

**Mémoire de stage**  
Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement  
Protection des Plantes et Environnement

Sur le thème

**Etude de la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole : Cas de la régulation naturelle du puceron cendré *Dysaphis plantaginea***

Par  
**Alizée TAILLADE**

Ecole de rattachement : Agrocampus-Ouest Centre d'Angers

Stage réalisé à : l'IFPC  
Institut Français des Productions Cidricoles  
Rangée Chesnel  
61500 Sées

Sous la Direction de :  
Laurence ALBERT  
Manuel PLANTEGENEST  
Pierre FRANCK

Soutenu le 07 juillet 2015 à Rennes, devant le jury composé de :

Président: Anne Le Ralec  
Membres: Serge Kreiter  
Florence Val  
Bruno Jaloux



## RESUME

### **Etude de la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole : Cas de la régulation naturelle du puceron cendré *Dysaphis plantaginea*.**

Le puceron cendré *D. plantaginea* est un important ravageur du pommier pouvant causer d'importantes pertes économiques de rendement. Afin de répondre aux attentes des acteurs de la filière cidricole, des expérimentations ont été mises en place afin d'évaluer le potentiel de régulation naturelle du puceron cendré par son cortège d'auxiliaires. Cette étude a été menée dans deux types de vergers de pommes à cidre : un système dit PROD, conduit selon les pratiques des producteurs et un système dit ECO où des innovations agronomiques ont été mises en place (installation d'infrastructures agro-écologiques (IAE), faible niveaux d'intrants etc.). Les résultats issus de ces analyses montrent de fortes interactions entre les populations de pucerons et d'auxiliaires dépendantes de nombreux paramètres inhérents au système d'étude (biologie des arthropodes, perturbations liées aux pratiques culturales, proximité et disponibilité en ressources alternatives, phénomènes de compétition intra-gilde etc.). Ces interactions illustrent également, la présence d'un cortège d'auxiliaires pouvant exercer un effet suppressif sur les populations de puceron cendré. Favoriser la présence d'auxiliaires clés au moment propice de la saison, par des pratiques culturales adaptées ou des infrastructures agro-écologiques, permettrait d'augmenter la régulation naturelle des bio-agresseurs et ainsi de maintenir leur population sous un seuil économiquement viable pour le système de production.

**Mots clés** : régulation naturelle, *Dysaphis plantaginea*, pommier cidricole, auxiliaires

## ABSTRACT

---

### **Study of functional biodiversity in cider apple orchards : Case of biological control of the rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea*.**

The rosy apple aphid *D. plantaginea* is a major pest of cider apple that can cause significant economic yield losses. To meet expectations of actors of cider sector, some experiments have been set up to assess the potential biological control of rosy apple aphid by its natural enemies' communities. This study carried out in two types of cider apple orchards: a PROD system, led by the practices of producers and a ECO system in which agronomic innovations were tested (setting up of agro-ecological infrastructure, low levels of pesticides etc.). Results of these analyze show large interactions between populations of rosy apple aphids and the natural enemies' communities Results of these analyze show large interactions between populations of rosy apple aphids and the natural enemies' communities which dependent on many parameters inherent of the system of study (biology of arthropods, disruptions related to cultural practices, proximity and availability of alternative resources, predation intra-guild etc.). These interactions also show the presence of natural enemies can exert a suppressive effect on aphid populations. Favor the presence of specific natural enemies at the right time of the season, by appropriate cultivation practices or agro-ecological infrastructure, would increase the biological control of pests and so maintain their populations in an economically viable threshold for production system.

**Key words**: biological control, *Dysaphis plantaginea*, cider apple orchard, natural enemies

## AUTORISATION DE DIFFUSION DU MEMOIRE

### 1. Identification du rapport et de l'auteur

Nom et Prénom de l'auteur : **TAILLADE Alizée**, étudiante de Agrocampus Ouest

Titre du mémoire : **Etude de la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole : Cas de la régulation naturelle du puceron cendré *Dysaphis plantaginea*.**

### 2. Autorisation de diffusion par l'auteur

Par la présente, je déclare être titulaire du droit d'auteur pour le mémoire mentionné ci-dessus. J'autorise sans limitation de temps la Bibliothèque à diffuser ce mémoire dans un format électronique adapté et à effectuer toutes éventuelles modifications techniques nécessaires à une amélioration de la diffusion (modification du format) Dans le cas où ce mémoire est confidentiel, la confidentialité sera respecté dans les mêmes conditions pour les exemplaires électroniques et les exemplaires papiers.

Signature de l'Auteur : **TAILLADE Alizée**

Date : **29/06/2015**

### 3. Autorisation de diffusion par le Maître de stage

J'autorise par la présente, l'auteur à diffuser le mémoire mentionné ci-dessus

Intranet	OUI	NON	Prêt	OUI	NON
Internet	OUI	NON	Prêt entre bibliothèque	OUI	NON
Après une période de confidentialité	OUI	NON	Résumé diffusable	OUI	NON
	Durée :				
Consultation en bibliothèque	OUI	NON	Reproduction	OUI	NON

Signature du Maître de stage : **Manuel PLANTEGENEST**

Date : **29/06/2015**

### 4. Autorisation de diffusion par l'enseignant tuteur

J'autorise par la présente, l'auteur à diffuser le mémoire mentionné ci-dessus

Intranet	OUI	NON	Prêt	OUI	NON
Internet	OUI	NON	Prêt entre bibliothèque	OUI	NON
Après une période de confidentialité	OUI	NON	Résumé diffusable	OUI	NON
	Durée :				
Consultation en bibliothèque	OUI	NON	Reproduction	OUI	NON

Signature du Tuteur enseignant: **Anne LE RALEC**

Date : **29/06/2015**

**CONCLUSION :** Confidentialité absolue : OUI  NON   
Durée exigée :

**Le responsable de l'option d'ingénieur agronome PPE et du parcours SdP du Master 3A  
Professeur Serge KREITER**

*« Ne demande jamais ton chemin à quelqu'un qui le connaît, car tu pourrais ne pas t'égarer » Rabbi Nahman (1772-1810)*



## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les différentes personnes qui m'ont suivies et aidées dans mon travail.

Avant tout, mes maitres de stage Pierre Franck, Manuel Plantegenest et Laurence Albert ainsi que ma tutrice Anne Le Ralec, pour leur encadrement, leur aide précieuse et le temps qu'ils m'ont consacré.

Tous les producteurs ayant accueilli les essais dans leurs exploitations, pour leur riche collaboration.

Merci à l'ensemble des équipes de l'IFPC et du département Ecologie et Santé des plantes d'Agrocampus Ouest pour avoir su m'accueillir, répondre à mes questionnements, m'entourer et rendre le quotidien plus agréable.

Je remercie aussi l'ensemble du corps enseignant de la spécialisation PPE et d'Agrocampus Ouest centre d'Angers pour m'avoir permis d'acquérir les connaissances nécessaires à la réalisation de ce stage.

Je souhaite remercier sincèrement Sophie et Jonathan pour leur soutien inestimable.

Je remercie également Isabelle et Stéphanie grâce à qui les mots humilité et pédagogie prennent tous leurs sens.

Et enfin un merci éternel à ma sœur Apolline, mes parents et à toute ma famille, pour m'avoir permis d'être là, pour avoir été là pour moi, et avoir cru en moi quoi qu'il arrive.



## Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>Synthèse bibliographique</b> .....	<b>13</b>
A. Le puceron cendré du pommier, <i>Dysaphis plantaginea</i> (Passerini) : cycle biologique et dégâts occasionnés .....	13
B. Régulation naturelle de <i>D.plantaginea</i> .....	17
a) Hyménoptères parasitoïdes .....	17
b) Prédateurs .....	19
c) Intérêt et impact des infrastructures agro-écologiques.....	23
i. Les haies composites .....	23
ii. Les bandes fleuries .....	25
<b>Matériel et Méthode</b> .....	<b>27</b>
A. Dispositif expérimental .....	27
B. Suivi de la régulation naturelle de <i>D. plantaginea</i> .....	29
C. Analyses statistiques.....	31
<b>Résultats</b> .....	<b>35</b>
A. Description générale des données .....	35
a) Abondance moyenne des pucerons cendrés par arbre .....	35
b) Diversité des auxiliaires observés.....	37
c) Abondance moyenne d'auxiliaires actifs par arbre .....	39
d) Dynamique des populations du puceron cendré .....	41
e) Dynamique des principaux auxiliaires en relation avec la dynamique des populations de pucerons cendrés .....	43
B. Analyses des interactions dynamiques entre les populations de pucerons et d'auxiliaires .....	45
a) Phase de colonisation .....	45
b) Analyse des données à la date 2.....	47
c) Analyse des données à la date 3.....	47
d) Analyse des données dans un sous ensemble de la population .....	49
e) Test d'hypothèses.....	49
<b>Discussion</b> .....	<b>53</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>59</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>61</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>69</b>



## Introduction

Depuis plusieurs décennies, la réduction de l'usage des pesticides en agriculture impose de développer de nouvelles stratégies de protection des cultures afin de répondre aux différents enjeux environnementaux, sociétaux et économiques. Les évolutions de la réglementation communautaire visent également à l'injonction de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires (plan national Ecophyto, loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt) (Simon *et al.*, 2015 ; Albert *et al.*, 2014). Ce contexte pousse donc l'agriculture française à répondre à de nouveaux défis en s'inscrivant dans une nouvelle transition écologique. C'est le sens de l'agro-écologie. En effet, comme l'explique Tixier *et al.*, (2015), l'agro-écologie suppose de repenser l'agriculture en plaçant les interactions biotiques et les régulations biologiques au cœur des processus de production. Il s'agit d'utiliser au maximum la nature comme facteur de production en maintenant ses capacités de renouvellement. L'agro-écologie réintroduit donc de la biodiversité dans les systèmes de production agricoles en restaurant et renforçant son rôle fonctionnel (Sarhou, 2006). Cette partie utile à l'agriculture est appelée «biodiversité fonctionnelle».

Le renforcement de la régulation naturelle des bio-agresseurs par leurs ennemis naturels est un des leviers d'action qui peut être mobilisé. L'aménagement de l'environnement proche des vergers permet de favoriser la présence d'auxiliaires de culture (prédateurs et parasitoïdes) (Landis *et al.*, 2010).. En effet, ces aménagements aussi appelés infrastructure agro-écologiques (bosquets, haies, bandes florales etc.) fournissent aux auxiliaires un abri en cas de conditions difficiles mais aussi des ressources d'alimentation variée (Landis *et al.*, 2010). Cette technique de gestion de l'habitat est aussi appelée « lutte biologique par conservation».

Les vergers constituent un habitat pérenne, multi-strate (arborée et herbacée) et complexe, potentiellement favorable dans le temps et dans l'espace, au maintien des chaînes alimentaires et à la régulation naturelle des ravageurs grâce à la présence d'organismes auxiliaires tout au long de la saison (Simon *et al.*, 2015).

A partir des années 1980, et sous l'impulsion des acteurs de la transformation, la filière cidricole a connu une mutation dans les systèmes de vergers exploités. Pour garantir un approvisionnement plus régulier et avec des volumes satisfaisants, des vergers dits spécialisés ont été implantés souvent par des néo-arboriculteurs sur la base d'un modèle pomme de table adapté au contexte de la filière cidricole avec une contractualisation de long terme entre producteurs et transformateurs. Ce verger a été développé en alternative au système de pré-verger qui notamment ne permettait plus d'assurer les besoins de l'aval. Dès le départ, les acteurs de la filière cidricole ont souhaité mettre en place des systèmes de culture à faible niveau d'intrants répondant déjà à des enjeux durables. Les vergers cidricoles, ont la particularité d'avoir un type de production dont les fruits sont destinés à la transformation ce qui rend la protection systématique non justifiée dans ces vergers (Albert *et al.*, 2014).

La volonté des professionnels d'aller encore plus loin a conduit, l'Institut Français des Productions Cidricoles (IFPC) a mettre en place en 2009, le projet de recherche « Vergers cidricoles de demain » (VDD) (Deplaud & Dupont, 2009) dont l'objectif est de concevoir, expérimenter, évaluer et diffuser des nouveaux systèmes de vergers cidricoles plus durables en prenant en compte simultanément les enjeux environnementaux, la sécurité du consommateur et la qualité des produits finis, tout en assurant une viabilité économique des exploitations.

