMAN & EASTOP (2000) et à l'aide de Docteur AROUN de département de biotechnologie de l'université SAAD DAHLEB Blida, Algérie [218] ; [320].

Le travail a été réalisé sous le soutien de professeur FERRAN GARCIA MARIE dans laboratoire de zoologie de l'institut agroforesterie de la méditerranée, Université polytechniques de Valence, Espagne.

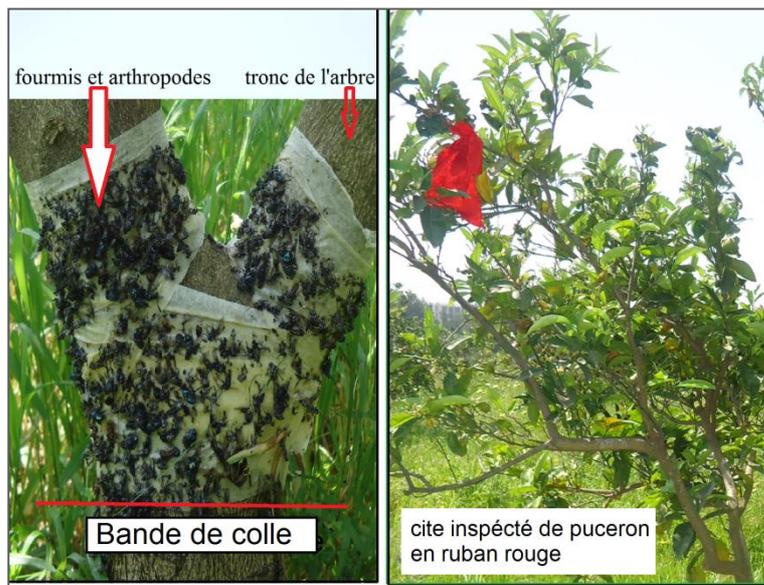


Figure 3.6 : Application de la colle (glu) sur le tronc (BOUKOFTANE, 2012).

Photo à gauche montre le collage de fourmis et arthropodes sur la bande de la colle. La photo à droite montre la rencontre des colonies de puceron par un ruban rouge.

A. Dynamique de population de ravageur recensé

Selon DAJOZ (1985), la distribution des individus d'une espèce dans leur habitat nous enseigne sur l'homogénéité ou l'hétérogénéité dans leur

répartition, les manifestations d'une tendance au regroupement et les conséquences d'une exploitation sélective du milieu pour notre part, retiendrons la formule suivante :

$$S^2 = 1/n-1. \Sigma (x - \bar{x})$$

Avec x : Le nombre d'individus dans chaque prélèvement, \bar{x} : La moyenne de l'ensemble des comptages effectués sur la parcelle pour un échantillon, n : Nombre d'individus totaux dans chaque prélèvement. Selon la valeur de la variance, est qualifiée d'une : Distribution régulière si $S^2/m < 1$, Distribution aléatoire si $S^2/m = 1$, Distribution agrégative ou contagieuse si $S^2/m > 1$, Distribution uniforme si $S^2/m = 0$ [321].

B. Diversité de Prédateur et parasitoïde

La diversité des ennemies naturelles a été mesurée à chaque date d'échantillonnage en calculant la richesse en espèces (S) (nombre d'espèces) et l'indice de diversité de SHANNON et WEAVER (1949), nous avons inclus les ennemis naturels en commun. L'indice de Shannon et Weaver n'a de signification que s'il est calculé pour une communauté d'espèces exerçant la même fonction au sein de la biocénose. Il est apparu nécessaire de combiner l'abondance relative des espèces et la richesse totale a fin d'obtenir une expression mathématique de l'indice général de la diversité [322]. Cet indice est donné par la relation suivante :

$$H' = -\sum q_i \log_2 q_i$$

Car H' : indice de diversité exprimé en bits ; $q_i = n_i/N$ dont n_i : nombre des individus des espèces i et N : nombre total des individus.

Les organismes d'une même communauté étant de taille très différente, la formule de SHANNON et WEAVER permet de calculer les diversités à partir des biomasses spécifiques. Les valeurs de H varient de 0, dans le cas où la communauté n'est composée que d'une seule espèce, à 4,5 ou 5 bits par individu pour les communautés les plus diversifiées. La diversité maximale est représentée par H' max, elle correspond à la valeur la plus élevée possible de peuplement calculé par la formule suivante :

$$H' \text{ max} = \log_2 S$$

Car **S** est le nombre total des espèces trouvées lors de **N** relevés [323 ; 324].

- La qualité d'échantillonnage (**Q**) est un indice permettant d'apprécier si la pression de l'échantillonnage est suffisante. Il est représenté par la formule (**Q = a/N**), a: nombre d'espèces observées une seule fois. N: nombre total de relevés [322].
- Richesse totale (S): La richesse totale est un paramètre fondamental d'une communauté d'espèces qui est le nombre d'espèces que comporte le peuplement considéré [325]
- Richesse moyenne (Sm): La richesse moyenne est le nombre moyen des espèces contactées à chaque relevé. Elle permet de mettre en évidence l'hétérogénéité des communautés d'espèces des différents ordres. Cette hétérogénéité sera d'autant plus forte que la richesse moyenne est plus élevée [322].
- Fréquence relative (Fc): La fréquence relative est le nombre brut de relevés dans lesquels l'espèce est observée :

$$F_c = (P_a/p) * 100.$$

Fc: fréquence relative. **Pa**: nombre des relevés où l'espèce est observée, **P**: nombre de relevés. Si **Fc** = 100% l'espèce est omniprésente. Si 75% < **Fc** < 100% l'espèce est Constante. Si 50% < **Fc** < 75% l'espèce est régulière. Si 25% < **Fc** < 50% l'espèce est accessoire. Si 5% < **Fc** < 25% l'espèce est accidentelle, si **Fc** < 5% l'espèce est rare [321].

- Fréquence centésimale ou abondance relative renseigne sur l'importance du peuplement considéré, et caractérise la diversité faunistique d'un milieu [326]. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$A_r = (n_i/N) * 100$$

Ar : Abondance relative ; **N** : nombre totale d'espèces ; **ni** : nombre totale des individus par espèce [321].

- Indice d'équipartition

$$E = H' / H' \text{ max} = H' / \log_2 S$$

Correspond au rapport de la diversité observée de SHANNON-WEAVER (H') sur la diversité maximale théorique ($H' \text{ max}$), elle varie de 0 à 1. Quand l'équitabilité tend vers 0, il y a un déséquilibre entre les effectifs des espèces présentes, La totalité des effectifs est concentré sur une seule espèce qui est dominante. Quand l'équitabilité tend vers 1, cela signifie qu'il y a un équilibre entre les effectifs des espèces présentes qui auront la même abondance.

3.2.5.7. Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été effectuées mise en commun des données provenant des pièges et des échantillons d'aspiration pour chaque mois (c.-à-d. février, mars, Avril, mai, juin, juillet, août, septembre, octobre, novembre, décembre de l'année 2013 et en janvier, février, mars, avril, Mai, juin, juillet, août, septembre, octobre, novembre de l'année 2014). Cependant, l'échantillonnage était compatible sur chaque arbre afin que le biais doive être constant, éventuellement sans incidence sur les résultats (GALABUIG et *al*, 2013) [296].

L'analyse de variance est préconisée pour savoir si la moyenne d'une variable quantitative varie significativement selon les conditions. Nous avons employé Le test de NEWMANS-KEULS, le test ANOVA et le test de corrélation. L'analyse de variance permet de montrer les divergences entre les populations, ce qui permet donc parfois de définir les sources de variabilité. Cette méthode statistique permet de décomposer la variabilité globale observée dans une population en composantes interne et externe à la population HAMMER et *al*, (2001).

3.2.5.7.1. Comparaison entre ennemis naturels

Pour la comparaison entre l'abondance des ennemis naturels spécifiques en présence de fourmi (traitement avec-fourmi) et en absence de fourmi (traitement exclusion de fourmi (sans- fourmi)), nous avons n'inclus que les espèces représentées par plus de 100 individus [296]. Nous avons appliqué l'ANOVA à mesures répétées sur l'abondance de toutes les espèces, le Traitement (avec-fourmi contre sans - fourmi) était le facteur fixe, la date de

l'échantillonnage a été un facteur de mesures répétées. Les données étaient log-transformées afin de répondre à des hypothèses de normalité. À corriger pour type d'erreur associée à effectuer plusieurs tests de signification. Toutefois, cette méthode est très prudente lorsqu'un grand nombre de tests est effectué et son application peut gonfler considérablement le type erreur [327]. Tous les ANOVA ont été réalisées à l'aide du logiciel PAST. Pour comparer la structure de la communauté des ennemis naturels dans avec-fourmi (*ant-allowed*) et fourmi-exclut (*ant-exclus*) des traitements, analyses de variance multivariée ont été appliquée aux prédateurs et parasitoïdes [328].

3.2.5.8. L'indice d'entretien

Selon la méthode de FISCHER et *al.* (2001), nous avons considéré que pour chaque espèce de cochenille ou espèce de puceron était inféodé le nombre de fourmis correspondant au pourcentage de l'espèce considérée sur l'ensemble des deux populations (population de fourmi avec population de cochenille ou population de fourmi avec population de puceron) Soit :

- F : le nombre de fourmis,
- N1 : le nombre d'individus de l'espèce **1** de cochenille et **N2** de l'espèce 2...ex alors **F1** correspondant au nombre de fourmis inféodées de l'espèce **1** est :

$$\mathbf{F1 = F * N1 / (N1 + N2)}.$$

- Ce traitement est possible car au sein des colonies mixtes, le niveau d'entretien des deux espèces est similaire à celui de l'espèce « préférée » [101].

3.2.5.8.1. Evaluation de calcule de l'indice d'entretien par les fourmis pour chaque espèce de cochenille ou et puceron

Nous avons calculé l'indice d'entretien par les fourmis pour chaque espèce de cochenille et l'indice d'entretien par les fourmis pour chaque espèce de puceron. Cet indice représente le nombre de cochenille ou le nombre de puceron

divisés par le nombre de fourmis et fournie un indice sur le niveau d'entretien des cochenilles par les fourmis, et ou le niveau d'entretien des pucerons par les fourmis. Cet indice a été utilisé à plusieurs reprises et se base sur le fait que le nombre de fourmis présentes une relation linéaire positive avec le nombre de cochenille ou avec les pucerons (ADDICOTT 1979, BRETON et ADDICOTT 1992, FISCHER et al. 2001, SAKATA 1999 *in* [11]).

1. En comparant les niveaux moyens d'entretien entre les différentes espèces à l'aide d'une analyse de variance, nous avons déterminé la préférence des fourmis pour les différentes espèces de cochenille.
2. En comparant les niveaux moyens d'entretien entre les différentes espèces à l'aide d'une analyse de variance, nous avons déterminé la préférence des fourmis pour les différentes espèces de puceron.

Afin de vérifier l'existence d'une corrélation entre le nombre de cochenille et l'indice d'entretien, nous avons dans un premier temps vérifié la normalité des valeurs. Au besoin, les valeurs étaient transformées en absence de normalité. Par la suite, une corrélation a été réalisée entre le nombre de cochenille et l'indice d'entretien.

Nous avons vérifié aussi le nombre de puceron et l'indice d'entretien, nous avons dans un premier temps vérifié la normalité des valeurs. Au besoin, les valeurs étaient transformées en absence de normalité. Par la suite, une corrélation a été réalisée entre le nombre de puceron et l'indice d'entretien.

3.3. Résultats

3.3.1. Activité de fourmi dans le verger

3.3.1.1. Richesse des espèces de Formicidae échantillonnées par la méthode des pots-Barber dans le site d'étude

La richesse représente un des caractères fondamentaux caractérisant un peuplement. Les résultats de la richesse totale sont présentés dans le Tableau (3.1).

Sous -Famille	Genre	Espèces (2013)	Espèces (2014)
Myrmicinae	<i>Tetramorium</i>	<i>Tetramorium biskrensis</i>	<i>Tetramorium biskrensis</i>
	<i>Messor</i>	<i>Messor barbarus</i>	<i>Messor barbarus</i>
Dolichoderinae	<i>Tapinoma</i>	<i>Tapinoma simrothi</i>	<i>Tapinoma simrothi</i>

Tableau 3.1. Richesse des Formicidae capturées dans les pièges de verger de domaine SI-KHALED, Bouarfa (Mitidja centrale) en 2013 et 2014.

Au niveau de verger de domaine SI-KHALED (Bouarfa, Mitidja centrale), la richesse notée est de trois espèces *Tetramorium biskrensis*, *Messor barbarus*, *Tapinoma simrothi* durant les deux années d'échantillonnage. Elles sont réparties entre deux sous familles, la famille des Myrmicinae et Dolichoderinae.

3.3.1.2. Reconnaissance des espèces de fourmis capturées

Messor barbarus: Espèce de grande taille de couleur noire brillante. Strictement granivore d'où son nom « Moissoneuse ». Elle forme de grands nids jusqu'à 1mètre de diamètre. Dans la colonie, on distingue des ouvrières simples petites et des grandes à grosse tête d'un rouge sombre. La femelle ressemble à l'ouvrière, elle est entièrement noire à tégument sculpté et ou lisse brillant et à tête plus ou moins carrée. Le mâle est petit par rapport à la femelle, à tête petite non carrée, pourvu de longues poiles blanches.

Tetramorium biskrensis : Espèce vivant dans les milieux modifiés par l'homme et le pâturage de couleur brun – rougeâtre. Les nids sont observés comme des petits trous dans le sol. Les ouvrières sont agressives et peuvent s'attaquer à d'autres espèces de fourmis. On reconnaît cette espèce par sa tête rouge plus ou moins arrondie striée longitudinalement et aux deux dents qu'elle possède sur l'épinotum et le métasternum.

Tapinoma Simrothi (KRAUSSE, 1909) : Espèce petite noire et brillante extrêmement grouillante dans les cultures arrosées, préférant les sols argileux et humides. Sa présence sur les plantes est souvent accompagnée des pucerons et cochenilles. Pétiole d'un seul article souvent épigé (voir chapitre 2).

3.3.1.3. Abondance relative des espèces de fourmis capturées dans les pièges

On calculant l'indice d'abondance relative des espèces de fourmis capturées dans les pièges (domaine SI-KHALED, Bouarfa, Mitidja centrale) pour savoir l'espèce de fourmi dominante dans ce dernier.

Espèces	Année 2013		Année 2014	
	Ni	Ar	Ni	Ar
<i>Tetramorium sp</i>	51	18,27	79	18,67
<i>Messor barbara</i>	36	12,90	88	20,80
<i>Tapinoma simrothi</i>	192	68,81	256	60,52
Total(N)	279	100	423	100

Ni : nombre d'individu de chaque espèce ; Ar : l'abondance relative.

Tableau 3.2 : L'abondance relative des espèces de fourmis capturées dans les pièges.

L'indice d'abondance le plus grand marqué est 68,81 % représenté par l'espèce *Tapinoma simrothi* (Krausse, 1909) pour l'année 2013 sur la variété *Thomson navel*, suivie respectivement par l'espèce *Messor barbara* (20,80%) en 2014, et

enfin *Tetramorium biskrensis* avec une abondance de (18,27%) de la même année (Tableau 3.2).

3.3.1.4. Activité de *Tapinoma simrothi*

3.3.1.4.1. Effets d'exclusion sur l'abondance de *Tapinoma simrothi* dans les pièges

La figure représente l'abondance des fourmis au cours deux années 2013 et 2014, l'effectif est recueilli par les pièges et l'estimation visuelle des fourmis sur arbres dans les parcelles traitement avec-fourmi et fourmi-exclu.

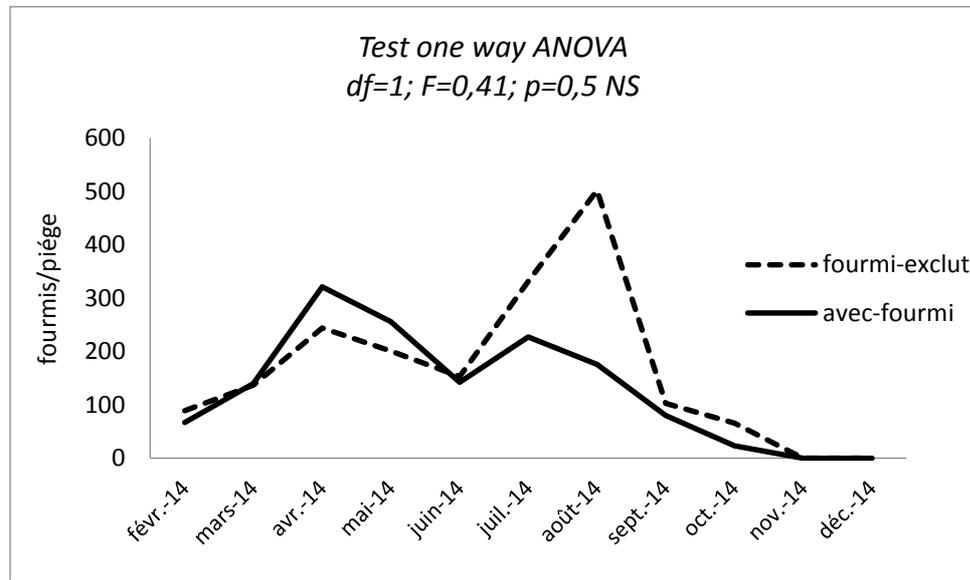


Figure 3.7 : Effets d'exclusion sur l'abondance de *Tapinoma simrothi* dans les pièges

L'analyse de la variance entre l'abondance des fourmis tenu dans les pièges des parcelles traitement avec- fourmi et fourmi-exclut est non significatif $df= 1 ; F= 0,4 ; P= 0,5$. On remarque dans la figure (3.7) un tracé bimodal des courbes représentant le nombre de fourmi dans les pièges au cours de toute l'année 2014. On assiste une augmentation de nombre de fourmi dans les pièges des parcelles à traitement fourmi-exclut $n=502$ dans le mois d'août et $n= 244$ dans le mois d'avril. Dans les pièges des parcelles à traitement avec-fourmi le nombre le plus élevé est dans le mois d'avril, $n=321$, et dans la mi-juillet de 244 fourmis.

3.3.1.4.2. Abondance de *Tapinoma simrothi* sur les arbres

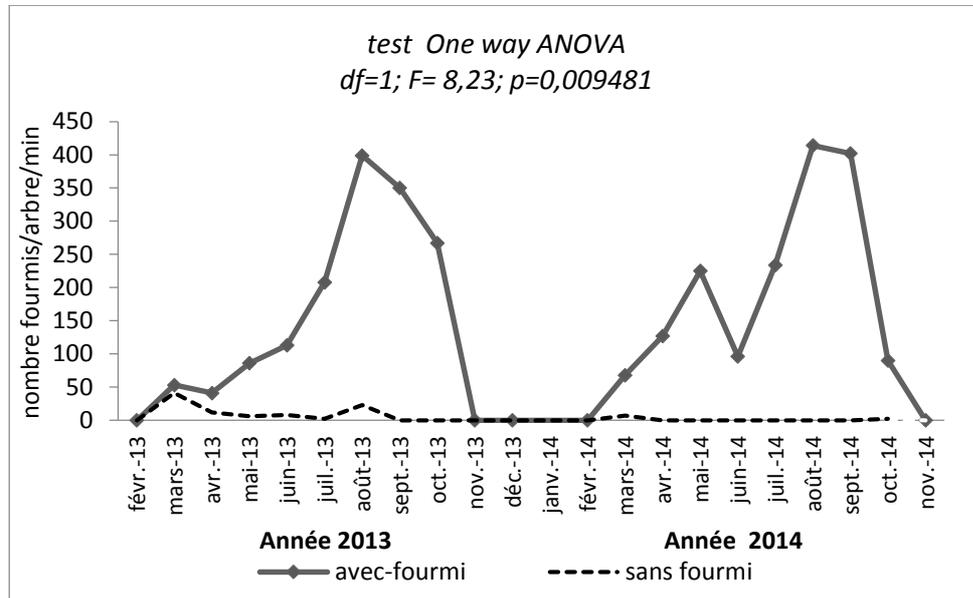


Figure 3.8 : L'activité des fourmis

(Nombre de fourmis ascendant ou descendant le tronc de l'arbre par minute) dans les parcelles traitement avec-fourmi et parcelles traitement fourmi-exclut dans le verger de domaine SI-KHALED en présence de *Tapinoma simrothi* dans les années 2013 et 2014.

L'analyse de la variance entre l'activité des fourmis (nombre de fourmis ascendant ou descendant le tronc de l'arbre par minute) dans les parcelles traitement avec-fourmi et parcelles traitement fourmi-exclut dans le verger de domaine SI-KHALED en présence de *Tapinoma simrothi* dans les années 2013 et 2014 est hautement significatif : $df=1$, $F= 8,23$; $p= 0,009481$. Cette différence montre la réussite de l'expérience d'exclusion car on assiste la diminution du nombre de fourmis sur arbre à traitement fourmi-exclut de la première année d'expérience 2013 de $n=41 \leq 23 \leq 0$, cette diminution se maintenir dans deuxième année suivante soit quelques fourmis $n=7$ dans le mois de mars qui traverse la bonde de colle avant la substitué par une nouvelle bonde de colle.

L'activité des fourmis sur arbre à traitement avec –fourmi est importante en deux années successives d'étude, le pic d'activité est marqué dans le mois

d'août n= 399 (1^{ère} année), n=414 (2^{ème} année). L'activité de la fourmi de deuxième année d'expérience d'exclusion est plus élevée comparablement à la première année d'exclusion. La meilleure période d'activité des fourmis est conçue trois mois (juin, juillet et août).

3.3.1.5. Discussion Activité de fourmi dans le verger

La richesse totale des Formicidae présente dans le domaine SI-KHALED, Bouarfa (Mitidja centrale) en 2013 et 2014 est de trois espèces pour chaque année. Elles appartiennent à deux sous-familles (tableau 3.2). La famille des Myrmicinae est présentée par deux espèces, alors que les Dolichoderinae avec seulement une seule espèce dans le verger de *Thomson navel*. Nos résultats se rapprochent de ceux SAHKI et *al.*, (2008) [329] sur 5 ans de recherche sur Systématique et essaimage de quelques espèces de fourmis (Hymenoptera, Formicidae) dans deux régions de l'Algérois et le régime alimentaire du torcol fourmilier au niveau du parc de l'I.N.A. allant de 1993 à 1997 montre l'abondance des trois espèces *Tapinoma simrothi*, *Pheidole pallidula* et *Tetramorium biskrensis*. En 2002, SOUTTOU (2002) a trouvé dans le parc d'El-Harrach une richesse de 9 espèces avec 6 Myrmicinae, deux Formicinae et une espèce pour les Dolichoderinae [331]. Dans la station de Reghaia, KHALDI-BARECH (2005) [331], a recensé 13 espèces de Formicidae, 8 espèces de Myrmicinae, et une seule espèce de Dolichoderinae. Cependant, dans la région de Tizirt, OUDJIANE (2004) [332] ayant travaillé sur la biosystématique des fourmis selon l'altitude en a capturé 20 espèces dans la station de Tassalast à 3 m d'altitude, 12 espèces à 559 m d'altitude dans la station de Boukellal et 16 espèces à 885m à Fliha. Ainsi, BAOUANE (2005) [333] ayant échantillonné pour deux années 2001 et 2002 aux abords du marais de Réghaia trouve une richesse de 10 espèces avec 3 espèces de Formicinae, 5 espèces de Myrmicinae et une seule espèce de Dolichoderinae. MOHAMMEDI-BOUBEKKA (2007), signale une richesse de 6 espèces. La richesse moyenne des Formicidae de la wilaya de Tizi-Ouzou recensées dans les différentes stations d'étude est de 15 espèces. Il en ressort que dans l'ensemble de ces milieux, l'espèce *C. barbaricus xantomelas* apparaît comme une espèce abondante dans les stations d'Azazga et de Tazerouts et peu

représentée dans les autres stations. *Tapinoma simrothi* est absente dans les milieux forestiers et très abondante, voir pullulant dans les vergers. L'espèce *Tapinoma simrothi* est constante dans le verger d'agrumes par (DJIOUA et SADOUDI-ALI, 2015) [185].

Les résultats concernant l'abondance relative des espèces de fourmis capturées dans le site d'étude, grâce à l'utilisation de la méthode de pots Barber, montrent que *Tapinoma simrothi* KRAUSSE, 1909 est l'espèce la plus abondante (AR % = 60,52 à 68,81%). En comparant avec les résultats d'AIT SAID (2005) [182] dans le nord de l'Algérie a noté que l'abondance de *Tapinoma simrothi* est égale à 62,3% en constituant l'espèce dont la présence la plus importante à Staouéli DEHINA et *al.* (2007) [181], signalent l'abondance de l'espèce *Tapinoma nigerrimum* avec un ordre de 82,3 %, ayant utilisé la même méthode d'échantillonnage.

Nous avons rencontré l'abondance de *Tapinoma simrothi* sur les arbres dans le verger grâce aux clés d'identification successivement, en deux années d'étude. Ce résultat est confirmé par l'étude de BERVILLE et *al.*, (2013) qui ont comparé et identifié les profils d'hydrocarbures cuticulaires des ouvrières de plusieurs espèces de *Tapinoma* d'Algérie, Maroc, Israël, France (continent et la Corse), Espagnol et ont utilisé les profils CHC des ouvrières pour identifier cinq espèces de *Tapinoma* : *Tapinoma erraticum*, *Tapinoma israele*, *Tapinoma madeirense*, *Tapinoma nigerrimum* et *Tapinoma simrothi* . Aucune espèce cryptique n'a été détectée [310]. Les profils de chaque espèce d'hydrocarbures se sont révélés restent remarquablement stable entre le Maroc et le nord de la France et entre Israël et l'Algérie. Ils n'étaient pas influencés par des facteurs écologiques tels que le type de végétation, le sol et climat. Dans le genre *Tapinoma*, profils d'hydrocarbures cuticulaires trouvées d'avoir une grande diversité dans la composition de CHC. Ces cinq espèces identifiées de *Tapinoma* ne partagent que trois CHC. Combiné avec les analyses morphologiques, ce qui confirme le statut d'espèce de *Tapinoma madeirense*, *Tapinoma nigerrimum* et *Tapinoma israele*. Cette étude a également clarifié la répartition géographique des *Tapinoma simrothi* et *Tapinoma israele* et donne une idée de la fréquence prépondérante de *T. nigerrimum*.

Dans littoral DEHINA (2004) ayant travaillé sur la bioécologie des fourmis dans trois types de cultures dans la région Mitidja il a noté une richesse mensuelle qui fluctue entre 1 et 7 espèces, ont été signalées dans le verger d'agrumes dont la présence est importante au mois de juillet avec 7 espèces [181]. Ce résultat est proche de notre résultat dans les parcelles traitement avec-fourmi car la présence la plus importante à la mi-juillet. Chez les fourmis arboricoles, les plantes offrent non seulement des sites de nidification, mais également la grande partie des ressources alimentaires sous la forme des nectaires floraux et extrafloraux. Il existe trois statuts écologiques des fourmis arboricoles : dominant, sub-dominant et non-dominant ; cependant, il existe un autre statut peu fréquent, occupé par les espèces dites Co-dominantes. → Espèces dominantes Elles sont caractérisées par une forte agressivité intra et interspécifique, des colonies populeuses, une défense absolue du territoire et un rythme d'activité qui s'étend durant tout le cycle du nyctémère. Elles représentent une importante biomasse et une faible diversité spécifique [335].

3.3.2. Influence de l'exclusion sur l'abondance de *Parlatoria ziziphi*

Les courbes représentent l'effectif d'individus de *Parlatoria ziziphi* avec-fourmi et l'effectif d'individus de *Parlatoria ziziphi* avec traitement fourmi-exclut dans deux années successives (figure 3.9).

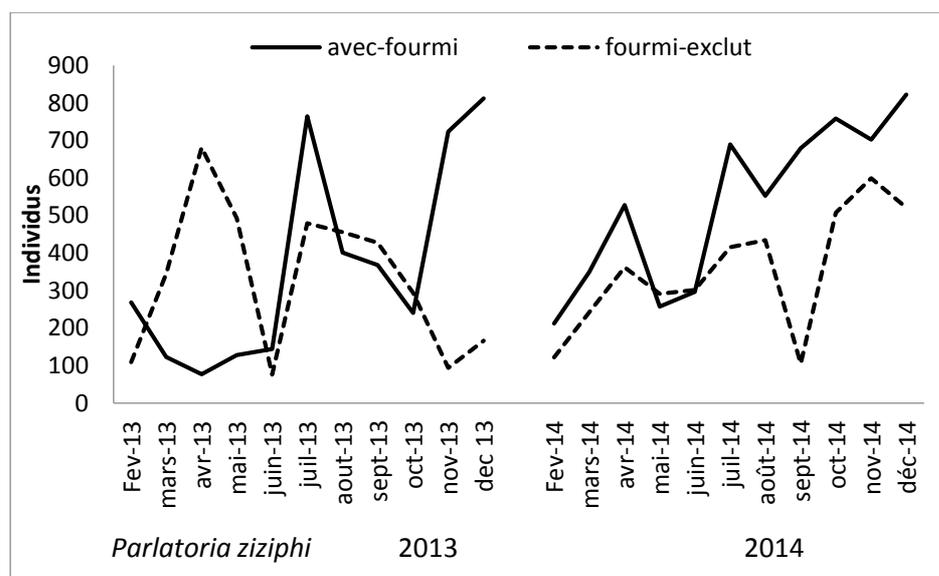


Figure 3.9 : Influence de l'exclusion sur l'abondance de *Parlatoria ziziphi*.

Au niveau des parcelles avec- fourmi, l'effectif de *parlatoria ziziphi* varie entre 77 à 812 dans la première année et de 212 à 822 dans la deuxième, cette espèce est abondante dans toute l'année, la meilleur prolifération est dans la saison estivale et automnale, le pic=764 dans le mois de juillet et fin novembre de l'année 2013. Deux pic sont enregistrés dans les même mois de l'année 2014 mais nous notons une légère diminution de l'effectif figure 3.9.

Au niveau des parcelles à traitement fourmi-exclut on remarque un effectif de *Parlatoria ziziphi* inférieur à celui des parcelles avec fourmi dans la 1^{ère} année $76 \leq n \leq 681$; dans la 2^{ème} année $105 \leq n \leq 599$. Le premier pic dans le mois d'avril, le deuxième pic $n= 479$ dans le mois de juillet (1^{ère} année). Notons trois pic (en 2^{ème} année) sont $n= 242$ dans mois d'avril ; $n= 415$ dans le mois d'août.

Qu'elle est l'influence de la présence de puceron sur la relation entre *Tapinoma simrothi* et *Parlatoria ziziphi* ?

Dans une période bien déterminé de l'année (mars, avril, mai, juin) l'oranger est attaqué par un ravageur très nuisible qui est le puceron. Nous rencontrant la présence des ouvrières de *Tapinoma simrothi* avec les pucerons et les cochenilles sur jeunes feuilles dans les parcelles à traitement avec fourmi et parcelle traitement fourmi-exclut. Selon AROUN (1995) *Tapinorna simrothi*, cette fourmi visite les pucerons sur pratiquement toutes les catégories d'arbres et plantes basses. Nous avons favorisé de montrer son influence sur les pucerons *Toxoptera aurantii*, *Aphis citricola* et les pucerons noir de la fève *Aphis fabae* ?

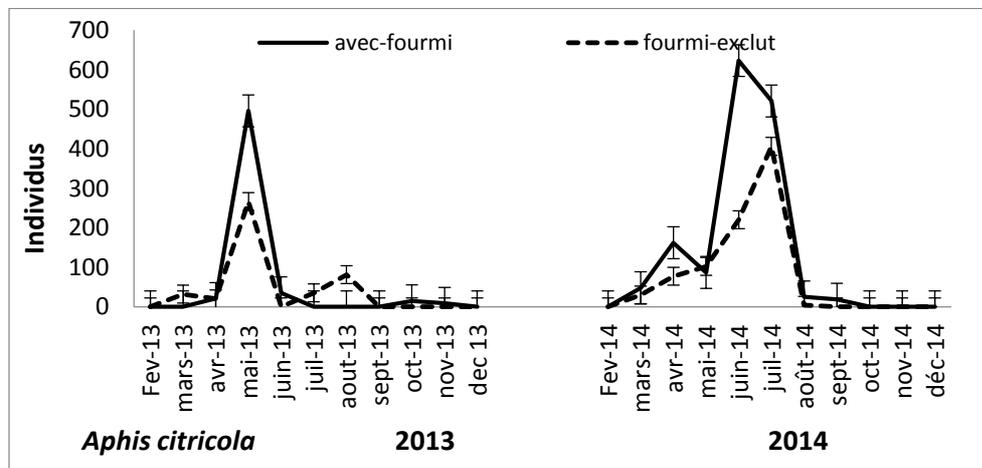


Figure 3.10 : Influence de l'exclusion sur l'abondance d'*Aphis citricola*.

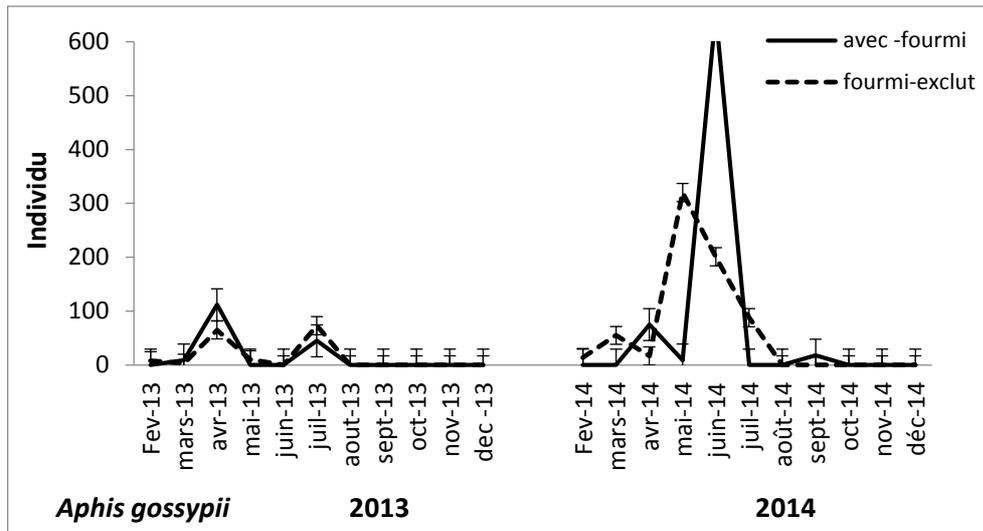


Figure 3.11 : Influence de l'exclusion sur l'abondance d'*Aphis gossypii*

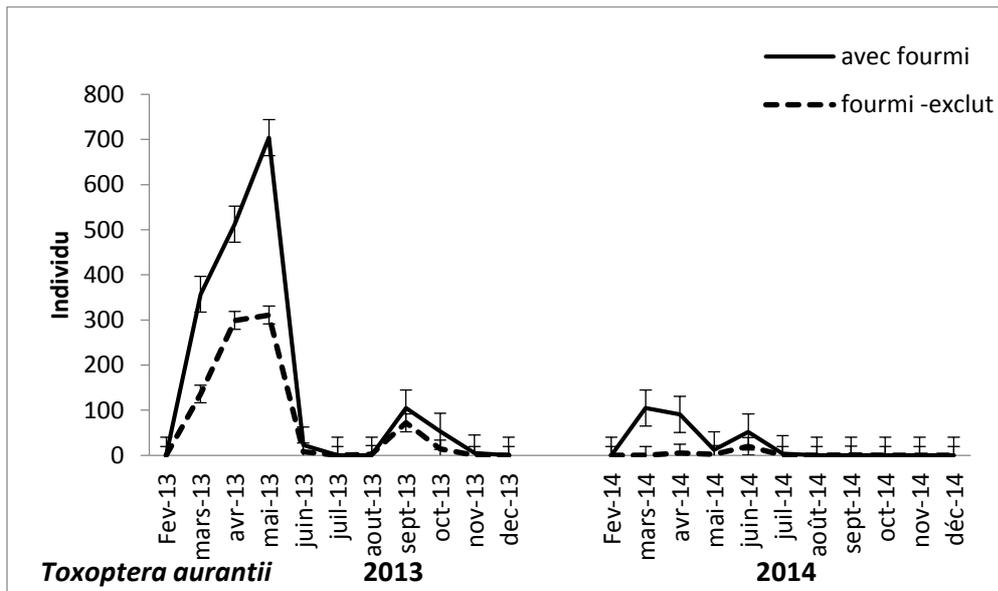


Figure 3.12 : Influence de l'exclusion sur l'abondance de *Toxoptera aurantii*.

- Le nombre d'individus de puceron *Aphis citricola* est plus élevé dans les parcelles avec fourmi que le nombre des pucerons de cette espèce dans la parcelle à fourmis-exclut pour toute la saison d'étude.
- Le nombre du puceron *Aphis gossypii* de la première année d'exclusion dans les parcelles sans fourmi et plus faible que l'année suivante (Figure 3.10) .

- Le nombre d'individus de puceron *Aphis gossypii* est plus élevé dans les parcelles avec fourmi que le nombre des pucerons de cette espèce dans la parcelle à fourmis-exclut pour toute la saison d'étude.
- Le nombre du puceron *Aphis gossypii* de la première année d'exclusion dans les parcelles sans fourmi et plus faible que l'année suivante (Figure 3.11)
- Le nombre d'individus de puceron *Toxoptera aurantii* est plus élevé dans les parcelles avec fourmi que le nombre des pucerons de cette espèce dans la parcelle à fourmis-exclut pour toute la saison d'étude.
- Le nombre du puceron de la première année d'exclusion dans les parcelles sans fourmi et plus élevé que l'année suivante (figure 3.12).

Espèces	Année	Avec-fourmi	Fourmi-exclut	R ² = r	df	Mean square	F	Probability (p)
<i>P.ziziphi</i>	2013	448	619	-0,28	1	1,2121 ^{E06}	9,581	0,02*
	2014	201	366	0,638	1	766440,5	5,584	0,05*
<i>T.aurantii</i>	2013	576	404	0,937	1	20402	22,46	0,03**
	2014	95	185	0,898	1	13448	8,273	0,02*
<i>A.gossypii</i>	2013	75	95	0,428	1	1860,5	2,591	0,15 (-)
	2014	166	259	0,862	1	595,125	1,33	0,29 (-)
<i>A.citricola</i>	2013	364	128	0,355	1	12012,5	1,43	0,47 (-)
	2014	559	342	0,981	1	48672	34,15	0,0**

Tableau 3.3 : Résultats d'one-way ANOVA sur l'effet de l'expérience d'exclusion sur les espèces suivants : *Parlatoria ziziphi* , *Aphis gossypii*, *Toxoptera aurantii*.
Aphis citricola.

(*) Indique une augmentation légère de l'abondance de ravageur dans le traitement fourmi-exclut (P < 0.1).

(**) Indique une augmentation significative de l'abondance de ravageur dans le traitement fourmi-exclut (P 0,05 <);

(-) indique une diminution de l'abondance de ravageur dans le traitement fourmi exclut ($P < 0,1$).

Une corrélation négative mais significative est notée pour l'espèce *Parlatoria ziziphi* dans la première année d'étude, par contre la corrélation est positive et significative dans deuxième année. Pour l'espèce *T.aurantii* la corrélation est positive et significative dans deux années. Pour l'espèce *Aphis gossypii*, la corrélation est positive et non significative dans deux années. Pour l'espèce *Aphis citricola* la corrélation est positive mais non significative de la première année par contre elle est positive est hautement significative dans la l'année suivante.