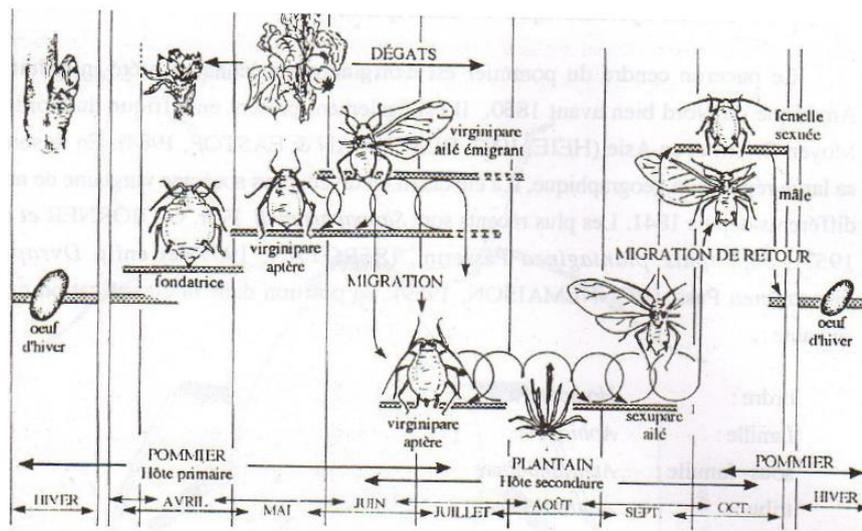


Figure 1 : Cycle de développement de *Dysaphis plantaginea* (Rat-Moris, 1994)

En phase avec la thématique d'agro-écologie, ce projet CASDAR repose sur une approche système à l'échelle de la parcelle permettant de concevoir des systèmes de production plus autonomes en combinant plusieurs techniques culturales (raisonnement de la fertilisation, réduction des pesticides, alternatives mécaniques, infrastructures agro-écologiques (IAE) etc.) à effet partiel mais permettant de limiter au maximum les intrants (Deplaude & Dupont, 2009).

C'est dans le cadre de ce projet VDD que l'IPFC en partenariat avec l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA- UP PSH) et Agrocampus Ouest (UMR Institut Génétique, Environnement et Protection des Plantes IGEPP) a mis en place en 2014 une thèse CIFRE sur les impacts des infrastructures agro-écologiques sur la structure et la diversité des réseaux trophiques impliqués dans la régulation naturelle de deux ravageurs du pommier cidricole, le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*) et le carpocapse (*Cydia pomonella*). Cette thèse a donc pour objectif de décrire la composition et la structure du réseau trophique induit par les IAE autour des ravageurs ainsi qu'évaluer et comprendre leur rôle sur la régulation naturelle des deux ravageurs ciblés afin d'identifier des leviers d'action pour les professionnels (Albert *et al.*, 2014).

L'étude présentée dans ce mémoire, ne traitera que du potentiel de régulation naturelle du puceron cendré *D.plantagineae* en verger cidricole. Une présentation générale de ce ravageur et de ces auxiliaires potentiels est abordée. La suite du mémoire présente la méthodologie et les résultats de l'étude.

## Synthèse bibliographique

### A. Le puceron cendré du pommier, *Dysaphis plantaginea* (Passerini) : cycle biologique et dégâts occasionnés

En Europe, le puceron cendré *Dysaphis plantaginea* (Passerini) est le second ravageur en importance sur pommier, après le carpocapse (Hemptinne *et al.* 1994, Brown and Mathews 2007). Du fait de sa forte capacité de reproduction (Blommers *et al.*, 2004 ; Dib, 2010), il peut causer des pertes économiques de rendement conséquentes allant de 30% (De Berardinis *et al.*, 1994; Blommers *et al.*, 2004) à 80% (Qubbaj *et al.*, 2005).

Le puceron cendré a un cycle holocyclique dioécique (Figure 1). Autrement dit, il passe par des phases de reproduction asexuée (parthénogénèse) mais aussi sexuée (accouplement mâle et femelle puis ponte) et il utilise deux plantes hôtes : le pommier *Malus domestica* (hôte primaire) et le plantain *Plantago spp* (hôte secondaire).

Les femelles émergeant des œufs hivernants produits lors de la phase de reproduction sexuée à l'automne, appelées fondatrices, éclosent généralement en avril; mais la date d'émergence peut varier en fonction des conditions climatiques. Elles donnent naissance par parthénogénèse à environ sept générations de virginipares, aptères pour les premières générations (Dib., 2010). Celles-ci sont à l'origine des colonies primaires, lesquelles se développent jusqu'à la fin du printemps. D'après Schaub *et al.* (1995), chaque fondatrice peut générer jusqu'à une centaine de descendants.

Dès la 3ème génération, apparaissent les premières virginipares ailées qui vont migrer vers le



**Figure 2** : Foyers de pucerons cendré et dégâts sur rameaux des arbres. (A. Taillade, 2014).

plantain (hôte secondaire). Cette migration s'échelonne sur plusieurs semaines de mai à juillet selon les régions et conditions climatiques. Plusieurs générations d'aptères parthénogénétiques se succèdent sur le plantain avant que n'apparaisse au début de l'automne des sexupares ailées (femelles parthénogénétiques qui donneront naissance à des mâles ou à des femelles ovipares) et des mâles qui rejoignent leur hôte primaire, le pommier.

Selon Dixon (1998), la production des sexués est principalement dépendante de contraintes environnementales telles que la photopériode, la densité des populations et la qualité nutritionnelle de la plante hôte. Les femelles sexupares ailées sont les premières à regagner le pommier, fin septembre et vont donner naissance à des femelles sexuées ovipares aptères. Enfin, ces ovipares s'accouplent avec les mâles ailés revenant du plantain (Dib., 2010 d'après Bonnemaïson, 1959). Il y a alors production d'œufs noirs isolément, le plus souvent sur le bois de 1 à 3 ans à la base des bourgeons et dans les replis de l'écorce avant l'hivernation (Dib., 2010). 24h après accouplement, les femelles fécondées commencent à pondre, et pondent en moyenne 4,3 œufs qui assureront l'hivernation de l'espèce sur le pommier. L'éclosion de ces œufs a lieu au printemps suivant, théoriquement dès le franchissement d'un cumul des températures moyennes de 143 degrés-jours, à compter du 1er janvier (Graf *et al.*, 1985).

La capacité de multiplication élevée permise par la phase parthénogénétique est l'une des raisons pour lesquelles *D.plantaginea* est considéré comme le puceron le plus nuisible sur les Rosacées fruitières (Schepers, 1989 ; Guettala, 2009). Il est responsable de dégâts directs et indirects.

Lors des piqûres nutritionnelles (prélèvement de sève élaborée), le puceron injecte une salive toxique et irritante dans les organes du pommier, provoquant ainsi des déformations foliaires. Les feuilles s'enroulent longitudinalement vers le bas, le long de la nervure médiane (Forrest 1987 ; Guettala, 2009) (Figure 2). Ces enroulements sont généralement associés à une dépigmentation plus ou moins marquée. De plus l'absorption de la sève par le puceron entraîne un affaiblissement de la plante et une perturbation de la croissance du pommier pouvant entraîner une réduction du calibre et une malformation des fruits.

Les colonies de pucerons se développent préférentiellement sur la face inférieure des feuilles et sur les jeunes pousses en croissance. Les déformations de ces jeunes pousses peuvent empêcher la formation de couronnes, rameaux terminés par un bourgeon à fleur (Schaub *et al.*, 1995). De plus, une forte attaque peut affecter le retour à fleur des arbres l'année suivante (Bonnemaïson, 1959 cité par Rat-Morris, 1994). Les attaques répétées de pucerons vont induire chez le pommier une altération des racines et une réduction du nombre de fleurs et de fruits.

Par ailleurs, de fortes populations de pucerons produisent des quantités importantes de miellat, qui peut brûler les fruits en ruisselant et favoriser l'installation de la fumagine (champignon dont la présence limite la photosynthèse). La production de miellat favorise également la présence de fourmis dans les foyers. Les fourmis jouent un rôle important dans la structure des colonies de *D. plantaginea* (Smith *et al.*, 2008). En effet, certaines espèces de fourmis entretiennent une relation de mutualisme avec *D. plantaginea*. Les pucerons fournissent du miellat aux fourmis qui en retour les protègent de leurs ennemis naturels, leur laissant ainsi plus d'espace pour se développer (Miñarro *et al.*, 2010). Elles améliorent aussi les conditions de vie des pucerons en les débarrassant de leur miellat. Plusieurs études ont



montré un effet significatif négatif des fourmis sur l'abondance des ennemis naturels du puceron cendré (Stawerd-Jones *et al.*, 2008 ; Nagy *et al.*, 2007 ; Bishop & Bristow, 2003). La production de miellat par les pucerons augmente la capacité des parasitoïdes et prédateurs à les trouver. La consommation du miellat par les fourmis contribue donc à réduire l'impact des auxiliaires (Carter et Dixon, 1984 ; Dib, 2010). Enfin, les fourmis sont capables de transporter des pucerons entre leurs mandibules pour créer de nouveaux foyers, contribuant ainsi à la pullulation des pucerons dans l'arbre (Stadler et Dixon, 1999).

Les dégâts importants provoqués par *D.plantaginea* et sa forte capacité de propagation font de cette espèce une priorité en ce qui concerne la protection des vergers de pommiers contre les ravageurs. Les populations de *D. plantaginea* en pommiers à cidre sont généralement contrôlées par les insecticides, qui sont appliqués dès l'observation d'une fondatrice, sur 5% des arbres du verger. Un tel seuil s'explique par la crainte de lourds dégâts en termes de rendement. En raison de l'utilisation fréquente d'insecticides, *D. plantaginea* commence à montrer une résistance aux insecticides les plus utilisés (Delorme *et al.*, 1998). Par conséquent, les agriculteurs pulvérisent plus fréquemment, et perdent le contrôle sur ce ravageur (Dedieu, 1998; Graf *et al.*, 1999).

Pour cette raison, il est nécessaire de trouver des solutions alternatives efficaces pour le contrôle non chimique des populations de *D. plantaginea*. La lutte biologique apparaît comme une bonne alternative, qui permettrait de produire des fruits sans pesticides, et donc moins nocifs pour la santé et l'environnement (Miñarro *et al.*, 2005). Plusieurs études ont été menées sur le contrôle biologique du puceron cendré via l'utilisation d'ennemis naturels tels que les hyménoptères parasitoïdes (Bribosia *et al.*, 2005; Peusens *et al.*, 2006) ou les prédateurs (Wyss *et al.*, 1999a,b; Miñarro *et al.*, 2005; Brown et Mathews, 2007).

## B. Régulation naturelle de *Dysaphis plantaginea*

Parmi les ennemis naturels principaux du puceron cendré, on distingue les insectes parasitoïdes et prédateurs (se différenciant par leur mode alimentaire), et les arachnides.

### a) Hyménoptères parasitoïdes

Les parasitoïdes sont des insectes vivant aux dépens d'un seul hôte, dans, ou sur lequel ils se développent causant sa mort de façon rapide ou différée (à la fin du développement de la larve du parasitoïde) (Debras, 2007 ; Guettala, 2009). Les familles d'hyménoptères parasitant le puceron cendré appartiennent au sous ordre des Apocrites : Ichneumonidae, Braconidae et Aphelinidae (Guettala, 2009). D'après Rat-Morris (1994) cité par Guettala (2009) ; les espèces suivantes ont été signalées comme parasites de *D. plantaginea*: *Ephedrus persicae* Frogg; *Ephedrus plagiata* Nees et *Aphidius matricariae* Hal.

Par des sécrétions des glandes salivaires, la larve du parasitoïde fixe sa victime momifiée à la surface de la plante (Dib., 2010) puis se nymphose. Le puceron parasité prend alors un aspect gonflé caractéristique que l'on appelle « momie ». Enfin, l'hyménoptère adulte émerge après avoir découpé un trou de sortie situé sur la partie dorsale de la momie. Ces hyménoptères parasites forment plusieurs générations par an. Le parasitisme est donc permanent pendant les périodes de pullulation des pucerons, qui peuvent commencer à être parasités de mi-avril à début mai. D'après Stary (1970, 1975), de fortes températures estivales sont susceptibles de favoriser le parasitisme.



**Figure 3** : Foyers de pucerons cendrés occupés par une larve de syrphé et une larve de coccinelle (L. Albert 2014).

## b) Prédateurs

La régulation naturelle de *D. plantaginea* nécessite des prédateurs efficaces pour trouver les pucerons, même à de très faibles densités. Dès que les colonies de pucerons sont établies, des prédateurs avec un taux de prédation et un taux de croissance élevés sont nécessaires pour une éventuelle régulation naturelle (Boreau de Roince, 2012). Les prédateurs généralistes ont l'avantage d'être présents dans beaucoup de milieux et d'avoir une colonisation rapide de tout milieu favorable.

Au sein de la guildes d'ennemis naturels du puceron cendré, les prédateurs les plus actifs sont de la famille des Coccinellidae et de celle des Syrphidae. On compte également des Névroptères, des Cantharidae, des Cécidomyiidae et des Chamaemyiidae (Rat-Morris E., 1994 cité par Guettela, 2009). Des expérimentations menées en vergers biologiques de pommier dans le Sud-est de la France ont mis en avant les syrphes, coccinelles et forficules comme les groupes d'auxiliaires les plus abondants (Dib *et al.*, 2010). De même des expérimentations Albert *et al.*, (2014) menées en vergers cidricoles ont aboutis à cette même constatation.

En Amérique du Nord, Brown et Mathews (2007) ont également souligné que *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae, perce-oreille) est très répandu dans le complexe d'auxiliaires des colonies de pucerons cendrés. Malgré son activité nocturne et son régime alimentaire généraliste (Sauphanor *et al.*, 1992), la forficule est reconnue comme un prédateur vorace des pucerons en vergers de pommiers dans plusieurs études (Dib *et al.*, 2010).