3.3.3. Influence de l'exclusion sur la composition de guildes coccidiphage

Dans le but de savoir l'influence de l'exclusion sur la composition de guildes coccidiphage, nous avons étudié l'efficacité de parasitisme et prédation en présence de fourmi *Tapinoma simrothi* sur la cochenille *Parlatoria ziziphi* comme un exemple d'étude en deux années.

3.3.4. Influence de l'exclusion sur le parasitisme

On assiste un parasitisme important chez *Parlatoria ziziphi* dans toute l'année en présence et ou en absence de *Tapinoma simrothi*. Le taux de parasitisme est plus élevé dans les saisons hivernales et estivales. Le parasitisme est supérieur dans la saison d'absence de fourmi ce qui donne un antagonisme de l'effet de fourmis sur le taux de parasitisme, en effet la méthode d'exclusion nous permet de étudier l'effet de fourmi sur *Parlatoria ziziphi* dans la saison de présence de fourmis au dépend de stade d'évolution biologique de *Parlatoria ziziphi*, en comptant le stade larvaire (estimation des larves jeunes femelles, et nymphale mâle), stades adulte (femelle en bouclier noir). On présente les résultats de l'influence de l'exclusion sur le taux mensuelle de parasitisme pendant deux années, nous sommes basées sur ces résultats pour déterminer la période d'étude en fonction de stades biologiques (larve, adulte).

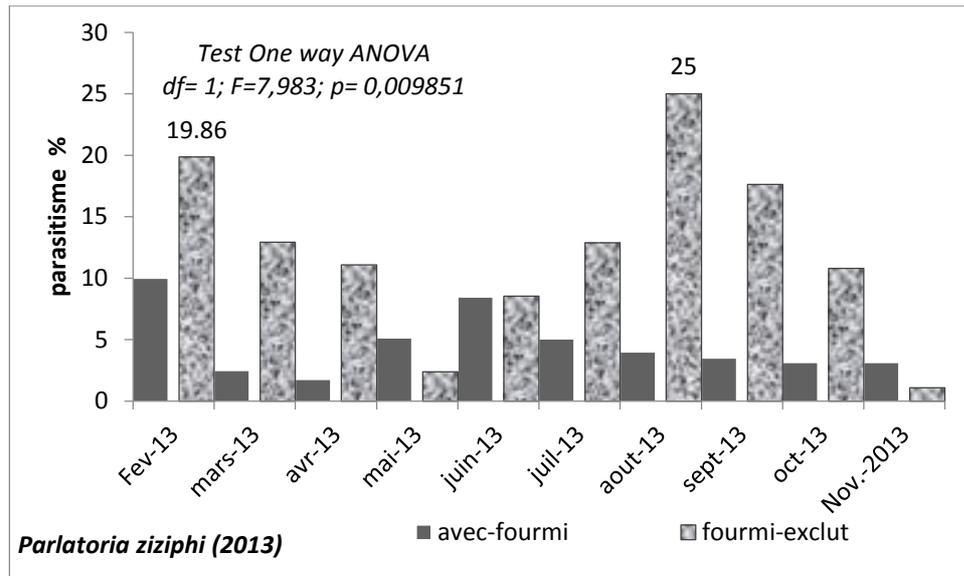


Figure 3. 13 : Influence de l'exclusion sur le parasitisme (1^{ère} année).

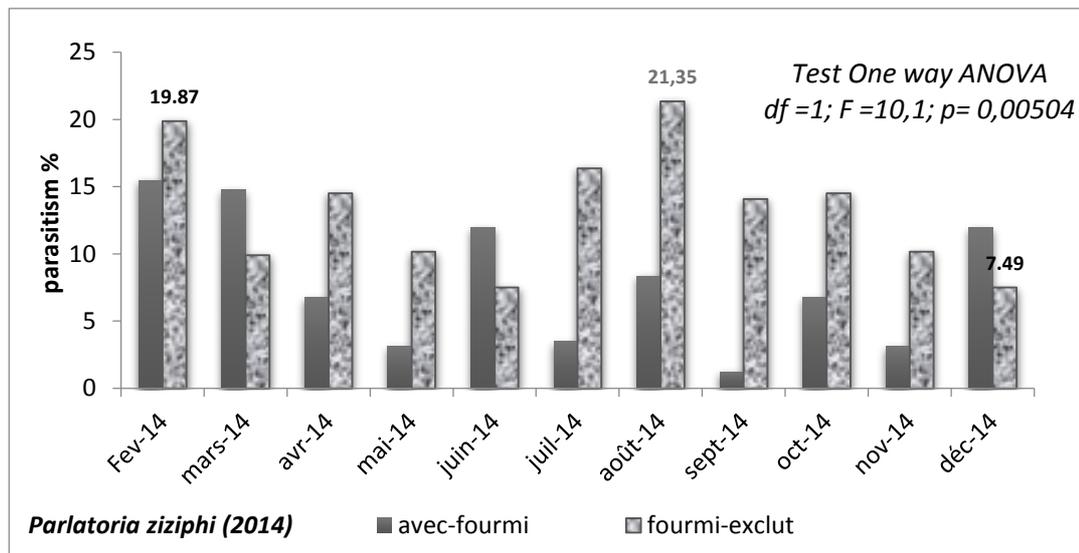


Figure 3.14 : Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme (2^{ème} année)

Les résultats de l'analyse de la variance entre parasitisme chez *Parlatoria ziziphi* en présence de fourmi *Tapinoma simrothi* montre des différences hautement significatifs pour les deux années d'étude $df=1$; $F=7,983$; $p= 0,009851$ de la première année et $df=1$; $F=10,1$; $p= 0,00504$ dans la deuxième année. Le pourcentage de parasitisme le plus élevé est enregistré dans le mois d'août parasitisme $P(\%)=25\%$ dans les parcelles à traitement fourmi-exclut de la première année d'exclusion contre $P(\%)= 3,51$. $P(\%)= 21,35\%$ contre $P(\%)= 8,35$ (mois août) de la deuxième année, dans la même en février le parasitisme $P(\%)=19,87\%$ contre $P(\%)=15,48(\%)$ (Figure 3.13).

3.3.4.1. Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme (larve,adulte)

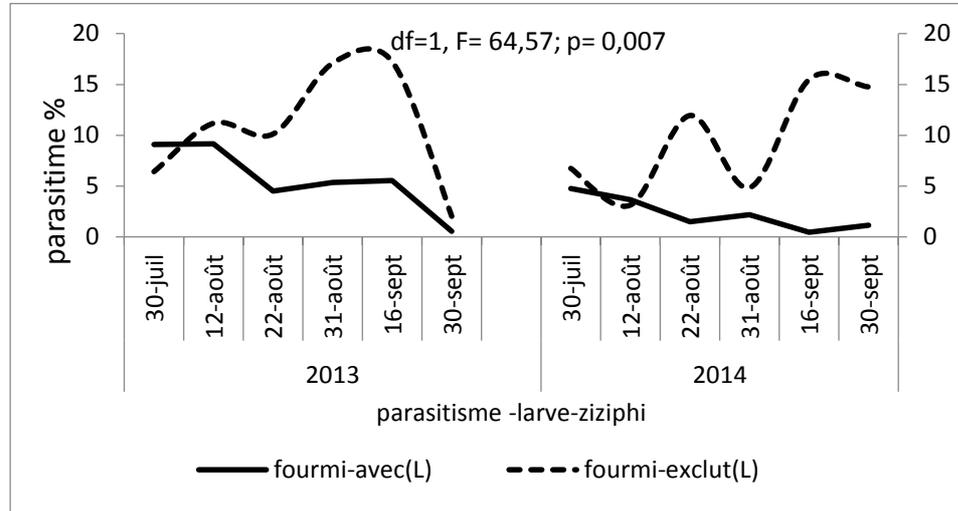


Figure 3.15 : Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme des larves.

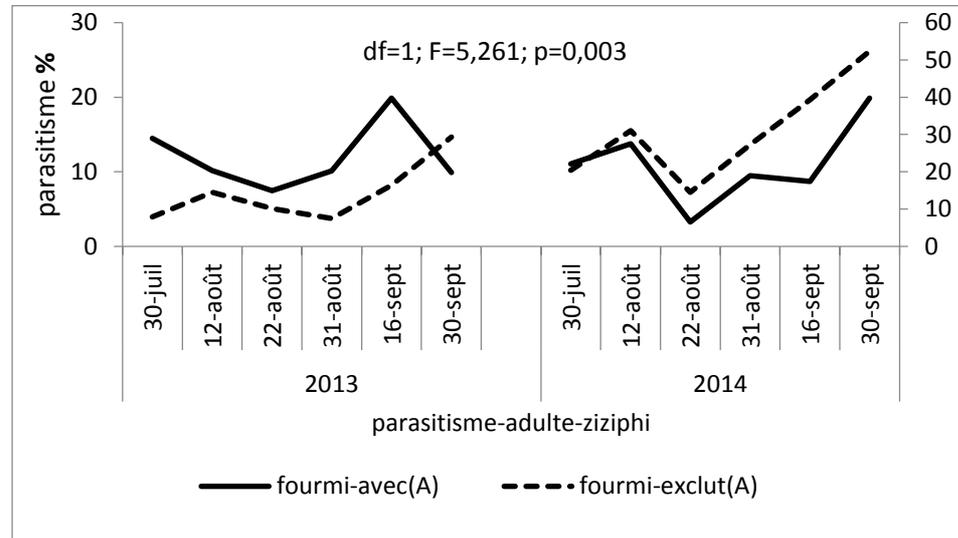


Figure 3.16 : Influence de l'exclusion sur le taux de parasitisme des adultes.

- Nous avons rencontré des hyménoptères parasitoïdes émergées à partir des momies collectées dans le verger de domaine SI-KHALED.

Famille	Espèce
Mymaridae	<i>Anagyrus sp</i>
Braconidae	<i>Binodoxys sp</i>
Aphelinidae	<i>Encarsia sp.</i>
	<i>Aphytis hispanicus (Mercet)</i>
	<i>Aphytis chrysomphali (Mercet)</i>
	<i>Aphytis sp.</i>
	<i>Aphelinus sp.</i>

Tableau 3.4. Richesse des parasites dans le verger de domaine SI-KHALED.

Au niveau de verger de domaine SI-KHALED (Bouarfa, Mitidja centrale), la richesse notée est de 07 espèces elles sont réparties entre trois familles, la famille Mymaridae par l'espèce *Anagyrus sp*. La famille des Braconidae par l'espèce *Binodoxys sp*. La famille des Aphelinidae par 05 espèces : *Aphelinus sp* ; *Aphytis sp* ; *Aphytis chrysomphali (Mercet)*, *Aphytis hispanicus (Mercet)*, *Encarsia sp*.

3.3.5. Influence de l'exclusion sur les prédateurs

Rappelons dans le protocole nous avons n'inclus que les espèces prédatrices représentées par plus de 100 individus CALABUIG et al, 2013) [269], Alors les résultats de comptage des prédateurs de *Parlatoria ziziphi* recrutent deux espèces d'acariens *Panonychus ulmi* et *Typhlodromus pyri* et une coccinelle : *Coccinella undecimpunctata* (Coléoptères, *coccinellidae*).

prédateurs	total		Test One way ANOVA			
	Avec-fourmi	Fourmi-exc	df	Ms	F	(p)
<i>Panonychus ulmi</i>	401	486	1	602,083	1,176	0,30
<i>Typhlodromus pyri</i>	275	385	1	1008,33	1,111	0,31
<i>Coccinella undecimpunctata</i>	220	130	1	1850,08	1,944	0,19

Probability (p), Ms: Mean square. Fourmi-exc : fourmi –exclut.

Tableau 3.5 : Influence de l'exclusion sur les prédateurs de *Parlatoria ziziphi*.

L'analyse de la variance montre une différence non significative entre l'effectif des trois prédateurs (*Typhlodromus pyri*, *Coccinella undecimpunctata*) de *Parlatoria ziziphi* en présence de fourmi.

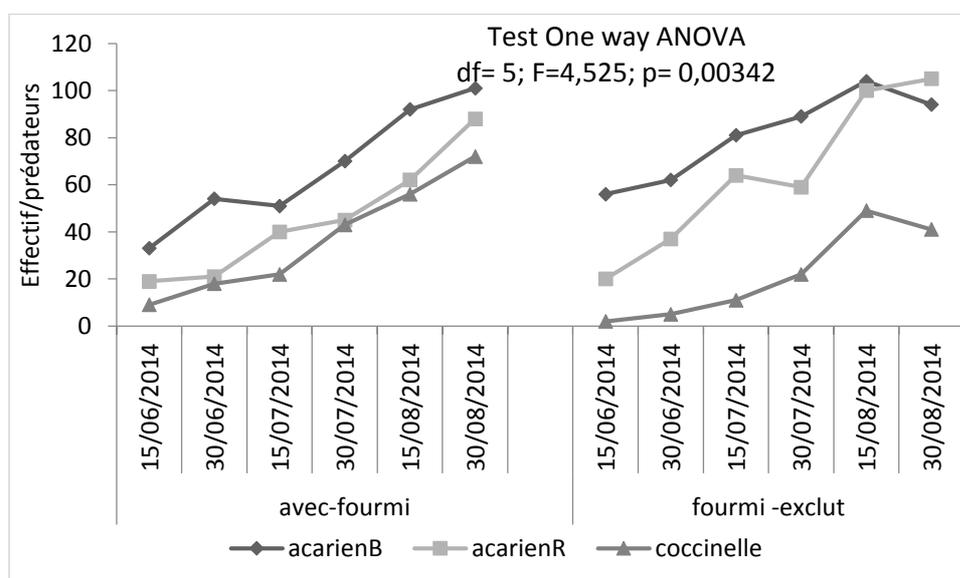


Figure 3.17 : Influence de l'exclusion sur les prédateurs de *Parlatoria ziziphi*.

A partir de mi-juin à la fin d'août de deuxième année d'étude, l'augmentation de nombre de coccinelles et acarien à celui des cochenilles montre

les différences d'effectifs hautement significatifs $df=5$; $F= 4,525$; $p=0,00342$. Les espèces *Coccinella undecimpunctat*, *Panonychus ulmi*, *Typhlodromus pyri* ont observées entre les deux parcelles à traitement avec-fourmi et traitement fourmi-exclut ont davantage liées à la densité de *Parlatoria ziziphi* qu'à la présence de fourmis.

3.3.6. Discussion de composition de guildes coccidiphage en présence de fourmi

Parlatoria ziziphi attaquent les fruits et cause son dépérissement [336]. Les feuilles sont les plus attaquées. *Parlatoria ziziphi* est le principal parasite des agrumes. Sa présence sur les fruits est hautement indésirable cause la déformation, surtout pour les pays dont la production va au marché des fruits frais. Cette espèce est origine des dégâts économiques importants en Algérie, ce ravageur est fortement attaché au fruit que impossible d'enlevé le ravageur vu sa fixation ce qui cause le rejet des fruits dans le marché et des fruits. Nos résultats ont montré que l'effectif de *Parlatoria ziziphi* était plus élevé dans les parcelles à traitement avec -fourmi que les parcelles à traitement fourmi-exclut dans le verger d'étude. Ces résultats sont en accord avec les études qui ont montré que les fourmis peuvent induire des augmentations de la population de la cochenille rouge *Aonidiella aurantii* Maskell sur les fruits [337]. Cette cochenille ne produit pas de miellat et n'est donc pas tendu par les fourmis. Ainsi, l'augmentation de la population d'*Aonidiella aurantii* induite par les fourmis est considérée comme un effet indirect ; fourmis perturbent la lutte biologique contre la cochenille *Aonidiella aurantii* lorsqu'ils tombent accidentellement sur les ennemis naturels de cette cochenille tandis que nourrissent les couverts forestiers ou alors qu'il gardait des producteurs de miellat qui coïncide [338]. Ces résultats sont discutables à les notre vu que *Parlatoria ziziphi* secrète le miellat ; la fourmi *Tapinoma simrothi* est connue par une relation mutualiste avec les pucerons en Algérie selon la littérature. D'après nos résultats cette fourmi est dominante de 60,52% à 68,81% dans le verger d'étude et présente sur les arbres attaquées par *Parlatoria ziziphi* et les pucerons dans une période bien déterminé ? *Tapinoma simrothi* est présente dans les vergers agrumicoles de la région de Mitidja.

Les résultats montrent un parasitisme hautement significatif chez *Parlatoria ziziphi* en présence de fourmi *Tapinoma simrothi* pour deux saisons. Le pourcentage de parasitisme le plus élevé est enregistré dans le mois d'août parasitisme P(%)=25% dans les parcelles à traitement fourmi-exclut de la première année d'exclusion contre P(%)= 3,51 parcelle traitement avec fourmi. P(%)= 21,35% parcelles à traitement fourmi-exclut contre P(%)= 8,35 parcelles avec-fourmi (mois août) de la deuxième année, dans la même en février le parasitisme P(%)=19,87% contre P(%)=15,48(%). Nos résultats sont très proches aux résultats de CALABUIG et al. (2014), réalisés dans trois vergers à différentes localités à valence, Espagne [339]. Le pourcentage de parasitisme de la cochenille rouge *Aonidiella aurantii* Maskell est culminé en juillet et atteint 13,4 %, 9,6 %, et 11,4 % dans le verger1, verger2, verger 3 respectivement. Le pourcentage moyen de parasitisme atteint les valeurs les plus élevée dans la saison automnale (moi de septembre) et estivale considérablement plus élevé que sur les rameaux, pour atteindre 45,6 % ($\pm 3,6$), 42,7 % ($\pm 3,33$) et 38,0 % ($\pm 2,5$) dans les vergers 1, verger2 et verger 3 respectivement. Sur les rameaux ils n'ont ne trouvé aucune différence dans le pourcentage parasitisme de cochenille rouge *Aonidiella aurantii* Maskell entre traitements avec- fourmi et fourmi- exclut dans aucun des trois vergers étudiés lorsque la mise en commun des données provenant de toutes les dates d'échantillonnage. La valorisation des auxiliaires complexes selon les parasites de la production d'agrumes est d'un intérêt important pour la gestion biologique des ravageurs dans les vergers de l'Algérie.

Les parasites vivent aux dépens des autres. Ils se développent à l'extérieur (ectoparasite) où à l'intérieur (endoparasite) de son hôte. La mort de la victime est moins rapide que dans le cas de prédation. Plusieurs stades de *Parlatoria ziziphi* sont parasités par un insecte appartenant à l'ordre des hyménoptères et la famille des *Aphelinidae*. Il s'agit d'*Aspidiotiphgus Citrinus* qui a été observé pour la première fois en Algérie en 1950 dans la région de Boufarik. C'est un endoparasite de *P.ziziphi*. Selon BALACHOWSKY (1935) cet hyménoptère est signalé même aux îles Hawaï [202]. Au Maroc, SMIRNOFF, (1950) signale l'existence d'une espèce voisine. ARGYRIOU (1977) signale l'existence d'*A. Lounsburgi* parasitisme élevé sur *Parlatoria ziziphi*.

Le suivi inclus d'échantillonnage et en observant les populations de guildes de prédateurs du verger, durant l'hiver et les périodes de printemps-automne. La richesse du verger inclus 34 taxons divisés en 8 ordres et 18 familles des arthropodes prédateurs, Neuroptera, Coleoptera, Diptera, Heteroptera, hyménoptères, Dermaptera, Mantoptera et Araneae. Les Coccinellidae appartenant à l'échelle des régulateurs de l'espèce ainsi que l'araignées et *Chrysoperla carnea* étaient les plus représentés. Communautés de prédateurs ne sont pas homogènes, propage différemment dans le verger selon saison et habitat [339].

La présence d'un anneau de glu à la base des tiges de manioc modifie de manière importante la colonisation initiale des plants par *P. manihoti*. Quarante jours après l'infestation artificielle, on compte, sur des, plants situés à 279 quelques mètres les uns des autres, des niveaux de population de cochenilles huit à dix fois plus élevés sur les tiges témoins que sur les tiges avec glu. En effet, la présence d'importantes densités de larves néonates de *P. manihoti* à la base des anneaux de glu confirme l'importance de la colonisation active des plants de manioc par le bas des tiges. Le transport passif de la cochenille du manioc par le vent, évoqué comme facteur essentiel de la colonisation des plants de manioc au sein d'une parcelle (LEUSCHNER, 1977 : NWANZE, 1977 in RU, 1984), se trouve ici remis en cause.

La présence d'un anneau de glu à la base des tiges de manioc influence significativement le niveau de population de *P. manihoti*. L1 est environ dix fois plus faible sur les plants avec glu que sur les plants témoins pendant toute la durée de l'expérimentation [342].

D'une manière générale, les auteurs ayant pratiqué l'exclusion des fourmis à l'aide de glu, ou d'un autre dispositif mécanique, attribuent les différences de niveau de densité des ravageurs entre plants témoins et traités à la seule action des fourmis (STEYN, 1954 ; SAMWAYS et al, 1982 ; HILL et BLACKMORE, 1980 : NECHOLS et SEIBERT, 1985 in RÜ, 1987) [342]. Aucun d'entre eux ne fait état de déplacements actifs d'une partie des effectifs de cochenilles, essentiellement constitués de jeunes larves, d'une plante à l'autre. Dans notre étude, l'application d'un anneau de glu à la base des tiges de manioc empêche l'accès des fourmis, mais également celui des jeunes larves de *P.*

manihoti. Dès lors, l'influence des fourmis sur le niveau de population du ravageur ne peut être dissociée du phénomène de déplacement actif des jeunes larves de cochenilles. Dans certains cas, la présence de fourmis induit un développement larvaire plus rapide et stimule la fécondité des cochenilles [341].

Dans notre étude, la succession des générations de *P. manihoti* est identique sur plants témoins et avec glu. Ce résultat suggère que le taux de multiplication du ravageur n'est pas modifié par la présence des fourmis. L'accumulation de miellat au sein des colonies de cochenilles peut être un facteur de mortalité par << noyade >> des larves néonates [340].

D'après nos résultats, la structure des populations, comparable avec et sans exclusion des fourmis, semble indiquer que ce facteur ne modifie pas la mortalité des cochenilles. La présence d'un anneau de glu modifie les pourcentages de plants colonisés par les entomophages. A partir de mi-juin de chaque année d'étude, l'augmentation de nombre de coccinelles à celui des cochenilles montre que les différences d'effectifs d' *Coccinella undecimpunctata* observées entre les deux parcelles à traitement avec-fourmi et traitement fourmi-exclut sont davantage liées à la densité de *Parlatoria ziziphi* qu'à la présence de fourmis.

Les modifications du climat (température ou pluviosité), qui sont susceptibles d'avoir des conséquences directes sur la disponibilité des insectes ravageurs, doivent être intégrées dans un processus de prédiction de façon à contenir les réponses physiologiques, comportementales et biologiques dans le cadre des changements globaux [227].

Les fourmis agissent simultanément comme prédateurs et hémiptères mutualistes ce qui influence la composition et dynamique de population d'une communauté large d'arthropodes [339]. Notre résultat comparable à celle de l'étude de CALABUIG et al. (2014), qui été mené des expériences d'exclusion afin de déterminer l'impact des fourmis sur le niveau d'infestation et parasitisme de trois des plus importants ravageurs d'agrumes de Méditerranée occidentale : le producteur de miellat *Aleurothrixus floccosus* Maskell (Aleurodes) et *Aonidiella aurantii* Maskell (cochenille rouge de Californie ; CRS) qui ne produit pas de miellat et *Phyllocnistis citrella* (La mineuse des agrumes). L'étude a été menée

dans trois vergers d'agrumes commerciales, chacun domina par une espèce de fourmi, le premier verger par *Pheidole pallidul* ; le deuxième par *Lasius grandis* le troisième par *Linepithema humile*) pendant deux saisons de croissance consécutifs (2011 et 2012) [339].

Ils ont enregistré une réduction significative de la densité de la cochenille *Aonidiella aurantii* Maskell sur les fruits dans le traitement Fourmi-exclut dans les trois vergers et dans les deux saisons, allant de 21 % jusqu'à 41 %. De même, le pourcentage de tiges occupées par *Aleurothrixus floccosus* Maskell (Aleurodes) est significativement plus faible dans les parcelles de fourmi-exclut dans le verger dominé par la fourmi *Pheidole pallidul* et le verger dominé par la fourmi *Linepithema humile*. Pas de différences significatives ont été enregistrées dans le pourcentage de perte de surface foliaire causée par *Phyllocnistis citrella* (La mineuse des agrumes) entre les parcelles traitement avec) fourmi et les parcelles traitement fourmi-exclut en tout cas. Ils n'ont trouvé aucune différence significative dans le pourcentage parasitisme entre traitements avec fourmi et traitement fourmi-exclut, avec les espèces sécrétrices de miellat et espèces qui ne produisent pas du miellat. Ces résultats suggèrent que : la gestion de la fourmi devrait être envisagée afin de réduire les populations d'herbivores d'agrumes et des mécanismes autres que le parasitisme (par exemple prédation) pourraient expliquer les différences dans les taux d'infestation herbivore entre les traitements [339].

L'étude de la relation plante hôte diaspines montre que les espèces étudiées (*Parlatoria ziziphi*, *Aonideilla aurantii* et *Lepidosaphes beckii*) à régime opophage et vivant sur agrumes n'ayant pas les mêmes préférences d'espèces-hôtes : *P. ziziphi* se développe mieux sur le Clémentinier, *L. beckii* sur l'oranger et *A. auratii* sur le citronnier [244]. Le changement des conditions de milieu, induit un changement de préférence de l'hôte. *P.ziziphi* a l'habitude de choisir le clémentinier par rapport aux autres citrus in-situ, ce choix, en absence de lumière solaire, s'est orienté vers le citronnier (40%), ensuite le clémentinier (32%) et enfin l'oranger (28%). La durée de cycle de vie s'est allongée, de 37 jours sur plantes âgées in situ, à environ 106 jours sur jeunes plants sous serre ombrée. Le nombre de génération in-situ, est lié au facteur exposition et au facteur organe Par contre,

sa distribution spatiotemporelle dépend de la période phénologique de l'arbre de l'organe, de l'âge de l'organe et des expositions [244].

La fertilité est très dépendante du facteur temps et de la saison où une éclosion massive des œufs de *P.ziziphi* est observée au printemps. La répartition est contagieuse sur les feuilles durant toute la durée de vie. L'incidence parasitaire globale, vue sa répartition spatiale différente de celle de la cochenille, n'a pas pu ni contrôler ni réduire les infestations importantes dans la région de la Mitidja [244].

3.3.7. Influence de l'exclusion sur le taux de mortalité :

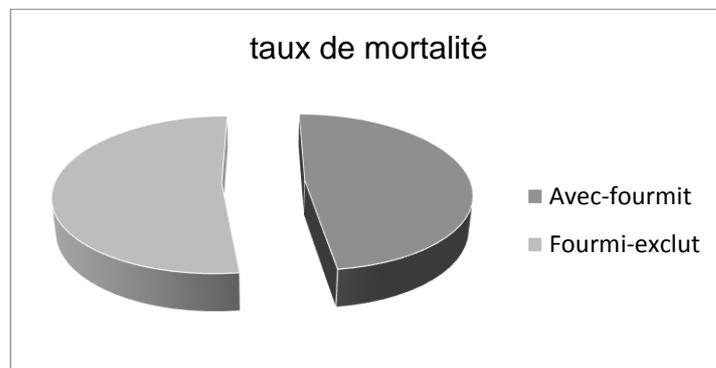


Figure 3.18 : Influence de l'exclusion Taux de mortalité de *Parlatoria ziziphi*.

Le taux de mortalité moyenne de *Parlatoria ziziphi* au cours de la période d'expérimentation observé dans les parcelles à traitement fourmi-exclut est de (19,18%) et pour les parcelles avec-fourmi est de (17,65%), nous remarquons une légère différence de taux de mortalité entre les parcelles.

3.3.8. Les facteurs déterminent le niveau d'entretien des fourmis

Au cours de notre échantillonnage dans le verger nous avons remarqué plusieurs espèces de cochenilles en présence de fourmi dans les parcelles avec fourmi, dans cette partie nous avons calculé différents indices écologiques pour ces espèces qu'ils sont *Pseudococcus citriculus* (Cochenille blanche), *Lepidosaphes beckii* (cochenille virgule), *Aonidiella aurantii*

3.3.8.1. La diversité des espèces de cochenille

Dans cette partie nous allons étudier la diversité des quatre espèces de cochenilles dans les parcelles avec -fourmi (Tableau 3.6).

Espèces	Nombre	Dominance
<i>Parlatoria ziziphi</i>	546	0,263
<i>Pseudococcus citriculus</i>	58	0,481
<i>Lepidosaphes beckii</i>	24	0,329
<i>Aonidiella aurantii</i>	29	0,445

Tableau 3.6. La diversité des espèces de cochenille.

➤ La totalité des effectifs est concentré sur une seule espèce qui est dominante. L'espèce qui est dominante par rapport aux autres espèces de cochenille est *Parlatoria ziziphi*.

3.3.8.2. Indice d'entretien par fourmis pour chaque espèce de cochenille

Nous avons calculé les valeurs d'indice d'entretien par fourmis (F) selon la méthodologie de FISHER et *al.* (2001), donc pour chaque espèce de cochenille nous avons le nombre des fourmis et le nombre des individus de l'espèce de cochenille qui a été inféodé sur arbre dans une période bien déterminé en présence de fourmi (Tableau 3.7) :

Date	Nombre fourmis	Valeurs d'indice d'entretien			
		F1	F2	F3	F4
Avril 2014	55	27,00	7	12	9
Mai 2014	156	132,60	2,23	2,23	18,94
Juin 2014	106	104,05	0	0,65	1,3
Juillet.2014	127	120,63	4,38	1,99	0
Août 2014	176	146,09	26,43	2,78	0,7

Tableau 3.7 : Tableau des indices d'entretien par fourmis de chaque espèce de cochenille.

F1 : *Parlatoria ziziphi*, F2 : *Pseudococcus citriculus*, F3 : *Lepidosaphes beckii*, F4 : *Aonidiella aurantii*

Les indices d'entretien par fourmis ont été calculés pour chacune des espèces de cochenille récapitulée dans le tableau n°3. Montre que l'indice d'entretien par fourmis le plus élevé au sein des colonies de cochenilles est de *Parlatoria ziziphi* avec F1= 146,09 dans le mois d'août (2014), c'est en suite *Pseudococcus citriculus* avec F2= 26,43 dans le même mois et puis qui présente *Aonidiella aurantii* avec F4=18,94 dans le mois de mai, en fin l'espèce *Lepidosaphes beckii* donne la valeur la plus basse avec F3= 2,78 dans le mois d'août 2014.

3.3.8.3. Le nombre moyen de cochenilles par fourmis en fonction des espèces de cochenilles étudiées

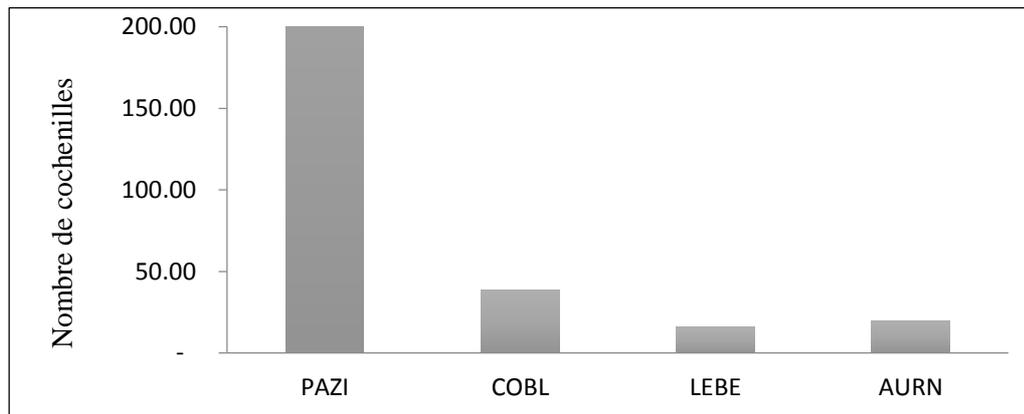


Figure 3.19. Graphe de nombre moyen de cochenilles par fourmis en fonction des espèces de cochenilles étudiées (2014).

PAZI : *Parlatoria ziziphi*, COBL : *Pseudococcus citriculus*, LEBE : *Lepidosaphes beckii*, AURA : *Aonidiella aurantii*

L'espèce qui présente le nombre moyen de cochenille le plus élevé au sein des colonies de cochenilles est *Parlatoria ziziphi* avec N1moy=549,00 individus, c'est ensuite *Pseudococcus citriculus* avec N2moy=38,78 individus et puis *Aonidiella aurantii* qui présente N4moy=19,33 individus, en fin l'espèce

Lepidosaphes beckii a le niveau de population le plus bas avec $N_{3\text{moy}}=16,00$ individus (Figure 3.19).

3.3.8.4. L'effet du nombre de cochenille sur l'indice d'entretien des fourmis

Nous avons appelé au test de corrélation entre le nombre total de chaque espèce de cochenille et leur indice d'entretien des fourmis pour savoir l'effet de nombre de l'espèce de cochenille sur l'indice d'entretien des fourmis.

Pour l'ensemble des espèces de cochenilles testées, il existe une corrélation entre le nombre de cochenille et l'indice d'entretien par fourmis ($r^2= 0.37$, $df= 8$, $P<0.0001$) pour l'espèce *Parlatoria ziziphi*, plus le nombre de cochenilles que comporte une colonie de cochenille est important et plus l'indice d'entretien des fourmis est élevé.

3.3.8.5. L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvé au sein des colonies des différentes espèces de cochenille étudiées

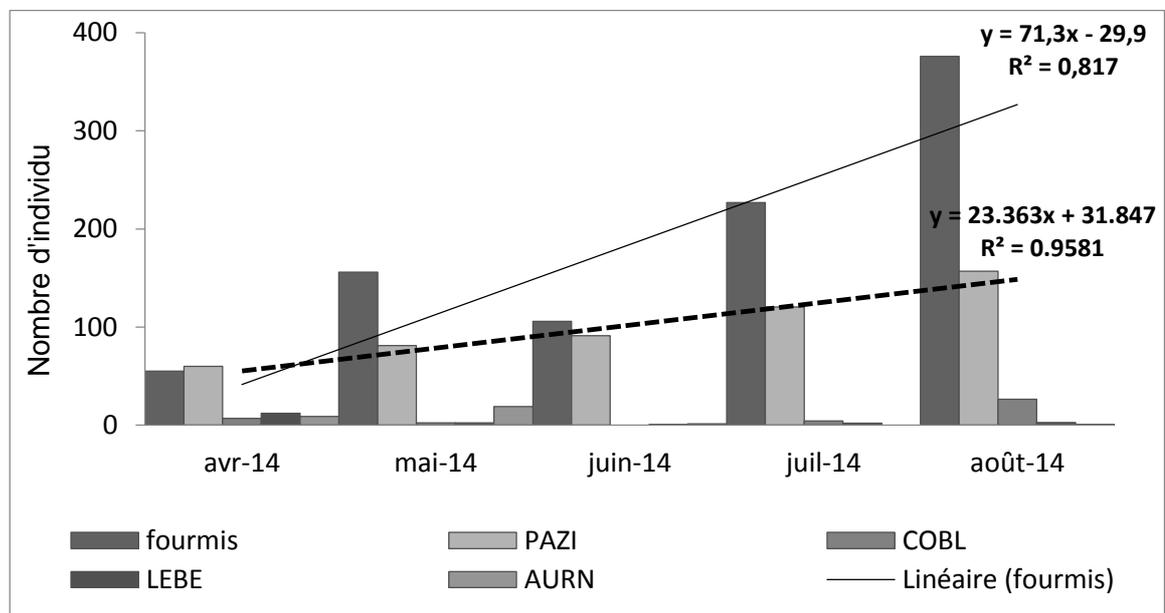


Figure 3.20 : L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de cochenille étudiées.

PAZI : *Parlatoria ziziphi*, COBL : *Pseudococcus citriculus*, LEBE : *Lepidosaphes beckii*,

AURN: *Aonidiella aurantii*.

On assiste un pic dans le mois d'août 2014 (nombre de fourmis = 376) On remarque une augmentation de nombre de *Parlatoria zizyphi* au même temps n= 150 (Figure 3.20).

Selon les résultats on constate que *Parlatoria zizyphi* est préférée par la fourmi *Tapinoma simrothi* Krauss.

Type de répartition de *Parlatoria zizyphi*:

Nous avons récapitulé les résultats des types de répartition de *Parlatoria zizyphi* dans le tableau suivant :

Compartiment	Répartition régulière $s^2/m < 1$	Répartition uniforme $s^2/m = 0$	Répartition contagieuse $s^2/m > 1$
Face supérieure du limbe	1 fois	1 fois	12 fois
Face inférieure du limbe	2 fois	2 fois	10 fois

Tableau 3.8 : Type de répartition de *Parlatoria zizyphi*.

D'après les résultats obtenus nous avons constaté que la répartition de *Parlatoria zizyphi* est contagieuse pendant toutes la période expérimentale puisque le rapport ($s^2/m > 1$) caractérisant une répartition contagieuse (Tableau 3.5).

3.3.9. Discussion de l'indice d'entretien *Tapinoma simrothi-Parlatoria zizyphi*

On témoigne notre résultat par étude très ressentie de HADDAD et al. (2017) [342] sur la diversité, structure et composition des populations des cochenilles dans le Nord Algérie (Mitidja), dix espèces de cochenilles (Homoptera, Coccoidea) ont été inventoriées en Kabylie sur différentes espèces d'agrumes, qui sont : citron, clémentine, orange *Thomson et washington* pendant deux ans, à partir de mars 2014 à mars 2016. Ils appartiennent à quatre familles : le Diaspididae, la Coccidae, la Pseudococcidae et le Margarodidae. Cette étude a

permis de démontrer l'abondance relative calculée pour les familles et les espèces inventoriées ont montré qu'une forte dominance de la famille Diaspididae (90,3 %) et *Parlatoria ziziphi* est qui prédomine en Kabylie avec une moyenne de 76,3 %, suivie par *Aonidiella aurantii* avec une moyenne de 7,3 %. Cette étude montre que *Parlatoria ziziphi* est une espèce omniprésente ou dominante en Algérie.

Selon CHAPOT et DELUCCHI (1964) la tendance à l'agrégation peut être liée à la vie sédentaire stricte de la cochenille. Cette sédentarisation stricte est due en partie à un aptérisme total et permanent et à l'atrophie des pattes des différents stades de développement ; cette série de régressions morphologiques font des cochenilles déprédatrices voués uniquement à la nutrition et à la reproduction .Il semblerait, selon les mêmes auteurs, que la formation d'agrégat serait due au fait que les larves après éclosion demeurent groupées. Il est à signalé que les conditions climatiques favorables durant la saison printanière et l'état végétatif de l'hôte, favorisent la pullulation de cette diaspine. Nos résultats sont comparables à ceux trouvés par CHAPOT et DELUCCHI (1964) [343].

Notre résultat est analogue à celle de BELGUENDOZ et al. (2013) sur espèce proche de *Parlatoria ziziphi*, l'abondance des *Aonidiella aurantii* est plus élevée sur citronnier que sur l'oranger. C'est peut être, en raison de : type de phyllotaxie de Citrus limon variété Eurika qui est suffisamment aéré et la nature de la sève d'oranger et ses périodes de phénologie qui sont désavantageux pour le développement de la cochenille *Aonidiella aurantii*.