Parmi les Coccinellidae (ordre des Coléoptères), certaines espèces sont essentiellement aphidiphages à l'état larvaire ou imaginal. Sur pucerons, les genres les plus actifs sont *Adalia*, *Coccinella*, *Harmonia* et *Propylea* (Debras, 2007). Cependant, en l'absence de proie, le pollen et le nectar peuvent aussi leur servir de nourriture de remplacement (Iperti, 1974 cité par Guettela, 2009). Selon Guettela (2009), la plupart des espèces de Coccinelles sont inféodées préférentiellement à la strate haute des arbres.

Les Syrphidae (ordre des Diptères) sont eux aussi fréquemment aphidiphages à l'état larvaire, plus particulièrement les espèces des genres *Syrphus*, *Episyrphus* et *Sphaerophoria* (Debras, 2007 cité par Guettela Frah N., 2010). La prédation, maximale à 20°C, augmente avec l'âge de la larve qui est particulièrement vorace au second et au troisième stade (Hindayana, 2001). Le nombre de pucerons qu'ils consomment (jusqu'à 1200 au total par individu au cours du stade larvaire pour *Episyrphus balteatus*) varie avec la température, l'humidité (Gilbert, 1986) mais aussi l'âge de larve et la taille de la proie (Hindayana, 2001; Iwai *et al.*, 2007 cité par Dib *et al.*, 2010). Les femelles pondent toujours à proximité des colonies de pucerons en expansion, (Chandler, 1968, 1969; Bargaen *et al.*, 1998;; Scholz et Poehling, 2000; Vanhaelen *et al.*, 2001) ceci afin que les larves sortantes trouvent aisément une ressource alimentaire abondante (Scholz et Poehling, 2000). Les syrphes adultes, eux, sont floricoles et se nourrissent de pollen et de nectar qui sont tous les deux nécessaires à la maturation des gonades des femelles et des mâles adultes (Bugg, 2008). L'apparition précoce des syrphes et leur bonne performance prédatrice (Miñarro *et al.*, 2005, Albert *et al.*, 2014) vis à vis du puceron cendré nous poussent à penser qu'ils pourraient contribuer efficacement à limiter le nombre de *D. plantaginea* pendant la phase initiale de croissance démographique. Ils apparaissent donc comme de bons candidats pour participer à



la régulation naturelle du puceron cendré.

Les Névroptères prédateurs, quant à eux, sont représentés par les chrysopes et les hémérobes (respectivement famille des Chrysopidae et Hemerobiidae). Ces sont des prédateurs généralistes qui ont une préférence pour les insectes peu mobiles (pucerons, acariens, cochenilles, etc). La larve et l'adulte des hémérobes sont entomophages, contrairement aux chrysopes dont seule la larve est prédatrice de pucerons. L'adulte est glycopalynophage (se nourrit de pollen, nectar et miellat). Au cours de son développement, une larve peut manger 200 à 500 pucerons. Les chrysopes sont naturellement présentes dans les agrosystèmes de mars à septembre, avant de rentrer en diapause reproductives dans des sites d'hivernage. On retrouve particulièrement le genre *Chrysoperla sp.* (Villenave-Chasset, 2006).

L'ordre des Hémiptères compte aussi des insectes prédateurs de *Disaphis plantaginea*. Ce sont des punaises prédatrices polyphages, c'est-à-dire se nourrissant d'une large gamme de proies. On retrouve les familles des Anthocoridae (notamment les genres *Anthocoris* et *Orius*) dont les larves peuvent consommer chaque jour 100 à 200 pucerons ; la famille des Miridae, dont certaines espèces sont strictement phytophages, et enfin les Nabidae (les genres *Nabis* et *Himacerus* notamment) qui chassent de préférence leurs proies sur les plantes basses. Les premières punaises peuvent être actives dès avril en Pologne, probablement encore plus tôt en Normandie (Niemczyk, 1999).

Les araignées de la frondaison font quant à elles l'objet de débats sur leur rôle d'agents de contrôle du puceron cendré. En effet Brown Dib *et al.*, (2010), les considèrent en tant que tel, contrairement à Wyss *et al.*, (1995) qui considère leur effet négligeable, compte tenu de leur faible nombre, surtout en début de printemps, avec de basses températures (Brown et Mathews, 2007). Cependant, d'après une étude de Marko *et al.*, (2009), elles apparaissent comme ayant une importante capacité de résilience après des traitements insecticides, notamment grâce à la recolonisation depuis des milieux adjacents aux vergers, par dispersion aérienne. Les travaux de Boreau de Roince (2012) ont mis en avant un effet densité-dépendant de la régulation des pucerons par les araignées de la frondaison : plus les araignées sont abondantes sur un arbre en début de saison, moins l'arbre est agressé par les pucerons. Ces travaux ont aussi démontré une corrélation positive entre la prédation sur *D.plantaginea* par les araignées et leur taille. Ce qui lui a permis de conclure que le potentiel d'une communauté d'araignées pour contrôler *D.plantaginea* est affecté par la taille individuelle des araignées en plus de leur abondance (Boreau de Roince, 2012). Wyss *et al.*, (1995) ont observé une consommation importante de pucerons cendrés par les araignées de la frondaison, empêchant ainsi la colonie de se mettre en place. De plus, ces travaux ont mis en avant le piégeage et la consommation des pucerons migrants ailés au printemps par les araignées qui capturent leurs proies à l'aide de leurs toiles. Ceci permet de diminuer les pontes d'œufs d'hiver (Boreau de Roince, 2012). De plus, certaines araignées ont un seuil thermique d'activité bas, ce qui leur permet de rester actives en hiver et de chasser des proies à basse température (Pekar & Honek, 2010 cité par Boreau de Roince, 2012).

Pour résumer, comme nous avons pu le voir, tous les stades des prédateurs ne consomment pas le puceron cendré. Sont donc considérés comme ennemis naturels actifs : les larves de diptères aphidiphages (Syrphidae, Cecidomyiidae et Chamaemyiidae), les larves et adultes de Coléoptères (Coccinellidae, Cantharidae et Staphylinidae), les nymphes et les



adultes de Dermaptères (Forficulidae), les nymphes et adultes d'Hemiptères (Anthocoridae, Miridae et Nabidae) et les larves et certains adultes de Neuroptères (Chrysopidae et Hemerobiidae) (Wyss, 1995). Tout ce cortège d'auxiliaires autour du puceron cendré s'avère avoir un rôle positif, (Dib *et al.*, 2010) mais pour le moment insuffisant dans le cadre d'une lutte exclusivement biologique (Blommers, 1999; Miñarro *et al.*, 2005; Brown et Mathews, 2007; Dib *et al.*, 2010). Plusieurs études ont montré un décalage entre l'arrivée de la majorité des auxiliaires et le développement du puceron cendré (Wyss, 1995; Blommers, 1999; Wyss *et al.*, 1999a; Miñarro *et al.*, 2005; Brown et Mathews, 2007). En effet, l'efficacité d'une régulation naturelle de *D. plantaginea* est souvent réduite car l'apparition des pucerons est précoce, du fait de leur important potentiel de développement même à de faibles températures. Au contraire, le cortège d'auxiliaires est attiré plus tardivement lors des pullulations, c'est-à-dire lorsque les dégâts sont déjà faits et les pucerons protégés dans les enroulements. Il est donc important de s'intéresser à l'environnement direct et à la gestion de l'habitat pour favoriser d'avantage la présence des auxiliaires pendant les périodes les plus importantes pour la lutte contre le puceron cendré.

### c) Intérêt et impact des infrastructures agro-écologiques

La gestion de l'habitat à l'échelle du verger et des structures agro-environnementales à proximité, telles que les haies, peuvent satisfaire différents types de besoin des auxiliaires et donc accroître leurs populations (Brun, 2013). En effet, la pérennité du verger et sa structure multi-strates (strate herbacée et strate arborée) permettent une diversité de niches et de ressources potentiellement favorables aux auxiliaires.

Nous avons fait le choix de nous intéresser à deux types d'aménagements : les haies composites et les bandes fleuries car ce sont les types d'IAE mis en place dans le cadre du projet Vergers cidricoles de Demain. Ces aménagements sont considérés comme fonctionnels, dans le sens où ils peuvent fournir un abri aux auxiliaires face à des conditions défavorables (conditions climatiques, perturbations anthropiques) ainsi qu'une source d'alimentation plus variée (hôtes et proies de substitution, nectar et miellat). Le but étant que le maximum d'auxiliaires puissent trouver tout au long de l'année les ressources et les conditions correspondant à chaque phase de leur cycle (Ricard *et al.*, 2012).

#### i. Les haies composites

Certains ennemis naturels du puceron cendré passent une partie de leur cycle dans des structures non productives, (Boreau de Roince, 2012). Herrmann *et al.*, (2010) ont montré dans leurs travaux le rôle important de la haie, comme continuité de la strate arborée, qui permet de faire le lien entre les habitats boisés naturels et les vergers (Boreau de Roince, 2012), créant ainsi des corridors de circulation pour les arthropodes. Par ailleurs, les différentes strates permettent de multiplier les microclimats et les ressources alimentaires et donc les niches écologiques.

Par exemple, les différentes espèces de coccinelles se répartissent en fonction des différentes strates que forme le couvert végétal (Iperti, 1983). De même, une combinaison d'essences à feuilles caduques et persistantes (refuge pour la faune l'hiver), de résineux et d'épineux permet d'offrir des abris pour les auxiliaires (TransBioFruits, 2013). Cependant, lors de l'expérimentation en Wallonie, le programme TranBioFruit met en avant une que les haies ne doivent pas être situées à plus de 150m pour avoir un effet avéré en verger.



**Figure 4** : Bande fleurie en verger cidricole (L. Albert 2014).

Selon un travail de Baudry et al (1998) et Debras *et al.*, (2001), augmenter la diversité des espèces végétales des haies permet d'accroître la diversité des auxiliaires. Cependant, il est préférable de rechercher une diversité optimale de 12 à 15 essences et non une diversité maximale afin de limiter la diversité des phytophages par rapport aux auxiliaires. Enfin, un autre objectif de la mise en place de haies est d'être une source de nourriture alternative, et donc de fournir du nectar et du pollen ou des proies alternatives, selon les ennemis naturels.

## ii. Les bandes fleuries

Les bandes fleuries peuvent se présenter sous la forme de couvre-sol en inter-rang (Figure 4), en remplacement de l'enherbement classique, ou bien en îlots implantés près du verger. Semer des bandes fleuries au sein même du verger permet d'attirer les auxiliaires dans les pommiers plus tôt et de favoriser un équilibre proies-prédateurs (Garcin *et al.*, 2003). Les bandes fleuries attirent de nombreux auxiliaires par leurs couleurs, leurs morphologies, le pollen et le nectar qu'elles produisent (sources de nourriture pendant la floraison). Leurs intérêts sont liés à l'ensemble de la plante (tiges, feuilles, fleurs). Dans plusieurs de ses études, Wyss (1995; Wyss *et al.*, 1999a,b) s'est intéressé à l'impact des bandes fleuries sur la régulation du puceron cendré. Outre leur intérêt esthétique, il en ressort un rôle positif des bandes fleuries sur la régulation naturelle de *D. plantaginea*. En effet, elles fournissent à la fois une proie alternative, *Aphis sambuci* L. (Hemiptera: Aphididae), pour les prédateurs tels que les syrphes (Bribosia *et al.*, 2005), ainsi que du pollen et du nectar pour les adultes floricoles des auxiliaires (Wyss, 1999; Wyss *et al.*, 1999; Vögt et Weigel, 1999). De même, il a mis en avant la contribution des bandes fleuries à l'augmentation des taux de prédation, en particulier pour les araignées au printemps et en automne sur les populations de *D. plantaginea*. Cependant, ceci est valable seulement pour les années où la pression ravageur était faible. Garcin. *et al.*, (2003) eux, nous indiquent une amélioration de la présence de la faune arthropode du sol (carabes, staphylins et araignées) grâce aux bandes fleuries.

Concernant la composition des bandes florales, pour avoir un plus large spectre d'attractivité, les mélanges pluri-espèces sont nécessaires. Les critères importants à prendre en compte pour la composition d'une bande fleurie sont : pérennité du mélange sur plusieurs années, facilité d'entretien, floraison précoce et étalée afin de fournir aux auxiliaires une source de nourriture sur une plus longue période, et un bon potentiel d'attractivité des auxiliaires (abondance et richesse spécifique) (Guerin, 2012). Les plantes pérennes, avec un important pourcentage d'espèces florales et un fort taux de recouvrement, présentent une bonne attractivité pour les auxiliaires (TransBioFruit, 2013).

A titre d'exemple de lien direct entre auxiliaires et composition des bandes fleuries, nous pouvons citer : l'influence de l'alimentation pollinique des adultes de syrphes sur la fécondité des femelles et sur l'énergie nécessaire au vol (Lyon, 1965, Hickman *et al.*, 1994), la préférence de plusieurs hyménoptères parasitoïdes pour le nectar de certaines ombellifères (Garcin *et al.*, 2003) ainsi qu'une préférence pour les fleurs composées comme source de glucides pour les larves des chrysopes (Downes, 1974).