Le mutualisme obligatoire entre fourmis et suceurs de sève implique que les fourmis trouvent à s'alimenter à partir des hémiptères. Mais ce n'est pas toujours l'obtention d'une goutte de miellat qui récompense les fourmis. Pour les *Melissotarsus*, les nids soyeux creusés dans l'écorce des manguiers africains, l'intérêt est ailleurs. La cochenille associée appartient à la famille des Diaspididae, considérée comme la plus évoluée de tous les Coccoidea. Dépourvues de chambre filtrante, ces cochenilles ne rejettent pas de miellat. Les fourmis ne sortant jamais de leur nid où elles vivent en totale réclusion, on peut penser que les cochenilles sont dévorées par les fourmis (BEN-DOV, 1980) [344]. Au lieu de servir de source de carbohydrates, elles procurent des protéines à leur fourmi symbiotique. La consommation des cochenilles semble favorisée par un autre

phénomène. Alors que les Diaspididae secrètent toutes un bouclier protecteur de structure soyeuse, les espèces associées aux fourmis en sont dépourvues [344]. Il est possible que cette absence de protection soit due à l'émission d'une substance glandulaire par les fourmis, que l'on peut voir lécher longuement le pygidium des cochenilles [344]. Cette absence de bouclier n'est pas dommageable, puisque les cochenilles sont à l'abri de tout prédateur sous l'écorce des arbres. C'est aussi une économie d'énergie. L'intérêt des cochenilles réside dans les soins qu'elles reçoivent des fourmis : lorsque le nid s'étend, les nouvelles chambres sont «ensemencées» par le transport de larves nouveau-nées par les ouvrières [345]. Il est vraisemblable aussi que les fourmis assurent la dissémination des cochenilles à l'occasion du vol nuptial, bien que les preuves directes manquent encore. Ce mutualisme très particulier, puisque les cochenilles bien que dévorées par les fourmis ne doivent leur survie et leur dissémination qu'à leur symbiote, se double d'une myrmécophilie, la d'aspines vivant dans le nid de l'hyménoptère, en Afrique. Les cochenilles *Hippeococcus wegneri* sont associées à la fourmi *Dolichoderus gibbifer* au sein d'une trophobiose ambulante, dans les forêts de Java. Lorsque la sève du végétal dont se nourrissent les cochenilles vient à se tarir, les fourmis transportent la colonie de cochenilles vers un endroit plus propice à son développement. Pour diminuer la distance qui sépare leur nid du nouvel emplacement alimentaire, les fourmis déménagent leur nid, qui n'est en fait qu'un simple bivouac. Ce comportement n'est pas sans rappeler le nomadisme humain, au cours duquel les pasteurs suivent leur troupeau de pâturage en pâturage. Le mutualisme est devenu obligatoire et la cochenille est un véritable myrmécophile. Sur le cliché on aperçoit une ouvrière portant sur son thorax un adulte de la cochenille, tandis que des larves sont accrochées en dessous. L'étrange attelage se dirige vers un nouveau site alimentaire [345].

Les attaques de diaspines provoquent la synthèse de poly phénols, notamment, les flavonoïdes, qui est corrélée positivement avec les abondances des populations [348]. On pense que les fourmis sont attirés par les flavonoïdes de *Parlatoria ziziphi*. DELABIE (2008) ont présenté différents éléments du comportement de communication du *Pseudococcidae Rhizoecinae Neochavesia caldasiae* avec sa fourmi-hôte *Acropyga fuhrmanni*, insectes qui vivent en symbiose dans la rhizosphère des cacaoyers de Bahia, Brésil. La cochenille utilise

ses antennes comme organes de communication afin de recruter la fourmi pour être transportée à l'abri ou dans une autre galerie du nid. Ils ont décrit aussi la «gifle d'apaisement» donnée par la cochenille à la fourmi au moyen de son extrémité abdominale quand elle est bousculée par cette dernière, afin de la maintenir à l'écart de sa position assurée sur la racine [347].

3.3.10. Indice d'entretien par *Tapinoma simrothi*-puçeron

3.3.10.1 Comparaison annuelle de la diversité des espèces de fourmis et de puçerons présentes dans le verger

Indices de diversité	Durant l'année 2014/2015
Taxa_S	4
Individuals	2011
Dominance_D	0,45
Shannon_H	0,98
Simpson_1-D	0,54

Tableau 3.9. Calcul des indices de diversité des espèces de puçerons

- Le calcul de l'indice de diversité de Shannon donne la valeur de $H = 0,98$ bits, donc la communauté est un peu diversifiée des espèces de puçerons.

3.3.10.2. Fréquence de présence des espèces de fourmis et puçerons

	févr-14	mars-14	avr-14	mai-14	juin-14	juil-14	août-14	sept-14	oct-14	nov-14	déc-14	janv-15
AGOS		■	■	■	■		■					
ACIT		■	■	■	■	■	■					
TAUR			■	■	■		■					
ANT	■	■	■	■	■	■	■	■	■			

Tableau 3.10. Fréquence de présence des espèces de fourmis et puçerons

La lecture de tableau de fréquence de présence donne les informations suivantes :

- La durée de présence de fourmis est de neuf mois (février 2014-octobre 2014) est la plus longue par rapport à la durée de présence de pucerons.
- La durée de présence la plus courte par rapport aux espèces de fourmis et pucerons est celle de l'espèce *Tauxoptera aurantii* dans les mois avril, mai, juin et août de l'année 2014.
- La Présence de fourmis avec les trois espèces de pucerons dans les trois mois avril, mai et juin 2014.
- On remarque la durée de présence de puceron *Aphis citricola* est la plus longue (six mois : mars 2014- août 2014) par rapport aux espèces *Tauxoptera aurantii* et *Aphis gossypii*.
- On observe six mois de la présence des espèces de fourmis et pucerons (mars, avril, mai, juin, juillet, août de l'année 2014).

3.3.10.3. La diversité des espèces de puceron

Au cours de notre échantillonnage dans le verger nous avons trouvé plusieurs espèces de pucerons qui sont associées avec les fourmis (Tableau 3.11). Dans cette partie nous avons étudiée la diversité des espèces de puceron suivantes : ACIT : *Aphis citricola* (puceron vert des citrus) ? AGOS : *Aphis gossypii* (puceron du cotonnier). TAUR : *Toxoptera aurantii* (puceron noir de l'oranger).

Le calcul de l'indice de diversité de Shannon révèle des valeurs de H varions entre 0,8003 à 1,264 bits, donc la communauté est diversifiée des espèces.

- La valeur la plus élevée est enregistrée pour l'espèce *Aphis citricola* qui est 1,264 bit.
- On note la valeur de l'indice d'Equitabilité la plus élevée $E=0,7056$ pour l'espèce *Aphis citricola*, les autres valeurs tend vers le 1 donc il y'a un équilibre entre l'effectifs des espèces présentes et l'espèce qui est dominante par rapport aux autres espèces de puceron est *Aphis citricola*.

0	ANT	ACIT	AGOS	TAUR
Taxa_S	1	1	1	1
Individuals	1222	538	186	65
Dominance_D	0,1357	0,3982	0,3863	0,5934
Shannon_H	2,081	1,264	1,114	0,8003
Simpson_1-D	0,8643	0,6018	0,6137	0,4066
Evenness_e^H/S	0,8907	0,5901	0,6091	0,5566
Menhinick	0,2575	0,2587	0,3666	0,4961
Margalef	1,125	0,7952	0,7654	0,7187
Equitability_J	0,9473	0,7056	0,692	0,5773
Fisher_alpha	1,317	0,9455	0,9458	0,9413
Berger-Parker	0,1915	0,5948	0,4462	0,7538

Tableau 3.11. Résultats de l'exploitation des indices de diversité des pucerons.

3.3.10.4. L'effet du nombre de pucerons sur la dynamique de fourmis

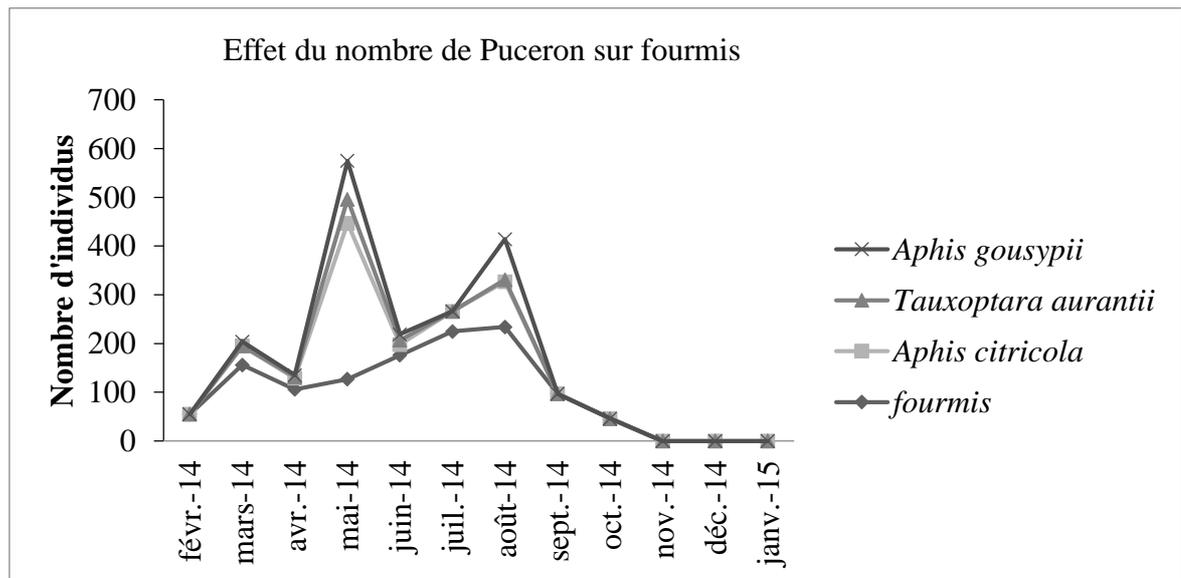


Figure 3.22 : L'effet du nombre de pucerons sur la dynamique de fourmis.

- L'espèce qui présente le nombre moyen de cochenille le plus élevé au sein des colonies de cochenilles de puceron est *Aphis citricola*.
- On remarque deux pics de nombres des trois espèces avec fourmi entre le mois de février et avril 2014, le deuxième pic dans le mois d'août.
- la moyenne des individus par colonie de puceron la plus élevée est égale à 68,19% pour l'espèce *Aphis citricola*, par contre la moyenne la plus basse au sein de la colonie est celle de l'espèce *Toxoptera aurantii*

L'espèce qui présente le nombre moyen de puceron le plus élevé au sein des colonies de pucerons est *Aphis citricola* avec $N1_{moy}=833,25$ individus, c'est ensuite *Aphis gossypii* avec $N2_{moy}=288,08$ individus, en fin l'espèce *Toxoptera aurantii* a le niveau de population le plus bas avec $N3_{moy}=100,67$ individus

Le test ANOVA *one way* donne $df=3$; $F=18,51$, $P=5,456^E-06$ pour la totalité de espèces de puceron mais le test TUKY donne des probabilités très hautement significatif. L'effet de nombre moyen de pucerons est significatif sur la dynamique de fourmis, $p=0,0001754$ pour l'espèce *Aphis citricola* et *Aphis gossypii* ; $p= 0,0002131$ pour *Toxoptera aurantii* donc le nombre moyen de pucerons agit positivement sur la dynamique des fourmis.

3.3.10.5. Les valeurs d'indice d'entretien par fourmis pour chaque espèce de puceron :

Nous avons calculé les valeurs d'indice d'entretien par fourmis (F) selon la méthodologie de FISHER et *al.* (2001), donc pour chaque espèce de puceron nous avons le nombre des fourmis et le nombre des individus de l'espèce de puceron qui a été inféodé sur arbre pour chaque mois dont :

- F1ACIT : L'indice d'entretien par fourmis de l'espèce *Aphis citricola*.
- F2AGOS : L'indice d'entretien par fourmis de l'espèce *Aphis gossypii*.
- F3TAUR : L'indice d'entretien par fourmis de l'espèce *Toxoptera aurantii*.

date	F1ACIT	F2AGOS	F3TAUR
févr-14	invalide	invalide	invalide
mars-14	126,75	29,25	0,0
avr-14	84,07	10,97	11,0
mai-14	90,71	22,40	13,9
juin-14	90,05	49,12	36,8
juil-14	225,00	0,00	0,0
août-14	120,90	107,90	5,2
sept-14	invalide	invalide	invalide
oct-14	invalide	invalide	invalide
nov-14	invalide	invalide	invalide

Tableau 3.12 : Tableau des indices d'entretien par fourmis de chaque espèce de puceron.

F1ACIT : Indice d'entretien par fourmis de l'espèce *Aphis citricola*. F2AGOS : Indice d'entretien par fourmis de l'espèce *Aphis gossypii*. F3TAUR : Indice d'entretien par fourmis de l'espèce *Toxoptera aurantii*.

Les indices d'entretien par fourmis ont été calculés pour chacune des espèces de puceron récapituler dans le tableau 3.12 montre que au sein des colonies de pucerons l'indice d'entretien par fourmis le plus élevé est de l'espèce de puceron *Aphis citricola* avec F1ACIT= 225,00 dans le mois de juillet 2014, c'est en suite *Aphis gossypii* avec F2AGOS=107,90 dans le mois d'août et puis *Toxoptera aurantii* qui présente F3TAUR=36,08 dans le mois de juin.

Au niveau de la population de chaque espèce de puceron le tableau (3.12)

- donne les valeurs suivantes :
- Pour l'espèce de puceron *Aphis citricola*, la valeur F1ACIT la plus supérieure est dans le mois de juillet 2014 donne F1ACIT = 225,00. La valeur la plus basse F1ACIT = 84,07 est dans le mois d'avril 2014.

- Pour l'espèce de puceron *Aphis gossypii*, la valeur F2AGOS la plus supérieure est dans le mois d'août 2014 donne F2AGOS = 107,90. La valeur la plus basse F2AGOS = 0,00 est dans le mois de juillet 2014.
- Pour l'espèce de puceron *Toxoptera aurantii*, la valeur F3TAUR la plus supérieure est dans le mois de juin 2014 donne F3TAUR = 36,8. La valeur la plus basse dans deux mois mars et juillet 2014.

On marquant des valeurs de l'indice d'entretien de puceron par fourmis invalident dans les mois de février, septembre, octobre, novembre, décembre de l'année 2014 et le mois de janvier de l'année 2015.

3.3.10.6. L'effet du nombre de puceron sur l'indice d'entretien des fourmis

Nous avons appelé au test de corrélation entre le nombre total de chaque espèce de puceron et leur indice d'entretien des fourmis pour savoir l'effet de nombre de l'espèce de puceron sur l'indice d'entretien des fourmis.

3.3.10.1. L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de puceron étudiées

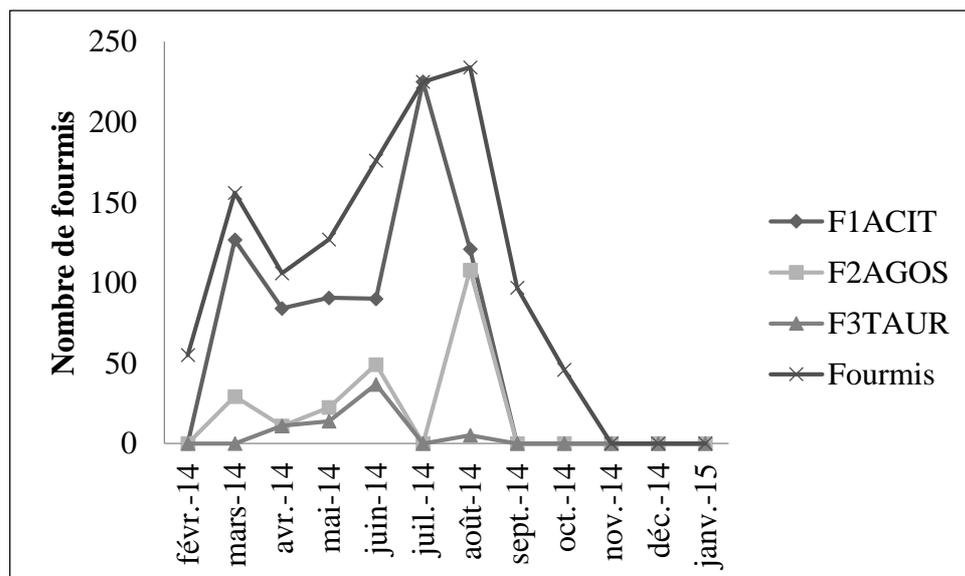


Figure 3.23 : L'effet temporel sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de pucerons étudiées.

On assiste deux pics au cours de l'année 2014-2015 : le premier pic au mois de mars 2014 (nombre de fourmis = 156), le deuxième dans la mi-août (le nombre de fourmis = 234). On remarque une augmentation de nombre de fourmis du mois de mars jusqu'à le début de mois de septembre 2014. Les résultats montrent une corrélation entre fourmis et puceron en fonction du temps pour l'espèce *Toxoptera aurantii* avec ($P=0,05521$) (Figure 3.23).

3.3.10.7. Discussion de l'indice d'entretien *Tapinoma simrothi*-puceron

Pour l'espèce de puceron *Aphis gossypii*, la valeur F2AGOS la plus supérieure est enregistrée dans le mois d'août 2014, la valeur la plus basse F2AGOS dans le mois de juillet 2014. Pour l'espèce de puceron *Toxoptera aurantii*, la valeur F3TAUR la plus supérieure est dans le mois de juin 2014 donne. La valeur la plus basse F3TAUR 2014. Les résultats révèlent une période d'entretien qui s'étale de moi de mars jusqu'au mois d'août, cette période de présence de puceron ; pour la colonie l'ensemble des espèces, l'indice d'entretien s'élève proportionnellement avec le nombre de pucerons.

Selon FISHER et *al.* (2001) l'indice d'entretien peut aperçu comme un indice présentant la préférence des fourmis pour les différentes espèces entretenues [101].

L'espèce qui présente le nombre le plus élevé au sein des colonies d'aphide est *Aphis citricola* c'est l'espèce préférée par la fourmi *Tapinoma simrothi* nos résultats sont semblable à celle de GUENARD (2007) [11] sur l'espèce de puceron *Aphis citricola*, la valeur F1ACIT la plus supérieure est dans le mois de juillet 2014. La valeur la plus basse est dans le mois d'avril 2014.

Pour l'ensemble des espèces testées, il existe une corrélation entre le nombre de puceron et l'indice d'entretien par fourmis pour les trois espèces de puceron, l'espèce *Toxoptera aurantii* est corrélé significativement avec le nombre, plus le nombre de puceron que comporte une colonie de puceron est important est plus l'indice d'entretien des fourmis est élevé.

Les petites colonies de puceron ont un indice d'entretien plus faible que les colonies de grande taille et devraient donc bénéficier davantage du mutualisme avec fourmis ; c'est ce qui a été démontré par ADDICOTT (1949) à travers les travaux sur pucerons [11].

Pour l'effet de la date sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de puceron étudiées on remarque une augmentation de nombre de fourmis de mois d'avril jusqu'au mois de juin 2014. Le nombre de puceron et la période de la saison semblent être les facteurs prépondérants dans le recrutement du nombre de fourmis que l'on retrouve au sein des colonies de puceron. Nos résultats couronnent alors avec ceux obtenus par d'autres études réalisées précédemment (RENAULT et *al.* 2005 et DEVIGNE et DETRAIN, 2005 in [11]).

L'association fourmi-puceron. Les aphides tirent avantage de la présence des fourmis *Tapinoma simrothi* pour leur multiplication et leur survie. Une étude quantitative réalisée dans les vergers à différentes échelles d'observation permet d'évaluer l'impact des fourmis sur les aphides et de montrer la variabilité des effets dans le temps. L'excrétion du miellat et le comportement des fourmis durant sa récolte. Notre résultat semblable à celle DARTIGUE (1992) qui a été réalisé en Algérie sur la relation fourmi-puceron dans les orangeries de Kabylie, selon cette auteur, Il existe une communication entre les deux insectes et la stratégie utilisée par les fourmis dans la récolte, semble la meilleure possible. Nous montrons enfin que l'action de *Tapinoma simrothi* sur les aphides dans les jeunes parcelles amené un dépassement des seuils économiques (seuils de dégâts tolérés). Selon DARTIGUE (1992) Un plan de lutte contre les fourmis s'avère ainsi nécessaire [346].

On va récapituler les résultats dans le tableau suivant qui montre que *Tapinoma simrothi* couvre ses besoins nutritionnels de miellat à partir des homoptères suivant par un calendrier :

	Févr.	mars	avr.	mai	juin	Juillet	août	sept
<i>Parlatoria ziziphi</i>	non	non	non	non	non	oui	oui	oui
<i>Toxoptera aurantii</i>	non	non	oui	oui	oui	non	oui	Fin
<i>Aphis gossypii</i>	non	oui	oui	oui	oui	non	oui	Fin
<i>Aphis citicola</i>	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui	Fin

Fin indique la fin de cycle. Le oui indique les résultats significatifs, le non indique les résultats non significatifs.

Intérêt de cette étude : WÄCKERS et *al.* (2017), ont considéré que les fourmis sont des ravageurs indirect pour cette raison ont vérifié si il est possible d'utiliser des suppléments de sucre artificiel pour la lutte contre les fourmis et évalué si la fourniture de sources de sucre artificiel modifie l'activité de fourmi, de perturba l'association entre la fourmi *Lasius grandis* et le puceron *Aphis spiraecola* et réduit les populations de pucerons au fil du temps. Les résultats montrent la réduction de l'activité des fourmis et les colonies de puceron dans les arbres traité par emplacement de sucre [349].

CHPITRE 4

EFFET DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES ESPECES MUTUALISTES

CHPITRE 4

EFFET DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES ESPECES MUTUALISTES

4.1. Introduction

Les auteurs ont étudié l'impact des changements globaux sur trois mutualismes plante-insectes spécifiques et obligatoires présentant des contrastes dans leur biologie et histoire naturelle. Tous leurs modèles biologiques impliquent des plantes ligneuses, et la majorité appartient aux écosystèmes tropicaux [226].

Si l'efficacité des prédateurs et des parasitoïdes en lutte biologique dépend du synchronisme de leur cycle de vie avec celui des ravageurs des cultures, elle dépend également de leur capacité à trouver et exploiter les ravageurs efficacement. Les effets de la température sur le comportement des ravageurs et de leurs ennemis naturels pourraient ainsi représenter des facteurs tout aussi importants que les traits physiologiques, mais ceux-ci ne sont pour l'instant que très peu étudiés en Algérie citons par exemple le travail de BENRIMA-GUENDOUIZ et al, et MOUSSI en 2011 sur les Orthoptères et le travail de DJAZOULI et al, sur le puceron noir du peuplier en 2012 [104 ; 105 ; 227].

Durant cette dernière décennie, la communauté internationale est de plus en plus préoccupée par l'évolution du climat et ses conséquences socio-économiques et environnementales. Depuis le milieu du 20^{ème} Siècle une tendance à la diminution des précipitations et une augmentation de la température, qui se poursuivent en ce début du 21^{ème} siècle, sont mises en évidence par plusieurs études En Afrique du Nord, le Maghreb est soumis au climat de type méditerranéen ou dominant les étage bioclimatiques semi-aride, aride et hyper aride [228 ; 229 ; 230].

Les études sur le changement climatique montre qu'au Maghreb le réchauffement climatique est plus important que la moyenne, si au niveau mondial

on a évalué la hausse de 0,74°C au 20ème siècle, elle a été située entre 1,5 °C et 2 °C selon les régions au Maghreb, on a pu aussi évaluer une baisse des précipitations qui a été située entre 10 et 20% [231]. Un différend subsiste entre le CCNUCC (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques) et le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) sur la définition à donner au changement climatique et à la variabilité climatique ; ainsi selon le GIEC, le réchauffement climatique se définit comme suit : « le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine. » (GIEC, 2007) ; à contrario de la première définition citée, la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le terme « changement climatique » désigne uniquement les changements dus aux activités humaines, quant au terme « variabilité climatique » il est utilisé pour désigner les changements climatiques d'origine naturelle (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008).

Les insectes sont des organismes ectothermes et ont, de ce fait, une très faible capacité à réguler leur température corporelle, de sorte que la température ambiante détermine l'ensemble des activités biologiques d'un insecte. Une faible variation de température peut modifier l'activité métabolique des organismes, ce qui se traduit par des changements importants de leur développement, survie, reproduction et comportement [234 ; 235 ; 236 ; 237]. Un changement de température ambiante entraîne chez l'insecte une augmentation ou une diminution proportionnelle de tous les processus métaboliques [238]. Cet effet de la température peut être décrit par des fonctions spécifiques associées à la survie, au développement et à la reproduction des individus, lesquelles fonctions peuvent également être utilisées afin de prédire le développement des populations et les interactions entre espèces au sein d'une communauté. La littérature regorge d'information sur les effets de la température sur le développement et la reproduction des insectes, et ce, chez un très grand nombre d'espèces ; en partie parce que ces connaissances sont importantes pour prédire le moment et l'ampleur des infestations d'insectes ravageurs des cultures ou vecteurs de maladies chez l'humain [5].

Le taux de développement d'un insecte, exprimé comme étant la fonction réciproque du temps requis pour passer d'un stade de développement à un autre, est presque nul à la température limite inférieure, augmente avec le réchauffement, plafonne à un optimum thermique, puis diminue rapidement jusqu'à l'atteinte de la température limite supérieure permettant le développement. Plusieurs modèles décrivent les effets de la température sur le développement des arthropodes (ex. LOGAN et al. 1976 ; SHARPE & DEMICHELE 1977 ; SCHOOLFIELD et al. 1981 ; TAYLOR 1981 ; HILBERT & LOGAN 1983 ; LAMB 1992 ; LACTIN et al. 1995 ; BRIERE et al. 1999 *in* BRODEUR et al. 2013 [5]). Ils se distinguent quant à la nature et au nombre de paramètres (fonctions) requis, et selon les prémisses de base quant aux effets de la température aux limites inférieures et supérieures [239].

La réponse non-linéaire des organismes aux variables climatiques, particulièrement aux extrêmes thermiques, cause problème pour le développement des modèles et leur validation expérimentale. Il s'avère impossible de déterminer les valeurs exactes des températures limites inférieure et supérieure de développement d'un insecte, voire difficile de les estimer avec grande rigueur. Au laboratoire ce travail est très fastidieux, particulièrement à très basse température puisque les taux de développement sont extrêmement lents et que la proportion des individus qui meurent avant de compléter leur développement est grande, ce qui augmente d'autant l'erreur expérimentale. De plus, les processus qui entraînent un stress thermique ou la mort à température élevée peuvent être fort différents de ceux qui ralentissent le développement et entraînent des perturbations causées par le froid à basse température [239]. Une estimation adéquate de ces paramètres est toutefois essentielle pour bonifier les modèles actuels et l'interprétation des prédictions dans le cadre de travaux sur l'écologie saisonnière des insectes, la dynamique de leurs populations ou la lutte aux espèces nuisibles [5].

Un nombre grandissant d'études démontrent que la température influence le taux de prédation et de parasitisme en modifiant divers paramètres du comportement des insectes : vitesse de déplacement, temps de manipulation parasitaire, réponse fonctionnelle, réponse numérique, temps de résidence dans les agrégats, comportements de défense des proies/hôtes, mais de nombreuses

questions restent inexplorées [5]. La théorie de la dynamique des populations nous permet d'évaluer la capacité d'un agent de lutte biologique à supprimer les populations d'un ravageur. Plusieurs paramètres biologiques et comportementaux sont à considérer, mais l'un des plus significatifs concerne la durée relative des générations du ravageur et de son ennemi naturel [240].

4.2. Méthodes d'études et objectif

Cette étude visé à appréhender l'effet des variations climatiques sur les mécanismes impliqués dans la dynamique spatiotemporel des populations des cochenilles. Pour cela il nous a paru indispensable de nous munir des données des températures minimales et maximales et calculer ensuite les moyennes, et cela pour notre région d'étude durant des périodes bien déterminées. L'objectif visé dans ce travail, est de savoir comment la cochenille *Parlatoria ziziphi* et la fourmi *Tapinoma simrothi* s'expriment face aux changements climatiques à savoir les taux de développement dépendants de la température des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* dans son milieu naturel à l'aide d'un modèle non linéaire ??

4.2.1. Présentation de la région d'étude

Notre étude a été réalisée dans la région agrumicole d'Oued El Alleug, située à une dizaine de kilomètres à l'est de Blida, dans la Mitidja centrale (D.M.S) 36° 33' 19" Nord, 2° 47' 25" Est. Le sol est principalement d'une texture limono-sablo-argileuse. Les caractéristiques de sol de cette région sont : Le calcaire (CaCO_3) total = 20,40 % ; donc le sol est calcaire. Le PH = 7,60 ; donc le sol est légèrement alcalin. La conductivité (salinité) = 0,83 ; de ce fait le sol est non salin. Le phosphore (P_2O_5) assimilable = 35 ppm ; le niveau de fertilité est très faible. Le potassium (K_2O) assimilable = 3 mg/100 g = 0,8 méq/ 100 g ; le sol est pauvre en potassium.

La ferme de cinq palmiers est considérée comme une ferme à vocation agrumicole. Elle est spécialisée dans la production de différentes variétés d'agrumes comme la Clémentine et Thomson. A partir de l'année 2011 la ferme a

reconnu sous les recommandations de programme de la P.N.D.A. des substitutions des agrumes de vieux plants (de 50 à 68 ans) par d'autres cultures.

4.2.1.2. Présentation de la station d'étude

Notre travail de terrain a été réalisé à la ferme des Cinq palmiers d'Oued El Alleug (Blida). Elle se situe à environ 4 Km de la ville d'Oued El Alleug. Elle est limitée à l'ouest par oued Chiffa, au Sud par la route nationale

Notre travail de terrain a été réalisé dans deux parcelles :

- L'âgée parcelle : C'est la parcelle n°15 de 2,67 ha, contient 1007 arbres. La distance de plantation est de 6 m sur la ligne et 6 m entre les lignes, entouré de brise-vent constitué de cyprès (*Taxodium distichum*), l'âge des arbres est de plus de 40 ans. Durant toute la période de notre étude (2009-2010) plusieurs travaux culturaux ont été effectués (Irrigation par rigole, taille, apport d'engrais, traitement chimique. Notons qu'en 2013 ces arbres ont été remplacés par la céréaliculture.
- La jeune parcelle : C'est la parcelle n°34 de 1,5 ha. C'est une nouvelle plantation de l'année 2008. Elle contient 250 arbres, la distance de plantation est de 6 m sur la ligne et 6 m entre les lignes, entouré de brise-vent constitué de cyprès (*Taxodium distichum*). L'âge des arbres est de plus de 2 ans. Elle est irriguée par système goutte à goutte et elle n'a subi aucun traitement chimique. Durant toute la période de notre étude, plusieurs travaux culturaux ont été effectués (Irrigation, apport d'engrais organique).

La période d'échantillonnage est durée deux années s'est étendue du mois de mai de l'année 2009 au mois de mai 2010. Nous avons réalisé 24 sorties soit une fréquence de deux sorties par mois. L'échantillonnage a été mené selon la méthode des blocs Nous avons retenu 6 blocs pour chaque parcelle, et nous avons fait un prélèvement au hasard. Le matériel végétal a été sélectionné en feuilles attaquées et non attaquées. Selon MARTIN-PREVEL (1984), SOING (1999), le prélèvement des feuilles doit être effectué.

4.2.2. Méthodes d'étude pour les cochenilles

Prélèvement direct : Nous choisissons un arbre au hasard pour chaque bloc, au niveau desquels, nous effectuons deux répétitions de prélèvement à la fois sur même arbre. Pour chaque prélèvement quatre feuilles ont été prélevées d'une façon aléatoire de chaque direction cardinale plus le centre, en mélangeant les prélèvements de toutes les directions cardinales, qui étaient mis dans des sachets en papier étiquetés et mentionner par (la date, le numéro du bloc et de l'arbre, l'orientation). VASSEUR et SCHVESTER [137]. Pour les études au laboratoire, les échantillons pris sur le terrain pour chaque sortie, sont observés sous la loupe binoculaire à fin de compter tous les stades sur la totalité de la feuille (face supérieure et face inférieure) en précisant les individus vivants, mort et parasités. Pour chaque parcelle, nous avons placé une bassine jaune, à 70 cm du sol et remplie aux deux tiers de sa hauteur d'eau additionnée à un mouillant et quelques gouttes de formol. Les insectes sont capturés au moyen de filet à papillon et le parapluie japonais [137].

Remarque

Pour éviter toute confusion avec d'autres échantillons qui ont été conservés dans le laboratoire nous nous inscrivons notre nom et prénom. En suite les sachets sont placés dans le réfrigérateur (4°C), à fin d'éviter d'éventuelles éclosions et développements larvaires.

- ❖ Méthodes d'étude pour les fourmis est présentée dans le 3^{ème} chapitre.

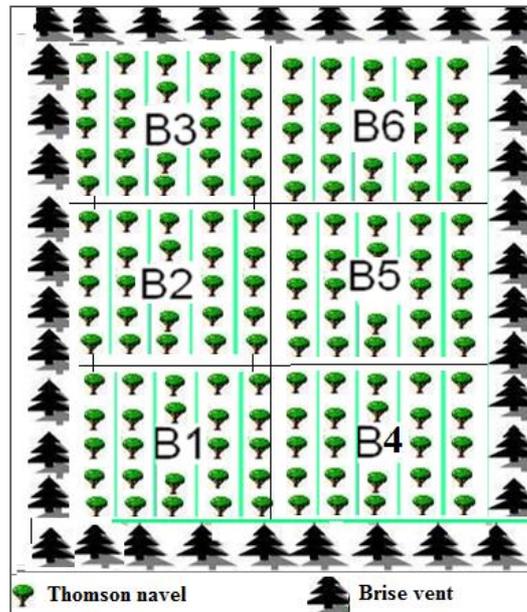


Figure 4.1 : Dispositif expérimental de parcelle étudiée dans le verger d'Oued El Alleug (Boukoftane, 2010).

A. Détermination des plantes spontanée

La reconnaissance des plantes spontanée ont rendue possibles grâce à l'utilisation d'une loupe binoculaire et des clefs de déterminations telles que QUÉZEL et SANTA (1962-1963), MAIRE (1987) et OZENDA (1991).

B. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Cet indice a été proposé par GAUSSEN en 1952. Il est, largement, utilisé pour sa simplicité et son efficacité. L'indice de GAUSSEN s'exprime par un diagramme Ombrothermique qui est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées : une gradation de l'échelle des précipitations correspond à deux gradations de l'échelle des températures : $P=2T$. Où P : précipitations mensuelles en mm, T : température moyenne mensuelle en °C. Cette représentation met en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses. On souligne une période sèche, chaque fois que la courbe des précipitations passe au-dessous de la courbe des températures. Ces diagramme permet de compare facilement les climats de défèrent endroits (principalement en climat méditerranéens ou tempères) d'un coup d'œil de point de vue pluviosité [247].

Les relevés enregistrées à la station météorologique d'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de Soumaa (A.N.R.H) durant la période qui s'étend de 1998 jusqu'à 2015.

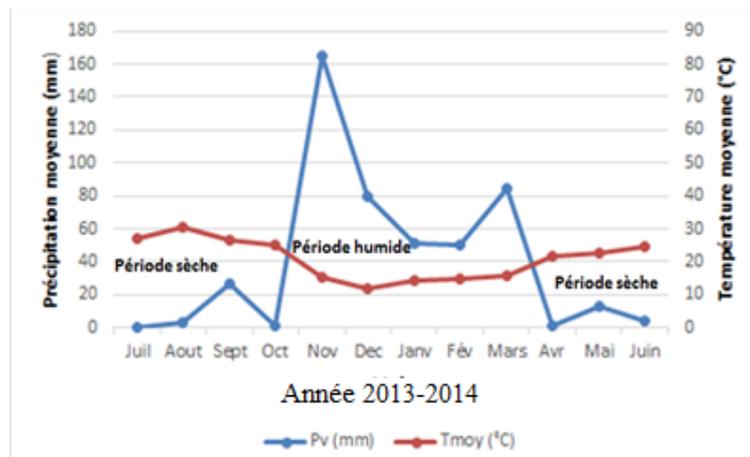
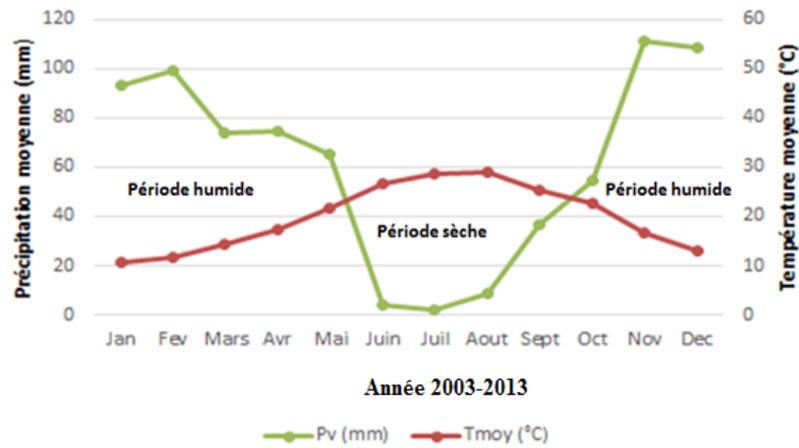
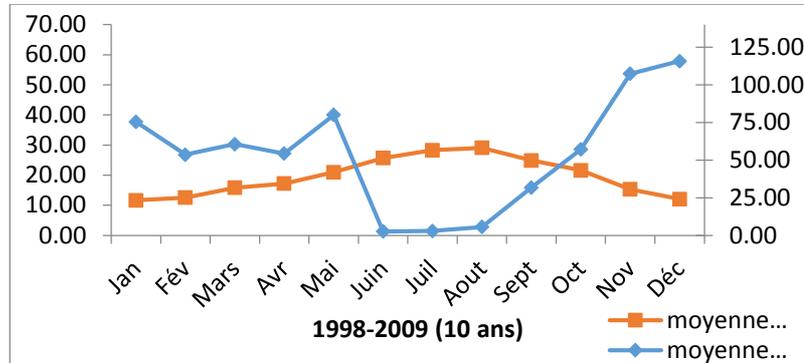


Figure 4.2 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSE relatif aux années d'études.

On constate que durant la campagne 1998 à 2009, la période sèche de mois de juin à octobre où l'on enregistre des températures plus élevées avec des précipitations plus faibles. La période humide qui s'étend du mois d'octobre jusqu'au mois de mai, la pluviométrie atteint son maximum en mois de novembre, décembre et où les degrés de températures déclinent aux plus bas en mois de décembre, janvier et février (figure 4.2).

À partir de diagramme ombrothermique, on constate que durant la campagne 2003 à 2013, la période sèche s'étend de la fin mai à la fin septembre où l'on enregistre des températures plus élevées avec des précipitations plus faibles. La période humide qui s'étend du mois d'octobre jusqu'au mois de mai, la pluviométrie atteint son maximum en mois de novembre, décembre et où les degrés de températures déclinent aux plus bas en mois de décembre, janvier et février (figure 4.2).

Durant les années 2013 à 2014, la période humide s'étend de la fin de mois octobre jusqu'à la fin du mois de mars, alors que les deux périodes sèche commencent au début du mois de Juillet jusqu'à la fin de mois de octobre et depuis le mois avril jusqu'à le mois de juin (figure 4.2).

Pour ce qui est des années d'étude, 2013 et 2014, nous constatons que ce sont des années douces ils ont présenté un hiver semi-aride.

C. Climagramme d'Emberger

L'indice d'Emberger permet la caractérisation des climats et leurs classifications dans l'étage bioclimatique. Cet indice est calculé par le biais du coefficient pluviométrique adoptée par STEWART (1969), et obtenu par la formule qui suit :

$Q_2 = 3.43 (P / (M - m))$ dont :

- P : La pluviométrie annuelle (mm).
- M : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud.
- m : la moyenne des températures minimales du mois le plus froid.

La température moyenne minimale du mois le plus froid, placée en abscisses et la valeur du coefficient pluviométrique Q_2 placée en ordonnées, donnent la

localisation de la station météorologique choisie dans le Climagramme STEWART (1969) [249].

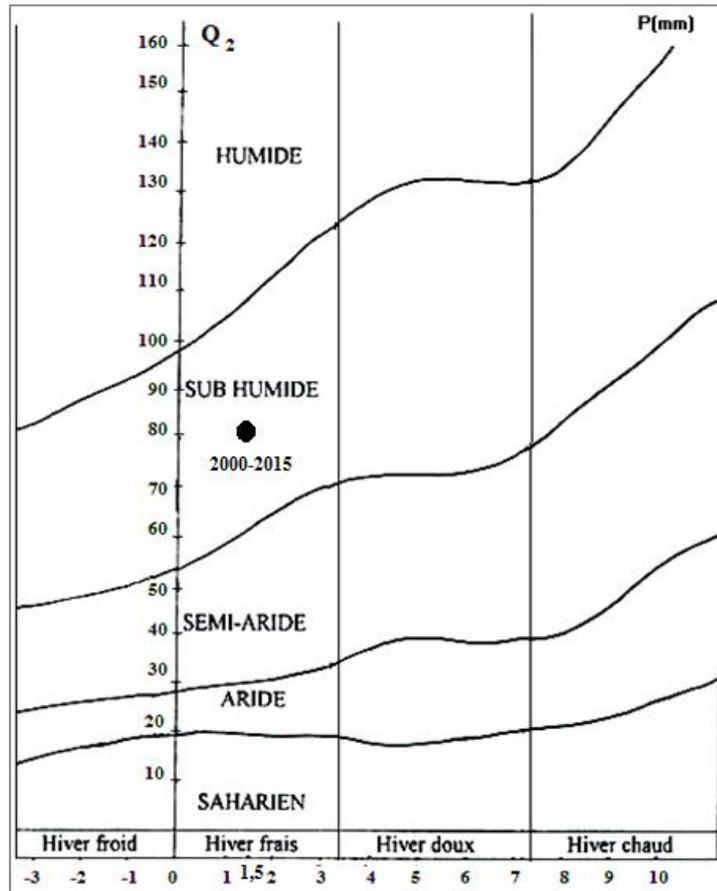


Figure 4.3 : Localisation de la Mitidja dans le Climagramme d'Emberger (2000-2015).

Les vents les plus redoutés pour les vergers de la Mitidja sont ceux qui soufflent en hiver de l'Ouest et du Nord-Ouest Modérés, ils frappent, parfois, fortement à la fin de l'automne (Novembre) et en hiver, or les vents desséchant (sirocco) du sud provoquent des dommages aux vergers lorsqu'ils sont insuffisamment protégés (MUTIN (1977) in ARONE, 2015) [207].

Selon les données obtenues de l'A.N.R.H, au cours du mois de janvier ont enregistré 9 jours de brouillard ce qui indique une hygrométrie assez élevée.

La gelée est la baisse de température au-dessous de 0°C, transformant l'eau en glace. Les gelées sont fréquentes en hiver, au printemps et absentes en été et en automne. Elles causent de graves dommages sur les feuilles, les jeunes

rameaux et les pousses donnant un aspect de brûlures. Selon l'O.N.M, le maximum de jours de gelée a été enregistré pendant 8 jours de la période juillet 2013 à juin 2014.

4.2.3. Traitement des données thermiques

Pour les besoins de notre étude, il est important d'avoir en notre disposition plusieurs variables concernant la température : la moyenne des maxima (TX), la moyenne des minima (TN), la moyenne mensuelle ($TM = (TX+TN)/2$) et l'amplitude thermique (TX-TN). Pour le calcul de ces moyennes et pour les besoins de notre étude, la méthode jugée la plus adéquate est celle préconisée par l'OMM (Organisation mondiale de la météorologie) et (W.M.O, 1989), cette méthode consiste à calculer la température moyenne mensuelle à partir des températures moyennes journalières obtenues de la sommation des extrêmes journalières (maxima (TX) + minima (TN)) divisées par deux donc :

$$M = \sum [(TX+TN)/2]/n$$

Le **n** : est le nombre des jours du mois [247].

4.2.4. Estimations des températures cardinales et du taux maximal de développement

4.2.4.1. Objectif :

Le développement des insectes se caractérise par des courbes de réponse non-linéaires à la température. De nombreuses équations ont été proposées dans la littérature et plusieurs expriment adéquatement cette réponse à la température. Toutefois, ces équations varient en termes de complexité, de nombre de paramètres à estimer et selon la signification biologique des paramètres. Ces critères sont importants lors de la sélection de l'équation à utiliser dans le cadre d'études sur l'impact de la variabilité climatique et des changements climatiques. Notre objectif premier pour chacune des espèces étudiées est de déterminer leur taux maximal de développement (**Dmax**) et leurs températures cardinales, soit la température limite inférieure de développement (**Tinf**), la

température de développement maximal (**TDmax**), souvent identifiée dans la littérature comme la température optimale de développement (**TOpt**), et la température limite supérieure de développement (**TSup**). Ces paramètres identifient donc les températures au-dessous (**TInf**) et au-dessus (**TSup**) desquelles l'insecte ne peut se développer, ainsi que la température (TDmax) où le taux de développement est équivalent à Dmax. Dans les prochains paragraphes, les paramètres TL et TU seront respectivement utilisés dans les équations proposées comme des estimateurs mathématiques de TInf et TSup., lesquels sont considérés comme les valeurs biologiques réelles pour une espèce donnée [5].

4.2.4.2. Estimations des températures par l'équation de YAN & HUNT (1999)

Les entomologistes et les écologistes ont comparé diverses équations issues de la littérature, d'identifier leurs forces et faiblesses, puis d'en sélectionner une **équation YAN & HUNT (1999)** afin de développer un modèle plus performant pour décrire le développement d'un organisme ectotherme dans les zones des températures minimale et maximale de développement [5 ; 250]. La cochenille *Parlatoria ziziphi* est manquante dans la base de données des réponses thermiques des insectes et acariens ravageurs et bénéfiques en milieu agricole [5]. Nous avons tenté d'exploiter l'équation **YAN & HUNT (1999)** pour savoir les réponses thermiques de *Parlatoria ziziphi* dans son milieu agricole [5].

Dans le cadre de notre étude, les équations suivantes ont été retenues et évaluées : deux équations proposées par YAN & HUNT (1999), Les équations YAN & HUNT (TL est.) et YAN & HUNT (TL=0), évoluent aussi de façon non-linéaire. Toutefois, ces deux équations permettent une estimation directe de tous les paramètres désirés pour caractériser la réponse à la température d'une espèce ectotherme, soit Dmax, TL, TDmax et TU. Pour les estimations des températures cardinales et du taux maximal de développement des différentes espèces l'équation de **YAN & HUNT** est choisie pour les caractères suivants :

- L'équation YAN & HUNT (TL=0) fournit en général la meilleure caractérisation de réponse à la température, avec seulement 3 paramètres à estimer, soit Dmax, TDmax et TU.

- L'équation de YAN & HUNT (TL est.), avec 4 paramètres à estimer, soit D_{max} , T_L , T_{Dmax} et T_U , requiers au plusieurs observations de taux de développement, de plus, des valeurs négatives de (T_L) sont régulièrement obtenues lors des analyses de régression non-linéaire [5 ; 250] (BRODEUR et al, 2013).
- Les caractéristiques de l'équation de YAN & HUNT (1999) :
 - Pour : $T \leq T_{inf}$ ou $T \geq T_{sup}$ le $D = 0$
 - Pour $T_{inf} < T < T_{sup}$:

$$D = D_{max} \left(\frac{T_u - T}{T_u - T_{Dmax}} \right) \left(\frac{T}{T_{Dmax}} \right) \frac{T_{Dmax}}{T_u - T_{Dmax}}$$

- Où : T : température ;
- D : taux de développement à la température T ;
 - D_{max} : taux de développement maximal à la température T_{Dmax} ;
 - T_L : température estimée de limite inférieure de développement ;
 - T_{Dmax} : température de développement maximal ;
 - T_U : température estimée de limite supérieure de développement [5 ; 250].

Si une relation suffisamment importante se confirme entre X et Y , on peut poursuivre l'analyse en effectuant une régression. Une régression est l'estimation de l'équation de la relation existant entre les variables X et Y .

Régression linéaire : Cette relation peut être linéaire ou non. Dans le cas du modèle linéaire l'équation de la régression est: $Y=a+bX$.

Les paramètres **a** (ordonnée à l'origine) et **b** (pentes) peuvent être déterminés selon deux méthodes, la méthode des moindres carrés, ou celle des moindres rectangles, qui seront choisies en fonction du type de relation existant entre X et Y . Ces deux méthodes sont détaillées par VAN VYVE-GENETTE (1986) et ERIC DEPIEREUX (2016) [251].

Lors de l'établissement d'une équation de régression, le **coefficient de détermination (R^2)** détermine à quel point l'équation de régression est adaptée pour décrire la distribution des points. En statistique, le **coefficient de**

détermination, noté R^2 ou r^2 , est une mesure de la qualité de la prédiction d'une régression linéaire :

- Si le R^2 est nul, cela signifie que l'équation de la droite de régression détermine 0% de la distribution des points. Cela signifie que le modèle mathématique utilisé n'explique absolument pas la distribution des points.
- Si le R^2 vaut 1, cela signifie que l'équation de la droite de régression est capable de déterminer 100% de la distribution des points. Cela signifie que le modèle mathématique utilisé, ainsi que les paramètres a et b calculés sont ceux qui déterminent la distribution des points.
- Quand les points sont exactement alignés sur la droite de régression, $R^2=1$. $0 \leq R^2 \leq 1$. Le R^2 est calculé selon la formule: $R^2 = \text{SCE}_{y \text{ estimés par l'équation de régression}} / \text{SCE}_{\text{totale}}$
- $R^2 =$ variabilité expliquée par la régression / variabilité totale. Le R^2 n'est le carré du r que dans le cas particulier de la régression linéaire. Dans les autres régressions (logarithmique, exponentielle, puissance, etc.) ce n'est pas le cas. C'est pour éviter cette confusion facile qu'on note habituellement le r du coefficient de corrélation en minuscule, et celui du coefficient de détermination en majuscule ERIC DEPIEREUX (2016) [252] et VYVE-GENETTE (1986) [251] En statistique, le **coefficient de détermination**, noté R^2 ou r^2 , est une mesure de la qualité de la prédiction d'une régression linéaire [253]. Le coefficient de détermination est alors le rapport de la variance expliquée par la régression SSR sur la variance totale SST, le coefficient de détermination est comme une généralisation du coefficient de corrélation au cas d'une régression linéaire multivariée [253].

Le taux de développement représente le progrès du développement d'un stade spécifique à une unité de temps (c.-à-d. Par heure, par jour), de sorte que 100% représente l'achèvement du développement de ce stade (SHI et al. 2017) [254]. Le cycle de vie de *Parlatoria ziziphi* est de 37 à 106 jours donc (un mois à trois mois), nous avons considéré le mois comme unité de temps.

4.3. Résultats

4.3.1. Les plantes adventices recensées dans le verger

Les plantes adventices recensées dans le verger agrumicole retenu lors de cette étude sont :

- Les Asteraceae : *Matricaria recutita* L., *Sonchus arvensis* L.
- Les Brassicaceae : *Raphanus raphanistrum* L.
- Les Convolvulaceae : *Convolvulus arvensis* L.
- Les Malvaceae : *Malva rotundifolia* L.
- Les Oxalidaceae : *Oxalis cernua* L. Coquelicot
- Les Poaceae : *Alopecurus myosuroides* Hudson, *Avena fatua* L. (Folle avoine).

Les Portulacaceae : *Portulaca oleracea* L. Pourpier maraîcher.

4.3.2. Effet des paramètres thermiques sur le taux de développement des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* (année 2009-2010)

	Année 2009				Année 2010			
	Tmin°C	Tmax°C	Tmoy°C	Pv (mm)	Tmin°C	Tmax°C	Tmoy°C	Pv (mm)
Janvier	10	13	12	67,2	2,5	19,5	12,3	67,2
Février	10	15	12	92,1	2	29	13,8	92,1
Mars	11	19	15	122,8	5	24	14,4	122,8
Avril	10	18	14	53,3	13	21	17	90
Mai	17	27	22	30,8	16	23	19	97
Juin	22	31	27	1	19	28	23	50
Juillet	26	39	31	2	24	34	29	2
Août	23	34	29	7	22	34	28	9
Septembre	17	35,5	24	86,2	18	30	24	29
Octobre	13	34,5	21,2	8,9	16	25	21	61
Novembre	10	29,5	17,8	100	14	18	16	51
Décembre	6	26,5	13,8	130,9	10	17	13	58

Tableau 4.1 : Les températures maximales, minimales mensuelles et leurs moyennes des années 2009, 2010.

Tmax°C : Les températures maximales. Tmin°C : Température minimales. Tmoy°C : Les températures moyennes mensuelles. (Source : Station I.N.R.H. et La société *WorldWeatherOnline*, France, Cite web : historique. *Meteo.net* et *Smart watch*).

Dans le tableau 4.1 au cours des deux années 2009 et 2010, la température minimale la plus basse (Tmin = 2°C) est enregistrée dans le mois de février 2010. La température maximale la plus élevée (Tmax = 39°C) est enregistrée dans le mois de Juillet de l'année 2009.

Mois	L1B.	L1F.	Nph.	AD.♂	Jeu.♀	Laying	AD.♀
Sept.	7,29	21,36	2,76	19,56	6,97	10,55	55,33
Oct.	3,22	43,12	8,91	13,96	9,71	28,65	46,3
Nov.	24,96	39,22	5,4	22,59	11,19	14,26	41,96
Déc.	2,97	27,46	9,15	20,44	7,32	12,21	29,49
Janv.	7,89	30,88	11	8,3	10,92	12,68	47,86
Févr.	2,88	33,56	9,7	6,93	4,75	6,37	36,92
Mars.	1,96	30,37	6,33	5,77	9,93	6,38	17,88
Avril	7,18	30,74	4,14	5,02	1,76	13,33	15,11
Mai	17,23	21,8	3,41	9,52	1,59	4,66	23,19
Juin	10,22	14,82	3,74	3,61	0,9	6,2	28,23
juillet	12,84	8,32	32,65	9,04	20,44	14,07	24,25
août	11,67	16,01	2,78	10,06	18	9,95	59,46

Tableau 4.2. Le taux de développement des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* sur les feuilles durant les deux années d'étude 2009- 2010.

L1B : premier stade larvaire mobile, L1F : premier stade larvaire fixe, L2♂Nph : deuxième stade larvaire mâle, AD.♂ : L3 adulte ailée ou mâle adulte, Jeu.♀ jeunes femelles, Laying : femelles avec ovisac (pondeuse), AD.♀ : femelle adulte.

On retient les données des tableaux (4.1) et (4.2) des facteurs climatiques 2009-2010 et de taux de développement des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* sur les feuilles pour l'application de la formule mathématique de YAN et HUNT (1999). Les résultats de l'analyse de régression non-linéaire des températures appliquée aux différents stades larvaires de *Parlatoria ziziphi* de l'année 2009 et 2010 sur arbre âgé sont motionnés dans le (tableau 4.3).

YAN & HUNT (TL estimée)	Dmax	TL (°C)	Dmax à Tinf	TDMAX (°C)	TU (°C)	R
Larve mobile	24,96	2	15,5	29,5	39	0,97
Larve L1FIXE	43,12	2	8,32	23,5	39	0,66
Mâle adulte	22,59	2	8,3	26,5	39	0,96
Mâle (nymphe)	32,65	2	22	29,5	39	0,99
Femelle jeune	20,44	2	10,92	34	39	0,97
Femelle adulte	59,46	2	47,86	35	39	0,88
Pondeuse	11,19	2	10,5	26,5	39	0,66

Tableau 4.3 : Résultats de l'analyse de régression non-linéaires appliquée à *Parlatoria ziziphi* (2009-2010).

T : température. D : taux de développement à la température T. Dmax : taux de développement maximal à la température TDmax. TL : température estimée de limite inférieure de développement. TDmax : température de développement maximal. TU : température estimée de limite supérieure de développement. R : Coefficient de corrélation ($-1 \leq R \leq +1$).

Comment estimer la température de développement des larves biologiques dans le tableau selon l'estimation de YAN & HUNT (1999) ?

L'estimation des températures est comme suit :

- Température estimée de limite inférieure de développement de la population (tous les stades biologiques) $TL=2^{\circ}\text{C}$.
- Température estimée de limite supérieure de développement de la population (tous les stades biologiques) $TU= 39^{\circ}\text{C}$.
- Taux de développement maximal de Larve mobile $D_{\text{max}} = 24,96 \%$ à la température $TD_{\text{max}} = 29,5^{\circ}\text{C}$.
- Taux de développement maximal de L1FIXE $D_{\text{max}} = 34,12\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 23,5^{\circ}\text{C}$.

- Taux de développement maximal de Mâle adulte Dmax = 22,59% à la température TDmax = 26,5°C.
- Taux de développement maximal de Mâle (nymphe) Dmax = 32,65% à la température TDmax = 29,5°C.
- Taux de développement maximal de jeune Femelle Dmax = 20,44% à la température TDmax = 34°C.
- Taux de développement maximal de Femelle adulte Dmax = 59,46% à la température TDmax = 35.
- Taux de développement maximal de Femelle Pondeuse Dmax = 11,19% à la température TDmax = 26,5°C.

Les résultats de l'analyse de régression non-linéaires de YAN & HUNT (1999) appliquée à *Parlatoria ziziphi* dans le 3^{ème} tableau montrent que les valeurs de corrélation de tous les stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* sont positives variant entre (0,66 à 0,99), ($R \leq +1$) avec les températures minimales et maximales.

D : taux de développement à la température T est calculé par la formule mathématique de YAN & HUNT (1999), dans le développement suivant de cette étude.

2009-2010	Tmax°C	L1B.	L1F.	♂phL2	AD.♂	Jeu.♀	Laying	AD.♀
	Sept.09	35,5						
	Oct.09	34,5		43,12				28,65
l'automne	Nov.09	29,5	24,96		22,59			
	Déc.09	26,5						
	Janv.10	19,5						
Hiver	Févr.10	29						
	mars-10	24						
	Avr.10	21						
printemps	mai-10	23						
	juin-10	28						
	Juil.10	34		32,65		20,44		
L'été	août-10	34						59,46

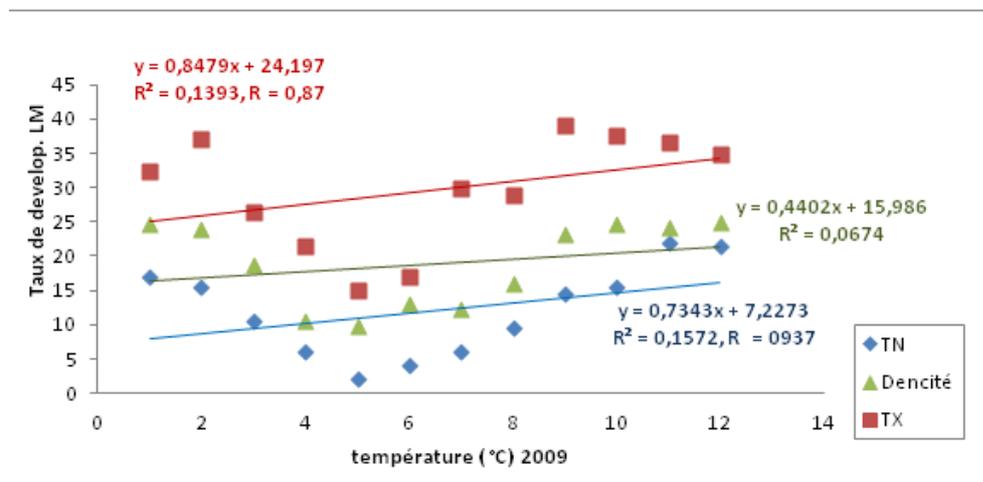
Tableau 4.4 : Estimation de taux de développement maximal saisonnier pour chaque stade biologique de *Parlatoria ziziphi* (année 2009 et 2010).

L1B : premier stade larvaire mobile, L1F : premier stade larvaire fixe, L2♂Nph : deuxième stade larvaire mâle, AD.♂ : L3 adulte ailée ou mâle adulte, Jeu.♀ jeunes femelles, Laying : femelles avec ovisac (pondeuse), AD.♀ : femelle adulte.

Le meilleur développement des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* pour les deux années 2009-2010 est dans la saison automnale donne un taux de 43,12% de larve 1fixe à température 34,5°C dans le mois d'octobre de l'année 2009. Un taux de 24,96% de larve1 mobile à température maximale de 29,5 °C dans le mois de novembre de l'année 2009. Tmax = 29,5 °C pour troisième stade larvaire mal adulte le taux = 22,59% dans le mois de novembre 2009. Dans la saison estivale Tmax = 34 C° pour un taux de 32,65 % de deuxième stade nymphal mal dans le mois de juillet 2010. Tmax= 34°C pour un taux = 59,46 % de femelle adulte dans le mois d'août 2010.

4.3.3. Effet des paramètres thermiques sur le développement des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* après un ajustement linéaire (année 2009- 2010).

L'analyse de la variance par Test *One way* ANOVA des paramètres thermiques sur le taux de développement des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* après l'application de différentes régressions (Linéaire, Logarithmique, Exponentielle, Puissance) sur la courbe et on vérification de l'indice de corrélation (R), et l'indice de détermination (R^2) le meilleur résultat recrute la régression linéaire qui été appliquée sur les courbes de tous les stades de développement de *Parlatoria ziziphi*, Type de régression des courbes de tendance est linéaire.



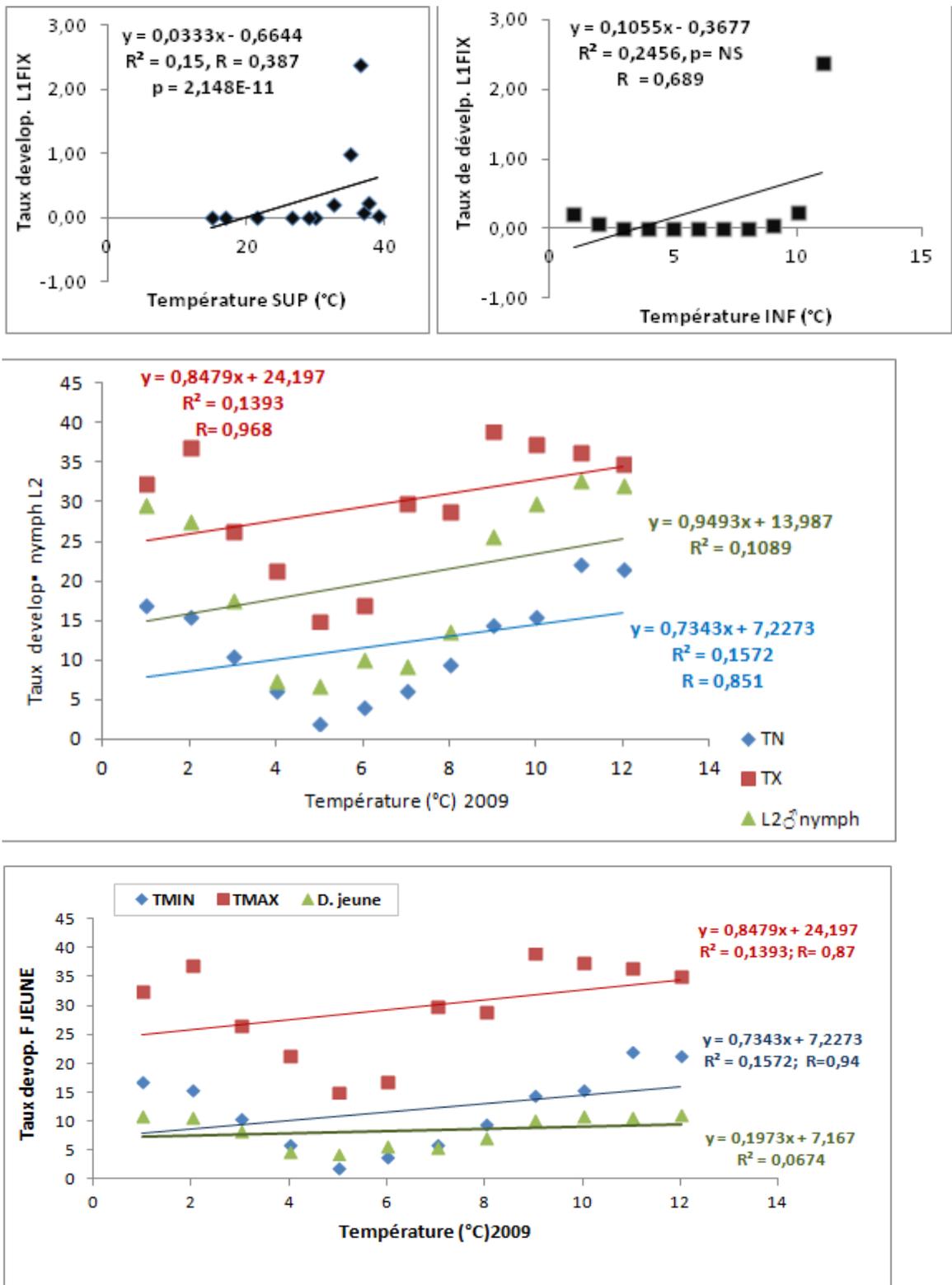


Figure 4.4. Analyse de régression linéaire des paramètres thermiques appliquée aux différents stades larvaires de *Parlatoria ziziphi* de l'année 2009 et 2010 sur arbre âgé.

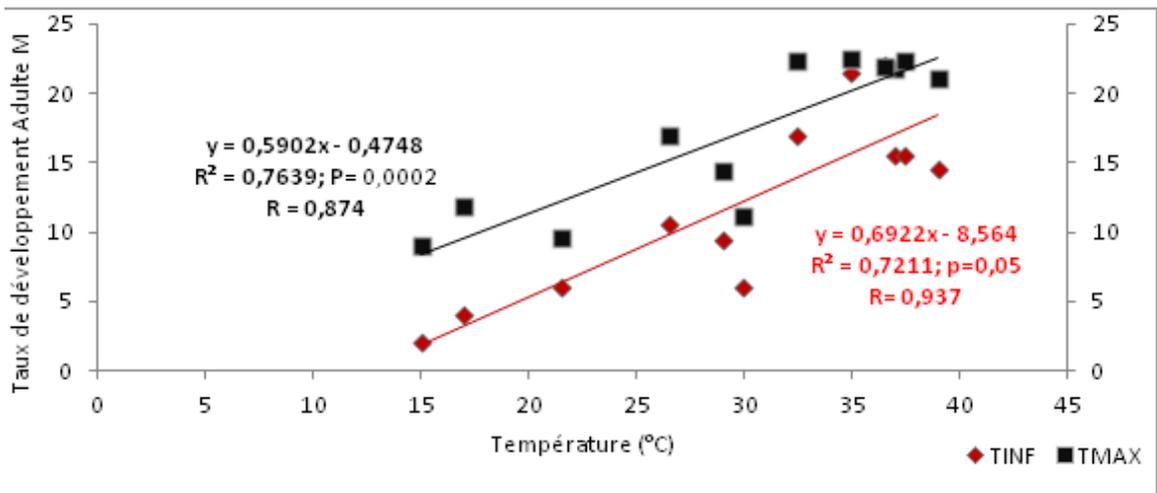
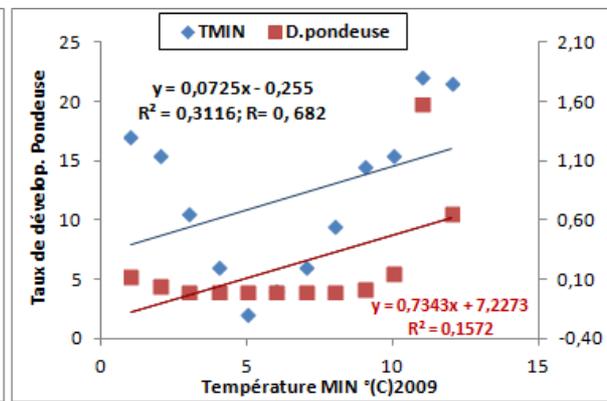
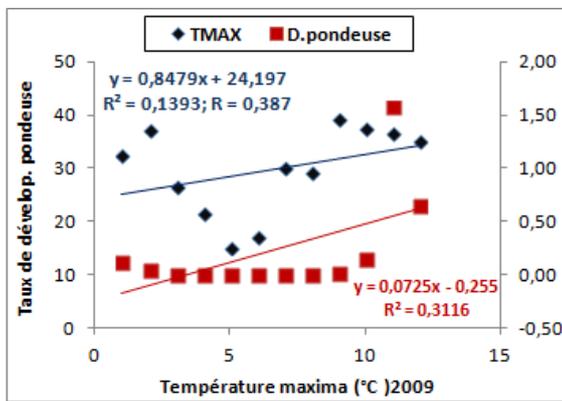
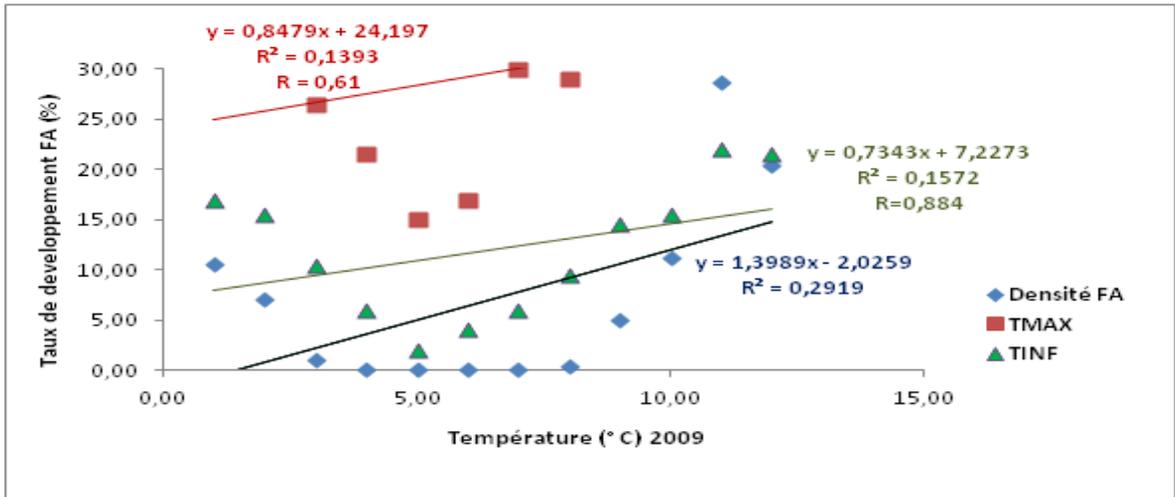


Figure 4.5. Analyse de régression linéaire des paramètres thermiques appliquée aux stades adultes de *Parlatoria ziziphi* de l'année 2009-2010 sur arbre âgé.

4.3.4. Analyse de variance par Test One way ANOVA de l'effet des paramètres thermiques sur la densité de chaque stade larvaire de *Parlatoria ziziphi*

Nous avons étudié un facteur qui influence le développement de *Parlatoria ziziphi* qui est la température une variable quantitative : facteur 1 = les températures minimales (Tmin). Facteur2 = températures maximales (Tmax). Facteur3 = températures moyenne (Tmoy). La densité (D) de chaque stade est le résultat de l'application de la l'équation mathématique de YAN et HUNT (1999).

Larves	Sum of sqrs	df	Mean square	F	Probability (p)	Tukey's pairwise comparisons Q/P (P same)		
						Tmax	Tmin	Tmoy
AD.♂	2667,16	3	889,054	18,59	6,16E-08	0,01***	0,99 ^{NS}	0,01*
L1B.	2667,16	3	889,054	18,59	6,16E-08	0,01***	0,99 ^{NS}	0,01*
L1F.	3046,23	3	1015,41	20,68	1,646 E -08	0,01***	0,76 ^{NS}	0,01*
L2♂	2206,51	3	735,503	11,49	1,089 E-05	0,75 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,04***
Jeu.♀	3228,79	3	1076,26	19,82	2,811 E-08	0,01***	0,02**	0,61 ^{NS}
AD.♀	3165,32	3	1055,11	22,44	5,737 E-09	0,01***	0,01**	0,62 ^{NS}
Laying	3165,32	3	1055,11	22,44	5,74E-09	0,01***	0,62 ^{NS}	0,01**

Tableau 4.5 : Analyse de variance des paramètres thermiques sur la densité (D) de chaque stade larvaire de *Parlatoria ziziphi*.

L1B : premier stade larvaire mobile, L1F : premier stade larvaire fixe, L2♂Nph : deuxième stade larvaire mâle, AD.♂ : L3 adulte ailée ou mâle adulte, Jeu.♀ jeunes femelles, Laying : femelles avec ovisac (pondeuse), AD.♀ : femelle adulte. * : $P \leq 0,05$ (significative), ** : $p < 0,01$ (hautement significative), *** : $p < 0,001$ (très hautement significative), NS : $p > 0,05$ (non significative).

Le test de la variance One way ANOVA entre les paramètres de températures et la densité (D) de chaque stade biologiques de *Parlatoria ziziphi* donne des probabilités non significatives mais le test TUKEY montre différences significatives. L'influence des températures maximales est très hautement significative sur la densité des stades suivants : male adulte, larve 1 mobile, larve 1 fixe, les stades femelles, soft le stade nymphale 2 mâle. L'influence des températures minimales est non significative pour les stades suivants : mâle adulte, larve 1 mobile, larve 1 fixe, nymphale 2 male, femelles pondeuse ; par

contre elle est hautement significative sur la densité des jeunes femelles et adultes femelles (tableau 4.5).

4.3.5. Effet de Variation saisonnière des précipitations sur la fluctuation temporelle des larves de *Parlatoria ziziphi* (2009-2010).

L'analyse de la variance par Test One way ANOVA de l'effet des pluies sur la fluctuation temporelle des larves de *Parlatoria ziziphi* (2009-2010) (tableau 4.6).

	L1B.	L1F.	NPH	AD.♂	Jeu.♀	Pod.	AD.♀	P (mm)
L1B.	0	0,7118	1	1	1	1	0,1974	0,0001397
L1F.	2,349	0	0,6588	0,8237	0,6771	0,8415	0,9882	0,01195
L2♂.	0,1171	2,466	0	1	1	1	0,1658	0,000133
AD.♂	0,2775	2,072	0,3946	0	1	1	0,2882	0,000169
Jeu.♀	0,07738	2,427	0,03977	0,3548	0	1	0,176	0,0001351
Pod.	0,3286	2,021	0,4457	0,0511	0,4059	0	0,3073	0,0001775
AD.♀	3,576	1,227	3,694	3,299	3,654	3,248	0	0,1271
P mm	7,439	5,09	7,556	7,161	7,516	7,11	3,862	0

Tableau 3.6 : Effet de la variation saisonnière des précipitations sur la fluctuation temporelle des larves de *Parlatoria ziziphi* (2009-2010).

L1B : premier stade larvaire mobile, L1F : premier stade larvaire fixe, NPH : deuxième stade larvaire mâle, AD.♂ : L3 adulte ailée ou mâle adulte, Jeu.♀ jeunes femelles, Pod : femelles avec ovisac (pondeuse), AD.♀ : femelle adulte.

L'analyse de la variance de l'effet des précipitations sur la fluctuation temporelle des larves de *Parlatoria ziziphi* (2009-2010) est significative mais le test TUKY montre que l'effet des pluies est significatif sur tous les stades biologiques sauf le stade femelle adulte qui est non significatif.

La pluie a un effet hautement significatif sur les stades biologiques suivants : Stade larve mobile (L1), 2^{ème} stade larvaire mâle, stade mâle adulte, jeune femelle, femelle pondeuse.

4.3.6. Effet des paramètres thermiques sur le taux de développement des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* (2013-2014)

	2013				2014			
	Tmin°C	Tmax°C	Tmoy°C	Pv (mm)	Tmin°C	Tmax°C	Tmoy°C	Pv (mm)
Janvier	10	16	13	62	11	18	15	46
Février	9	14	11	105	12	19	16	23
Mars	11	19	15	71	10	18	14	112
Avril	11	22	16	74	14	26	20	9
Mai	14	23	19	100	17	28	22	20
Juin	19	28	24	10	23	13	27	76
Juillet	24	33	28	13	26	35	30	4
Août	24	34	29	12	26	36	31	3
Septembre	21	31	26	21	23	34	29	25
Octobre	22	31	26	30	21	30	26	17
Novembre	15	19	17	109	18	23	20	30
Décembre	11	17	14	59	11	16	13	110

Tableau 4.7 : Les températures maximales, minimales mensuelles et leurs moyennes et les précipitations des années (2013 – 2014, Cinq palmier).

Tmax°C : Les températures maximales. Tmin°C : Température minimales. Tmoy°C : Les températures moyennes mensuelles. Pv (mm) : les précipitations. (Source : Station I.N.R.H. et La société *WorldWeatherOnline*, France, Cite web : historique. Meteo.net et *Smart watch*).

Au cours des deux années 2013 et 2014, la température minimale la plus basse (Tmin = 9°C) est enregistrée dans le mois de février 2013. La température maximale la plus élevée (Tmax = 36°C) est enregistrée dans le mois d'août de l'année 2014 (tableau 4.7).

L'enregistrement des pluies les plus importantes dans les mois de février pv = 105mm et le mois de décembre pv = 109 mm de l'année 2013. Pour l'année 2014, pv = 110mm ; dans le mois de décembre, pv = 112mm dans le mois de mars (tableau 4.7).

2013-2014		L1B.	L1F.	fem	L2♀	AD.♀
l'automne	Sept.13	40	97	180	38	75
	Oct.13	120	274	407	34	80
	Nov.13	205	256	381	116	32
Hiver	Déc.13	37	292	405	102	35
	Janv.14	22	150	488	88	4
	Févr.14	50	158	148	40	16
printemps	Mars.14	20	88	124	39	29
	Avr.14	63	92	48	19	50
	Mai.14	44	150	153	30	62
L'été	Juin.14	51	258	72	38	24
	Juil.14	70	239	80	20	37
	Août.14	91	166	192	8	11

Tableau 4.8 : Estimation de taux de développement maximal saisonnier pour chaque stade larvaire de *Parlatoria ziziphi* (année 2003-2014, Cinq palmier).