Par ailleurs, quand un arbre se situe au-delà de 10m de la bande fleurie, les paramètres extérieurs (haies, flore spontanée) influencent davantage les populations d'auxiliaires que la bande fleurie elle-même (TransBioFruits, 2013). Selon Libourel (2007)

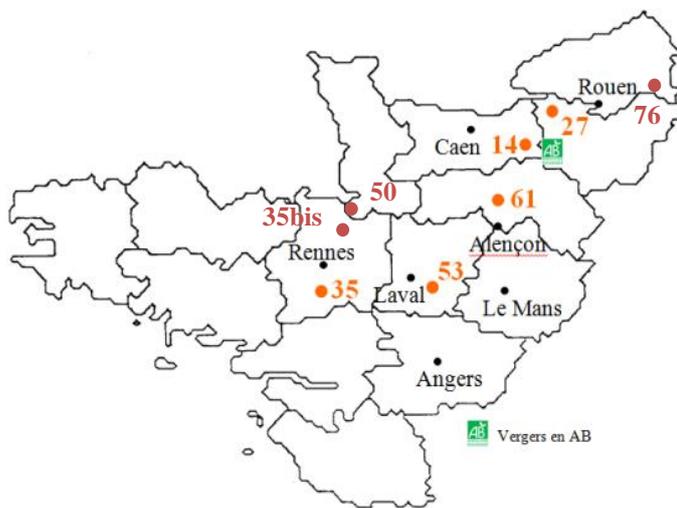


Figure 5 : Parcelles du programme suivies dans le cadre de la thèse (Albert L ; 2014)  
Chaque parcelle est nommée par son numéro de département.

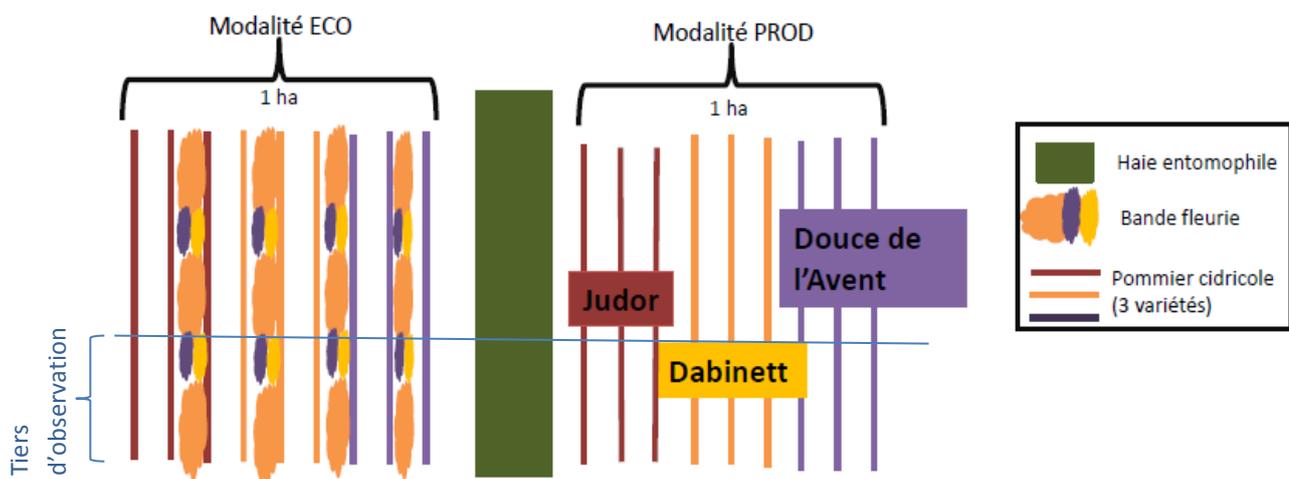


Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental du projet CASDAR Verger de Demain (Albert L, 2014)

l'efficacité et l'influence d'une bande fleurie en apports d'auxiliaires sur une culture diminuent fortement au-delà de 50 mètres. De plus, même au sein de ces 50 mètres, la quantité d'auxiliaires diminue lorsque la distance augmente. Tout comme les haies composites, les bandes florales peuvent servir de zones refuges aux auxiliaires qui peuvent y migrer et se protéger en conditions difficiles. Elles peuvent aussi fournir des sites de reproduction pour les auxiliaires pendant l'hiver grâce à la présence de ravageurs en hibernation dans les tiges creuses des fleurs (Romet, 2005). De plus, d'un point de vue agronomique, les bandes fleuries, par leur croissance rapide, permettent d'occuper le sol avant que les adventices indésirables ne s'y installent et de lutter contre l'érosion du sol. Elles permettent également l'amélioration de la structure du sol, l'apport en Azote et la mobilisation d'éléments nutritifs et une meilleure capacité de rétention de l'eau (Guerrin, 2012).

## Matériel et Méthode

### A. Dispositif expérimental :

Cet essai s'appuie sur le dispositif expérimental du projet CASDAR « Verger de Demain » et est mené chez huit arboriculteurs du réseau, répartis au sein des trois principaux bassins de production de la filière cidricole : Bretagne, Pays de la Loire, Normandie (Figure 5). Chaque site a été implanté entre 2010 et 2012. Chacun d'entre eux a été divisé en deux modalités d'un hectare chacune :

- un système dit « PROD » : conduit selon les pratiques actuelles des producteurs et en conformité avec les cahiers de charges « Production Fruitière Intégrée ».
- un système dit « ECO » : système innovant adoptant une stratégie phytosanitaire à faible niveaux d'intrants (seuils d'intervention relevés, réduction des doses et choix des produits phytosanitaires employés, limitation de la tonte, etc.). Ce système se distingue également par l'intégration d'aménagements agro-écologiques (haies et/ou bandes fleuries). Leurs localisations varient selon les parcelles (Annexe Plan parcelle) :

La bande fleurie se trouve dans tous les inter-rangs des sites 61, 27 et 50, un inter-rang sur deux dans les sites 76 et 14, en périphérie des rangs extérieurs dans les parcelles 35 et 35bis et en îlot à proximité du site 53. Suite à une mauvaise implantation de la bande fleurie, la bande fleurie de la parcelle 35-bis a été semée à nouveau à l'automne 2014. Cette parcelle en 2014 peut donc être considérée sans bande fleurie.

Sur chacun des sites, une haie entomophile de séparation a été implantée entre les deux modalités.

La composition de celles-ci et des bandes fleuries a été définie par les techniciens pour chaque site, d'après les références bibliographiques et adaptées au contexte pédoclimatique local.

Les modalités ECO et PROD composent toutes deux, de neuf rangs de pommiers de trois variétés sur porte-greffe M106 (Judor, Dabinett et Douce de l'Avent). La variété Dabinett se situe toujours au centre pour son côté moins sensible à la tavelure. Il y a donc trois rangs de chaque variété (Figure 6).

Les sites 14 et 76 sont certifiés agriculture biologique.

Toutes les observations réalisées ont eu lieu sur un tiers des arbres du site pour des soucis de faisabilité (Figure 6).



Figure 7 : aspirateur à insectes (type aspirateur-souffleur) utilisé pour le suivi des arthropodes de la strate basse et arborée du verger (L. Albert , 2014)



Figure 8 : Carte de prédation au sol (SEBIOPAG, 2014)

## **B. Suivi de la régulation naturelle de *Dysaphis plantaginea* :**

- ✓ Suivi des auxiliaires et de la pression ravageur de *Dysaphis plantaginea*

Afin d'évaluer la pression ravageur et la dynamique de colonisation de *D. plantaginea*, nous avons suivi tous les foyers de pucerons cendrés présents au sein de chaque arbre.

Au sein de chaque foyer, sont repérés :

- l'infestation du foyer : comptage du nombre de pucerons cendrés présents
- le nombre, stade de développement et identité taxonomique (ordre/famille) des auxiliaires présents
- le nombre de fourmis présentes

Ce suivi a été effectué tous les 15 jours durant la période d'infestation du puceron sur le pommier soit d'avril à juin. Chaque arbre est repéré spatialement afin d'avoir une représentation dans l'espace de la dynamique du puceron cendré à l'échelle de l'arbre et pour toute la zone d'observation dans le site.

Comme évoqué en introduction, notre essai se déroule dans le cadre d'un projet d'étude sur la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole. Dans cette optique, nous avons donc intégré à notre essai plusieurs types de relevés relatifs à cette thématique. Ces relevés sont évoqués ci-dessous, leurs protocoles étant détaillés en annexe n°1.

- ✓ Suivi du cortège d'auxiliaires de la strate basse et arborée

Un suivi mensuel du cortège d'auxiliaires a été effectué à l'aide d'un aspirateur (type aspirateur-souffleur) (Figure 7) dans les strates herbacée (bande fleurie, inter-rang) et arborée (haie, pommier) de chaque site. Ces aspirations de 20 secondes étaient réalisées au hasard et repérées spatialement.

- ✓ Indicateur d'activité des auxiliaires : Carte de prédation

Des cartes de prédatons ont été mises en place au sein de trois de nos sites afin d'avoir un indicateur de l'activité des auxiliaires dans les vergers (Figure 8). Sont principalement ciblés les arthropodes prédateurs généralistes du sol (carabes, staphylins, araignées etc.). Ces cartes ont été déposées à une date correspondant à 1200 et à 1500 degrés jour cumulés, calculés avec une base 0°C et à partir de la date arbitraire du 1<sup>er</sup> janvier. Elles ont été placées sur le rang du milieu de Dabinett dans les deux modalités (ECO et PROD) pour le premier relevé et sur le rang intérieur de Douce de l'Avent pour le second relevé. Quatre types de carte ont été utilisés. Ces relevés s'intègrent au projet PEERLESS (annexe n°1).

- ✓ Suivi de la régulation naturelle du carpocapse

Ces relevés ont été effectués dans le cadre du stage c'est pourquoi ils sont présentés ici, mais les analyses, comme évoquées précédemment, porteront uniquement sur le puceron cendré.



Figure 9: Piège pot Barber avec coupelle de protection pour la pluie (L. Albert , 2014).

→ Suivi des arthropodes du sol :

De nombreux arthropodes prédateurs généralistes du sol peuvent intervenir dans la régulation naturelle du carpocapse *Cydia pomonella* (Symondson, 2002). Les araignées, les staphylins et surtout les carabes consomment des larves de carpocapse au sol, notamment à l'automne (Boreau *et al.*, 2012 cité par Albert, 2014).

Afin d'effectuer un suivi de ces arthropodes du sol nous avons utilisé la méthode de piégeage par pots Barber (Figure 9). Trois pots Barber ont été placés aléatoirement, au centre des inter-rangs de chaque variété dans chacune des modalités de façon à avoir un gradient de distance aux IAE. Trois pots ont également été mis en place dans chaque IAE suivie. Un relevé par mois a été effectué d'avril à septembre.

→ Suivi de la pression ravageur du carpocapse :

Le suivi de la pression ravageur du carpocapse *Cydia pomonella*, a été réalisé à l'aide de différentes formes de piégeage et comptages :

- Des pièges à phéromone pour suivre la dynamique de vol des adultes et servir aussi d'indicateur de présence du ravageur. Par ailleurs, ce type de piège peut aussi servir à détruire sélectivement un grand nombre de mâles ravageur pour empêcher la reproduction.
- Un comptage des larves (parasitées ou non), et du nombre de fruits présents dans l'arbre a été effectué à la fin de la 1<sup>ère</sup> génération. De même pour la 2<sup>nd</sup> génération s'il y en a une.
- Des bandes de carton ondulé autour des troncs des pommiers, où les larves de carpocapse viennent se réfugier lorsqu'elles descendent de l'arbre pour effectuer leur nymphose ou tisser leurs cocons.

### **C. Analyse statistiques :**

Nous avons fait le choix de concentrer notre analyse sur la régulation naturelle du puceron cendré observée au sein des foyers de pucerons cendrés. En effet, nous avons manqué de temps pour identifier les insectes capturés à l'aspirateur.

Deux sites (53 et 27) ont été retirés de l'analyse, du fait de l'absence de puceron cendré dans ces vergers.

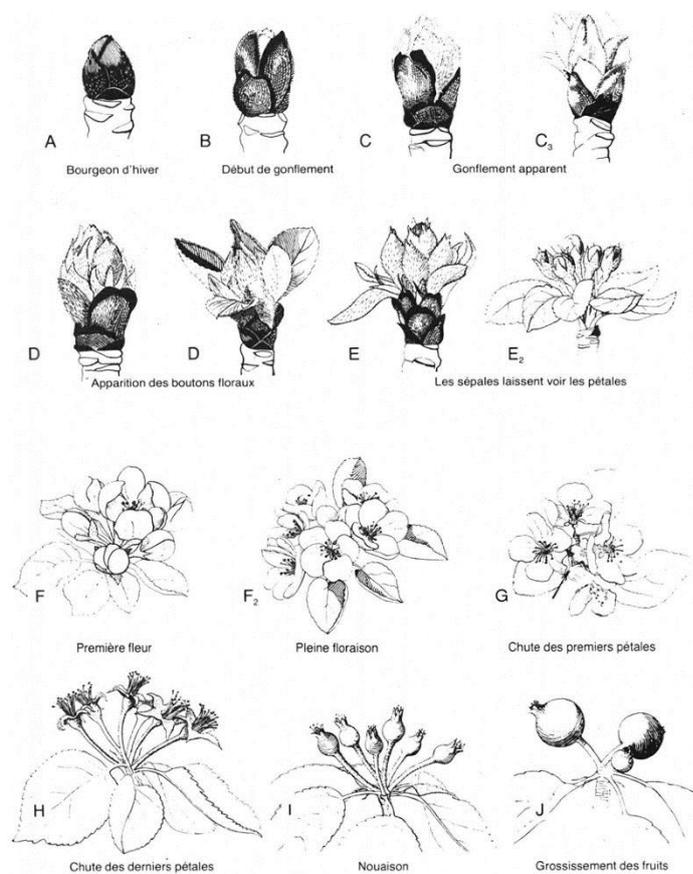
Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel de statistique R (R Core Team, 2015).