Les effectifs les plus élevés des stades biologiques de *Parlatoria ziziphi* en deux années sont principalement dans la saison automnale dans le mois de novembre L1mobile n=205, L1fixe n=256, L2 male n= 116. Marquant que les femelles (jeunes + pondeuses) chiffrèrent dans deux saisons, dans la saison automnale le nombre des femelles n=381 dans le mois de novembre 2013. En saison hivernale n=488 dans le mois de janvier 2014 (tableau 3.8).

YAN & HUNT (TL estimée)	Dmax	TL (°C)	Dmax à Tinf	TDMAX (°C)	TU (°C)
Larve mobile	205	9	20	19	36
Larve L1FIXE	274	9	166	17	36
Mâle adulte	80	9	11	31	36
Mâle (nymphe)	116	9	22	19	36
Femelle	488	9	124	18	36

Tableau : Résultats de l'analyse de régression non-linéaires YAN et HUNT (1999) appliquée à *Parlatoria ziziphi* (2013 et 2014, Cinq palmier).

T : température. D : taux de développement à la température T. Dmax : taux de développement maximal à la température TDmax. TL : température estimée de limite inférieure de développement. TDmax : température de développement maximal. TU :

température estimée de limite supérieure de développement. R : Coefficient de corrélation ($-1 \leq R \leq +1$).

L'estimation d'après YAN et HUNT (1999) des températures dans les deux années 2013 et 2014 sont comme suit :

- Température estimée de limite inférieure de développement de la population (tous les stades biologiques) $TL=9^{\circ}\text{C}$.
- Température estimée de limite supérieure de développement de la population (tous les stades biologiques) $TU= 36^{\circ}\text{C}$.
- Taux de développement maximal de Larve mobile $D_{\text{max}} = 17,63\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 19^{\circ}\text{C}$.
- Taux de développement maximal de L1FIXE $D_{\text{max}} = 23,56\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 17^{\circ}\text{C}$.
- Taux de développement maximal de mâle adulte $D_{\text{max}} = 6,88\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 31^{\circ}\text{C}$.
- Taux de développement maximal de mâle (nymphe) $D_{\text{max}} = 9,97\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 19^{\circ}\text{C}$. Taux de développement maximal de Femelle (jeune + pondreuse) $D_{\text{max}} = 41,96\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 18^{\circ}\text{C}$.

4.3.7. Effet de pluviométrie sur la fluctuation temporelle des populations de cochenille *Parlatoria ziziphi* (2013-2014)

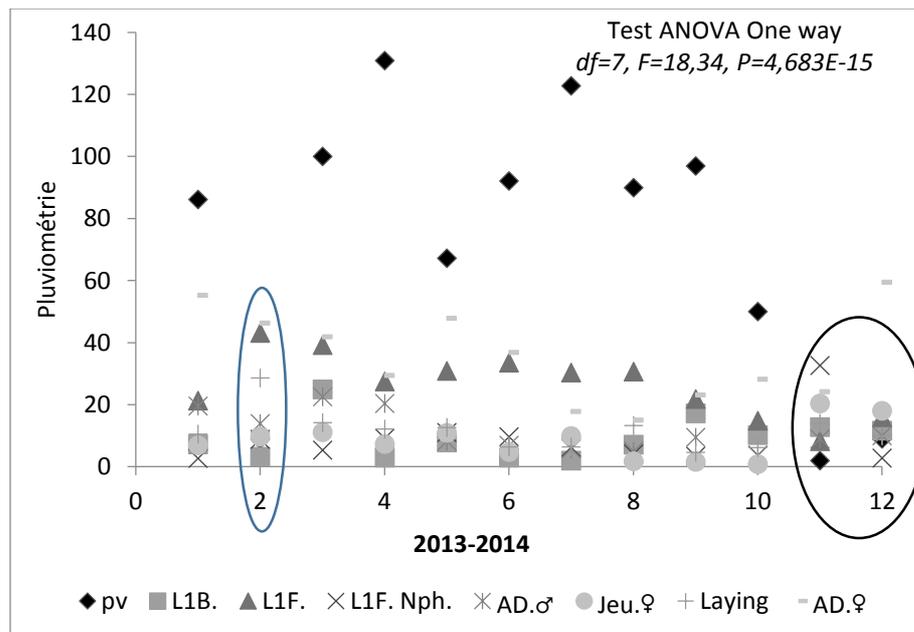


Figure 4.6. Effet de pluviométrie sur la fluctuation temporelle des populations de cochenille *Parlatoria ziziphi* (Cinq palmier).

0 à 2 : les mois septembre à décembre 2013, et les mois de janvier à août 2014. PV : pluviométrie (mm).

L'effet des précipitations sur la population générale et non significatif, mais à l'échelle temporel et de stade biologique de *Parlatoria ziziphi* le Test TUKEY donne des résultats très hautement significatifs $p= 0,000118$. La sélection cerclée dans la (figure 4.6) montre l'influence des pluies sur les stades biologique dans le mois de février et novembre. Le taux des larves 1 mobiles est influencé par la pluie deux fois au cours deux années.

4.3.8 Effets des températures et pluviométrie sur l'activité des fourmis (2013-2014)

Nous avons effectué une analyse de la variance ANOVA one-way de l'effet des facteurs climatiques, pluies et températures minimales, températures maximales et température moyenne en deux années sur les fourmis dans le verger d'étude.

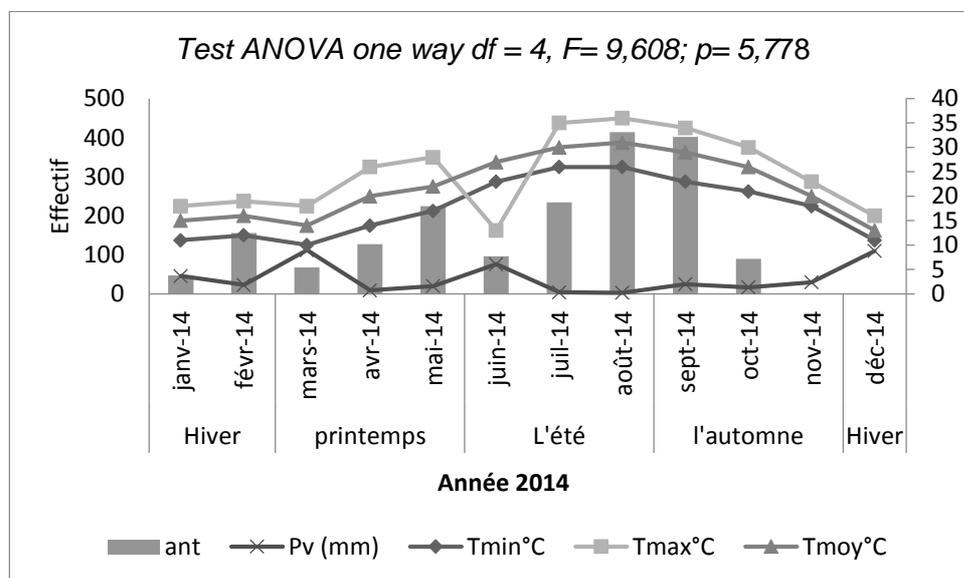


Figure 4.7 : Effets des facteurs climatiques sur l'activité de fourmi (année 2014, Cinq palmier).

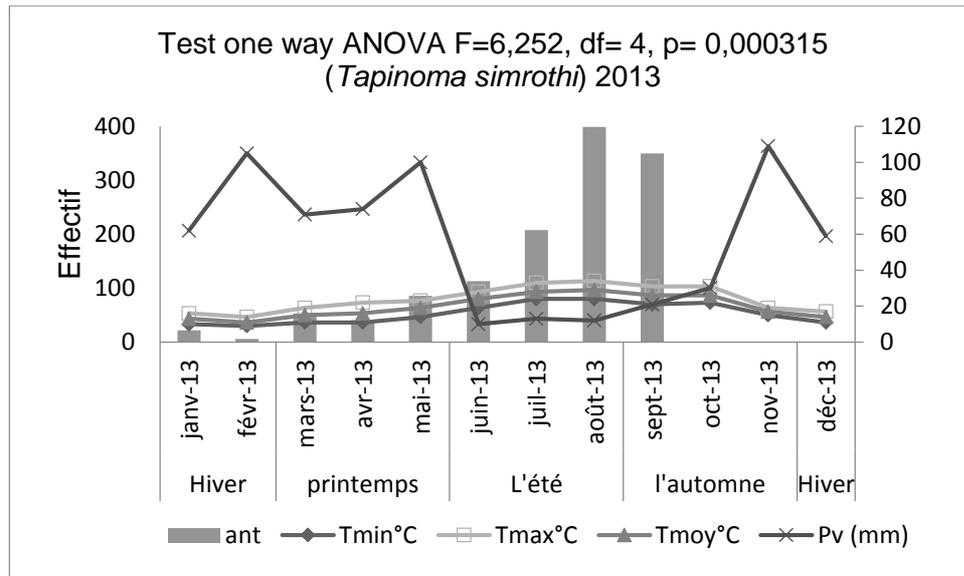


Figure 4.8 : Effet des facteurs climatiques sur l'activité de fourmi (année 2013 et 2014, Cinq palmier).

L'analyse de la variance de l'effet des facteurs climatiques (pluies-températures) sur l'activité de la fourmi est significative de l'année 2013.

L'analyse de la variance de l'effet des facteurs climatiques (pluies-températures) sur l'activité de la fourmi est non significative de l'année 2014.

L'activité des fourmis est importante dans les mois (juillet, août, septembre) avec l'augmentation des températures et diminution des pluies (Figure 4.7 et 4.8).

4.4. Discussion

Les données climatiques relevées durant le 20ème siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée pour les 30 dernières années et une baisse de la pluviométrie depuis la moitié des années 1970 [230 ; 231]. Les variations et les tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie ont été établies sur une période de trente-quatre ans (1982-2016). La tendance à la baisse des précipitations et l'augmentation des températures s'explique principalement par le renforcement de l'anticyclone des Açores (Il empêche l'arrivée de l'air froid

polaire). L'année 2013 pourrait être le début d'une période prolongée de sécheresse et de faible pluviométrie.

L'étude de la synthèse climatique, en particulier l'indice d'EMBERGER classe la région de Mitidja à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais de la décennie (2003-2013).

La campagne 2009-2010, selon les données de tableau n° 9, nous indique que les plus basses températures sont observées au mois de février avec 2 °C et la température la plus élevée est enregistrée au mois de juillet avec 39°C. Par contre la campagne 2013-2014 dans le jeune verger, selon les données de tableau n° 9, nous indique que les plus basses températures sont observées au mois de février avec 9 °C et la température la plus élevée est enregistrée au mois d'aout avec 36°C.

Les températures minimales du mois le plus froid sont enregistrées au mois de janvier de l'année 2005 avec une température de 1,5°C, et les moyennes des maxima du mois le plus chaud sont notées au mois d'août 2005 avec 40°C. La pluviométrie annuelle moyenne enregistrée pendant cette période est de l'ordre de 695,08 mm. Pour l'année 2010, la variation de pluie assez marquée d'où les constate d'une saison froide et humide du début octobre à fin avril, les basses températures sont enregistrées aux mois de janvier et février et une saison chaude et sèche de mai à septembre

Le graphe de la figure (4.10 et 4.11), montre que L'effectif de *Tapinoma simrothi* augmente ou diminue sensiblement avec les différentes températures. La pluie a une influence significative sur l'abondance des fourmis en 2014. Les courbes montrent l'activité importante de la fourmi dans la saison d'été. Les éléments climatiques les plus importants pour l'essaimage des fourmis sont les températures et l'humidité. Les autres facteurs sont secondaires tels que la pluie et peuvent prendre parfois localement une importance réelle. DU -MERLE (1978) [255] étudiant le peuplement des fourmis du mont Ventoux a signalé une richesse de 64 espèces. D'après cet auteur, la distribution des fourmis est déterminée fondamentalement par le climat thermique.

Les caractéristiques thermiques des insectes varient selon les espèces, les stades de développement, les populations et en fonction de certains autres

paramètres écologiques, dont le type et la disponibilité des ressources alimentaires un certain nombre de patrons assez généraux sur la réponse thermique des arthropodes. Par exemple, pour une même zone climatique, les espèces qui exploitent des habitats où la température est relativement constante (ex. le sol) répondent moins aux changements de température que les espèces qui vivent là où les régimes de température se caractérisent par de plus fréquentes et importantes amplitudes [256]. La position trophique des organismes peut également influencer leur sensibilité aux paramètres climatiques [275]. Ainsi, la vulnérabilité au réchauffement des températures augmente généralement avec la position trophique des organismes : pour un même système trophique, les herbivores sont plus susceptibles aux températures chaudes que les plantes, et les prédateurs sont ceux dont le développement et les comportements sont les plus affectés [258].

Comparaison des variations de performance thermique dans la description du taux de développement des stades larvaires de *Parlatoria ziziphi* dépendant de la température : Température estimée de limite inférieure de développement de la population (tous les stades biologiques) $TL=9^{\circ}\text{C}$. Température estimée de limite supérieure de développement de la population (tous les stades biologiques) $TU=36^{\circ}\text{C}$. Taux de développement maximal de Larve mobile $D_{\text{max}} = 17,63\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 19^{\circ}\text{C}$. Taux de développement maximal de L1FIXE $D_{\text{max}} = 23,56\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 17^{\circ}\text{C}$. Taux de développement maximal de mâle adulte $D_{\text{max}} = 6,88\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 31^{\circ}\text{C}$. Taux de développement maximal de mâle (nymphé) $D_{\text{max}} = 9,97\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 19^{\circ}\text{C}$. Taux de développement maximal de Femelle (jeune + pondreuse) $D_{\text{max}} = 41,96\%$ à la température $TD_{\text{max}} = 18^{\circ}\text{C}$. Ces résultats sont proches des estimations cardinales de BELGUENDOZ et al. (2013) et BELGUENDOZ et BICHE en 2015 sur la cochenille [258 ; 259].

Les temps de développement des poïkilothermes à différents stades sont fortement influencés par la température. La plupart des modèles mathématiques décrivant les vitesses de développement des poïkilothermes dépendant de la température sont construits selon les données expérimentales à différentes températures constantes. Cependant, ces modèles peuvent également être appliqués aux taux de développement à des températures variables. Il est plus

judicieux d'utiliser des modèles pour prédire les temps d'apparition d'insectes nuisibles qui représentent en réalité l'achèvement d'un stade de développement particulier (par exemple, éclosion, pupation, éclosion) dans un environnement thermique naturel. Pour certains stades de développement, les insectes peuvent connaître une période de températures élevées (SHI et al, 2017) [260].

Les résultats de l'année 2009 et 2010 donnent le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est de 23 °C à 34°C présenté par un taux de 20,44% de jeune femelle et 34,12% pour larve fixe. On raisonne que cette saison est favorable pour le stade femelle et au stade larve fixe de l'arbre âgé.

Les résultats de l'année 2013 et 2014 donnent le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est de 17°C à 31°C présenté par un taux de 23% de larve fixe de la population, et un taux de 6,88% mâle adulte de la colonie. On pense que cette saison est favorable au développement du mâle adulte et larve fixe de jeune arbre.

En deux saisons différentes il apparaît que larve fixe représente le taux important.

Nous témoignons nos résultats par celle de BELGUENDOZ et al. (2013) [258] qui ont montré l'influence des températures sur l'abondance des cochenilles à deux espèces d'agrumes dans une étude sur la bio-écologie de ces derniers en Algérie, Selon cet auteur, l'abondance la nature de la sève d'oranger et ses périodes de phénologie qui sont désavantageux pour le développement de la cochenille *Aonidiella aurantii*. Le microclimat créé par ces arbres affecte l'activité de reproduction des mâles et des femelles ; Il s'agit de la principale explication de l'abondance des populations. Toute augmentation de la population sur les arbres est le résultat de l'interaction entre les facteurs climatiques, les ennemis naturels, l'application de produits chimiques et tous les éléments de l'environnement. Dans le centre-nord de l'Algérie, nous obtenons 3 trois générations par an d'*Aonidiella aurantii* sur Citron que sur l'Oranger *Citrus sinensis* ; la génération automnale est plus élevée sur l'oranger, mais la génération d'été est plus élevée sur le citronnier. Cela est conforme à la plante hôte et les conditions climatiques locales, principalement la température et les précipitations. Le maximum de l'abondance d'*Aonidiella aurantii* (16, 13 %) est obtenue à la température entre 20, 49C ° et 32

C° sur citronnier et entre 8, 21C ° et 16,04 C ° sur oranger. Par conséquent, la plante peut être facteur limitant et le changement de la longueur du cycle et le nombre de générations pendant une ou plusieurs périodes, grâce à ces stades phénologiques, âge et son état de santé. Cet insecte est doté d'une grande capacité d'adaptation au changement des facteurs climatiques. Cette étude nous permet d'envisager un calendrier fixant les différentes périodes de contrôles et intervention sur les deux plantes hôtes. Par conséquent, il faut veiller à maintenir un équilibre biologique de la faune non cible dans nos vergers. Cela est conforme à la plante hôte et les conditions climatiques locales, principalement la température et les précipitations.

On distingue que *Parlatoria ziziphi* est abondante sur *Thomson navel* (oranger) dans toute l'année, sa distribution temporelle dépend de la saison, des variations de températures minimales et maximales, le stade biologique, l'âge de l'arbre (adultes dans les mois novembre et janvier) (larves -moi de novembre). Le type de reproduction est principalement sexuée, assurée trois vols annuels de mâles adultes. Trois générations annuelles sont développées sur les la plante hôte, avec deux pullulations annuelles, automnale et estivale. La pluviométrie semble avoir un impact direct sur l'abondance et la distribution temporelle de ces populations. Les pluviométries abondantes du mois de Février (2013) et mars (2014), affectent les larves dépourvues de bouclier (larve 1 mobile). L'émergence des mâles adultes et l'éclosion des œufs sont favorisés en saison estivale sèche, chaude et moins humide. Selon BELGUENDOZ et al. (2015), La relation physique des diaspines est caractérisée par l'insertion du labium dans la cuticule puis l'épiderme, facilitant au stylet de se faufiler entre ou à travers les cellules du parenchyme palissadique et lacuneux, tout en évitant les glandes sécrétrices d'essence, jusqu'à l'atteinte du site de nourriture convenable pour chaque stade évolutif (la sève phloémienne ou le liquide intra-cellulaire et intercellulaire). La poussée de sève printanière, riche en protéines hydrosolubles et en calcium, pauvre en potassium sodium et magnésium agit positivement sur les pullulations. L'équilibre K/Ca adéquate joue un rôle limitateur de la pullulation de *P. ziziphi*. Les attaques de diaspines provoquent la synthèse de poly phénols, notamment, les flavonoïdes, qui est corrélée positivement avec les abondances des populations.

Dans l'étude des taux de développement des ectothermes et des plantes dépendant de la température, les modèles mathématiques sont largement utilisés (SHI et al. 2016 a, 216b) [260 ; 261]. Ces modèles sont généralement construits sur la base d'observations expérimentales de taux de développement à température constante (conduits dans des incubateurs et des serres), dont les conclusions sont critiquées pour leur non application aux événements réels dans un environnement thermique naturel variable Ring et Harris 1983 , STEVENSON et al 2008 *in* BRODEUR et al. 2013) [5]. Cependant, les modèles peuvent en réalité être utilisés pour prédire l'apparition d'insectes dans des conditions naturelles en accumulant simplement les taux de développement [263]. Dans les régions à température moyenne, il existe une relation linéaire entre la température et le taux de développement, tandis que dans la région à haute température (au-delà d'un point critique de température), le taux de développement diminue avec l'augmentation de la température [260 ; 261 ; 262 ; 263].

SMIRNOFF (1950), a remarqué que la cochenille supporte mieux une température élevée avec de faible hygrométrie relative que les autres espèces à savoir la cochenille virgule, la cochenille serpette ou le pou rouge. La température optimale pour le développement de la cochenille noire se situe entre 14° et 19°C. Une température entre 26° et 32° C sont une limite, au-delà de laquelle le développement s'arrête et la quiescence se manifeste (SMIRNOFF, 1954) [267].

Une étude réalisée par DJAZOULI (2009) sur les communautés d'insectes et d'arachnides colonisant quarts compartiments aériens de *Populus nigra* montre que les communautés sont structurellement et fonctionnellement différentes. Il apparaît également que la richesse taxonomique des communautés, et en partie leur répartition temporelle, évolue en fonction du gradient des ressources énergétiques et de défense sous l'effet des variations saisonnières. La plus grande richesse en espèces enregistrée dans le compartiment des feuilles est due à l'amplitude des modifications histo-physiologiques observées tout au long de la saison de croissance [268].

Le nombre de générations chez certaines espèces multivoltines pourra augmenter dans un contexte de réchauffement climatique et d'allongement de la saison de croissance en zones tempérées [269 ; 270]. Chez les insectes ravageurs, cette condition peut entraîner une pression accrue des ravageurs et

conséquemment plus de dommages aux cultures. Ce scénario a entre autre été modélisé pour la pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*) en Europe et au Québec en 2012, [271] et [272]. De même, la punaise velue (*Blissus leucopterus hirtus*), un ravageur commun des graminées à gazon en Amérique du Nord, produit trois générations par année dans le sud-est des États-Unis et une seule au Québec. Toutefois, nous avons observé le développement d'une seconde génération partielle dans la région de Montréal [273].

La dynamique saisonnière des espèces caractérisées par de longs cycles de vie, soit les espèces univoltines et celles dont le développement se prolonge sur plus d'une année, en particulier lorsque les activités saisonnières sont modulées par la photopériode, devrait être peu affectée par les changements climatiques. Lorsque les facteurs qui régulent les activités saisonnières des insectes, tel la diapause, sont multiples (température, photopériode, humidité, effet maternel et autres) et interagissent entre eux, l'impact des changements climatiques devrait être moindre à court et moyen terme BRODEUR et al, DJAZOULI et al., ont montré dans une étude sur existence d'une relation directe entre le stress thermique et la nature des contraintes énergétiques de la reproduction et du conditionnement chez *Chaitophorus leucomelas* (Aphide). Que les mesures pondérales des sexupares n'étaient plus concernées par la discrimination régionale [5 ; 227]. Ce changement dans les réponses métaboliques suit l'augmentation des températures moyennes selon un gradient dépendant de la période sèche dans les sites de Gouraya, Dar El Beida et Soumâa avec des durées respectives de 9 mois, 5,5 mois et 4 mois. En conséquence, ces populations restent bien confinées aux hautes températures [227].

Il est probable que le réchauffement climatique favorisera dans un avenir plus ou moins rapproché l'établissement de populations de *Parlatoria ziziphi*. Les changements climatiques affectent la répartition et l'abondance des espèces végétales et animales, mais également les interactions entre espèces d'un même écosystème [274 ; 275]. Les espèces interagissent au sein de réseaux trophiques souvent complexes (EVELEIGH et al. 2007) [276] et les réponses aux paramètres climatiques peuvent varier entre les diverses composantes des réseaux

trophiques. Cela entraîne des cascades d'événements populationnels au sein des écosystèmes [277 ; 278 ; 279].

4.5. Conclusion :

L'étude de la synthèse climatique, en particulier l'indice d'EMBERGER classe la région de Mitidja à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais de la décennie (2003-2013).

Les résultats de la régression no linéaire de YAN et HUNT (1999) de la saison 2009-2010 donnent le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est de 23 °C à 34°C présenté par un taux de 20,44% de jeune femelle et 34,12% pour larve fixe. On raisonne que cette saison est favorable pour le stade femelle et au stade larve fixe de l'arbre âgé.

Les résultats de l'année 2013 à 2014 donnent le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est de 17°C à 31°C présenté par un taux de 23% de larve 1fixe de la population, et un taux de 6,88% mâle adulte de la colonie. On pense que cette saison est favorable au développement du mâle adulte et larve 1fixe de jeune arbre. En deux saisons différentes il apparaît que larve 1fixe représente le taux important.

L'effet des précipitations sur la population générale et significatif, à l'échelle temporelle et au stade biologique de *Parlatoria ziziphi*, larves 1 mobiles est influencé par la pluie deux fois au cours de deux années dans les mois Février et septembre.

En perspectives, Il est souhaitable de continuer ces recherches et de procéder aux échantillonnages dans d'autres régions à différents étages bioclimatiques. Il serait intéressant aussi pour mener à bien cette étude de limiter les surfaces d'échantillonnage afin de noter avec moins d'erreur la richesse réelle d'une station. Faire joindre à la liste des fourmis les principales caractéristiques qui lui correspondent comme le climat et la végétation.

A travers notre étude nous avons estimé les températures de développement des cochenilles dans son milieu naturel par l'estimation de YAN et HUNT(1999), qui est représentatif, pour comparer les stades biologiques au

cours de différentes années (2009 et 2010 / 2013 et 2014), Cette étude permet aux utilisateurs d'utiliser des modèles paramétriques non linéaires pour prédire les temps d'apparition de la phénologie des insectes dans le milieu naturel. La présente étude est ciblée pour la gestion intégrée des insectes nuisibles car le calendrier de contrôle biologique ou chimique repose sur la prévision du temps d'apparition d'événements phénologiques.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude de la synthèse climatique, en particulier l'indice d'EMBERGER classe la région de Mitidja à l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais.

La richesse totale des Formicidae présente dans le domaine SI-KHALED, Bouarfa (Mitidja centrale) en 2013 et 2014 est de trois espèces pour chaque année. Elles appartiennent à deux sous-familles la famille des Myrmicinae qui est présentée par deux espèces, et les Dolichoderinae avec seulement une seule espèce dans le verger de *Thomson navel*.

Les résultats concernant l'abondance relative des espèces de fourmis capturées dans le site d'étude, grâce à l'utilisation de la méthode de pots Barber, montrent que *Tapinoma simrothi* KRAUSSE, 1909 est l'espèce la plus abondante.

Les courbes représentent l'effectif d'individus de *Parlatoria ziziphi* avec fourmi et l'effectif d'individus de *Parlatoria ziziphi* avec traitement fourmi-exclut dans deux années successives.

Une corrélation négative mais significative est notée pour l'espèce *Parlatoria ziziphi* dans la première année d'étude, par contre la corrélation est positive et significative dans deuxième année. Pour l'espèce *Toxoptera aurantii* la corrélation est positive et significative dans deux années. Pour l'espèce *Aphis gossypii*, la corrélation est positive et non significative dans deux années.

Les résultats de l'analyse de la variance entre parasitisme chez *Parlatoria ziziphi* en présence de fourmi *Tapinoma simrothi* montre de différences hautement significatives pour les deux années d'étude.

Les résultats montrent un parasitisme hautement significatif chez *Parlatoria ziziphi* en présence de fourmi *Tapinoma simrothi* pour deux saisons. Le pourcentage de parasitisme le plus élevé est enregistré dans le mois d'août dans les parcelles à traitement fourmi-exclut de la première année d'exclusion et en février de la deuxième année d'expérience d'exclusion.

Au niveau de verger de domaine SI-KHALED (Bouarfa, Mitidja centrale), la richesse notée est de sept espèces elles sont réparties entre trois familles, la famille Mymaridae par l'espèce *Anagyrus sp.* La famille des Braconidae par l'espèce *Binodoxys sp.* La famille des Aphelinidae par 05 espèces : *Aphelinus sp.* ; *Aphytis sp.* ; *Aphytis chrysomphali (Mercet)*, *Aphytis hispanicus (Mercet)*, *Encarsia sp.*

D'après nos résultats, la structure des populations, comparable avec et sans exclusion des fourmis, semble indiquer que ce facteur ne modifie pas la mortalité des cochenilles. La présence d'un anneau de glu modifie les pourcentages de plants colonisés par les entomophages. A partir de mi-juin de chaque année d'étude, l'augmentation de nombre de coccinelles à celui des cochenilles montre que les différences d'effectifs d'*Coccinella undecimpunctata* observées entre les deux parcelles à traitement avec-fourmi et traitement fourmi-exclut sont davantage liées à la densité de *Parlatoria ziziphi* qu'à la présence de fourmis.

Les résultats de comptage des prédateurs de *Parlatoria ziziphi* recrutent une espèce d'acarien *Typhlodromus pyri* et une coccinelle : *Coccinella undecimpunctata* (Coléoptères, *coccinellidae*).

Les indices d'entretien par fourmis montrent que l'indice d'entretien par fourmis le plus élevé au sein des colonies de cochenilles est *Parlatoria ziziphi* c'est en suite *Pseudococcus citriculus* et puis *Aonidiella aurantii* dans le mois de mai, en fin l'espèce *Lepidosaphes beckii* dans le mois d'août 2014.

L'espèce qui présente le nombre le plus élevé au sein des colonies d'aphide est *Aphis citricola* c'est l'espèce préférée par la fourmi *Tapinoma simrothi*.

L'espèce qui présente le nombre moyen de cochenille le plus élevé au sein des colonies de cochenilles est *Parlatoria ziziphi*.

Pour l'ensemble des espèces de cochenilles testées, il existe une corrélation entre le nombre de cochenille et l'indice d'entretien par fourmis.

Pour l'effet de la date sur le nombre de fourmis retrouvées au sein des colonies des différentes espèces de puceron étudiées on remarque une

augmentation du nombre de fourmis de mois d'avril jusqu'au mois de juin 2014. Le nombre de puceron et la période de la saison semblent être les facteurs prépondérants dans le recrutement du nombre de fourmis que l'on retrouve au sein des colonies de puceron.

Les résultats de la régression non linéaire de YAN et HUNT de la saison 2009 et 2010 donnent le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est 23 °C à 34°C présenté par un taux de 20,44% de jeune femelle et 34,12% pour larve fixe. On raisonne que cette saison est favorable pour le stade femelle et au stade larve fixe de l'arbre âgé.

Les résultats de l'année 2013 et 2014 donnent le maximum de développement de *Parlatoria ziziphi* est 17°C à 31°C présenté par un taux de 23% de larve 1 fixe de la population, et un taux de 6,88% mâle adulte de la colonie. On pense que cette saison est favorable au développement du mâle adulte et larve 1 fixe de jeune arbre. En deux saisons différentes il apparaît que larve 1 fixe représente le taux important.

L'effet des précipitations sur la population générale est significatif, à l'échelle temporelle et au stade biologique de *Parlatoria ziziphi*, larves 1 mobile est influencé par la pluie deux fois au cours de deux années dans les mois Février et septembre.

En perspectives, il est souhaitable de continuer ces recherches et de procéder aux échantillonnages dans d'autres régions à différents étages bioclimatiques. Il serait intéressant aussi pour mener à bien cette étude de limiter les surfaces d'échantillonnage afin de noter avec moins d'erreur la richesse réelle d'une station. Faire joindre à la liste des fourmis les principales caractéristiques qui lui correspondent comme le climat et la végétation.

A travers notre étude nous avons estimé les températures de développement des cochenilles dans son milieu naturel par l'estimation de YAN et HUNT, qui est représentatifs, pour comparer les stades biologiques au cours de différentes années (2009 ; 2010 et 2013 ; 2014), Cette étude permet aux utilisateurs d'utiliser des modèles paramétriques non linéaires pour prédire les temps d'apparition de la phénologie des insectes dans le milieu naturel. La présente étude est ciblée pour la gestion intégrée des insectes nuisibles car le

calendrier de contrôle biologique ou chimique repose sur la prévision du temps d'apparition d'événements phénologiques.

APPENDICE A

LISTE DES SYMBOLES ET D'ABREVIATIONS

D.S.A: Direction Services Agricole.

GIEC : Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

he: hectare.

I.T.A.F: Institut Technique d'Arboriculture Fruitière de Boufarik.

mm : Millimètre.

N° : Numéro.

O.E.P.P : Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes.

W.M.O: World Meteorological Organization, 1989: Calculation of Monthly and Annual 30-year Standard Normals (WMO/TD-No. 341). Geneva.

Pv : Pluviométrie.

P.N.D.A : Programme National de Développement Agricole.

PS1 : Poussé de sève printanière.

PS2 : Deuxième poussées de sève.

PS3 : Troisième poussées de sève.

Qx : quantare.

T°max : Température maximale.

T° min : Température minimale.

T° moy : Température moyenne.

TAXREF : TAXREF base de données est le référentiel taxonomique de l'Inventaire national qui a pour objectif de lister, documenter et décrire les espèces de tous les territoires français.

U.N.P.A : Union nationale des paysans Algérien.

APPENDICE B

GLOSSAIRE

Allélochimiques : sont définies comme étant des métabolites secondaires émis par un individu d'une espèce et capables d'affecter la santé, la croissance, le comportement et/ou la biologie d'un individu d'une autre espèce.

Ant : fourmis.

Aphid : puceron.

Laying : pondreuse

Le mutualisme : est une interaction entre deux ou plusieurs espèces, de laquelle chacune des espèces tire profit.

Les phéromones : se définissent comme étant des substances sécrétées par un individu et captées par un autre individu de la même espèce

Les organismes ectothermes : sont des organismes ne produisant pas ou peu de chaleur. C'est le cas des insectes, des reptiles et des poissons par exemple. Ces organismes sont à opposer aux organismes endothermes qui produisent, eux, des quantités non négligeables de chaleur (les mammifères et les oiseaux par exemple). L'incapacité qu'ont les organismes ectothermes à produire de la chaleur les rend plus sujets aux variations de température de leur corps, ils sont qualifiés alors d'organismes poïkilothermes. Cependant, certains organismes, comme de nombreux poissons, vivent dans des milieux où la température est constante, leur corps reste donc à température constante proche de celle du milieu sans nécessité de production de chaleur. Ces organismes sont dits ectothermes homéothermes.

La prédation intraguild (IGP) : un phénomène chez les prédateurs qui implique une combinaison de prédation et de compétition.

Les organismes Poïkilothermes : Organisme Poïkilothermes c'est-à-dire que leur température corporelle varie avec la température extérieure.

Monogynie : il n'existe qu'une reine par colonie de fourmis.

Morphométrie traditionnelle et morphométrie géométrique : La morphométrie repose sur l'analyse des variations de formes et de leur covariation avec d'autres variables (Bookstein, 1991). On distingue aujourd'hui la morphométrie dite traditionnelle, qui se base sur des mesures de distances entre points plus ou moins homologues sur des organismes ou leurs parties, de la morphométrie géométrique, qui considère la forme de façon indépendante de la taille en tant que conformation géométrique. La forme (en anglais « form ») est donc l'aspect physique d'un objet dans l'espace. Elle est composée de deux éléments : la taille (« size »), c'est-à-dire l'échelle de l'objet, et la conformation (« shape »), l'information spatiale hors échelle intrinsèque à l'objet. L'un des avantages de la morphométrie géométrique sur la morphométrie traditionnelle est qu'elle capture complètement la géométrie d'un objet en minimisant le nombre de variables qui décrivent cette forme.

Pixels : composantes d'image numérique.

Scénario de changement climatique :

Sémiochimiques : ou molécules naturellement impliquées dans la communication entre individus.

- correspond à une représentation vraisemblable du climat futur, fondée sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène... [de Parry et Carter, 1998, et Parry, 2002] ;
- et est généralement destiné à servir explicitement d'entrée pour l'étude des répercussions potentielles des changements climatiques anthropogéniques... [Troisième rapport d'évaluation du GIEC, 2001].

Station hydraulique SOUMAA : Code station : 021234, X : 517.45, Y : 355.9, Z : 177.

APPENDICE C

LES AGRUMES

- Les oranges (*Citrus sinensis* (L.) : L'oranger est une variété traditionnelle très appréciée par le consommateur pour ses qualités gustatives.

Les Oranges	Caractères
Orange Navelina	précoce est sélectionné aux Etats-Unis en 1910 et introduite à l'Espagne en 1933. C'est un arbre a grandes feuilles vert foncé. Elle se récolte de novembre à janvier en Corse. Les fruits sont orange-rouge foncé, sans pépin et de calibre moyen de 100 à 200 g. (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
Orange Salustiana	est issue d'une mutation d'orange commune sélectionnée en Espagne dans les années 1950, très productive, juteuse avec quelques pépins (de 0 à 5), aromatisée. elle se récolte de Décembre à Février. Fruits sont oranges, sphériques, la peau fine et difficile à éplucher, calibre est de 80 à 150 g. (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
<i>Thomson navel</i> (Synonymes Bahia)	est issu d'une mutation précoce de <i>Washington navel</i> introduite en Californie en 1891. Les fruits sont oranges faciles à éplucher se récoltent de novembre à décembre (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
<i>Washington navel</i>	elles a une excroissance plus ou moins prononcée, appelée ombilic (navel = ombilic en anglais), absence de pépins. Leur chair est peu croquante, juteuse et parfumée. On les pèle facilement (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
La main de Bouddha	Elle ressemble à deux gros gants gonflés, il peut être cuisiné et sert à parfumer les armoires (Virbel-Alonso., 2011).
Orange Navelina	précoce est sélectionné aux Etats-Unis en 1910 et introduite à l'Espagne en 1933. C'est un arbre de grandes feuilles vert foncé. Elle se récolte de novembre à janvier en Corse. Les fruits sont orange-

	rouge foncé, sans pépin et de calibre moyen de 100 à 200 g. (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
Orange sanguines	la pulpe est rouge ou rouge violacée, juteuse et acidulée, petit fruit rond d'excellente qualité gustative (Brebion et <i>al.</i> , 1999).

Tableau C. 1. Quelques espèces et variétés d'agrumes.

Les Mandarines : l'orange des Mandarins, a été cultivée en Chine pendant plusieurs centaines d'années avant d'être introduite en Occident, d'abord en Grande-Bretagne. Les premiers mandariniers arrivèrent en 1805 et s'implantèrent en Provence (Brebion et *al.*, 1999).

Les Mandarine	Caractères
Satsuma Miho et Satsuma Wase (<i>Citrus unshiu</i>)	mandarines japonaises en générale précoces et sans pépin. En Corse elle est récoltée dès Septembre-Octobre. Les Satsuma sont considérées comme très résistantes au froid. Les fruits varient de 80 à 120 g, de couleur vert-jaune et à pulpe orangée très colorée (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
Le Clémentinier	le clémentinier doit son nom au frère Clément qui hybrida un mandarinier et un bigaradier dans les jardins d'un orphelinat des Pères Blancs près d'Oran en Algérie vers 1902. Les frères cléments proposent de la nommer clémentine cette nouvelle mandarine sans pépins (Brebion et <i>al.</i> , 1999).
Clémentine Caffin (<i>Citrus clementina</i>) (Synonymes Azem, Bekri)	cette variété provient d'une sélection de clémentine commune découverte au Maroc par Caffinen 1968. Bekri est un nom commercial désignant un ensemble de variétés de clémentines précoces. Arbre de forme sphérique, feuilles vert foncé, Floraison précoce, La récolte est en mi-October à la fin Novembre en Corse (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
Clémentine Ragheb (synonyme Kuneyl)	leur origine provient d'une sélection de Clémentine commune découverte à la fin des années 50 par Kuneyl en Algérie dans la région d'Annaba. Ragheb signifie « précoce ». Arbre de forme ellipsoïdale, elle présente un port dressé et une frondaison dense, elle a une forte vigueur, la floraison est précoce (Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
Clémentine commune (Synonymes Fine de	Elle est originaire de Chine ou résultat d'une hybridation du père Clément obtenue en Algérie,

Corse, Fina, Algerian)	fruits juteux (). La floraison est précoce, et leur productivité varie de moyenne à forte production (Bendiste et Bache, 2002, Jacquemond et <i>al.</i> , 2009).
Mandarine Méditerranéenne (Synonymes Commune, Blida, Willowleaf)	originaires de Chine introduite au XVIIIème siècle en Italie, elle fut rapidement diffusée dans l'ensemble du bassin méditerranéen. Elle est très parfumée, de couleur jaune or, facile à éplucher, avec de nombreux pépins. Récoltée en janvier et février en Corse.

Tableau 2. Quelques variétés de Mandarines.

Les citrons : Le Citrus limon à peau plus ou moins épaisse. La variété la plus cultivée en Europe est le Verna. On trouve aussi l'Eureka, en provenance des États-Unis mais cultivé également en France, et le Santa Teresa. Le citron vert (*Citrus aurantifolia*) n'est pas un citron jaune cueilli avant maturité, mais une espèce à part entière, que l'on appelle aussi la lime, citons d'autres variétés : Lime Mexicaine (*Citrus aurantifolia*) (Synonymes Citron vert, Lime antillaise, Citron Gallet). Lime Tahiti (*Citrus latifolia*) (Synonymes Citron vert et lime de Perse). Limes douces. Pamplémousse Goliath. Les Pomelos (Hybride supposé entre pamplémousse et orange) (Virbel-Alonson, 2011).

Les citrons	Caractères
<i>Citrus limon</i> (Citron eureka frost)	Elle est vigoureuse, à floraison remontante, avec une très bonne production. Les feuilles sont fines. La récolte s'étale de fin Novembre à Juillet en Corse. Les fruits, entre 80 et 150 g, sont assez réguliers et peu allongés, juteux avec quelques pépins. Il s'agit de la variété la plus cultivée dans le monde.
Le pamplémousse (<i>Citrus grandis</i>)	un fruit qui peut mesurer jusqu'à 30 cm de circonférence et sert surtout à réaliser des marmelades ou jus. Il est également utilisé dans la fabrication de médicaments (Virbel-Alonson, 2011).
<i>Fortunella margarita</i> .	Ce sont les seuls agrumes qui se consomment avec la peau. On trouve sur le marché deux

	<p>principales variétés. Le Nagami (<i>Fortunella margarita</i>) à fruits longs et acidulés. Et le Marumi (<i>Fortunella japonica</i>) à fruits ronds, plus doux mais beaucoup plus fragiles. Il s'agit toujours de petits fruits de couleur orange, à peau lisse, variant de 25 à 40 g et avec 2 à 5 pépins. Les fruits tiennent très bien sur l'arbre, celui-ci est de vigueur moyenne Jacquemond et <i>al.</i>, 2009).</p>
--	---

Tableau 3. Quelques variétés de Citron.

APPENDICE D

LES MALADIES D'AGRUME

1. Les maladies virales ou viroses

Parmi les nombreuses maladies qui attaquent les agrumes, les viroses paraissent occuper le premier plan par leur gravité.

La tristeza et la psorose, sont les principales maladies à virus signalées dans les pays agrumicoles. Il est se pendant utile de les présenter brièvement, vu leur danger potentiel.

Le Quick Decline ou Tristeza : Elle est causée par *Citrus tristeza virus* (CTV) il existe plusieurs souches du virus différentes par leur sévérité, la spécificité du vecteur et de la gamme d'hôte. Cette grave affection a été signalée en Algérie dans le vingtième siècle. (WALLACE et DARKE, 1972).

La propagation de la maladie se fait par bois de greffage et par plusieurs espèces de pucerons, Les symptômes typiques de cette maladie sont : le Quick Decline où mort brutale affectant orangers, Le Stem-Pitting (Bois strié) et Le Vein clearing (Éclaircissement des nervures) (BOVÉ, 2008).

Les psoroses : Sont causées par des virus désignés sous le nom de *Citricolletia psorosis* dont il existe plusieurs variétés, chacune étant responsable d'une forme. On connaît actuellement six type de psorose affectant les citrus, les formes les plus gave sont incontestablement : les psoroses A et B, Psorose alvéolaire, Psorose en poche, Panachure infectieuse et frisolée (KLOTZ et FAWCETT, 1952).

2. Les maladies bactériennes ou bactérioses

Les bactéries, qui sont parfois mobiles, se conservent dans le sol. Sur les végétaux elles sont la cause de pourriture, de Tumeurs, de chancres. De plus, par les toxines qu'elles émettent, elles peuvent provoquer des lésions à distances. L'infection peut se faire aussi bien par les orifices naturels, comme les stomates ou les lenticelles, que par des blessures.

Chlorose Variegue des Agrumes (CVA) : La maladie affecte toutes les variétés commerciales d'oranges issues de différents porte-greffes ; elle est causée par *Xylella fastidiosa* qui bloque les vaisseaux du xylème de la plante. Elle se transmet à d'autres vergers par le biais des jeunes arbres contaminés et d'insectes piqueurs suceurs.

Le Chancre Des Agrumes : est une maladie causée par *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*, (synonymes: *Pseudomonas citri*, *Xanthomonas campestris* pv. *citri*). Plusieurs pathotypes de chancre des agrumes ont été décrits, le pathotype le plus destructeur est le type « A » ou chancre asiatique des agrumes. IL produit des tâches sur les feuilles et provoque des lésions sur les tiges et le fruit entraîne l'abscission de la feuille et la chute du fruit et le dépérissement du rameau (LOUSSERT, 1987).

3. Les maladies fongiques

Les maladies d'origine cryptogamique qui s'attaquent aux agrumes sont assez nombreuses, certaines sont économiquement très importantes :

- La Gommose a *Phytophthora* : Cette maladie est due à un Champignon appartenant au groupe des Péronosporales, du genre *Phytophthora*, dont il existe diverses espèces parasites d'Agrumes, notamment : *Phytophthora citrophthora* et *Phytophthora parasitica* (WYSS, 1949).
- La Fumagine : C'est un parasite indirect des agrumes car il se développe en se nourrissant du miellat sécrété par les cochenilles, les pucerons et les aleurodes. Le champignon forme une couche veloutée noirâtre. Les feuilles peuvent être entièrement recouvertes par la fumagine ; sur les fruits des traces noirâtres apparaissent également qui diminuent fortement leur qualité à l'exportation. La fumagine gêne l'assimilation chlorophyllienne et donc l'alimentation normale de l'arbre (LOUSSERT, 1985).

- Pourriture Brune (*Phytophthora* sp.): C'est une autre maladie qui se développe sur les fruits de citrus. Dans les vergers, ce sont surtout les fruits se trouvant près du sol, sur les branches basses, qui sont atteints par cette maladie. Sur les fruits infectés on observe des zones brunâtres, avec ou sans fructifications du champignon. Tout fois, elle est d'une importance secondaire, sauf dans les régions humides à sol assez lourd (ANONYME, 1976).

Pour la lutte contre les maladies d'agrumes causés par ces micros organismes on utilise différentes méthodes de lutttes : méthodes de lutttes culturales, prophylactiques, curatives, chimiques et biologiques (REGNAULT *et al.* 2005).

4. Les ravageurs des agrumes

De nombre d'espèces animales qui se développent et qui se nourrissent au détriment des agrumes sont extrêmement nombreuses et variées PRALORAN (1971), pour cela nous allons récapituler dans un tableau seulement les principales espèces qui causent d'importants dégâts en Algérie.

REFERENCES

REFERENCES

1. ALTIERI, M.A., "The Ecological Role of Biodiversity in Agroecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment", 74p, (1999), 19-31.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6).
2. MOLLOT, G., TIXIER, P., LESCOURRET, F., QUILICI, S., DUYCK, P.-F., "New primary resource increases predation on a pest in a banana agroecosystem. *Agricultural and Forest Entomology*", 14 (3), (2012) 317 - 323. DOI: 10.1111/j.1461-9563.2012.00571.x.
<https://prodinra.inra.fr/record/214420>
3. BOUCHER, DH. JAMES S., KEELER KH., "The ecology of mutualism. *Ann. Rev. Ecol. Syst* ", (1982), 13: 15 –347.
4. BRONSTEIN, J.L., "The exploitation of mutualisms." *Ecol. Lett.* 4: 277-287 (2001).
5. BRODEUR, J., BOIVIN G. BOURGEOIS C., CLOUTIER J., DOYON P., GRENIER et GAGNON A., « Impact des changements climatiques sur le synchronisme entre les ravageurs et leurs ennemis naturels : conséquences sur la lutte biologique en milieu agricole au Québec ». Rapport à Ouranos et au Fonds Vert Québec. Rapport final projet Ouranos N° 5500005-103. (2013).
6. BOUKOFTANE, A., "Etude écophysiological des interactions entre la cochenille noire de l'oranger *Parlatoria ziziphi* Lucas 1893 (Homoptera, Diaspididae) et sa plante hôte : l'oranger (*Thomson navel*) dans la zone de la Mitidja". Th. ing. Agro. Université de Blida, (2007), 109p.
7. STACHOWICZ, J., "Mutualism, Facilitation, and the Structure of Ecological Communities", *BioScience* 51(3):235-245, (2001), DOI: 10.1641/0006-3568(2001)051[0235: MFATSO] 2.0.CO; 2.

8. BRUNO JF., JOHN J., STACHOWICZ, MARK, D., BERTNES.,S, “ Trends in Ecology & Evolution” 18(3):119-125, (2003,)DOI: 10.1016/S0169-5347(02)00045-9.
9. BRONSTEIN, J. L., “Our current understanding of mutualism”.Q. Rev. Biol 69:31–51(1994), [Google Scholar](#).
10. BARY, “Die Erscheinung der Symbiose, Verlag von Karl J Trubner, Strasbourg”, Germany, (1879).
11. ALLABY,” The Concise Oxford Dictionary of Botany”, livre, ed., Ilkka Kukkonen, (1992), <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1993.tb00061.x>.
12. HEINRICH, D., HERGT M., « Atlas de l'écologie », Livre de poche, Paris, (1993), 281p.
13. CLAUDE COMBES, « Interactions durables. Ecologie et évolution du parasitisme » (1995), éd. Masson, 524 pp.
14. JANZEN, DH. “Dispersal of seeds by vertebrate guts”/n Futuyama D, Slatkin M (eds). Coevolution, Sinauer, Sunderland, (1983), 232 - 262.
15. CASSIER, P., BRUGEROLLE G., COMBES C., GRAIN J., RAIBAUT A., « Le parasitisme – Un équilibre dynamique », Masson, Paris, (1998), 366p.
16. CAULLERY, « Le parasitisme et la symbiose », Encyclopédie scientifique. Gaston Doin et Cie, Paris, (1922), 400p.
17. GRASSE, PP., « Parasites et parasitisme », Collection Armand Colin, (1935), Paris. 224p.
18. HOLMES, JC., “Parasite population and host community structure. In Host-parasite interfaces”, (Nickol BB), Academic press: New York, (1979), pp. 27-46,
19. IMMELMAN, « Dictionnaire de l'éthologie. Psychologie et sciences humaine », Pierre Mardaga, éd. Bruxelles, (1990), 293p.

20. KINNE," Diseases of Marine Animals", I. General Aspects, Protozoa to Gastropoda. John Wiley, Somerset, NJ. (1980), 460 pp.
21. PURVES, WK., ORIAN, GH, Helle, r HC., "Life: The Science of Biology", Sinauer, Sunderland MA., (1994).
22. WAY and KHOO; WAY M.J., "Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera", *Annu. Rev. Entomol.* 8: (1963) 307-344.
23. SCHONROGGE, K., NAPPER, E.K.V., BIRKETT M.A., WOODCOCK C.M., PICKETT, J.A., WADHAMS, L.J. and THOMAS, J.A., "Host recognition by the specialist hoverfly *Microdon mutabilis*, a social parasite of the ant *Formica lemni*" *Journal of Chemical Ecology* 34, (2008), 168-178.
24. DELABIE, J. H. C. 2001, "Trophobiosis between Formicidae and Hemiptera (Sternorrhyncha and Auchenorrhyncha): an overview. Neotropical", *Entomology* 30 (4): (2001), 501-516.
25. SCHULTZ, T.R. & MCGLYNN, T.P., "The interactions of ants with other organisms", (2000).p. 35-44. In: Agosti, D., Majer, J.D., Alonso, L.E. & T.R. Schultz (eds.). *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. Smithsonian Institution Press, Washington.
26. BUCKLEY, R. C., "Interactions in plants, Homoptera, and ants" *Annu. Rey. Ecol. Syst.* 18: (1987) 111-135.
27. PIERCE, J.L., KOSTOVA, T. AND DIRKS, K.T., "Toward a Theory of Psychological Ownership in Organizations", *Academy of Management Review*, Vol. 26, Issue: 2, (2001), 298-310.
28. CHOMICKI, G. AND RENNER, S.S., "Obligate plant farming by a specialized ant. *Nature Plants* », 2 : (2016), 16181. [10.1038/nplants.2016.181.http://www.nature.com/articles/nplants2016181#supplementary-information](http://www.nature.com/articles/nplants2016181#supplementary-information)
29. STADLER, B., K. FIEDLER, T. J. Kawecki and Weif3er W. «Costs and benefits for phytophagous myrmecophiles: when ants are not always

- available" *Oikos* 92: (2001), 467-478.
30. KATAYAMA, N. AND SUZUKI, N, "Bodyguard effects for aphids of *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae) as related to the activity of two ant species, *Tetramorium caespitum* Linnaeus (Hymenoptera: Formicidae) and *Lasius niger* L. (Hymenoptera: Formicidae). *Appl. Entomol. Zool.* 38: (2003), 427-433.
 31. HOLWAY, DA, SUAREZ, AV, CASE, TJ.. "Role of abiotic factors in governing susceptibility to invasion: a test with Argentine ants" *Ecology* 83: (2002)10–19.
 32. CARROLL, CR, JANZEN, DH," Ecology of foraging by ants" *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 4: (1973) 231–57.
 33. WAY, MJ, CAMMELL, ME, PAIVA, MR., "Studies on egg predation by ants (Hymenoptera: Formicidae) especially on the eucalyptus borer *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae) in Portugal", *Bull. Entomol. Res.* 82: (1992), 425–32.
 34. KAPLAN, I., AND EUBANKS, M. D., "Disruption of cotton aphid (Homoptera: Aphididae) natural enemy dynamics by red imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae)". *Environ. Entomol.* 31: (2002), 1175-1183.
 35. KLOFT, W., VERSUCHE EINER, "Analyse der trophobiotischen Beziehungen zwischen Ameisen und Aphiden", *Biol. Zentralblatt*, vol. 78, (1959), pp. 863–870.
 36. SUDD, J.H., "Ant Aphid Mutualism, Aphids: Biology, Natural Enemies, and Control", Amsterdam, 1987, pp. 355–365.
 37. GULLAN, P.J., KOSZTARAB, M., 1997. Adaptations in scale insects. *Annu. Rev. Entomol.* 42, 23–50.
 38. DEJEAN, A. and I. OLMSTED, "Ecological studies on *Aechmea bracteata* (Swartz) (Bromeliaceae)". *J. Nat. Hist.* 31: (1997), 1313–1334.

39. DEJEAN, A., OLMSTED I. and SNELLING R.R. "Tree-epiphyte-ant relationships in the low inundated forest of Sian Ka'an Biosphere Reserve", Quintana Roo, Mexico. *Biotropica* 27: (1995), 57–70.
40. MASCHWITZ and HÄNEL, "The migrating herdsman *Dolichoderus (Diabolus) cuspidatus* ": an ant with a novel mode of life Ulrich Maschwitz and Heinz H/inel Fachbereich, Biologie-Zoologie der J.W. Goethe-Universit/it, Siesmayerstrasse 70, D-6000 Frankfurt am Main, Federal Republic of Germany (1985).
41. PASSERA, L., « Les Presses scientifiques du CNRC, Ottawa », Canada.
42. BISHOP, D.B. AND BRISTOW, C.M. Effects of the presence of the Allegheny mound ant (Hymenoptera: Formicidae) in providing enemy-free space to myrmecophilous aphid and soft scale populations. *Annals of the Entomological Society of America*, 96, (2003), 202– 210.
43. ANDRE FRANCOEUR ET ROBERT LOISELLE, « Entomofaune du qubec, (2018), Entomofaune du Québec », Fondé officiellement en 1988 , Entomofaune du Québec est un organisme à buts scientifiques et non lucratifs, enregistré comme tel auprès des gouvernements du Québec et du Canada, (2017).
44. BULL, JJ. RICE, WR. "Distinguishing mechanisms for the evolution of co-operation", *Journal of Theoretical Biology* 149: (1991) 63-74.
45. NOË, R., HAMMERSTEIN, P., "Biological markets. *Trends in Ecology & Evolution* "10: (1995) 336- 339.
46. DOEBELI, M., KNOWLTON, N., "The evolution of interspecific mutualisms" *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 95: (1998), 8676-8680.
47. GENKAI-KATO, M., YAMAMURA, N., "Evolution of mutualistic symbiosis without vertical transmission", *Theoretical Population Biology* 55: (1999), 309-323.

48. HOEKSEMA, JD, BRUNA EM., "Pursuing the big questions about interspecific mutualism": a review of theoretical approaches. *Oecologia* 125: (2000), 321-330.
49. WEST, SA, TOBY KIERS E, PEN I, DENISON, RF., "" Sanctions and mutualism stability: when should less beneficial mutualists be tolerated?" *Journal of Evolutionary Biology* 15: (2002), 830-837.
50. DOEBELI, M., HAUERT, C., "Models of cooperation based on the Prisoner's Dilemma and the Snowdrift game", *Ecology Letters* 8: (2005), 748-766.
51. FERDY, J-B., GODELLE, B., "Diversification of transmission modes and the evolution of mutualism". *American Naturalist* 166: (2005), 613-627.
52. SACHS, JL., MUELLER, UG. WILCOX, TP., BULL J. "The evolution of cooperation". *Journal of Theoretical Biology* 79: (2004), 135-160.
53. FOSTER, KR, WENSELEERS, T (2006), "A general model for the evolution of mutualisms", *Journal of Evolutionary Biology* 19:1283-1293.
54. LEHMANN, L, KELLER, L., (2006), "The evolution of cooperation and altruism a general framework and a classification of models ", *Journal of Evolutionary Biology* 19:1365-1376.
55. CONNOR, RC, (2007) "Invested, extracted and byproduct benefits: a modified scheme for the evolution of cooperation", *Behavioural Processes* 76:109-113.
56. WAY, MJ, (1963), "Mutualism between ants and honeydew-producing Homoptera". *Annu Rev Entomol* 8:307-344.
57. STADLER, B, DIXON, AFG (2005)," Ecology and evolution of aphid-ant interactions". *Annu Rev Ecol Evol Syst* 36:345-372.
58. FISCHER, Ch., (2016), « Etude des sémiochimiques volatils impliqués dans le mutualisme fourmis-pucerons », Docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique, Université de Liège, Liège,

Belgique, 170p.

59. DIXON, AFG (1985) "Aphid ecology". Blackie ; Distributed in the U.S.A. by Chapman and Hall, Glasgow.
60. BRISTOW, CM (1991) "Why are so few aphids ant-tended?" In: Cutler DF, Huxley C (eds) Ant/Plant Interactions. Oxford University Press, pp 104–119.
61. LOHMAN, DJ, LIAO, Q, PIERCE, NE (2006)," Convergence of chemical mimicry in a guild of aphid predators", Ecol Entomol 31:41–51. doi: 10.1111/j.0307-6946.2006.00758.x
62. LEROY, PD, WATHELET, B, SABRI, A (2011),"Aphid-host plant interactions: does aphid honeydew exactly reflect the host plant amino acid composition?" Arthropod Plant Interact 5:193–199. doi: DOI 10.1007/s11829-011-9128-5.
63. VILCINSKAS, A. (2016),"Biology and Ecology of Aphids". CRC Press, Taylor & Francis Group.
64. KUNERT, G., OTTO S., RÖSE, USR. (2005),"Alarm pheromone mediates production of winged dispersal morphs in aphids". Ecol Lett 8:596–603.
65. KUNERT, G, REINHOLD C, GERSHENZON, J (2010),"Constitutive emission of the aphid alarm pheromone, (E)-beta-farnesene, from plants does not serve as a direct defense against aphids.", BMC Ecol 10:(23 November 2010)–(23 November 2010).
66. DEVIGNE, C., DETRAIN, C. (2002), "Collective exploration and area marking in the ant *Lasius niger*", Insectes Soc 49:357–362.
67. MAILLEUX, AC, DENEUBOURG, JL, DETRAIN C (2003), How does colony growth influence communication in ants?" Insectes Soc 50:24–31. doi: 10.1007/s000400300004.
68. DEVIGNE, C, DETRAIN, C (2006)," How does food distance influence foraging in the ant *Lasius niger*: The importance of home-range marking".

- Insectes Soc 53:46–55. doi: 10.1007/s00040-005-0834-9.
69. MAILLEUX, AC., DETRAIN, C., DENEUBOURG, JL. (2006),” Starvation drives a threshold triggering communication.” J Exp Biol 209:4224–4229. Doi: 10.1242/jeb.02461.
 70. MAILLEUX, AC., DEVIGNE, C, DENEUBOURG, JL, DETRAIN, C (2010),” Impact of starvation on lasius niger’ exploration.” Ethology 116:248–256. Doi: 10.1111/j.1439-0310.2009.01736.x.
 71. MAILLEUX, AC., BUFFIN, A., DETRAIN, C., DENEUBOURG, and JL. (2011),” Recruitment in starved nests: The role of direct and indirect interactions between scouts and nestmates in the ant *Lasius niger*”. Insectes Soc 58:559–567. Doi: 10.1007/s00040-011-0177-7.
 72. WHEELER, W. (1926),” Ants, their structure, development and behaviour.” Columbia University Press, Lancaster.
 73. SUDD, J. (1967),” An introduction to the behaviour of ants.” Edwards Arnold, London.
 74. EL-ZIADY, S, KENNEDY, JS (1956),”Beneficial effects of the common garden ant, *Lasius niger* L., on the black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli”, Proc R Ent Soc Lond 31:5.
 75. STADLER, B., DIXON, AFG (1999),” Ant attendance in aphids: why different degrees of myrmecophily?”, Ecol Entomol 24:363–369.
 76. FISCHER, MK., HOFFMANN, KH, VÖLKL, W (2001), “Competition for mutualists in an ant-homopteran interaction mediated by hierarchies of ant attendance. Oikos 92:531–541.
 77. YAO, I., AKIMOTO, S. (2001), “Ant attendance changes the sugar composition of the honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*.” Oecologia 128:36–43.
 78. KATAYAMA, N., SUZUKI, N. (2003) “Bodyguard effects for aphids of *Aphis craccivora* Koch (Homoptera : Aphididae) as related to the activity

- of two ant species, *Tetramorium caespitum* Linnaeus (Hymenoptera: Formicidae) and *Lasius niger* L. (Hymenoptera: Formicidae)". *Appl Entomol Zool* 38:427–433.
79. RENAULT, CK., BUFFA, LM. DELFINO, MA (2005)," An aphid-ant interaction: effects on different trophic levels." *Ecol Res* 20:71–74. doi: DOI 10.1007/s11284-004-0015-8.
 80. VERHEGGEN, F., DIEZ, L., DETRAIN, C., HAUBRUGE, E. (2009a) "Aphid-ant mutualism: an outdoor study of the benefits for *Aphis fabae*." *Biotechnol Agron Soc Environ* 13:235–242.
 81. NIELSEN, C., AGRAWAL, AA., HAJEK AE. (2010), " Ants defend aphids against lethal disease.", *Biol Lett* 6:205–208. doi: DOI 10.1098/rsbl.2009.0743.
 82. GLINWOOD, R., WILLEKENS, J. & PETTERSSON, J. (2003). « Discrimination of aphid mutualists by an ant based on chemical cues ». *Acta Agriculturae Scandinavica: Section B, Soil and Plant Science*, 53, 177-182.
 83. ENDO, S. and ITINO, T. (2012) "The aphid-tending ant *Lasius fuji* exhibits reduced aggression toward aphids marked with ant cuticular hydrocarbons ». *Population ecology*, 54, 405-410.
 84. LANG, C, MENZEL, F (2011)," *Lasius niger* ants discriminate aphids based on their cuticular hydrocarbons", *Anim Behav* 82:1245–1254. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.08.020>.
 85. YAO, I. (2014)," Costs and constraints in aphid-ant mutualism." *Ecol Res* 29:383–391. doi: 10.1007/s11284-014-1151-4.
 86. WHEELER, W. (1926), "Ants, their structure, development and behaviour." Columbia University Press, Lancaster.
 87. SAKATA, H. (1999)," Indirect interactions between two aphid species in relation to ant attendance", *Ecol Res* 14:329–340.

88. MAILLEUX, AC., DENEUBOURG, JL., Detrain, C. (2000),” How do ants assess food volume? “,Anim Behav 59:1061–1069.
89. YAO,I., AKIMOTO, S. (2001),” Ant attendance changes the sugar composition of the honeydew of the drepanosiphid aphid *Tuberculatus quercicola*”. Oecologia 128:36–43.
90. FISCHER, MK., VOLKL, W., HOFFMANN, KH, (2005),” Honeydew production and honeydew sugar composition of polyphagous black bean aphid, *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae) on various host plants and implications for ant-attendance”, Eur J Entomol 102:155–160.
91. MAILLEUX, AC., DETRAIN, C., DENEUBOURG JL. (2005),” Triggering and persistence of trail-laying in foragers of the ant *Lasius niger*.” J Insect Physiol 51:297–304. doi: 10.1016/j.jinsphys.2004.12.001.
92. DETRAIN, C., VERHEGGEN FJ., DIEZ L., et al (2010),” Aphid-ant mutualism: how honeydew sugars influence the behaviour of ant scouts. Physiol Entomol 35:168–174.
93. LEROY P, CAPELLA Q, HAUBRUGE E (2009),” Aphid honeydew impact on the tritrophic relationships between host-plants, phytophagous insects and their natural enemies.”, Biotechnol Agron Soc Environ 13:325–334.
94. WOODRING, J., WIEDEMANN R., VOLKL W., HOFFMANN KH., (2007),” Oligosaccharide synthesis regulates gut osmolality in the ant-attended aphid *Metopeurum fuscoviride* but not in the unattended aphid *Macrosiphoniella tanacetaria*”, J Appl Entomol 131:1–7. doi: 10.1111/j.1439-0418.2006.01091.x.
95. LEROY, PD., WATHELET B., SABRI A. (2011),” Aphid-host plant interactions: does aphid honeydew exactly reflect the host plant amino acid composition?” Arthropod Plant Interact 5:193–199. doi: DOI 10.1007/s11829-011-9128-5.
96. DOUGLAS, AE., (1998),” Nutritional interactions in insect-microbial symbioses: aphids and their symbiotic bacteria *Buchnera*. Annu Rev

- Entomol 43:17–37. doi: 10.1146/annurev.ento.43.1.17.
97. FEBVA, YG. RAHBE Y., RYNKIEWICZ M. (1999),” Fate of dietary sucrose and neosynthesis of amino acids in the pea aphid, *acyrthosiphon pisum*, reared on different diets”, J Exp Biol 202 (Pt 19:2639–2652.
 98. MITTLER, TE. (1958),” The feeding and nutrition of large willow aphid (*Tuberolachnus salignus*)”, II. The nitrogen and sugar composition of ingested phloem sap and excreted honeydew. J Exp Biol 35:74–84.
 99. KISS, A. (1981), “ Melezitose, aphids and ants.” Oikos 37:382.
 100. LEROY, PD. (2009), “between host-plants, phytophagous insects and their natural enemies”, Biotechnol Agron Soc Environ 13:325–334.
 101. FISCHER, MK., HOFFMANN KH., VÖLKL W. (2001),” Competition for mutualists in an ant-homopteran interaction mediated by hierarchies of ant attendance”. Oikos 92:531–541.
 102. WOODRING, J., WIEDEMANN R, VOLKL W, HOFFMANN KH (2007),” Oligosaccharide synthesis regulates gut osmolality in the ant-attended aphid *Metopeurum fuscoviride* but not in the unattended aphid *Macrosiphoniella tanacetaria*.”, J Appl Entomol 131:1–7. doi: 10.1111/j.1439-0418.2006.01091.x
 103. VANTAUX, A, SCHILLEWAERT S, PARMENTIER T (2015),” The cost of ant attendance and melezitose secretion in the black bean aphid *Aphis fabae*”. Ecol. Entomol.
 104. GUENDOZ-BENRIMA, A., DOUMANDJI MITICHE, B. & PETIT, D., (2011). « Effects of weak climatic variations on assemblages and life cycles of Orthoptera in North Algeria ». J. Arid Environ., in press.
 - 105 MOUSSI, A., ABBA, A., HARRAT, A. & PETIT, D. 2011. Desert acridian fauna (Orthoptera, Acridomorpha): comparison between steppic and oasian habitats in Algeria. C. R. Biologies, in press.

114. VANTAUX A, VAN DEN ENDE W, BILLEN J, WENSELEERS T (2011),” Large interclone differences in melezitose secretion in the facultatively ant-tended black bean aphid *Aphis fabae*”, J Insect Physiol 57:1614–1621. doi: 10.1016/j.jinsphys.2011.08.014
115. VANTAUX, A, PARMENTIER T, BILLEN J, WENSELEERS T, (2012),” Do *Lasius niger* ants punish lowquality black bean aphid mutualists?” Anim Behav 83:257–262. Doi: 10.1016/j.anbehav.2011.10.035.
116. JOHNSON, B. (1959),” Ants and form reversal in aphids.” Nature 184:740–741. doi: 10.1038/184740a0
117. STADLER B, DIXON AFG (1998),” Costs of ant attendance for aphids”. J Anim Ecol 67:454–459
118. NIELSEN C., AGRAWAL AA., HAJEK AE. (2010),” Ants defend aphids against lethal disease.” Biol Lett 6:205–208. doi: DOI 10.1098/rsbl.2009.0743
119. SHINGLETON, AW., STERN DL. FOSTER WA. (2005) “The origin of a mutualism: A morphological trait promoting the evolution of ant-aphid mutualisms”. Evolution (N Y) 59:921–926.
120. WILDER, SM, HOLWAY DA, SUAREZ A V, EUBANKS MD (2011),” Macronutrient content of plantbased food affects growth of a carnivorous arthropod.” Ecology 92:325–332.
121. SHIK, JZ. KAY AD., SILVERMAN J. (2014) “Aphid honeydew provides a nutritionally balanced resource for incipient Argentine ant mutualists”. Anim Behav 95:33–39. doi: 10.1016/j.anbehav.2014.06.008
122. SHIK, JZ. SILVERMAN J. (2013),”Towards a nutritional ecology of invasive establishment: aphid mutualists provide better fuel for incipient Argentine ant colonies than insect prey”. Biol Invasions 15:829–836. doi: 10.1007/s10530-012-0330-x
123. PICKETT, JA. WADHAMS, LJ. WOODCOCK CM, HARDIE J (1992),” The

- chemical ecology of aphids". *Annu Rev Entomol* 67–90.
124. GOGGIN, FL. (2007), "Plant-aphid interactions: molecular and ecological perspectives." *Curr Opin Plant Biol* 10:399–408. doi: 10.1016/j.pbi.2007.06.004
 125. PICKETT, JA. GLINWOOD RT. (2007), "Chemical ecology. In: *Aphids as Crop Pests. Biological Chemistry Division*", Rothamsted Research, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, United Kingdom, pp 235–260.
 126. VERHEGGEN, F. (2008), "Production of alarm pheromone in aphids and perception by ants and natural enemies". 197p.
 127. VILCINSKAS, A. (2016), "Biology and Ecology of Aphids", CRC Press, Taylor & Francis Group.
 128. FRANCIS, F., VANDERMOTEN, S., VERHEGGEN F, (2005), "Is the (E)- β -farnesene only volatile terpenoid in aphids?" *J Appl Entomol* 129:6–11.
 129. EDWARDS LJ, SIDDALL JB, DUNHAM LL. (1973), "Trans- β -farnesene, alarm pheromone of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) "
 130. TURCHIN P, KAREIVA P (1989), "Aggregation in *Aphis varians*: an effective strategy for reducing predation risk". *Ecology* 70:1008–1016.
 131. MICHA AND WYSS 1996; MICHA SG, WYSS U (1996), "Aphid alarm pheromone (E)- β -farnesene: a host finding kairomone for the aphid primary parasitoid *Aphidius uzbekistanicus* (Hymenoptera: Aphidiinae). *Chemoecology*" 7:132–139
 132. ZHU J, COSSÉ AA, OBRYCKI JJ. (1999), "Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plant: electroantennogram and behavioral responses". *J Chem Ecol* 25:1163–1177.
 133. DURIEUX D, VERHEGGEN FJ, VANDEREYCKEN A. (2010) Review: chemical ecology of ladybird beetles. *Biotechnol Agron Soc Environ*

- 14:351–367.
134. OUTREMAN Y, KUNERT G, SIMON J-C, WEISSER W (2010) Ecological Costs of Alarm Signalling in Aphids. In: Kindlmann P, Dixon AFG, Michaud JP (eds) *Aphid Biodiversity under Environmental Change* SE - 10. Springer Netherlands, pp 171–181.
 135. NAULT LR, MONTGOMERY ME, BOWERS WS. (1976) Ant-aphid association: role of aphid alarm pheromone. *Sci USA* 192:1349–1351.
 136. BILLEN J. (2009) Diversity and Morphology of Exocrine Glands in Ants. In: XIX Simposio de Mirmecologia. Ouro Preto (Brasil), pp 1–6.
 137. PARRY K, MORGAN ED (1979) Pheromones of ants: a review. *Physiol Entomol* 4:161–189. doi: 10.1111/j.1365-3032.1979.tb00193.x
 138. ATTYGALLE AB, MORGAN ED (1985) Ant trail pheromones. *Adv In Insect Phys* 18:1–30.
 139. MORGAN, D., (2008) « Chemical sorcery for sociality: Exocrine secretions of ants (Hymenoptera: Formicidae) », *Myrmecological News* n°11 : 79-90 Vienna, August (2008).
 140. HAYASHI, M., K. NAKAMUTA AND M. NOMURA (2015). Ants Learn Aphid Species as Mutualistic Partners: Is the Learning Behavior Species-Specific? *Journal of Chemical Ecology* 41(12): 1148-1154. 10.1007/s10886-015-0651-1
 141. ZHANG S., ZHANG Y., MA K., 2013- The Ecological Effects of Ant-Aphid Mutualism on Plants at a Large Spatial Scale, Vol 60, No 3 (2013) ,<http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/rt/printerFriendly/175/01/1> Sociobiology
 143. BONABEAU E., THERAULAZ G., (2000), « L'intelligence en essaim, Pour la science », N° 271 mai 2000, 282 (3) : pp. 66-73.
 144. DENEUBOURG, J.-L., GOSS, S., FRANKS, N., SENDOVA-FRANKS, A., DETRAIN, C., AND CHRETIEN, L. (1990). “☆☆ The dynamics of

- collective sorting : robot-like ant and ant-like robots ★★”. In (Meyer and Wilson, 1990), pages 356–365.
145. COLORNI, A., DORIGO, M., AND MANIEZZO, V. (1992). “★★ An investigation of some properties of an “Ant algorithm” ★★. In (Manner and Manderick, 1992), pages 509–520.
146. BONABEAU, E., DORIGO, M., AND THERAULAZ, G. (1999) ” Swarm Intelligence : From Natural to Artificial Systems.” Oxford University Press, New York.
146. OUADFEL S.,(2006) » Contributions à la Segmentation d’images basées sur la résolution collective par colonies de fourmis artificielles [ressource textuelle, sauf manuscrits], Th.doctorat, : Universite el hadj lakhdar , Batna, Algérie, [s.l] : [s.n],2006, 178 p.
147. HÖLLDOBLER, BERT, AND EDWARD O. WILSON. "Altruism and the Origin of the Worker Caste. In *The Ants*", 179–96. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, (1990).
148. CAGNIANT H., (1973) « Les peuplements des fourmis des forêts algériennes. Ecologie biocénétique, essai biologique ». Thèse Doctorat. Es-sci., Univ. Paul Sabatieu, Toulouse, 464 p.
149. BEATTIE AJ, HUGHES L. (2002) “Ant-plant interactions. In: Herrera CM, Pellmyr O, editors. Plant-animal interactions. “London: Blackwell Science Ltd. p. 223–235.
150. HANDEL, S. N., & BEATTIE, A. J. (1990), “Seed dispersal by ants”. *Scientific American*, 263(2).
151. ANDRE, E. (1886) « Appendice aux fourmis. pp. 854-859 in: André, Edm. 1881-1886. Species des Hyménoptères d'Europe et d'Algérie » Tome Deuxième. Beaune: Edmond André, 919 + 48 pp.PDF
152. FOREL, A. (1894). « Les Formicides de la Province d’Oran (Algérie) » Bulletin de la Societé Vaudoise de Sciences Naturelles, 30: 1-45.

156. FOREL, A. (1902). « Les fourmis du Sahara algérien », récoltées par M. le Professeur A. Lameere et le Dr. A. Diehl. Annales de la Société Entomologique Belgique, 46: 147-158.
157. CAGNIANT, H. (1966b). « Clé dichotomique des fourmis de l'Atlas blidéen. » Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, 56: 26-40.
158. CAGNIANT, H. (1967) «*Leptothorax barryi* n. sp. Hyménoptère Formicidae Myrmicinae d'Algérie ». Bulletin de la Société Entomologique de France, 72: 272-275.
159. CAGNIANT, H. (1968a). « Description de *Leptothorax monjauzei* n. sp. d'Algérie (Hym., Formicidae, Myrmicinae). Représentation de trois castes et notes biologiques ». Bulletin de la Société Entomologique de France, 73: 83-90.
160. CAGNIANT, H. (1968b). « Description d'*Epimyrma algeriana* (nov. sp.) (Hyménoptères, Formicidae, Myrmicinae), fourmi parasite : Représentation des trois castes ». Quelques observations biologiques, écologiques et éthologiques. Insectes Sociaux, 15: 157-170.
161. CAGNIANT, H. (1968c), « Liste préliminaire de fourmis forestières d'Algérie. Résultats obtenus de 1963 à 1964 ». Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 104: 138-147.
162. CAGNIANT, H. (1969), « Note sur deux *Aphaenogaster* rares d'Algérie (Hyménoptères, Formicidae, Myrmicinae) ». Insectes Sociaux, 16: 103-114.
163. CAGNIANT, H. (1970a), « Une nouvelle fourmi parasite d'Algérie: *Sifolinia kabylica* (nov. sp.), Hyménoptères. Formicidae, Myrmicinae ». Insectes Sociaux, 17: 39-47.
164. CAGNIANT, H. (1970b), « Deuxième liste de fourmis d'Algérie récoltées principalement en forêt (1re partie) ». Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 105: 405-430.

165. CAGNIANT, H. (1970c), « Deuxième liste de fourmis d'Algérie récoltées principalement en forêt (Deuxième partie) ». Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 106: 28-40.
166. CAGNIANT, H. (1973), « Note sur les peuplements de fourmis en forêt d'Algérie. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, France, 108: 386-390.
167. CAGNIANT, H. (2005), « Les Crematogaster du Maroc. Clé de détermination et commentaires. Orsis, 20: 7-12. Sociobiology 64(2): » 146-154 (June, 2017) 153 .
168. CAGNIANT, H. (2006), « Liste actualisée des fourmis du Maroc » Myrmecologische Nachrichten, 8: 193-200.
169. CAGNIANT, H. (2009), « Le genre Cataglyphis Foerster, 1850 au Maroc (Hyménoptères Formicidae) ». Orsis, 24: 41-71.
170. BERNARD F., (1948)., « Le polymorphisme social et son déterminisme chez les fourmis », Ed.station. Zool., univ. Alger, 140p.
171. BERNARD F., (1951)., « Super famille des Formicoidea ashmead 1905 », pp. 997-1119 cité par GRASSE p.p., 1951 – Traité de Zoologie, insectes supérieurs et Hémiptéroïdes. Ed. Masson Cie, Paris, T.X, Fasc.2, pp. 976-1948.
172. BERNARD, F. (1968), « Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) d'Europe occidentale septentrionale ». Éd. Masson et Cie, Paris, coll. faune d'Europe et du bassin méditerranéen, Paris, 411p.
173. BERNARD, F. (1983) « Les fourmis et leur milieu en France méditerranéenne », Ed., lechevalier, Paris, Vol.XLV, 149p.
175. BARECH, G., DOUMANDJI, S. (2002). « Clef pédagogique de détermination des fourmis (Hymenoptera, Formicidae) ». Ann. Inst. Nat. Agro., El Harrach, vol. 3, 22p.
176. BARECH, G., KHALDI, M., DOUMANDJI, S. & ESPADALER, X. (2011).