- ✓ Descriptions générales des données

→ *Etude de l'abondance des populations*

Une représentation des données brutes a été réalisée afin de dégager les tendances globales en termes d'abondance entre les deux systèmes de production ECO et PROD et entre les différents sites.

Au cours de cette étape, nous avons étudié la distribution des populations de pucerons à travers la variable (nombre de foyers vivants) et les populations d'auxiliaires potentiels en liens avec les paramètres du plan d'expérience (Site – Modalité – Variété). Un modèle linéaire



**Figure 10 :** Description des stades phénologiques du pommier d'après Fleckinger (INRA)

généralisé avec une distribution de Poisson et un test de significativité du Chi2 ont été utilisés afin d'évaluer l'effet des facteurs du plan d'expérience sur l'abondance des populations de puceron cendré.

→ *Etude de la dynamique des populations de pucerons et d'auxiliaires*

Nous avons fait le choix d'illustrer la dynamique du ravageur et des populations des auxiliaires les plus abondants à savoir les syrphes, coccinelles, araignées et forficules, par l'intermédiaire de trois sites représentatifs des différents niveaux d'infestation de puceron rencontrés.

→ *Analyses des interactions dynamiques entre les populations de pucerons et d'auxiliaires.*

Concernant les auxiliaires, nous avons fait le choix de créer de nouvelles variables en les regroupant en fonction de leur stade de développement (stade de prédation ou non) et de la taxonomie. En effet, les populations d'Anthocorides, de Mirides et de Nabides étant trop faible, elles ont été regroupées au sein d'une unique variable « Hétéroptère ». De même, les stades actifs en termes de prédation des arthropodes, toutes espèces confondues, ont été regroupés sous la variable « Auxiliaires actifs » à savoir les larves de syrphes, les larves et adultes de coccinelles, les adultes d'araignées, d'hétéroptères et de forficules.

Le nombre total de momies et d'adultes d'hyménoptères parasitoïdes observés sur l'ensemble des sites est respectivement de sept et trois. Ces valeurs étaient insuffisantes pour que ce groupe d'auxiliaires puisse être inclus dans les analyses.

Pour chaque arbre, nous avons calculé sa distance à la haie la plus proche (haies de séparation et haies de bordure) afin d'évaluer le potentiel impact de cette infrastructures agro-écologique.

Nos relevés ont été effectués à de nombreuses reprises (de 6 à 12 fois d'avril à juillet) et à des dates différentes sur chaque site (suivant la pression ravageur, les distances géographiques séparant les parcelles, les traitements...). Afin de faciliter les comparaisons inter-site, nous avons choisi de sélectionner seulement quatre dates d'observation pour chaque site en rapport avec des périodes clés de la phénologie des pommiers (figure 10) et de sa sensibilité au ravageur :

- Date n°1 : 11/04 - 01/05 Stade C-C3 : Eclatements des bourgeons
- Date n°2 : 06/05 - 20/05 Stade E2-E4 : Ballonnets, ouverture des sépales, allongement des pétales
- Date n°3 : 25/05 - 08/06 Stade F2 : Pleine floraison
- Date n°4 : 17/06 - 26/06 Stade I-J : Nouaison, grossissement des fruits

De façon à estimer la dynamique de nos populations (pucerons et auxiliaires), nous avons calculé leurs taux d'accroissement pour chaque arbre et pour nos trois premières dates :

$$\text{Taux d'accroissement (t)} = \frac{\text{Abondance (t+1)} - \text{Abondance (t)}}{\text{Jour (t+1)} - \text{Jour (t)}}$$

Afin d'explorer les relations dynamiques entre nos variables d'abondance et notamment d'identifier les processus qui jouent sur les taux d'accroissement du puceron, des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées. Les ACP permettent de résumer et de simplifier la représentation des données collectées lorsqu'elles sont de grande dimension et de les structurer. Elles permettent d'en faciliter l'interprétation (Cornillon *et al.*, 2012 ;



Giannelloni *et al.*,2001). Grâce à elles, une évaluation des ressemblances entre plusieurs individus statistiques en fonction des valeurs prises par les variables quantitatives (variables de taux et abondances de nos communautés d'arthropodes) est possible. L'idée est donc de mettre en relation les taux d'accroissement et les abondances des différentes populations observées à l'arbre, afin d'identifier les signatures d'interactions entre elles.

Les variables retenues pour la construction des ACP sont les suivantes :

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <i>Variables actives mesurées à l'arbre</i> | { | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Les abondances totales des foyers,</li> <li>◦ Abondance de foyers morts,</li> <li>◦ Abondance de foyers vivants</li> <li>◦ Les abondances des pucerons</li> <li>◦ Les abondances totales des auxiliaires, auxiliaires actifs, auxiliaires au stade œuf, auxiliaires au stade larve, auxiliaires adultes</li> <li>◦ Les abondances des Hétéroptères, Forficulidés et des Araignées</li> <li>◦ Le taux d'accroissement relatif à chacune des variables d'abondance citée ci-dessus</li> <li>◦ La proportion de foyers occupés par des auxiliaires, obtenue en divisant le nombre de foyers occupés par le nombre total de foyers</li> <li>◦ La proportion de foyers occupés par des fourmis</li> <li>◦ La proportion de pucerons ailés</li> </ul> |
| <i>Variables illustratives</i>              | { | <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Site</li> <li>◦ Modalité</li> <li>◦ Variété</li> <li>◦ Distance à la haie la plus proche</li> </ul>   |

Les variables supplémentaires illustratives n'ont pas été prises en compte lors de la construction des axes factoriels *i.e.* lors du calcul des distances entre les individus. Elles sont projetées pour aider à l'interprétation des dimensions de variabilité. Seules les variables actives ont été donc prises en compte pour la construction du plan factoriel. Les variables ont été centrées et réduites afin d'attribuer la même importance à chaque variable (Husson *et al.*, 2009). L'examen des plans factoriels permet de visualiser les corrélations entre les variables et d'identifier les groupes d'individus ayant des valeurs proches sur certaines variables. La significativité des relations entre certaines variables identifiées par l'observation des résultats des ACP a été testée à l'aide de régression linéaire.

## Résultats

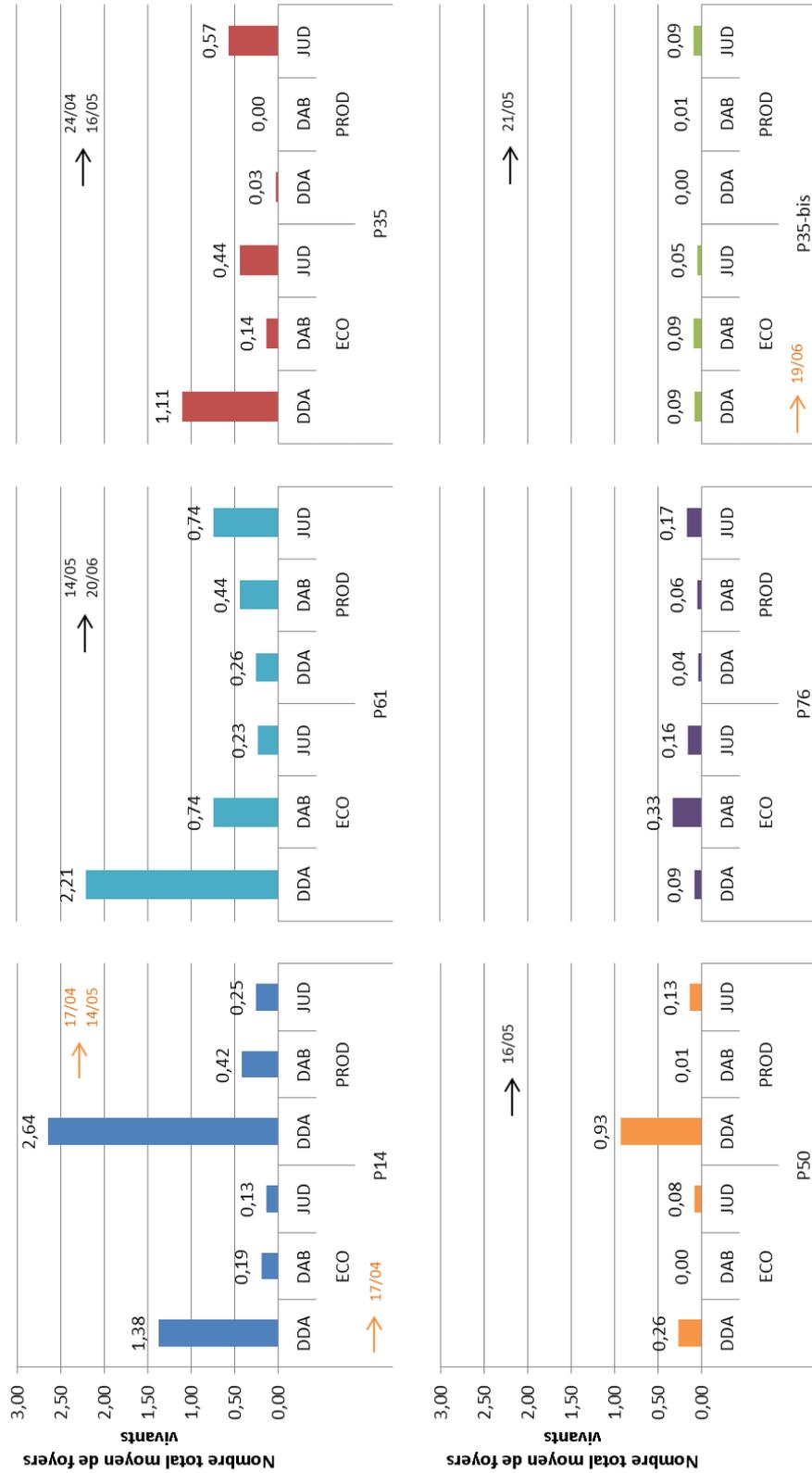
### A. Description générale des données

#### a) Abondance moyenne des pucerons cendrés par arbre

L'abondance du puceron cendré sur nos arbres entre le 11/04 au 26/06 est caractérisée par 2 quantités : le nombre total de foyers vivants et le nombre total de pucerons.

Une régression linéaire entre les variables « abondance totale de pucerons » et « nombre de foyers vivants », montre que ces deux quantités sont fortement liées ( $R^2=0,6$  ;  $p$ -value <  $2.2 \times 10^{-16}$ ). Par souci de simplicité, nous avons donc choisi dans cette partie de présenter uniquement les résultats concernant le nombre de foyers vivants dont la distribution est plus

**Nombre total moyen de foyers vivants par arbre en fonction de la variété, de la modalité de culture et du site**



**Légende :** → Traitement bio-contrôle → Traitement hors bio-contrôle

Figure 11 : Histogramme du nombre moyen de foyers vivants par arbre sommés sur l'ensemble des dates d'observation en fonction de la variété (DDA, DAB, JUD), de la modalité de culture (ECO, PROD) et du site (P14, P61, P35, P50, P76 et P35-bis).

régulière. Toutefois, les résultats obtenus avec la variable abondance de pucerons sont qualitativement semblables.

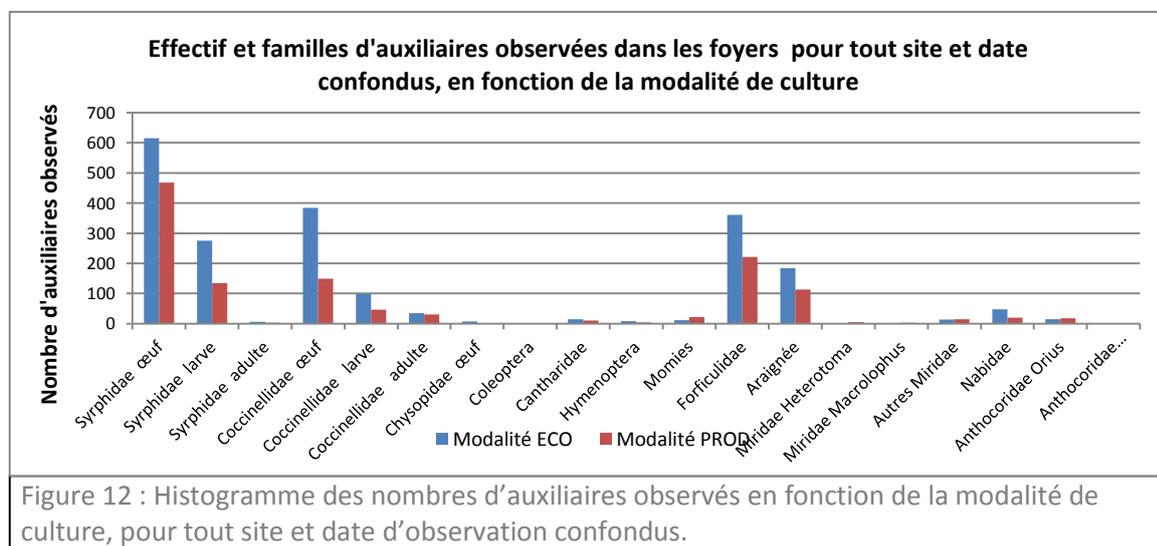
L'effet des facteurs constituant notre plan d'expérience (site, modalité de conduite du verger et variété) a été évalué au moyen d'un modèle linéaire généralisé. Le nombre de foyers vivants étant apprécié par un comptage, nous avons fait l'hypothèse qu'il suivait une distribution de Poisson. La significativité des facteurs a été testée par un test de Chi2 sur la part de déviance expliquée. Les interactions de premier ordre ont également été incluses dans le modèle.

Les résultats sont présentés sur la figure 11. Les analyses montrent que l'ensemble des facteurs site, variété et modalité ainsi que toutes leurs interactions ont un effet significatif ( $p$ -value $<0.05$ ) sur le nombre de foyers vivants.

Le modèle global met en évidence un fort effet de la variété : la variété Douce de l'Avent a été globalement plus infestée que Dabinett, elle-même plus infestée que Judor (Estimate DDA = 2.06, JUD = -2.12). Le modèle indique également un effet de la modalité. En effet, la modalité ECO accueille un nombre de foyers plus réduit que la modalité PROD. Cependant, cet effet est très modulé par des effets d'interactions avec les sites et les variétés (annexen°2). Sur les graphiques représentatifs du nombre de foyers vivants en fonction de notre plan d'expérience, (figure1), seuls les sites 14 et 50 présentent des abondances relatives de foyers vivants cohérentes avec le sens des effets de premier ordre. En effet, sur le site 14, le nombre moyen de foyers de pucerons par arbre est supérieur dans la modalité PROD comparé à la modalité ECO et ce quelle que soit la variété. Par ailleurs, la hiérarchie des valeurs entre les variétés est conservée quelle que soit la modalité de conduite du verger (DDA>DAB>JUD). Au contraire, dans les sites 61, 35 et 35-bis, on observe globalement une inversion du classement des variétés dans la modalité PROD. Cette inversion semble consécutive à l'application précoce d'un traitement insecticide qui a dû être contrôlé les populations se développant sur DDA. Le site 76, globalement peu infesté, ne montre pas de tendance claire quant aux effets modalité de conduite du verger et variété.

Enfin, le modèle indique un fort effet site que nous pouvons observer dans la figure 1. On constate un important différentiel d'infestation selon les sites observés. Nous pouvons classer ces sites en trois catégories d'infestation : les sites 14 et 61 présentant une forte infestation ; les sites 35 et 50 présentant une infestation moyenne et les sites 76 et 35-bis présentant une faible infestation.

#### b) Diversité des auxiliaires observés



Nombre total moyen d'auxiliaires actifs par arbre en fonction de la variété, de la modalité de culture et du site

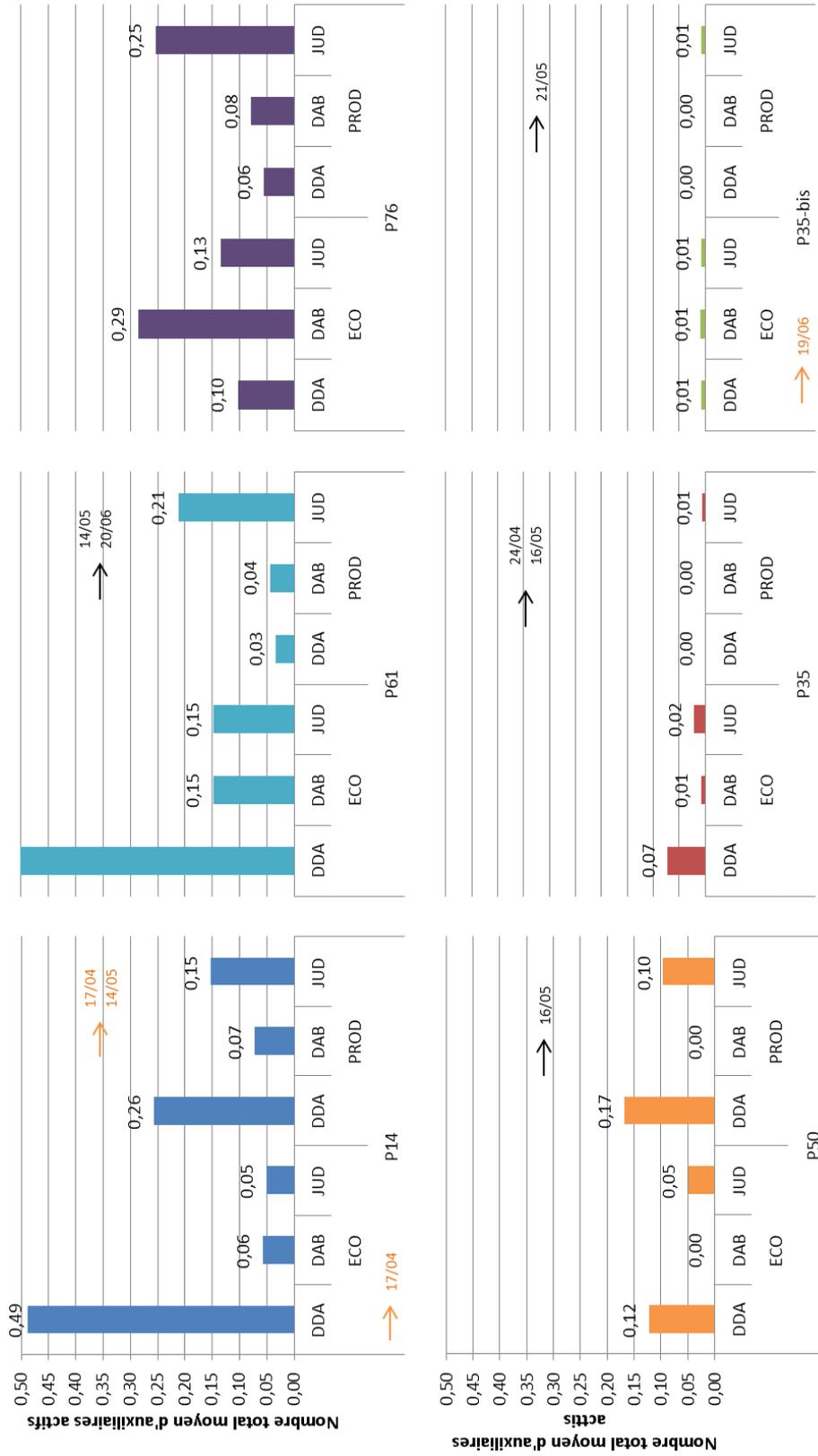


Figure 13 : Histogramme du nombre moyen d'auxiliaires actifs par arbre sommés sur l'ensemble des dates d'observation en fonction de la variété (DDA, DAB, JUD), de la modalité de culture (ECO, PROD) et du site (P14, P61, P35, P50, P76 et P35-bis).

La figure 12 représente les abondances des principaux groupes d'auxiliaires observés par modalité de culture tout site confondu. Sur l'ensemble des relevés, 3341 auxiliaires ont été observés : 62% dans la modalité ECO et 38% dans la modalité PROD. Malgré les écarts d'abondances, on note les mêmes familles d'auxiliaires majoritairement présentes au sein des deux modalités de culture.

Seuls les groupes d'auxiliaires présentant des effectifs notables ont été retenus dans les analyses. Il s'agit des Syrphes, Coccinelles, Forficules et Araignées.

### c) Abondance moyenne d'auxiliaires actifs par arbre

De même que pour les abondances de foyers de pucerons, nous avons construit un modèle linéaire généralisé avec une distribution de Poisson et un lien log pour la variable d'abondance d'auxiliaires actifs avec comme facteurs fixes les variables de notre plan d'expérience (site, modalité de conduite et variété) et l'ensemble de leurs interactions de premier ordre. La significativité a été testée par un test de Chi2 sur la part de la déviance expliquée par le modèle.

Les résultats sont présentés sur la figure 13. Là encore, il apparaît qu'à la fois le site, la variété ainsi que la modalité sont significatives ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Ces trois facteurs fixes influencent donc l'abondance des auxiliaires actifs par arbre.

Les abondances moyennes d'auxiliaires actifs suivent globalement les mêmes tendances que les abondances moyennes de foyers actifs de pucerons. En effet le modèle met en évidence un fort effet de la variété. On retrouve la même hiérarchie que pour les pucerons (DDA>DAB>JUD). Les variétés les plus infestées par le puceron sont celles les plus occupées par les auxiliaires actifs.

Le modèle indique également un effet de la modalité de conduite du verger. On retrouve un bénéfice de la modalité ECO, qui abrite plus d'auxiliaires actifs que la modalité PROD (Estimate PROD = -0.91). Les populations de pucerons étant supérieures dans PROD, on aurait pu s'attendre à retrouver également des populations d'auxiliaires supérieures. Ceci peut en partie s'expliquer là aussi par l'effet des traitements insecticides. Cependant, ces effets sont de nouveau très modulés par des effets d'interactions entre les sites, les modalités et les variétés (annexe n°2).

En regardant les graphiques représentatifs du nombre d'auxiliaires actifs en fonction de notre plan d'expérience, (figure3), on constate globalement des abondances des auxiliaires actifs supérieures dans la modalité ECO pour l'ensemble des sites à l'exception du site 50. La hiérarchie dans les variétés (DDA>DAB>JUD) est observable dans la modalité ECO des sites 50, 14 et 61. Par ailleurs, on observe de nouveau une inversion dans le classement des variétés dans la modalité PROD des sites 61, 76, 35 et 35-bis. Cette tendance paraît être en lien avec l'application précoce des traitements insecticides qui semble avoir en partie contrôlés les populations de pucerons mais également les populations d'auxiliaires.