- “One more country in the worldwide spread of the wooly ant: *Tetramorium lanuginosum* in Algeria (Hymenoptera: Formicidae)”. *Myrmecological News*, 14: 97-98.
177. BARECH, G., REBBAS, K., KHALDI, M., DOUMANDJI, S. & ESPADALER, X. (2015).” Redécouverte de la fourmi d’Argentine *Linepithema humile* (Hymenoptera: Formicidae) en Algérie: un fléau qui peut menacer la biodiversité» *Bulletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 56: 269-272.
178. BARECH, G., KHALDI, M., ZIANE S., ZEDAM A., DOUMANDJI, S., SHARAF, M. & ESPADALER, X. (2016) “A first checklist and diversity of ants (Hymenoptera: Formicidae) of the saline dry lake Chott El Hodna in Algeria”, a Ramsar Conservation Wetland. *African Entomology*, 24: 143-152. doi: 10.4001/003.024.0143.
179. BELKADI M.A., (1990) « Biologie de la fourmi des jardins *Topinoma simrothi* Krausse (Hymenoptera, Formicidae) dans la région de Tizi ouzou ». *Mém. Magi, Université de Tizi Ouzou*, 127 p.
180. DEHINA N., (2009) « Systématiques et essaimage de quelques espèces de Fourmis (Hymenoptera, Formicidae) dans deux régions de l’Algérois ». *Mém. Mag. Agro., Ecol. Nati. Sup. Agro., El Harrach, Alger.*, 72 p.
181. DEHINA N., DAOUDI- HACINI S. et DOUMANDJI S., (2007) « Arthropodofaune et place des Formicidae dans un milieu à vocation agricole ». *Journées Inter. Zool. agri. for.,8-10 avril 2007, Dép. Zool. agro. for., Inst. nati. agro. El Harrah*, pp. 201.
182. AIT SAID K., (2005) « Fourmis et Aphide sur cultures sous serres à l’Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles (I.T.C.M.I) de Staoueli : Capture à l’aide de deux techniques de piégeage ». *Mém. Ing., Inst. Nati. Agro., El Harrach* 85p.
183. DJAZOULI Z-E., FECHIT D et ZIOUCHE S., (2013) « Etude préliminaire sur l’effet de la biofumigation á base d’une crucifère (*Raphanus raphanistrum*) sur la dynamique des communautés pédofaunique,

Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Agro-Vétérinaires et Biologiques, Université SAAD DAHLEB Blida. Revue des Régions Arides - Numéro Spécial - n° 35 (3/2014) - Actes du 4ème Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion des Ressources et Applications Biotechnologiques en Aridoculture et Cultures Sahariennes : perspectives pour un développement durable des zones arides (2013).

184. CHEMALA A ., M BENHAMACHA , DM OULD EL HADJ. , F MARNICHE , S DAOUDI, (2017) "A preliminary list of the Ant Fauna in Northeastern Sahara of Algeria (Hymenoptera: Formicidae)", Article: Sociobiology 64(2): 146-154 (June, 2017), DOI: 10.13102/sociobiology.v64i2.1386.
185. DJIOUA, O. & SADOUDI-ALI AHMED, D. (2015). "The stands of ants (Hymenoptera, Formicidae) in some forest and agricultural areas of Kabylia". International Journal of Zoological Research, 5: 15-26.
186. DELLA SANTA E. (1995) «Fourmis de Provence-Faune de Provence) », T.16, p. 5-38.
187. PABLO S., (2004) « Inventaire myrmécologique de la réserve naturelle volontaire Trésor. Test d'une méthodologie applicable à la réserve naturelle de la Trinité. Rapport de mission, 8 p.
188. BEATTIE A. et HUGHES L., (2002) « Ant-plant interactions. Plant-animal interactions ». Ant evolutionary approach (eds C.M. Herrera et O. Pellmyr), pp. 211- 235. Blackwell Publishing.
189. WILSON E .O., (1971) "The insect societies". Ed. Harvard University Press Cambridge, Mass., 548p.
190. SERNANDER, R., (1904) « Entwurf einer Monographie der europäischen Myrmecochoeren ». K. Sven. Vetensk. Akad. Handl., 41, 1-410.
191. ESCALA M., XENA DE ENRECHM N. et MATHEZ J., (2001) " Myrmécochory in the tropics and in the Mediterranean: a comparative approach", Bocconeia 13: 365- 370. - ISSN 1120-4060.

192. BEATTIE A. et HUGHES L., (2002), « Ant-plant interactions. Plant-animal interactions. Ant evolutionary approach” (eds C.M. Herrera et O. Pellmyr), pp. 211- 235. Blackwell Publishing.
193. CASEVITZ-WEULERSSE J., & BRUN P., (1993) « La myrmécofaune des vergers d’agrumes de Corse orientale : premières observations ». Actes des Colloques annuels des Insectes Sociaux, section francophone, 8 : 31-38.
194. BELGUENDOZ R. et BICHE M., (2000) « Bio-systématique des cochenilles diaspiques (Diaspididae) d’Algérie ». Institut National d’Enseignement Supérieur 0900- Blida (Algérie) et Laboratoire d’écologie des vertébrés, Institut National Agronomique, 16200 El-Harrach, Alger, p 13.
195. BICHE M. ET SELAMI M (1999) «Etude de quelques variations biologiques possibles chez *parlatoria oleae* (Colvée) (Hemiptira, Diapididae). Bulletin de la société entomologique de France, 104(3), pp 287-292.
196. PODSIADLO E., and BUGILA A., (2007) « Morphology of the second-instar males of *Parlatoria zizyphi* (Lucas) (Hemiptera: Diaspididae). Proceedings of the XI international symposium on scale studies”, p. 51 - 53.
197. SIGWALT B., (1971) « Les études de démographie chez les cochenilles diaspiques. Applications à trois espèces nuisibles à l’Oranger en Tunisie. Cas particulier d’une espèce à générations chevauchantes *Parlatoria zizyphi* Lucas. Ann. Zool. Ecol. Anim., pp. 3-15.
198. RICHARD A., RIVIERE C., RYCKEWAERT P., COME B., QUILICI S.. (2003). « *Phytoma-La Défense des Végétaux* » (562) : p. 36-39.
199. PRALORAN J.C., (1971) « Les agrumes. Ed. Maisonneuve et Larose, France », 565 p.

200. MONASTERO S., 1962 "Le cocciniglie delgi agrumi in Sicilia". Ed. I. R. E. S., Palerme, 87 P.
201. OUZZANI T., (1984) « Approche bioécologique du pou noire de l'Oranger, *Parlatoria zizyphi* Lucas, (Homoptera, Diaspididae) dans la Mitidja ». *Thèse Ing. Agro. Inst. Nation. Agro., El-harrach, Alger, 72 P.*
202. BALACHOWSKY A. et MESNIL L., (1935) « Les insectes nuisibles aux plantes cultivées, leurs meurs et leur destruction ». *Ed. Hermann et Cie, Tom. I, Paris, 927p.*
203. HUANG L. L., WANG D.W., ZHANG Q.B., LEI H. D. and YUE B.S., (1988), Study of bionomics and control of *Parlatoria zizyphus*. *Acta Phytolactica Sinica*, 15(1):15-21.
204. DEKLE G.W., (1976), "Black Parlatoria scale, *Parlatoria zizyphi* (Lucas) (Homoptera :Diaspididae)". *Entomology circular*, n° 171, 2 p.
205. BELGUENDOUZ, R., M. BICHE, ET M. HADDOUM, (2009). "Biologie du pou noir de l'oranger *Parlatoria zizyphi* (Hemiptera ; Diaspididae) et l'impacte de son parasitoïde *Encarcia citrinus* (Hymenoptera – Aphelinidae) dans la régulation de son niveau d'infestation sur clémentinier en Mitidja (Algérie) » In the Proceeding of the 2009. AMMP Scholars Conference, pp: 699.
206. BELGUENDOUZ, R., ET BICHE M., (2006). « Biosystématique of Algerians scale insect of diaspidines (Diaspididae) ». In the Proceeding of the 2006. INPV Scholars Conference, pp: 182-194.
207. AROUN M. E., (2015). « Le complexe aphides et ennemis naturels en milieux cultivé et forestiers en Algérie ». Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, ENSA El Harrach, 148 p.
208. BENOUFELLA-KITOUS K., (2005). « Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels à Oued Aïssi (Tizi-Ouzou) ». Mémoire de magister en Protection des Végétaux, INA El Harrach, 222 p.

209. BARBAGALLO S., COCUZZA G., CRAVEDI P. & KOMAZAKI S., (2007). "IPM case studies: Tropical and subtropical fruit trees. In: van Emden H. F. & Harrington R." (eds.), *Aphids as Crop Pests*, Ed. CAB International (UK), 663 - 676.
210. EBERT T. A. & CARTWRIGHT B., (1997). "Biology and ecology of *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae)". *Southwestern Entomologist* 22, 116 - 153.
211. CELINI L., (2001). « Le puceron du cotonnier *Aphis gossypii* (Glover) et son parasite *Aphelinus gossypii* Timberlake en République centrafricaine ». *Insectes* 122 (3), 7 - 10.
212. SULLIVAN D. J., (2005). "Aphids (Hemiptera: Aphididae)". In: Capinera J. L. (ed.), *Encyclopedia of Entomology*, Ed. Springer (Netherlands), 127 - 146.
213. KARAMOUNA F., MYLONAS P., PAPACHRISTOS D., KONTODIMAS D., MICHAELAKIS A. & KAPAXIDI E., (2010)." Main arthropod pests of Citrus culture and pest management in Greece". In: Ciancio A. & Mukerji K. G. (eds.), *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases*, Ed. Springer (Netherlands), 29 - 59
214. YOKOMI R. K., (2009). « Citrus tristeza virus ». *Options Méditerranéennes B* 65, 19 – 33.
215. LAAMARI M., JOUSSELIN E. & CŒUR D'ACIER A., (2010). « Assessment of aphid diversity (Hemiptera: Aphididae) in Algeria : A fourteen-year investigation". *Faunistic Entomology* 62 (2), 73 – 87.
216. HEMIDI W., LAAMARI M. & TAHAR CHAOUICHE S., (2013). « Les hyménoptères parasitoïdes des pucerons associés aux plantes ornementales de la ville de Biskra ». In: 4th International Congress of the Populations & Animal Communities: Dynamics & Biodiversity of the terrestrial & aquatic Ecosystems, 19 - 21 November 2013, Bechar, Algérie.

217. BOVE J. M., (1961). « Compte rendu du deuxième congrès international de virologie des citrus ». Fruits 16 (4), 145 - 160.
218. BLACKMAN R. L. & EASTOP V. F., (2007). "Taxonomic issues. In: van Emden H. F. & Harrington R." (eds.), Aphids as Crop Pests, Ed. CAB International (UK), 1 - 29.
219. TREMBLAY E., (1984). "The parasitoid complex (Hymenoptera: Ichneumonidea) of *Toxoptera aurantii* (Homoptera: Aphidoidea) in the Mediterranean area". Entomophaga 29, 203 - 209.
220. HILL D. S., (2008). "Pests of crops in warmer climates and their control." Ed. Springer (Netherlands), 704 p.
221. BENOUFFELLA-KITOUS K., DOUMANDJI S. & FERROUDJA M., (2014) "Interest and place of three *Vicia Faba* aphid species in Draa Ben Khedda (Great Kabylia, Algeria)." International Journal of Agricultural Science and Research 4 (6), 27 - 36.
222. LOUSSERT R., (1989) « Les agrumes, production ». Ed. Sci. Univ., Vol2, Liban, 280p.
223. REBOUR H., (1966) « les agrumes .Manuel de culture des citrus pour bassin méditerranéen ». Ed.J.B. Baillier et fils, Paris, 178p.
224. FAO, (2015) " Citrus Fruit Statistics 2015", Market and Policy Analyses of Raw Materials, Horticulture and Tropical (RAMHOT) Products Team, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Rome, 2016 I5558E/1/04.16.
225. HÖLLDOBLER BERT , NICOLA JR PLOWES, ROBERT A., JOHNSON,ATHULA B., (2013) « Chimie des glandes pygidiales et fonction potentielle d'alarme-recrutement chez la colonne en train de butiner, mais pas en solitaire, récoltant des fourmis *Messor* (Hymenoptera: Formicidae: Myrmicinae), Journal de la physiologie des

- insectes 59 (2013) 863-869, 19 page.
226. HOSSAERT-MCKEY M. (2016) «Mutualisme et impacts des changements globaux : Réponse d'une composante importante et négligée de la Biodiversité ». CNRS – CEFE. INRA – CBGP indian Institute of Sciences - Center for Biological Study Max Planck Institute.
 227. DJAZOULI Z.E., TCHAKER F.Z. et PETIT D., (2012) “Effects of variations in temperature on biochemical and ponderal characteristics of (Koch, 1854)”, *Revue Agrobiologia*; ISSN: 2507-7627. (2), p-p: 44-51. contact@agrobiologia.net.
 228. MATARI M. LATROUS H., EL MAHI A., (2007). « Analyse de longues séries en vue du changement climatique ». Acte des journées internationales sur l’impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-aride, Biskra, p 15-25.
 229. XOPLAKI .E, LUTERBACHER. J, PAETH .H, DIETRICH .D, STEINER. N, GROSJEAN M AND WANNER H (2005)” European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium”. *Geophysical Research Letters* 32, L15713.
 230. BENYETTOU M A et BOUKLIKHA A.,(2018) « Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie », UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM (UABT) 2017, *Sécheresse* Ed.John Libbey Eurotext. ISSN : 1777-5930.
 231. TABET-AOUL M ., (2008) « Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb ». Les notes d’alerte du Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM), N° 48 –4 juin, 6 p.
 233. GUÉDON, Y., AND LEGAVE, J. M. (2008). “Analyzing the time-course variation of apple and pear tree dates of flowering stages in the global warming context”. *Ecol. Modell.* 219, 189–199. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2008.08.010.

234. PORTER, J.H., M.L. PARRY, T.R. CARTER. (1991). "The potential effects of climatic change on agricultural insect pests". *Agricultural and Forest Meteorology* 57: 221-240.
235. BALE, J.S. (2002). "Insects and low temperatures: from molecular biology to distributions and abundance". *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 357: 849-862.
236. ANGILLETTA, M.J., T.D. STEURY & M.W. SEARS. (2004). "Temperature, growth rate, and body size in ectotherms: fitting pieces of a life-history puzzle". *Integrative and Comparative Biology* 44: 498-509.
237. PARMESAN, C., N. RYRHOLM, C. STEFANESCU, J.K. HILL, C.D. THOMAS, H. DESCIMON, B. HUNTLEY, L. KAILA, J. KULLBERG, T. TAMMARU, W.J. TENNENT, J.A. THOMAS & M. WARREN. (1999). "Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming". *Nature* 399: 579–583.
238. COSSINS, A. R. & K. BOWLER. (1987). "Temperature Biology of Animals." Chapman & Hall, London. Davis, J.A., E.B. Radcliffe & D.W. Ragsdale. (2006). Effects of high and fluctuating temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology* 35: 1461-1468.
239. ROY, M., J. BRODEUR & C. CLOUTIER. (2002)." Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera : Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina : Tetranychidae)." *Environmental Entomology* 31: 177-187.
240. ERRYMAN, A.A. (1999). "The theoretical foundations of biological control". Dans: B.A. Hawkins & H.V. Cornell (eds). *Theoretical approaches to biological Control*. Cambridge University Press, New York, pp. 3-21.
241. BENOUFELLA-KITOUS K, (2005) « Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels à Oued-Aïssi » Th. Magister. *Agro.nati.agro.*, El

- Harrach, Algérie, 212p.
242. MOSTEFAOUI H. (2009) « Effet de la qualité de la plante hôte sur l'allocation des réserves énergétiques des pucerons dans un verger d'agrumes en Mitidja centrale », Thèse Magistère, Inst. Agro. Univ. Saad Dahleb, Blida, Alger, 207p.
243. MOSTEFAOUI H., ALLAL BENFEKIH L., DJAZOULI Z. E. PETIT D., ET SALADIN G., (2014). Why the aphid *Aphis spiraecola* is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*? *Comptes rendus biologies*, 337(2), 123-133.
244. BELGUENDOZ-BENKHELFA R., BICHE M., R. ADDA, ALLAL-BENFEKIH L., (2013) "Bio-ecology of a citrus pest (*Aonidiella aurantii* Maskell) (Hemiptera, Diaspididae): spatiotemporal relationship with its host plants Citrus limon and C. sinensis in Algiers region", *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 7(1): 14-20, 2013 ISSN 1995-0748.
245. HALIMI A., (1980) « L'Atlas Blidéen » [Texte imprimé] : climats & étages végétaux 1 vol. (523 p.) : ill., cartes ; 24 cm. Algérie. <http://www.sudoc.fr/079405193>.
246. BOUKOFTANE A. et BENRIMA A., 2018 « effet des facteurs climatiques sur la répartition spatiotemporel des pucerons d'agrumes en mitidja centrale (algérie) », *Revue Agrobiologia* 7(1), p-p 9 :58-966. contact@agrobiologia.net
247. BEN. (2008). « Les Indices climatiques et leurs significations écologiques en Algérie orientale ». Centre University Constantine.
248. JONES, D.A, W. WANG AND R. FAWCETT, (2009) "High-quality spatial climate data-sets for Australia". *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, 58:233–248
249. STEWART PH., (1968) « Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique quelques réflexions ». *Bull. Soc, hùt. Ilat, Afr. N" Alger*. 59 :

23-36,

250. YAN, W. & L.A. HUNT. (1999).” An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures”. *Annals of Botany* 84:607-614.
251. VAN VYVE-GENETTE A., GOHY J.M., FEYTMANS E. , (1986) « Statistique élémentaire en sciences biomédicales: apprentissage par la micro-informatique ». Bruxelles, De Boeck, 163 p.
252. ERIC DEPIEREUX, (2016) « De la variabilité aux risques d'erreur : analyse critique des résultats expérimentaux et de la fiabilité d'une décision clinique ». Livre imprimé : Seconde édition. Presses universitaires de Namur, DL cop. 2016 ISBN. Numéro OCLC:9782870379516 287037951X. 1 vol. (296-VIII p.): ill., couv. ill. ; 24 cm.
253. CHRISTINE CARRERE, (2015), « *Statistiques descriptives : théorie et applications*, » ED. (PUG) Presses universitaires de Grenoble 15, rue de l'Abbé-Vincent Bât. B1 - ZI des Vouillants 38600 Fontaine, USBN. 2706122153, 9782706122156, 368p.
254. SHI C., DAUX V., LI Z., WU X., FAN T., (2018) ” The response of relative humidity to centennial-scale warming over the southeastern Tibetan Plateau inferred from tree-ring width chronologies”. *Clim. Dyn.* DOI:10.1007/s00382-018-4107-5
255. DU MERLE P. et LUQUET, G.C., (1978) « Les peuplements de fourmis et les peuplements d'acridiens du Mont Ventoux. Remarques préliminaires et définition des milieux étudiés ». *La terre et la vie, Revue d'écologie appliquée*, supplément1, p. 147-160.
256. BERG, M.P., E.T. KIERS, G. DRIESSEN, M. VAN DER HEIJDEN, B.W. KOOI, F. KUENEN, M. LIEFTING, H.A. VERHOEF & J. ELLERS. (2010). “Adapt or disperse: understanding species persistence in a changing world”. *Global Change Biology* 16: 587–598.

257. VOIGT, W., J. PERNER, A.J. DAVIS, T. EGGERS, J. SCHUMACHER, R. BÄHRMANN, B. FABIAN, W. HEINRICH, G. KÖHLER & D. LICHTER. (2003). "Trophic levels are differentially sensitive to climate". *Ecology* 84: 2444-2453.
258. BELGUENDOZ-BENKHELFA R, BICHE M, ADDA R, ALLAL-BENFEKIH L, (2013). Bio-ecology of a citrus pest (*Aonidiella aurantii* Maskell) (Hemiptera, Diaspididae): spatiotemporal relationship with its host plants *Citrus limon* and *C. sinensis* in Algiers region. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 7: 14-20.
260. SHI, P. J., L. CHEN, C. HUI, AND H. D. GRISSINO-MAYER. (2016a). "Capture the time when plants reach their maximum body size by using the beta sigmoid growth equation". *Ecol. Model.* 320: 177–181.
261. SHI, P. J., G.V.P. REDDY, L. CHEN, AND F. GE. (2016b)." Comparison of thermal performance equations in describing temperature dependent developmental rates of insects: (I) Empirical models". *Ann. Entomol. Soc. Am.* 109: 11–215.
https://www.researchgate.net/publication/313820087_Empirical_model_with_excellent_statistical_properties_for_describing_temperature_dependent_developmental_rates_of_insects_and_mites
262. RATKOWSKY, D. A., (1990) "Handbook of Nonlinear Regression Models". MarcelDekker, New York, NY.
- 263- WAGNER, H.M.; BLADT, S.; ZGAINSKI, E.M. ,(1984) "*Plant drug analysis*". New York: Springer-Verlag, 1984. 320p.
267. SMIRNOFF W. A., (1954) « Aperçu sur le développement de quelques cochenilles parasites des agrumes au Maroc ». Ed. Service Défense des végétaux, Rabat, 29 p.

268. DJAZOULI ZE., DOUMANDJI-MITICHE B., PETIT D., 2009 - Spatio-temporal variations of functional groups in a *Populus nigra* L. entomocenosis in the Mitidja plain (Algeria). Texte dans le Centre national d'information sur la biotechnologie, Bibliothèque nationale de médecine des États-Unis, 8600 Rockville Pike, Bethesda MD, 20894, États-Unis. 2009 Sep; 332(9):848-60. doi: 10.1016/j.crv.2009.06.001. Epub 2009 Aug 8
269. TOBIN ET AL.; TOBIN, P.C., S. NAGARKATTI, G. LOEB & M.C. SAUNDERS. (2008) " Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltine species. *Global Change Biology* 14: 951–957.
270. BALE ET AL. (2002) " Insects and low temperatures: from molecular biology to distributions and abundance". *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 357: 849-862.
271. TRNKA, M., F. MUSKA, D. SEMERADOVA, M. DUBROVSKY, E. KOČMANKOVA & Z. ZALUD. (2007). European corn borer life stage model: Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling* 207: 61–84.
272. GAGNON, A È., ARSENAULT-LABRECQUE G., BOURGEOIS G., BOURDAGES L., GRENIER P. & ROY M. (2012)., « Études de cas pour faciliter une gestion efficace des ennemis des cultures dans le contexte de l'augmentation des risques phytosanitaires liés aux changements climatiques ». Rapport final, projet #550004-PXI. OURANOS.
273. MAJEAU, G., J. BRODEUR & Y. CARRIERE. (2000)." Lawn parameters influencing abundance and distribution of the hairy chinch bug (Hemiptera: Lygaeidae)". *Journal of Economic Entomology* 93: 368-373.
274. STENSETH, N.C., A. MYSTERUD, G. OTTERSEN, J.W. HURRELL, K.S. CHAN, M. LIMA. (2002). "Ecological effects of climate fluctuations". *Science* 297: 1292-1296.

276. EVELEIGH ET AL. 20 EVELEIGH, E.S., K.S. MCCANN, P.C. MACCARTHY, S.J. POLLOCK, C.J. LUCAROTTI, B. MORIN, G.A. MCDOUGLAS, D.B. STRONGMAN, J.T. HUBERT, J. UMBANHOWAR & L.D.B. FARIA. (2007). "Fluctuations in density of an outbreak species drive diversity cascades in food webs". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104 : 16976-16981.
277. PARMESAN, C. (2006). "Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change". *Evolution and Systematics* 37: 637-69. 07)
278. HOEKMAN, D. (2010). "Turning up the heat: Temperature influences the relative importance of topdown and bottom-up effects". *Ecology* 91: 2819-2825.
279. WRIGHT, E.J. & J.E. LAING. (1978). "The effects of temperature on development, adult longevity and fecundity of *Coleomegilla maculata lengi* and its parasite, *Perilitus coccinellae*". *Proceedings of the Entomological Society of Ontario* 109: 33-47.
280. DARTIGUES D., (1992), « Relation entre aphides et fourmis dans la production et la récolte du miellat sur oranger », Article Sep (1992), *Entomologia Experimentalis et Applicata* 64(3):203-208, DOI: 10.1007/BF00341083.
282. VASCONCELOS HL (1991), "Mutualism between *Maieta guianensis* Aubl., a myrmecophytic melastome, and one of its inhabitants: ant protection against insect herbivores". *Oecologia* 87:295-298.
283. FONSECA CR (1993), "Nesting space limits colony size of the plant-ant *Pseudomyrmex concolor*". *Oikos* 67:473-482.
284. FEDERLE W, MASCHWITZ U, FIALA B, FIEDERER M, HÖLLDOBLER B (1997), "Slippery ant-plants and skillful climbers: selection and protection of specific ant partners by epicuticular wax blooms in *Macaranga* (*Euphorbiaceae*)". *Oecologia* 112:217-224.

285. ITIOKA T, NOMURA M, INUI Y, ITINO T, INOUE T (2000), " Difference in intensity of ant defense among three species of *Macaranga* myrmecophytes in a Southeast Asian dipterocarp forest. *Biotropica* 32:318-326.
286. HEIL M, FIALA B, MASCHWITZ U, LINSENMAIR KE (2001a), " On benefits of indirect defence: shortand long-term studies of antiherbivore protection via mutualistic ants". *Oecologia* 126:395-403.
287. BRUNA EM, LAPOLA DM, VASCONCELOS HL (2004) Interspecific variation in the defensive responses of obligate plant-ants: experimental tests and consequences for herbivory. *Oecologia* 138:558-565.
289. FÁVERI SB, VASCONCELOS HL (2004) The Azteca-Cecropia association: are ants always necessary for their host plants ? *Biotropica* 36:641-646.
290. MODY K, LINSENMAIR KE (2004), "Plant-attracted ants affect arthropod community structure but not necessarily herbivory". *Ecological Entomology* 29:217-225.
291. FREDERICKSON ME (2005), "Ant species confer different partner benefits on two neotropical myrmecophytes. *Oecologia* 143:387-395.
292. GAUME L, ZACHARIAS M, BORGES R (2005a), "Ant-plant conflicts and a novel case of castration parasitism in a myrmecophyte. *Evolutionary Ecology Research* 7:435-452.
293. ALVAREZ G, ARMBRECHT I, JIMENEZ E, ARMBRECHT H, ULLOA-CHACON P (2001), "Ant-plant association in two *Tococa* species from a primary rain forest of Colombian Choco (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 38:585-602.
294. MICHELANGELI FA (2003)," Ant protection against herbivory in three species of *Tococa* (Melastomataceae) occupying different environments. *Biotropica* 35:181-188.

295. PEKAS, A., TENA, A., AGUILAR, A., GARCIA-MARÍ, F., (2010),” Effect of Mediterranean ants (Hymenoptera: Formicidae) on California red scale (Hemiptera: Diaspididae) populations in citrus orchards. *Environ. Entomol.* 39: 827-834.
296. CALABUIG, A., GARCIA-MARÍ, F. & PEKAS, A. (2013),” Ants affect the infestation levels but not the parasitism of honeydew and non-honeydew producing pests in citrus. *Bulletin of Entomological Research*, 104, 405–417.
297. MCGAVIN G., (2000), « Insectes, Araignée et autres arthropodes terrestres ». Ed. Larousse, Coll. «L'œil nature », Paris, 225 p.
298. HÖLLDOBLER, B. & WILSON, E.O. (1990), “ The Ants”. Belknap Press, Cambridge, Massachusetts.
299. ROBERT P. A., (1947) « Les insectes, II Lépidoptères Hyménoptères Hémiptères ». Ed. Delachaux et Neuchâtel (suisse), 302 p
300. CAGNIANT H., (1969) « Deuxième liste de fourmis d'Algérie, récoltées principalement en forêt (1er partie) ». *Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse*, T .105 Fasc pp. 405-430.
301. BENKHLIL, M. L. (1992). « Les techniques de récolte et de piégeages utilisées en entomologie terrestre ». Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun, Alger, 68p.
302. LAMOTTE M. et BOURLIERE F., (1969) « Problèmes d'écologie – l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres » Ed. Masson et Cie, Paris, 303 p.
303. PABLO, M. L. CHÁVEZ, AMADEU K. SUM, AND JUAN, (2004) – “Monte Carlo molecular simulation of the hydration of Na-montmorillonite at reservoir conditions,”. *Journal of Chemical Physics*, 120, 939-946,
304. ROTH M., (1980). « Initiation à la morphologie, la systématique et la

- biologie des insectes. » Ed. Organisme Recherche scientifique et technique Outremer (O.R.S.T.O.M.), Paris, 213 p.
305. CAGNIANT H., (1966) « Description des génitalia des mâles de fourmis ». Bull. Soc. Hist. Nat. Afri. Nord. Alger, T. 57, Fasc. 1 et 2. pp77-85.
306. CAGNIANT H., (1968). « Liste préliminaire de fourmis forestières d'Algérie », résultats obtenus de 1963 à 1966. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 104 (1-2) : 138-146.
307. BERNARD, F. (1968). « Les fourmis (Hymenoptera, Formicidae) d'Europe occidentale septentrionale ». Éd. Masson et Cie, Paris, coll. faune d'Europe et du bassin méditerranéen, Paris, 411p.
308. BERNARD, F. (1983). Les fourmis et leur milieu en France méditerranéenne, Ed., lechevalier, Paris, Vol.XLV, 149p.
309. BARECH G. et DOUMANDJI S., 2002 – Clef pédagogique de détermination des fourmis (Hymenoptere, Formicidae). Ann. Inst. Nat. Agro., El Harrach., vol. 3, 22 p.
310. BERVILLE, L., HEFETZ, A., ESPADALER, X., LENOIR, A., RENUCCI, M., BLIGHT, O. & PROVOST, E., (2013), “ Differentiation of the ant genus *Tapinoma* from the Mediterranean Basin by species-specific cuticular hydrocarbon profiles. *Myrmecological News*, 18: 77-92.
311. PEKAS, A., TENA, A., AGUILAR, A. & GARCIA-MARÍ, F. (2011), “Spatiotemporal patterns and interactions with honeydew-producing Hemiptera of ants in a Mediterranean citrus orchard. *Agricultural and Forest Entomology*, 13, 89–97.
312. TENA, A., SOTO, A., GARCIA-MARÍ, F., (2008), “Parasitoid complex of black scale *Saissetia oleae* on citrus and olives: parasitoid species composition and seasonal trend. *BioControl* 53, 473–487.

313. OLIVER TH, LEATHER SR, COOK JM (2009), "Tolerance traits and the stability of mutualism". *Oikos* 118:346–352. doi: DOI 10.1111/j.1600-0706.2008.17045.x
314. FABRES GERARD, BOUSSIENGUE J. (1981). « Bioécologie de la cochenille du manioc (*Phenacoccus manihoti* Hom. *Pseudococcidae*) en République Populaire du Congo : 1 - cycle évolutif et paramètres biologiques ». *Agronomie Tropicale*, 36 (4), 82-89. ISSN 0151-1238
315. FABRES, C. Et MATILE-FERRERO, D., (1980) « Les entomophages inféodés a la cochenille du manioc en République Populaire du Congo (*Phenacoccus manihoci* HOM. *Pseudococcidae*. II ». Les composantes de l'entomocoenose et leurs inter-relations. *Ann. Soc. ent. Fr. (N.S.)*. 16 141, 509-515.
316. FADAMIRO H. Y., XIAO Y., HARGRODER T., NESBITT M., UMEH V. & CHILDERS C. C., (2008), "Seasonal occurrence of key arthropod pests and associated natural enemies in Alabama Satsuma citrus". *Environmental Entomology* 37 (2), 555 - 567.
317. YOLDAŞ Z., GÜNCAN A. & KOÇLUT T., (2011), "Seasonal occurrence of aphids and their natural enemies in Satsuma mandarin orchards in Izmir, Turkey". *Türkiye Entomoloji Dergisi* 35 (1), 59 - 74.
318. MOSTEFAOUI H., MAHMOUDE A., ALLAL BENFEKIH L., PETIT D. & SALADIN G., (2012), «Fluctuations des abondances saisonnières des populations d'aphidiens du clémentinier en fonction de l'accumulation de leurs réserves énergétiques ». In: 3ème Congrès de Zoologie et d'Ichtyologie, 6 - 10 novembre 2012, Marrakech.
319. LECLANT F., (1978). « Les pucerons des plantes cultivées, clef d'identification ». Tome 1 : Grandes cultures. Ed. ACTA (Paris), 63 p.
320. STOETZEL M. B., (1994), "Aphids (Homoptera: Aphididae) of potential importance on Citrus in the United States with illustrated keys to species". *Proceeding of the Entomological Society of Washington* 96, 74 - 90.

321. D A J O Z, R., (1985), "Précis d'écologie", Ed. Dunod, Paris, 505p.
322. RAMADE F., (1984) « Eléments d'écologie : écologie fondamentale ». Ed. McGraw et Hill, Paris, 576 p.
323. Dajoz R., (2002). « Les Coléoptères Carabidés et Ténébrionidés : Ecologie et Biologie ». Ed. Lavoisier Tec & Doc., Londres, Paris, New York, 522 p.
324. FRONTIER S., PICHOD-V IALE D., LEPRETRE A., DAVOULT D. ET LUCZAK CH., (2004). « Ecosystèmes. Structure, Fonctionnement, Evolution ». Ed. Dunod, Paris, 549 p.
325. RAMADE F., 2003. « Elément d'écologie écologie fondamentale ». Ed. Dunod, Paris, 690 p.
326. FRONTIER S., (1983). « Stratégies d'échantillonnage en écologie ». Ed. Masson, Paris, 4.94 p.
327. MORAN, M.D., (2003). "Arguments for rejecting the sequential Bonferroni in ecological studies". *Oikos* 100, 403–405. doi:<http://dx.doi.org/10.1034/j1600-0706.2003.12010.x>.
328. ANDERSON, M.J., (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Aust. Ecol.* 26, 32–46.
329. SAHKI-BENABBES I, BAKIRI A. & DOUMANDJI S, (2008). "Cinq années d'étude sur le régime alimentaire du Torcol fourmilier *Jynx torquilla mauretana* Rothschild, 1909 (Aves, Picidae) en milieu suburbain près d'Alger ». III ème journée protect. Vég., 7 et 8 avril 2008, Dép. Zool. Agri. For, Inst. nati. agro., El Harrach, p.93.
330. SOUTTOU K., (2002) « Reproduction et régime alimentaire du Faucon crecerelle, *Falco tinnunculus* Linné, 1758 (Aves, Falconidae) dans deux milieux, l'un suburbain près d'ElHarrach et l'autre agricole à Dergana ». Thèse magister, Inst. nati. agro., El Harrach, 251 p.
331. KHALDI-BARECH G., (2005) « Place de Messor barbara Linné, 1767 en

milieu agricole et de *Cataglyphis bicolor* (Fabricius, 1793) dans différents milieux ». Thèse magister, Inst. nati. agro., El Harrach, 233 p.

332. OUDJIANE A. DOUMANDJI S., DAOUDI-HACIN S. & BENCHIKH C. (2007), « Etude de l'essaimage selon l'altitude dans la région de Tizirt. » III ème journée protect. Vég., 7 et 8 avril 2008, Dép. Zool. Agri. For, Inst. nati. agro., El Harrach, p.121.
333. BAOUANE M., (2005) « Nouvelle technique d'étude du régime alimentaire du Hérisson d'Algérie *Atelerix algirus* (Erinaceidae, Mammalia) aux abords du marais de Réghaia ». Thèse magister, Inst. nati. agro., El Harrach, 208 p.
334. DJIOUA, O. & SADOUDI-ALI AHMED, D. (2015), "The stands of ants (Hymenoptera, Formicidae) in some forest and agricultural areas of Kabylia". *International Journal of Zoological Research*, 5: 15-26.
335. HÖLLDOBLER B, WILSON EO (1990), "The ants". Harvard University Press, Cambridge, Mass.
336. BICHE, M., (2012), « Les Principaux Insectes Ravageurs des Agrumes en Algérie et leurs Ennemis Naturels“, F.A.O., Regional Integrated Pest Management Programme in the Near East, Proche Orient, 36p.
337. PEKAS, A., TENA, A., AGUILAR, A., GARCIA-MARI, F., (2011). "Spatio-temporal patterns and interactions with honeydew-producing Hemiptera of ants in a Mediterranean citrus orchard". *Agric. For. Entomol.* 13, 89–97. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j1461-9563.2010.00501.x>
338. STEYN, J. (1954), "The Effect of the Cosmopolitan Brown House Ant (*Pheidole megacephala* F.) on Citrus Red Scale (*Aonidiella aurantii* Mask.) at Letaba". *Journal of the Entomological Society of Southern Africa* 17: 252-264. Moreno, D., Haney, P., Luck, R. 1987: Chlorpyrifos and diazinon as barriers to Argentine ant (Hymenoptera: Formicidae) foraging on citrus trees. *J. Econ. Entomol.* 80: 208-214.

339. CALABUIG, A., GARCIA-MARÍ, F., PEKAS, A., (2014). “Ants affect the infestation levels but not the parasitism of honeydew and non-honeydew producing pests in citrus”, Instituto Agroforestal Mediterráneo (IAM), Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, 46022, València, Spain”, *Bulletin of Entomological Research* (2014) 104, 405–417, 13p doi:10.1017/S0007485313000564 © Cambridge University Press 2013.
340. LE RÜ, B.; FABRES, G. (1987). « Influence de la température et de l'hygrométrie relative sur la capacité d'accroissement et le profil d'abondance des populations de la cochenille du manioc, *Phenacoccus manihoti* (Hom., Pseudococcidae), au Congo ». *Acta Oecologica/Oecologia Applicata* 8 (2): 165-174.
341. LE RÜ, B.; PAPIEROK, B. (1984). « Taux intrinseque d'accroissement naturel de la cochenille du manioc, *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero (Homopteres, Pseudococcidae). Interet d'une methode simplifiée d'estimation de Rm 1979-84. pp. 14-26. In: Fabres, G.; Le Rü, B.; Kiyindou, A.; Biassangama, A.; Boussiengue, J.; Mouinga, S. E. (Eds.). *La cochenille du manioc et sa biocoenose au Congo 1979 – 84* ». Institut Français de recherche scientifique pour le developpement en cooperation, Brazzaville. Congo. 114 p.
342. HADDAD NORA & SADOUDI ALI AHMED DJAMILA, (2017) , “ DIVERSITY, STRUCTURE AND COMPOSITION OF SCALE INSECTS POPULATIONS (HOMOPTERA: COCCOIDEA) ON CITRUS IN KABYLIA, ALGERIA IMPACT”: *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences (IMPACT: IJRANSS)* ISSN(P): 2347-4580; ISSN(E): 2321-8851 Vol. 5, Issue 4, Apr 2017, 63-76 © Impact Journals.
343. CHAPOT H., et DELUCCHI V.L., (1964), « Maladies, troubles et ravageurs des agrumes au Maroc. *Ed. I.N.R.A., Rabat, 339 p.*
344. BEN-DOV Y., (1980). “Observations on scale insects (Homoptera:Coccoidea) of the Middle East”. *Bull. ent. Res.*,70: 261-271.