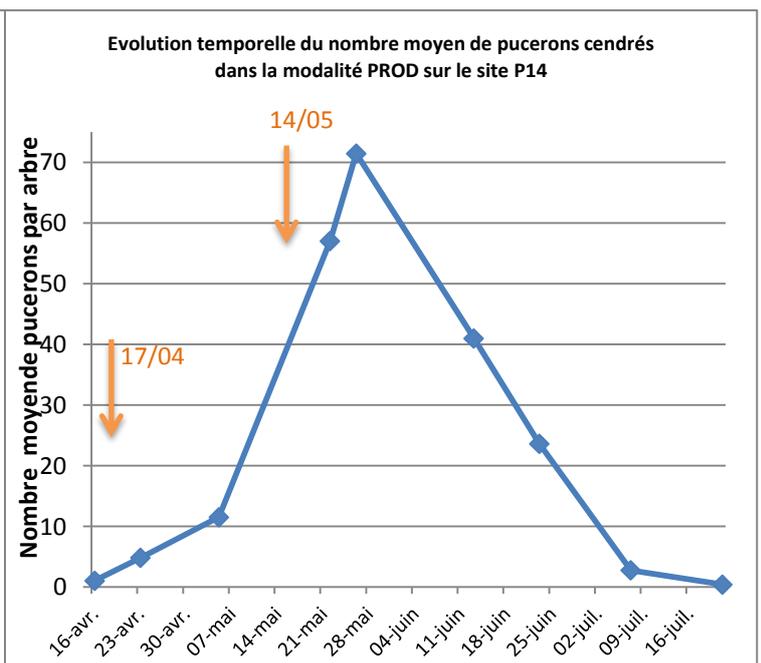
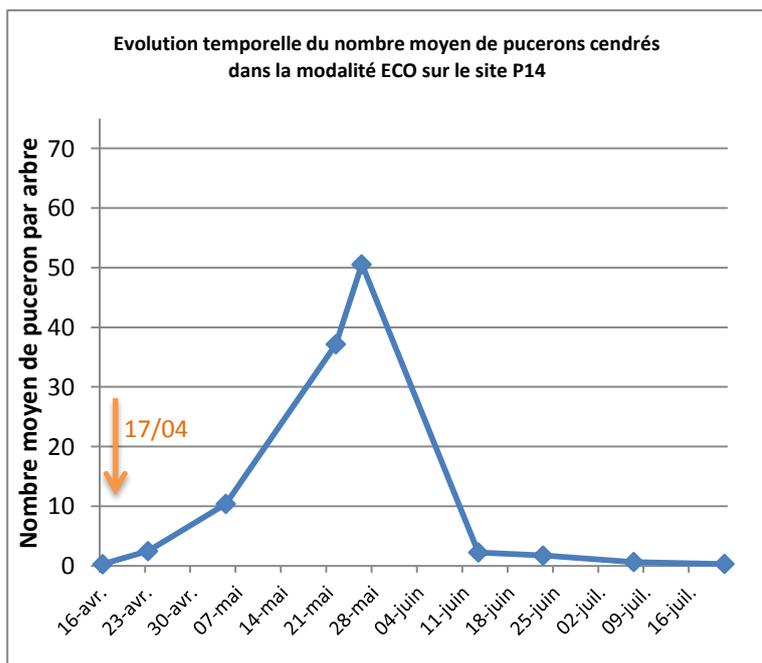
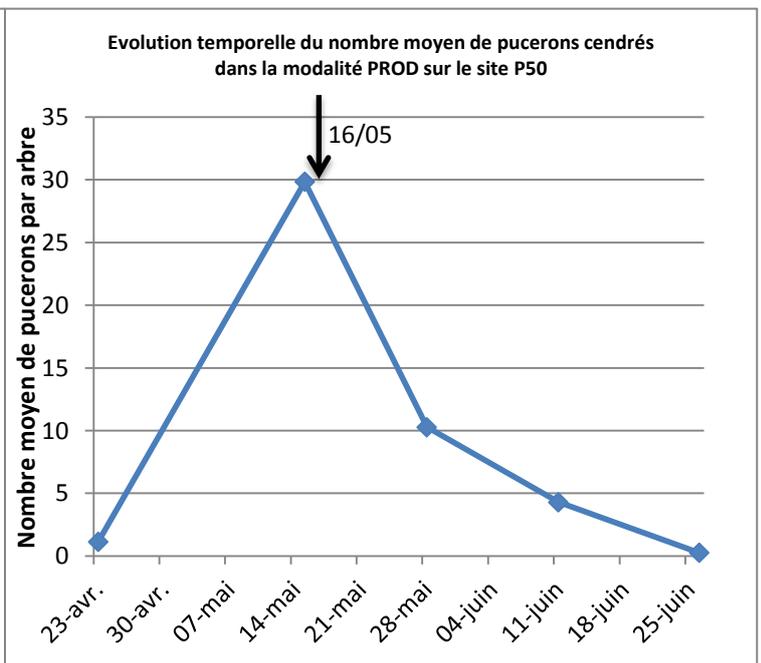
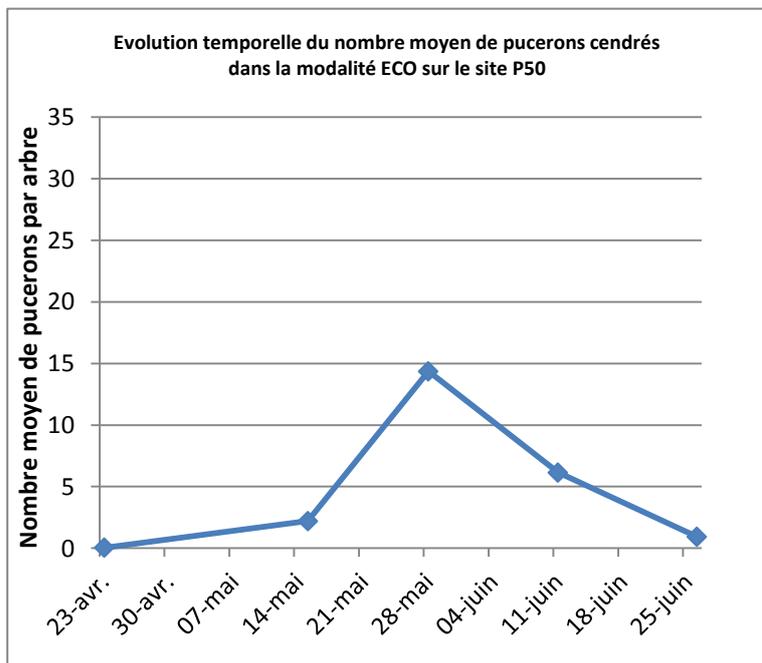
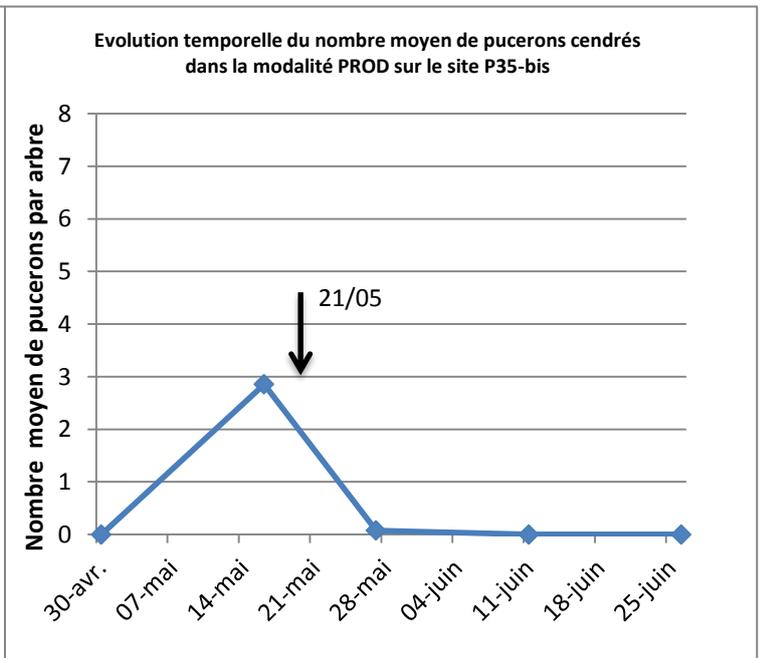
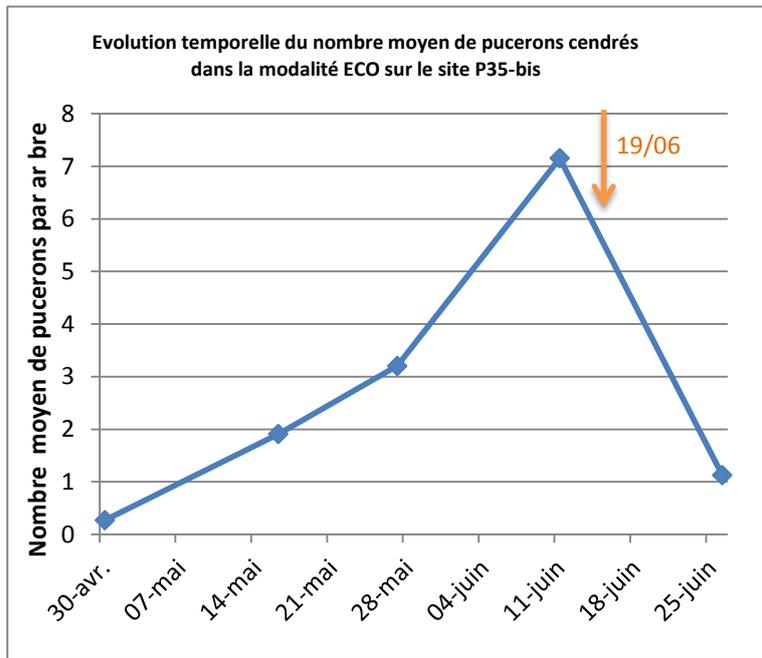


Figure 14 : Courbes des évolutions temporelles du nombre moyen de pucerons cendrés par arbre en fonction des dates d'observations et du site (P14, P61, P50 et P35-bis).

#### d) Dynamique des populations du puceron cendré

Le figure 14 présente la dynamique du puceron cendré au sein de trois de nos sites (35-bis, 14, 50). Ceux-ci ont été choisis car ils illustrent les différentes situations rencontrées au cours de nos relevés (les figures correspondant aux autres sites sont présentées en annexe n°3. Ces figures présentent la dynamique du puceron toutes variétés confondues mais en distinguant les deux modalités de culture ECO et PROD.

La première situation est illustrée par le site P35-bis. Elle correspond à une pression du ravageur très faible (nombre moyen de foyers actifs par arbre inférieur à 1,7). Nous pouvons observer une dynamique des populations similaire dans les deux modalités jusqu'au deuxième relevé. Ensuite, le traitement insecticide appliqué dans la modalité PROD a fortement fait chuté les populations alors que dans ECO, les populations de pucerons ont continué de s'accroître jusqu'à atteindre un pic le 11/06 avec en moyenne 7 pucerons par arbres. Les populations du ravageur semblent avoir été contrôlées par le traitement insecticide suivant le pic dans la modalité PROD. De même, un traitement de bio-contrôle a été appliqué dans ECO juste après le pic d'infestation, qui a pu contribuer en partie à la chute des abondances de de pucerons. Cette décroissance est probablement également imputable aux migrations des pucerons ailés, ainsi qu'à l'activité des auxiliaires.

Le site P50 présente une situation de pression du ravageur moyenne avec des différences dans la dynamique des pucerons entre les deux modalités.

En effet, nous pouvons constater que dès le 15/05 les populations de pucerons atteignent un pic de présence avec une moyenne de 30 individus par arbre dans la modalité PROD alors qu'à cette même date, la population dans la modalité ECO n'est que de 2,3 pucerons par arbre en moyenne. Cependant, tout comme dans la situation précédente, les populations dans la modalité PROD apparaissent maîtrisées par le traitement insecticide effectué le lendemain du comptage (16/05). Au contraire, dans la modalité ECO les populations continuent de croître pour atteindre un pic d'abondance 13 jours plus tard avant de décroître jusqu'à leur disparition complète le 26/06. Néanmoins, nous pouvons constater que la population moyenne au pic dans la modalité ECO n'est que légèrement supérieure à celle observée dans la modalité PROD à la même date malgré un traitement insecticide.

Enfin, la dernière situation illustrée par le site P14 présente une très forte pression du ravageur sur l'ensemble du site. Les populations de pucerons ont la même dynamique quelle que soit la modalité avec un pic atteint le 26/05. Nous pouvons tout de même remarquer que dans cette situation, les populations de pucerons au pic, sont plus importantes dans la modalité PROD que dans la modalité ECO malgré un traitement insecticide de bio-contrôle qui ne paraît pas avoir eu d'impact significatif.

Par ailleurs, il est intéressant de noter qu'il semble y avoir un décalage dans les dates d'apparition des pucerons entre les sites situés en Bretagne et ceux situés en Normandie. En effet, le puceron infeste les sites bretons en moyenne une semaine plus tôt que les sites normands.