345. DELAGE-DARCHEN, B., D. MATILE-FERRERO & A.S. BALACHOWSKY. (1972). « Sur un cas aberrant de symbiose cochenilles x fourmis. C.R. Acad ». Sc. Paris, série D, 275: 2359- 2361.
346. DARTIGUES D.,(1992), « Analyse comportementale des interactions entre la fourmi *Tapinoma simrothi* et le puceron *Toxoptera aurantii* », Article (1993), ,Entomologia Experimentalis et Applicata 64(3):203-208.DOI: 10.1007/BF00341083. September 1992.
347. DELABIE J.H.CH , SERRÃO J. E. , CLEA DOS SANTOS FERREIRA MARIANO & DANIELE MATILE-FERRERO , (2008), « Comportements de communication de la cochenille *néotropicale Neochavesiacaldasiae* (Balachowsky 1957) (Pseudococcidae: Rhizoecinae) avec sa fourmi symbiote *Acropygafuhrmanni* (Forel 1914) (Formicidae: Formicinae), Annales de la Société Entomologique de France, » 44:4, 471-475, DOI: 10.1080/00379271.2008.10697582
348. BELGUENDOZ, R., M. BICHE et I. SENINET, (2011), « Etude de la teneur en protéines et en phosphore des feuilles de jeunes plantes d'agrumes sous serre non éclairée, en relation avec la pullulation du pou noir de l'oranger : *Parlatoria ziziphi* (HOMOPTÉRA, DIASPIDIDAE) EN MITIDJA ALGERIE. In the Proceedings of the 2011. AFPP. Scholars Conference, pp: 120-129.

EFFET DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LA RÉPARTITION SPATIOTEMPOREL DES PUCERONS D'AGRUMES EN MITIDJA CENTRALE (ALGÉRIE)

BOUKOFTANE Abla^{1*} et BENRIMA Atika¹

1. Université de Blida1-Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie,-Département des Biotechnologies,- Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie

Reçu le 09/02/2018, Révisé le 24/05/2018, Accepté le 01/06/2018

Résumé

Description du sujet : Les connaissances sur la bio-écologie des pucerons d'agrumes dans la plus grande pleine sub-littorale d'Algérie présentent des lacunes. L'interaction entre les ravageurs et leurs plantes hôtes sont un préalable nécessaire pour l'amélioration des techniques de lutte et le développement des méthodes alternatives à la lutte chimique.

Objectifs : L'objectif visé dans ce travail, est de savoir comment les pucerons d'agrumes (*Toxoptera aurantii*, *Aphis citricola* et *Aphis gossypii*) s'expriment face aux changements climatiques, ainsi que la modulation de la dynamique populationnelle sous l'influence de l'âge de la plante hôte.

Méthodes : La méthode consiste à estimer l'abondance des aphides par un échantillonnage destructif aléatoire. Nous avons en parallèle saisi impérativement les différentes données des mesures des facteurs climatiques à l'aide des services des stations météorologiques. Les résultats sont exploités statistiquement dans le but de trouver des corrélations ravageurs/ climat.

Résultats : Les résultats montrent que les différentes espèces de pucerons réagissent différemment aux températures minimales et maximales. Le régime pluviométrique saisonnier n'interfère pas avec la fluctuation populationnelle des espèces étudiées. Il a été montré aussi que l'âge de la plante hôte conditionne positivement les abondances aphidiennes.

Conclusion : Les variations climatiques peuvent stimuler la table de vie des pucerons d'agrumes. Une étude du microclimat permet d'appréhender les risques d'infestation et d'engager les méthodes prophylactiques, pour une production d'agrumes concurrentielle sur les marchés internationaux.

Mots clés : Aphides, agrume, diversité, facteurs climatiques, Algérie.

EFFECT OF CLIMATIC FACTORS ON SPATIOTEMPORAL DISTRIBUTION OF APHIDS OF CITRUS FRUITS IN CENTRAL MITIDJA (ALGERIA)

Abstract

Description of the subject : Description of the subject. There is a lack of knowledge about the biology and ecology of citrus aphids in Mitidja. Interaction between pests and their host plants is a necessary precondition for improving control techniques and developing alternative methods to chemical control.

Objectives: The objective of this work is to find out how citrus aphids (*Toxoptera aurantii*, *Aphis citricola* and *Aphis gossypii*) express themselves in the face of climate change, as well as the influence of plant age on their distribution in the weather.

Methods: The method consists of estimating aphid abundance by random sampling. At the same time, we have to enter the different data of measurements of climatic factors using the services of meteorological stations. The results are exploited by ecological and statistical indices.

Results: The results show the positive effect of climatic factors on the repair and fluctuation of studied aphids.

Conclusion: *Aphis citricola* et *Toxoptera aurantii* et *Aphis gossypii* are growing in an average temperature of 22,9°C, the aphid *Aphis citricola* persists in the pluviometric changes better than other species of aphid.

Keywords: Aphids, citrus fruit, diversity, climate, Algeria.

* Auteur correspondant : Boukoftane abla., E-mail:boukoftaneabla@yahoo.fr

INTRODUCTION

Les agrumes constituent la première production fruitière algérienne où la plaine de la Mitidja présente la plus grande superficie avec 16970 ha [1] soit 30% la surface agrumicole l'Algérienne avec une production de 215235 tonnes [2;3]. Le groupe des Homoptères comprend plusieurs espèces hautement préjudiciables à l'agrumiculture dans la plaine de la Mitidja, en Algérie. Ils constituent, donc, un danger permanent pour le développement de l'agrumiculture dans les différentes régions du pays [4, 5 et 6]. Bien que les dégâts occasionnés par les aphides sont généralement spectaculaires, ponctuels et localisés sur les poussées de sève, [7 ; 8] les espèces *Aphis spiraecola* (*A. citricola*), et *Aphis gossypii*, sont les principaux insectes ravageurs d'agrumes en Mitidja [9], où elles sont responsables de pertes de production estimées à 25-30 % [10]. Le danger représenté par un ravageur dépend de l'espèce et de la plante-hôte et son importance numérique est la résultante de deux groupes de facteurs antagonistes.

D'une part, les facteurs biotiques : potentiels de l'insecte ravageur lui-même (fécondité, nombre de générations annuelles, possibilités de développement sur les plantes hôtes de la région considérée), concurrence alimentaire, parasites et, prédateurs. D'autre part, les facteurs abiotiques : climat, notamment la température, précipitations et l'humidité relative [11, 12 ; 14 ; 15]. La compréhension de ces interactions est un préalable nécessaire pour l'amélioration des techniques de lutte efficaces contre les aphides tout en respectant l'environnement.

L'objectif de cette étude vis à appréhender l'effet des variations climatiques sur les mécanismes impliqués dans la dynamique spatiotemporel des populations des aphides potentiel ravageurs des agrumes en Algérie.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Zone d'étude

La Mitidja est la plus vaste plaine littorale d'Algérie. Avec une superficie totale de 1400 km². A une altitude moyenne de 50 m, avec une latitude (DMS) : 36° 36' 0N, et une longitude (DMS) : 3° 0' 0E [1].

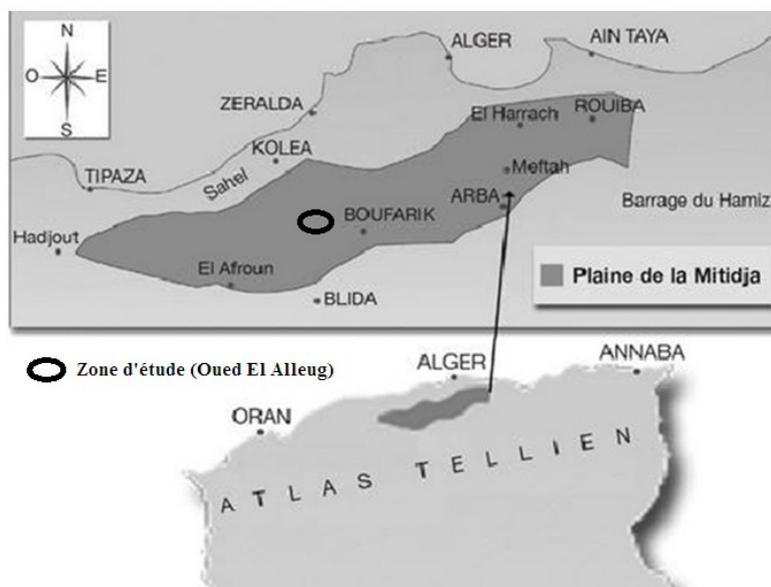


Figure 1 : Limites géographiques de la Mitidja

Notre étude a été réalisée dans la région agrumicole d'Oued El Alleug, située à une dizaine de kilomètres à l'est de Blida, dans la Mitidja centrale. Le climat de la région est typiquement méditerranéen avec une somme des précipitations qui varie entre 600 et 900 mm et une température moyenne de 19,45 à 30°C [16].

Le coefficient pluviométrique d'Emberger calculé sur la période 2000-2015 affiche un $Q_2 = 83,17$ et une $T_{\min} = 1,5^{\circ}\text{C}$ ce qui nous a conduit à situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver frais.

L'étude du diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour les années (2000-2010) obtenus dans la figure (2) au-dessous montrent l'irrégularité du climat au cours des années de 2000 à 2010. Sur la synthèse de dix années (Fig. 2) on remarque l'apparition d'une à deux périodes sèches qui s'étalent parfois sur huit mois du début avril à la mi-octobre, et la période humide qui s'étale sur cinq mois de la mi-octobre à la fin mars. Les moyennes des minimas du mois le plus froid sont enregistrées au mois de janvier de l'année 2005 avec une température de 1,5°C,

et les moyennes des maximas du mois le plus chaud sont notées au mois d'août 2005 avec 40°C. La pluviométrie annuelle moyenne enregistrée pendant cette période est de l'ordre de 695,08 mm. Pour l'année 2010, la figure 2 montre une variation assez marquée d'où les constatations d'une saison froide et humide du début octobre à fin avril, les basses températures sont enregistrées aux mois de janvier et février et une saison chaude et sèche de mai à septembre, avec des températures plus accentuées entre juin et août (T_{\max} 34,5 à 36°C ; T_{\min} 17 à 23°C) influence les activités biologiques de la plante et des aphides.

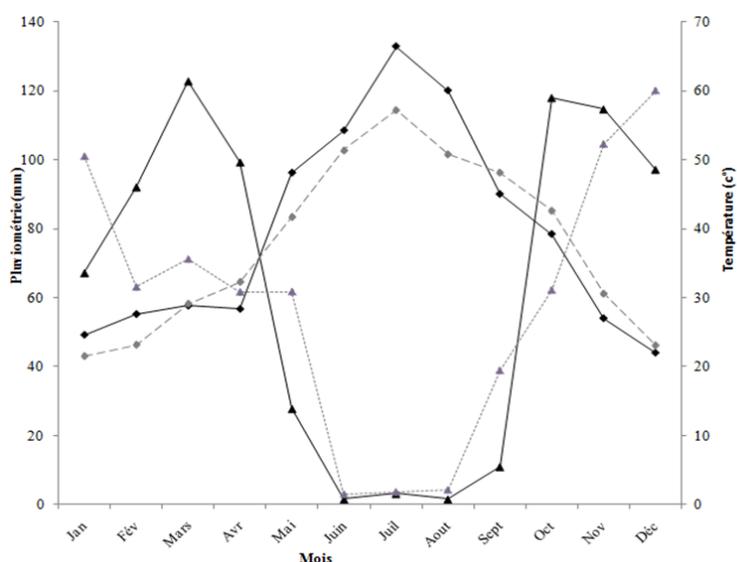


Figure 2 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson relatif à la région d'étude.

La pluviométrie annuelle enregistrée pendant la période d'étude est de l'ordre de 756,56 mm. Quant aux autres paramètres écologiques, les vents les plus redoutés pour les vergers de la Mitidja sont ceux qui soufflent en hiver de l'ouest et du nord-ouest Modérés, ils frappent, parfois, fortement à la fin de l'automne et en hiver. Les vents desséchants (sirocco) du sud ont provoqué des dommages aux vergers lorsqu'ils sont insuffisamment protégés. Pour l'année 2008, la moyenne annuelle de la vitesse du vent est de 3,43 Km/h, bien que la vitesse maximale ait atteint 54,7 Km/h au mois de juillet. L'hygrométrie est assez élevée en hiver où elle peut atteindre les 100%, comme c'était le cas en octobre 2006. Elle est moyenne ou nulle en été où nous avons noté son minimum le mois de juillet pour l'année 2008. Les gelées sont fréquemment signalées en hiver, elles causent de graves dommages sur les feuilles les jeunes rameaux et les pousses donnant un

aspect de brûlure. Le maximum de jours de gelée a été enregistré pendant la campagne 2002-2003 avec 4 jours.

2. Méthode d'échantillonnage

Nos investigations sur terrain ont été entamées la mi-Mai 2009 pour s'achever à la mi-Mai 2009. A raison de deux sorties par mois afin de couvrir les trois poussées de sève. Ou nous avons procédé à une comparaison entre deux vergers plantés de la variété *Thomson navel*. Le premier qui est un jeune verger âgé de 2 ans. Le deuxième verger est de la même variété est âgé de 40 ans. Ces derniers sont entourés par l'essence de *Taxodium distichum* comme brise-vent. Pour des raisons méthodologiques et pratiques, notre travail est essentiellement axé sur trois pucerons : *Aphis citricola*, *Toxoptera aurantii* et *Aphis gossypii*.

L'échantillonnage a été mené selon la méthode des blocs. Nous avons retenu 6 blocs, chaque bloc contenant 10 arbres pour chaque parcelle, et nous avons fait un prélèvement au hasard. Le matériel végétal (feuilles infestées) a été prélevé sur des rameaux représentatifs de l'arbre situés à hauteur de bras levé et aux quatre points cardinaux [17 et 18]. Pour une étude ponctuelle, la technique de dénombrement effectuée sur les 100 feuilles obtenues par le biais du choix aléatoire, consiste à prélever les feuilles de la poussée de sève de chaque direction cardinale à savoir : Nord, Sud, Est, Ouest et enfin le centre. Le matériel végétal recueilli ; mis dans des sacs en papier étiquetés, sera ultérieurement examiné.

Au laboratoire, les feuilles échantillonnées sur le terrain pour chaque sortie sont conservées au réfrigérateur, afin de stopper le développement des différents stades biologiques. Ces derniers sont estimés sous la loupe binoculaire.

Nous avons recueilli les différents données des mesures des facteurs climatiques (la température maximale, minimale et moyenne, les précipitations et le vent) à l'aide des d'une station météorologique nomade (Type Skywatch Windoo2).

3. Analyses statistiques des données

Les résultats, présentés sous forme de courbes, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes, ces derniers ont été réalisés par le logiciel Excel de manière à visualiser les tendances de leurs variations temporelles des populations des aphides.

La dynamiques des populations des pucerons et différents données des mesures des facteurs climatiques (la température maximale, minimale et moyenne et les précipitations) ont été comparées, ces dernières ne remplissaient pas les conditions nécessaires à l'analyse de variance. Par conséquent, les valeurs moyennes par sortie ont été comparées. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel PAST version 2.09 (mai, 2011) [19].

RÉSULTATS

1. Fluctuation spatiotemporelle des populations des espèces aphidiennes étudiées en fonction des facteurs climatiques

L'évolution des populations aphidiennes se caractérise par des fluctuations importantes des effectifs des différentes espèces étudiées (*Aphis citricola*, *Toxoptera aurantii* et *Aphis gossypii*) en fonction du cycle phénologique de la plantes hôte et en rapport avec les températures (Figure 3). Les courbes de l'effectif des espèces aphidiennes et les températures dans la figure 3a, montre que les fluctuations d'*Aphis citricola*, et d'*Aphis gossypii*, au niveau du jeune verger s'affichent en une courbe bimodale épousant les variations thermiques des températures maximales, respectivement durant la première et la troisième poussée de sève. Les effectifs d'*A. citricola* et d'*A. gossypii* ainsi que les amplitudes thermiques affichent une différence significative entre les deux poussées de sève (Test *One-Way* ANOVA, $p=0,04$, $p<5\%$). Cependant, au niveau du verger âgé, *A. citricola* et *A. gossypii* présentent une disponibilité très significative durant la troisième poussée de sève par comparaison à la première poussée de sève (Test *One-Way* ANOVA, $p=0,06$, $p<5\%$) (Figure 3b). En revanche, les pics du régime pluvial enregistré dans les stations d'étude, nous renseignent de l'absence d'une quelconque coïncidence avec les abondances maximales des pucerons inventoriés (Fig. 4a et b).

2. Effet des températures et de la quantité des pluies sur fluctuation spatiotemporelle des populations des aphides étudiés

Les matrices des relevés des températures, de la pluviométrie et des abondances effectives espèces d'*Aphis citricola*, de *Toxoptera aurantii* et d'*Aphis gossypii* des deux vergers ont été projetées dans l'espace à travers une analyse multivariée quantitative (ACP). Cette analyse permet de déceler les rapprochements qui peuvent exister entre les différentes variables. L'analyse est satisfaisante du fait que plus de 80% de la variance est exprimée sur les deux axes $F1 \times F2 = 85,23\%$ et $F1 \times F2 = 72,92\%$ respectivement pour le jeune verger et le verger âgé (Fig. 5 a et b).

Au niveau du verger jeune, les projections informent la présence d'une corrélation positive entre la variation thermique et les abondances des pucerons (axe 1 partie positive), alors que la pluviométrie, paraît sans influence sur la dynamique des pucerons (axe 1 partie négative). Nous signalons aussi la présence d'une affinité positive entre les pucerons et les températures maximales selon un gradient positif : *Aphis gossypii* < *Toxoptera*

aurantii < *Aphis citricola* très prononcé durant la première poussée de sève (Fig. 5 a). Au niveau du verger agé, la même tendance est signalée entre la variation thermique, la pluviométrie et les abondances des pucerons avec l'installation d'une affinité positive entre les pucerons et les températures minimales selon un gradient positif : *Toxoptera aurantii* < *Aphis gossypii* < *Aphis citricola* fortement exprimée durant la première poussée de sève (Fig. 5 b).

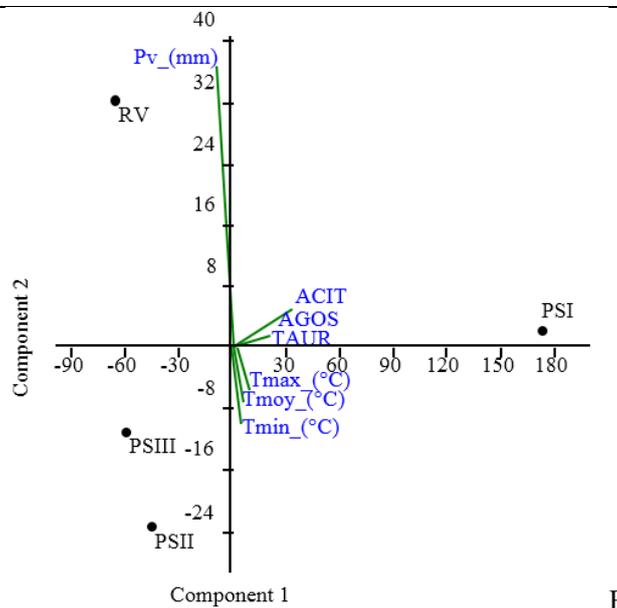
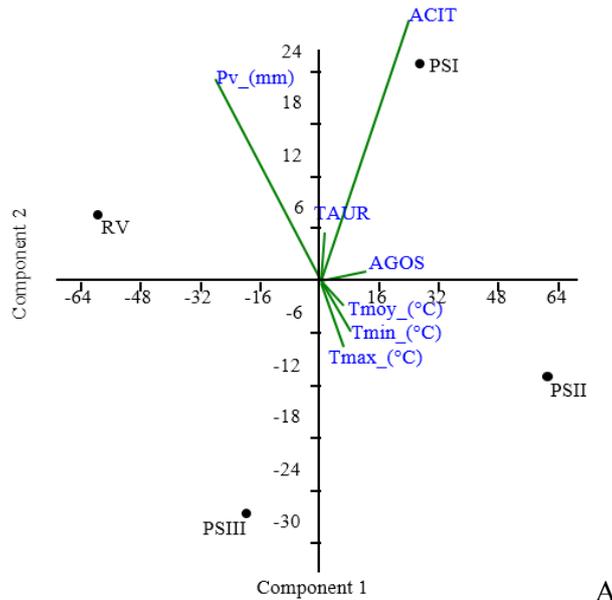


Figure 5 : Tendance des températures, de la pluviométrie et de l'abondance des espèces aphidiennes par projection sur les deux axes de l'ACP

ACIT : *Aphis citricola*, AGOS : *A.gossypii* ; TAUR : *Toxoptera aurantii*..T moy (°C) : température moyenne en °C, T min (°C) : température moyenne minimal en °C et T max (°C) : température maximal en °C, PV : pluviométrie, PSI : première poussée de sève, PSII : deuxième poussée de sève, PSIII : Troisième poussée de sève, RV : repos végétative.

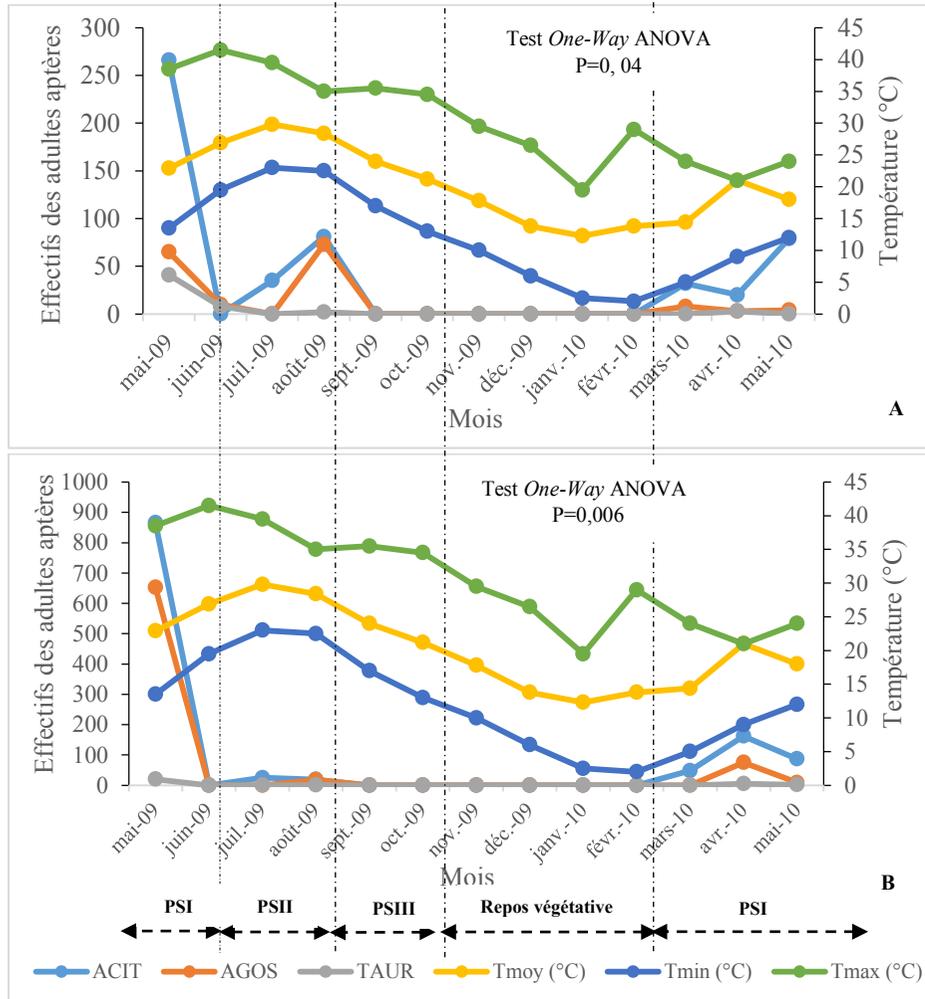


Figure 3 : Effet de la température sur la fluctuation des populations Aphidiennes étudiés au niveau de deux vergers d'étude : (A) verger jeune âgée de 2 ans et (B) verger âgée de plus 40 ans durant l'année 2009-2010.

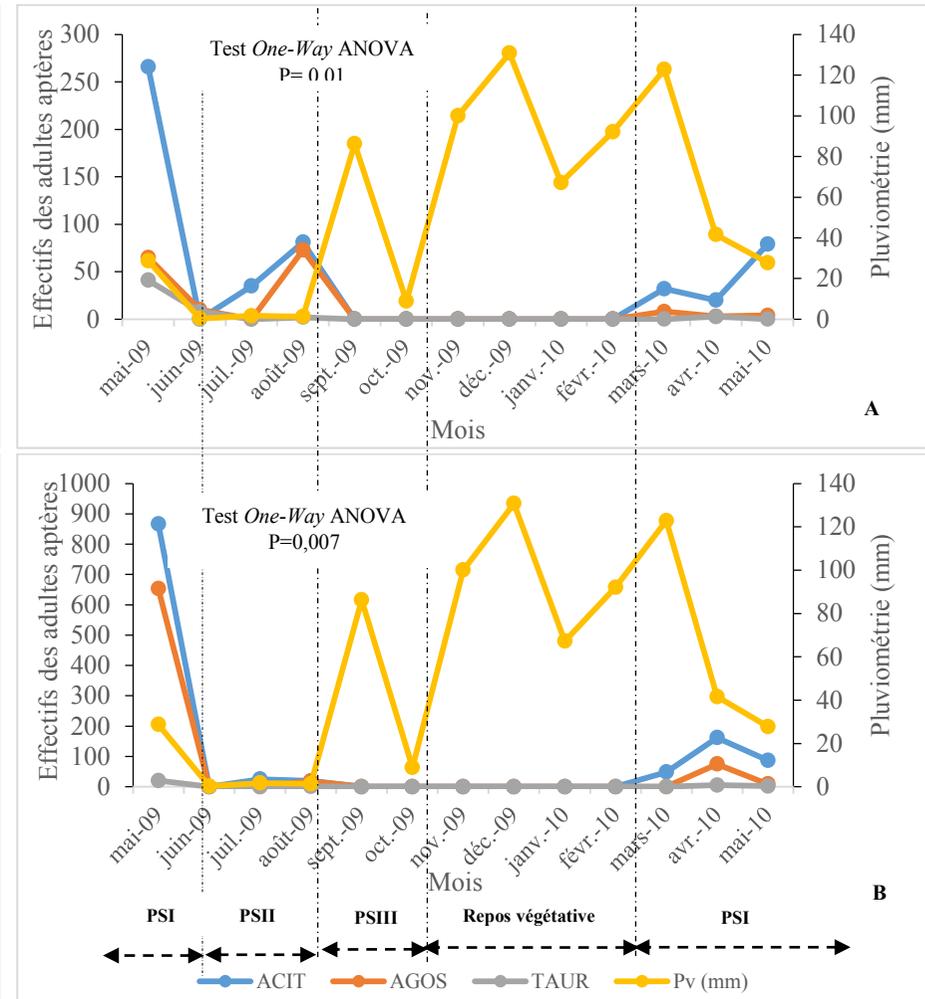


Figure 4 : Effet de la pluviométrie sur la fluctuation des populations Aphidiennes étudiés au niveau de deux vergers d'étude : (A) verger jeune âgée de 2 ans et (B) verger âgée de plus 40 ans durant l'année 2009-2010.

ACIT : *Aphis citricola*, AGOS : *A. gossypii* ; TAUR : *Toxoptera aurantii* . T moy (°C) : température moyenne en °C, T min (°C) : température moyenne minimal en °C et T max (°C) : température maximal en °C, PV : pluviométrie , PSI : première poussée de sève, PSII : deuxième poussée de sève, PSIII : Troisième poussée de sève, RV : repos végétative.

3. Effet des températures et du régime pluvial sur la fluctuation spatiotemporelle des populations des aphides étudiées

Nous avons performé les tendances de la variation temporelle d'*A. citricola*, *A. gossypii* et *T. aurantii*, par rapport aux températures minimal, maximal et pluviométrie enregistrée durant l'année d'études par la coefficient de corrélation de Pearson (Tableau 1).

Les résultats montrent que l'effectif de chaque espèce augmente ou diminue sensiblement avec la variabilité des températures.

Les effectifs d'*A. citricola* paraissent très sensibles et significativement influencés par les températures maximales au niveau du jeune verger ($r=0,98$) et par les températures minimales au niveau du verger âgé ($r=0,842$). Concernant *Aphis gossypii* et *Toxoptera aurantii*, ils retracent les mêmes tendances qu'*A. citricola* avec une sensibilité aux températures minimales au niveau du verger âgé ($r=0,834$) ($r=0,809$) et aux températures maximales au niveau du jeune verger ($r=0,969$) ($r=0,972$). Cependant, l'effet de la pluviométrie n'est nullement corrélé aux fluctuations des trois aphides.

Tableau 1: Effet des facteurs climatiques sur les espèces Aphidiennes au niveau du verger jeune (2 ans) et du verger âgé (plus 40 ans)

		<i>Aphis citricola</i>	<i>Aphis gossypii</i>	<i>Toxoptera aurantii</i>
Verger jeune	T min (°C)	0,891**	0,609 *	0,817*
	T max (°C)	0,98**	0,969*	0,972*
	Pluviométrie (mm)	0,13 ^{NS}	0,441 ^{NS}	0,105 ^{NS}
Verger âgé	T min (°C)	0,842**	0,834**	0,809*
	T max (°C)	0,642*	0,627*	0,601*
	Pluviométrie (mm)	0,270 ^{NS}	0,396 ^{NS}	0,231 ^{NS}

* : Significative à 5%, ** : Significative à 1%, NS : Non significative

DISCUSSION

Le climat régional agit comme facteur favorable limitant l'abondance numérique des populations [20]. La température est le facteur le plus important au sein des agents climatiques [21]. Elle conditionne la répartition et la reproduction des espèces botaniques et animales [20 ; 7]. Les variations de température déterminent des migrations verticales et des variations saisonnières des populations [23]. La température fluctue sans cesse, à toutes les échelles du temps et de l'espace. Pour les insectes, il existe toujours un préférendum thermique qui leur permet de choisir leur biotope.

Les deux parcelles de Mitidja sont exposées aux mêmes températures pendant toute l'année, mais nous avons enregistré des différences de sensibilité des pucerons en vers les changements de températures au niveau de chaque parcelle.

Au mois de mai, *Toxoptera aurantii* est présente avec des effectifs élevés dans les deux vergers de la Mitidja. *Aphis citricola* a une réponse très hautement significative avec les températures maximales ($T_{max}=38,5^{\circ}C$) et hautement significative avec les températures minimales durant le mois de mai où l'effectif considérablement au niveau du jeune verger et avec un degré moins au niveau du verger âgé.

L'effectif d'*Aphis gossypii* augmente durant le mois d'août ($=73$) dans le jeune verger avec $T_{moy}=28,4^{\circ}C$ et $T_{min}=22^{\circ}C$, $T_{max}=35^{\circ}C$, mais dans la parcelle âgée l'effectif le plus élevé a été de 653 individus, noté durant le moi de mai.

Nos résultats sont presque semblables à celles d'Hulle et al. [24], qui citent que la durée de développement, la fécondité et la longévité, sont très largement influencées par le facteur température [25]. Ainsi, à la température $24^{\circ}C$, le développement larvaire est optimal [26]. Des températures extrêmes sont létales.

La survie au froid et à la chaleur dépend par ailleurs de la durée d'exposition.

Toutes les espèces proclament une corrélation significative avec les températures minimales.

A partir de juin, on note une réduction des populations dans les deux parcelles de la Mitidja, probablement à cause des températures élevées de l'été. Les températures élevées sont favorables au développement de certain prédateur de puceron tel que les larves de cécidomyie *Aphidoletes aphidimyza* [27].

Nous avons noté au niveau des deux parcelles de la Mitidja que les espèces étudiées ne réagissent pas à l'effet de la pluviométrie, même s'il a été démontré que les pluies jouent un rôle direct essentiel dans la réduction de nombre d'individus car les pluies violentes entraînent la mort d'un grand nombre d'individus à la suite de lessivage des colonies sur les plantes [28 ; 29 et 30].

Dans le jeune verger la disponibilité des abondances d'*Aphis citricola* et d'*Aphis gossypii* au cours de la PS1 et PS3, indique la relation étroite entre les exigences nutritionnels et la qualité du support nourricier.

CONCLUSION

La connaissance des variations saisonnières est en effet un préalable incontournable à la mise à niveau des connaissances sur l'écobiologie des ravageurs et la physiologie des plantes hôtes. Les variations saisonnières des pucerons d'agrumes ne sont pas expliquées de manière satisfaisante. Les auteurs sont généralement d'accord entre eux sur le fait que le climat n'a pas d'impact direct sur les niveaux de populations de pucerons. La période de pullulation chevauche en effet plusieurs saisons climatiques bien différenciées en Mitidja centrale. Dans les plantations ouvertes, sont beaucoup influencées par les conditions climatiques, mais aussi les densités de pucerons semblent principalement influencées par des facteurs trophiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Bellabas A., (2010).** Rapport de mission : Etude de base sur les agrumes en Algérie. Consultant national : 45p.
- [2]. **Benzerga M., (2010).** La production agrumicole en recul dans la Mitidja : L'orange en passe de perdre son fief .Journal El-watan.
- [3]. **ITAF, (2010).** http://www.itafv.dz/Espece_Agrumes.php
- [4]. **Benoufella-Kitous K. (2005).** "Les pucerons des agrumes et leurs ennemis naturels à Oued-Aïssi", Thèse Magister. Agro.nati.agro., El Harrach, Algérie, 212p.
- [5]. **Mostefaoui H. (2009).** "Effet de la qualité de la plante hôte sur l'allocation des réserves énergétiques des pucerons dans un verger d'agrumes en Mitidja centrale", Thèse Magistère, Inst.Agro. Univ. Saad Dahleb, Blida, Alger, 207p.
- [6]. **Mostefaoui H., Allal-benfekih L., Djazouli Z. E. Petit D., et Saladin G., (2014).** Why the aphid *Aphis spiraecola* is more abundant on clementine tree than *Aphis gossypii*? *Comptes rendus biologies*, 337(2), 123-133.
- [7]. **Heie O.E., (1987)** - Palaeontology and phylogeny in *Aphis*, their biology, natural enemies and control. Amsterdam: A.K Minks & P Harrewijn. Ed° Elsevier. Vol. 2A.p: 367-392.
- [8]. **Shaposhnikov G. C., (1987).** Organization (structure) of populations and species, and speciation. Pp. 415–432. In A. K. Minks and P. Harrewijn (eds). *Aphids. Their Biology, Natural Enemies and Control*. Volume A. Elsevier, Amsterdam.450 pp
- [9]. **Mostefaoui H., Djazouli Z. et Benfekih L., (2011).** Effet de poussée de sève sur les interactions agrumes pucerons. Sém. Interni. Prot. Vég. du 18 – 21 avril. Dép. Zool. Agri.for., Inst. Nati. Agro., EL Harrach, p. 81.
- [10]. **Blackman R.L. et Eastop V.F., (2000).** *Aphids on the World's Crops*, Second Edition. John Wiley & Sons with the Natural History Museum, London. x + 466 pages.
- [11]. **Appert. J. et Deux J., (1982).** Les ravageurs des cultures vivrières et maraichères. Ed. Maisonneuve et Larose.
- [12]. **Hodges R.J., Addo S. et Birkinshaw L., (2003).** Can observation of climatic variables be used to predict the flight dispersal rates of *Prostephanus truncatus*? *Agricultural and Forest Entomology* 5: 123-135.

- [13]. **Premachandra W.T.S.D., Borgemeister C., Chabi-Olaye A., et Poehling H.-M., (2004).** Influence of temperature on the development, reproduction and longevity of *Ceratothripoides claratris* (Thysanoptera: Thripidae) on tomatoes. *Bulletin of Entomological Research* 94: 377-384.
- [15]. **Simelane D.O. (2007).** Influence of temperature, photoperiod and humidity on oviposition and egg hatch of the root-feeding flea beetle *Longitarsus bethae* (Chrysomelidae: Alticinae), a natural enemy of the weed *Lantana camara* (Verbenaceae). *Bulletin of Entomological Research* 97: 111-116.
- [16]. **Mutin G., (1977).** La Mitidja décolonisation et espaces géographiques. Ed. OPU, Alger, 607p.
- [17]. **Martin-Prevel P., Garnard J. et Gautier P., (1984).** L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. *Ed. Tech. & Doc. - Lavoisier, Paris, 810 p.*
- [18]. **Soing P., Vayasse P. et Ricard J.P., (1999).** Fertilisation des vergers, Environnement et qualité. A.C.T.A. Paris, 86p.
- [19]. **Hammer Ø., Harper D.A.T. et Ryan P.D., (2001).** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis, *Palaeont. Electron.* 4 (1): 9, http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- [20]. **Benassy C. (1975).** "Les cochenilles des agrumes dans le bassin méditerranéen", *Ann. Inst. Nat. Agro., EL-HARRACH, Vol.5, n°8, 118, 142p, Algérie.*
- [21]. **Dreux P. (1980).** "Précis d'écologie", Ed. Presses universitaires de France, Paris, 231 p.
- [22]. **Duvigneaud P. (1982).** "La synthèse écologique", Ed. Doin, Paris, 380 p.8.
- [23]. **Claude F, Christiane F, Paul M. (1984).** "Ecologie", Ed. BAILLIERE J-B, N°3. Paris, 162 p.
- [24]. **Hulle M., Turpeau E., et Leclant F. (1998).** "Les pucerons des arbres fruitiers, cycle Biologique et activités de vol", Ed. ACTA, Paris, 80p.
- [25]. **Hoffman E.T.A. (1974).** "Contes fantastiques complets" in-8 broché - vol.3. Ed. Flammarion - Coll. L'Age d'Or, 1050p.
- [26]. **Leclant F. (1976).** "Peut-on aménager la lutte contre les pucerons des agrumes ? ", Ed. Insti. Rech. Montpellier, 10p.
- [27]. **Malais M., Ravensberg W.J. (1993).** "Fiches techniques BIOBEST" [<http://www.biobest.be>], Connaître et reconnaître, mode de vie des ravageurs de serres et de leurs ennemis naturels, Koppert BV. France, p 109.
- [28]. **Leclant F. (1978).** "Les pucerons des plantes cultivées, clef d'identification I, grande culture". Ed. Association coord. Tech. Agri ; (A.C.T.A), paris, 63p.
- [29]. **Leclant F. (1996).** "Dégâts et identification des pucerons", PHM, n° 369. France, 19-24.
- [30]. **Robert Y. (1982).** Fluctuations et dynamique des populations de puceron", *Les pucerons des cultures, journées d'étude et d'information, Paris Acta, (2,3 et 4 Mars 1981), 76p.*