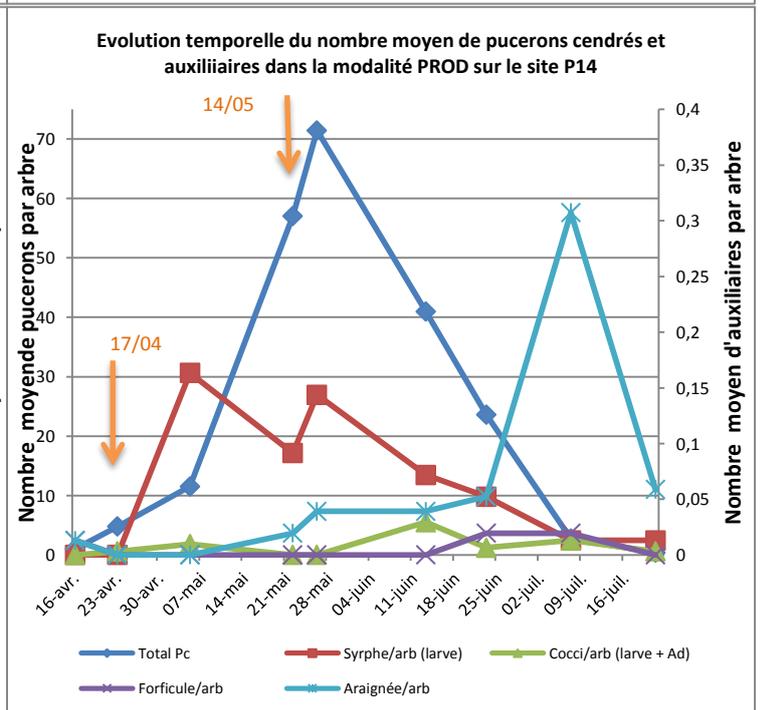
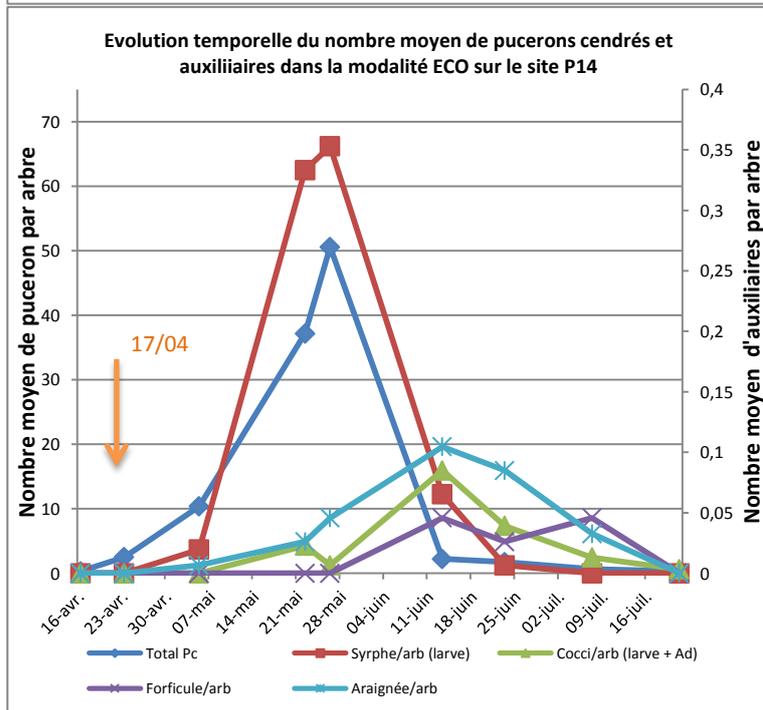
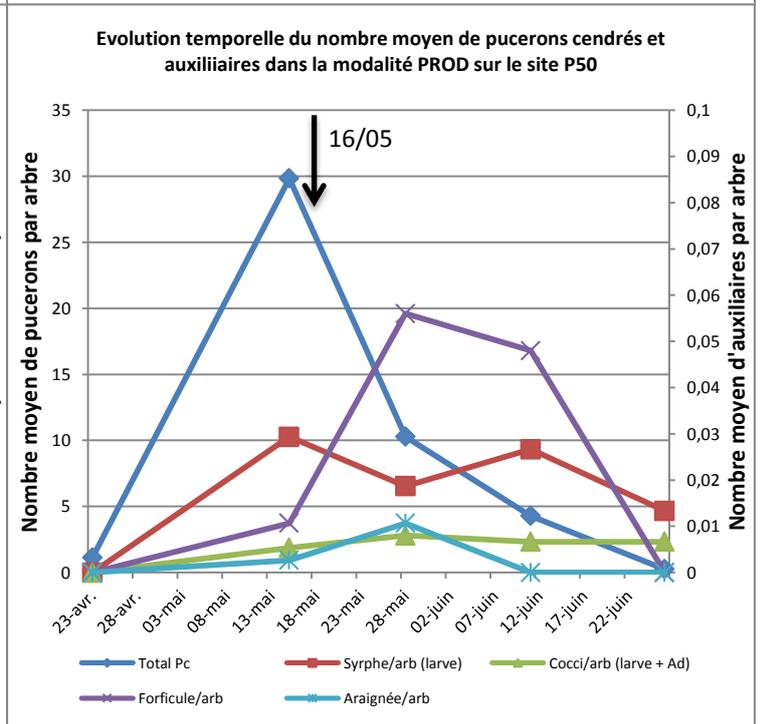
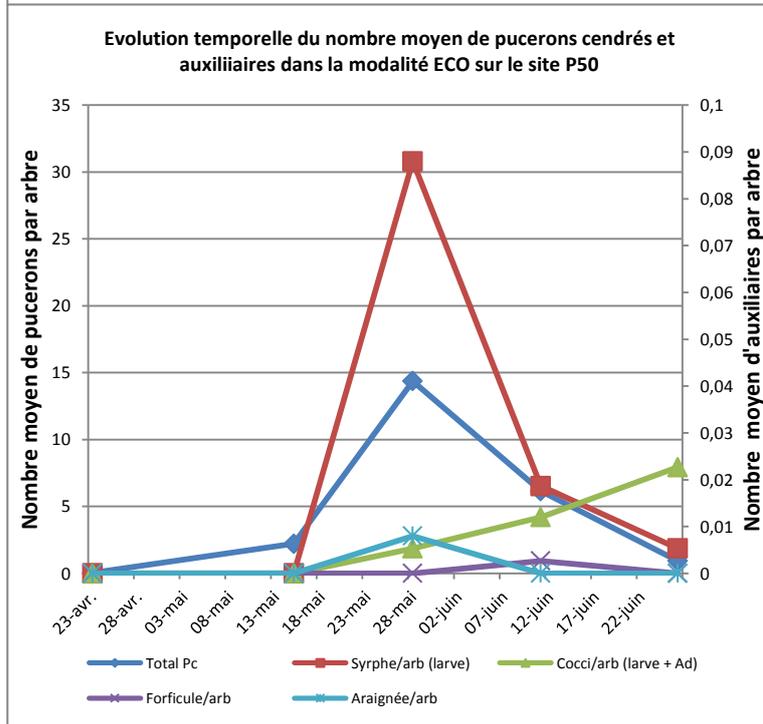
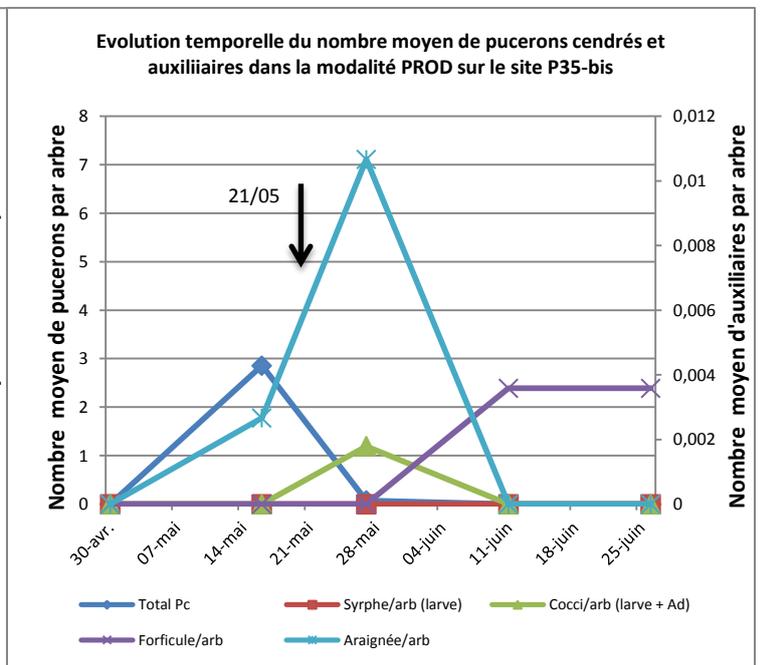
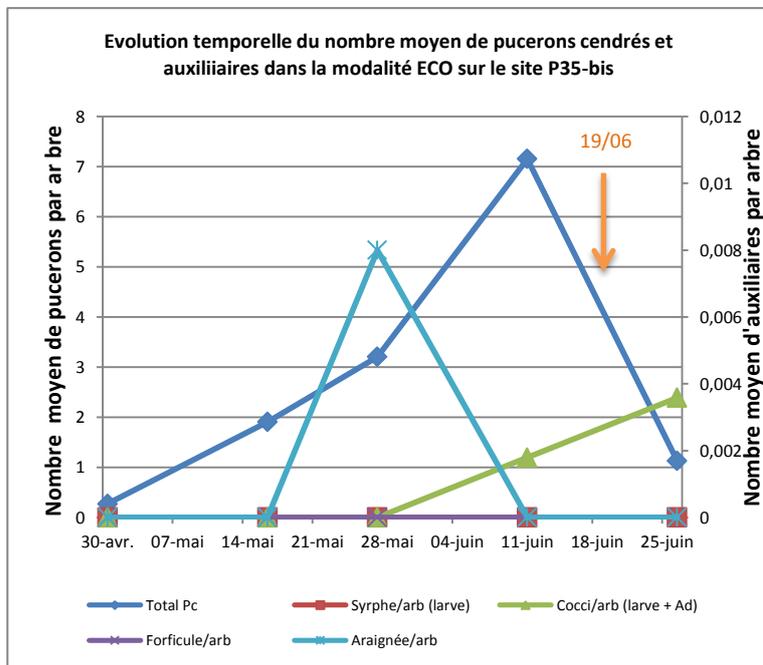


Figure 15 : Courbes des évolutions temporelles du nombre moyen de pucerons cendrés et d'auxiliaires par arbre en fonction des dates d'observations et du site (P14, P50 et P35-bis).

#### e) Dynamique des principaux auxiliaires en relation avec la dynamique des populations de pucerons cendrés

Dans cette partie, nous nous sommes attachés à décrire la dynamique des principaux auxiliaires actifs en relation avec la dynamique du puceron cendré afin de voir si leur présence coïncide avec celle du puceron. Dans ce but, nous nous sommes placés à la même échelle : celle du site. De même, nous avons pris pour exemple les mêmes sites pour illustrer les différentes situations rencontrées durant nos observations.

Tout d'abord, nous pouvons constater sur le site P35-bis (Figure 15) une faible présence des auxiliaires comme c'était déjà le cas pour l'abondance des pucerons. Dans les deux modalités, les araignées sont les auxiliaires les plus abondants avec un pic d'abondance à la même date dans ECO et PROD, le 27/05. Le traitement insecticide du 21 mai ne paraît pas avoir beaucoup impacté les populations d'araignées car leur abondance continue de s'accroître après le traitement. Dans la modalité ECO, où aucun traitement n'a été effectué avant le 19 juin (traitement de bio-contrôle), on observe une nette décroissance des populations d'araignées après le 30 mai en dépit de l'augmentation des ressources en puceron. L'abondance des coccinelles semble continuer de croître une fois le pic de puceron passé.

De plus, on peut noter une absence totale de syrphes sur ce site.

Au contraire, sur le site P50, on constate de fortes abondances de larves de syrphes qui sont les auxiliaires les plus nombreux. Leur pic de présence concorde avec le pic de présence des pucerons dans les deux modalités. Malgré quelques variations, on observe un comportement similaire de leurs dynamiques. Dans la modalité ECO qui n'a pas reçu de traitement insecticide, l'abondance des syrphes est plus forte que dans la modalité PROD. Les autres auxiliaires présentent un pic de présence décalé de 13 jours avec celui du puceron.

Notre troisième situation est représentée par le site P14, qui illustre la dynamique de population de pucerons et d'auxiliaires en cas de forte infestation de pucerons et d'importante présence des auxiliaires. Comme dans la précédente situation, les syrphes sont les auxiliaires les plus abondants et leur pic coïncide avec celui des pucerons. Là aussi on remarque une forte différence d'abondance entre les modalités. Les syrphes sont beaucoup plus nombreux dans la modalité ECO. Le traitement insecticide du 14/05 semble avoir impacté les populations de syrphes et de coccinelles. Néanmoins, les populations de syrphes ré-augmentent plus rapidement que celles des coccinelles dont le pic d'abondance est décalé.

Dans la modalité PROD, les populations d'araignées augmentent progressivement jusqu'au 07/07, alors que le pic d'abondance des pucerons est passé.

Enfin, dans la modalité ECO, la dynamique des coccinelles, araignées et forficules est semblable à celle du puceron avec un décalage des pics d'abondance de 17 jours.

#### B. Analyses des interactions dynamiques entre les populations pucerons et d'auxiliaires

Afin d'identifier les signatures d'interactions entre les différentes populations observées, des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées sur l'ensemble des abondances et des taux d'accroissement de celles-ci.

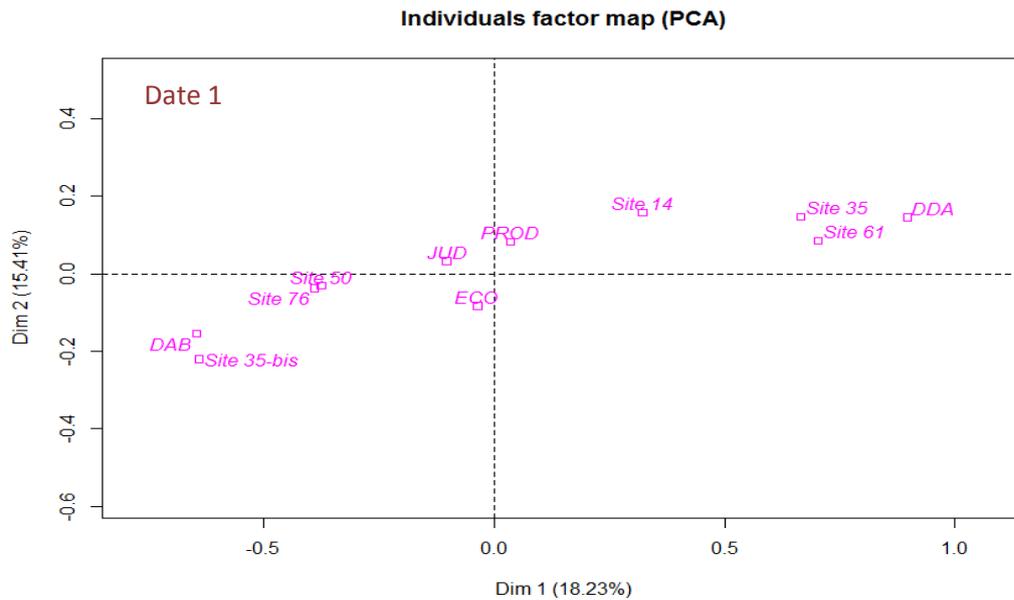


Figure 16a : Graphiques issus de l'analyse en composantes principales pour la date (11/04 au 01/05). Représentation des modalités du plan d'expérience (Site-Modalité de culture-Variété).

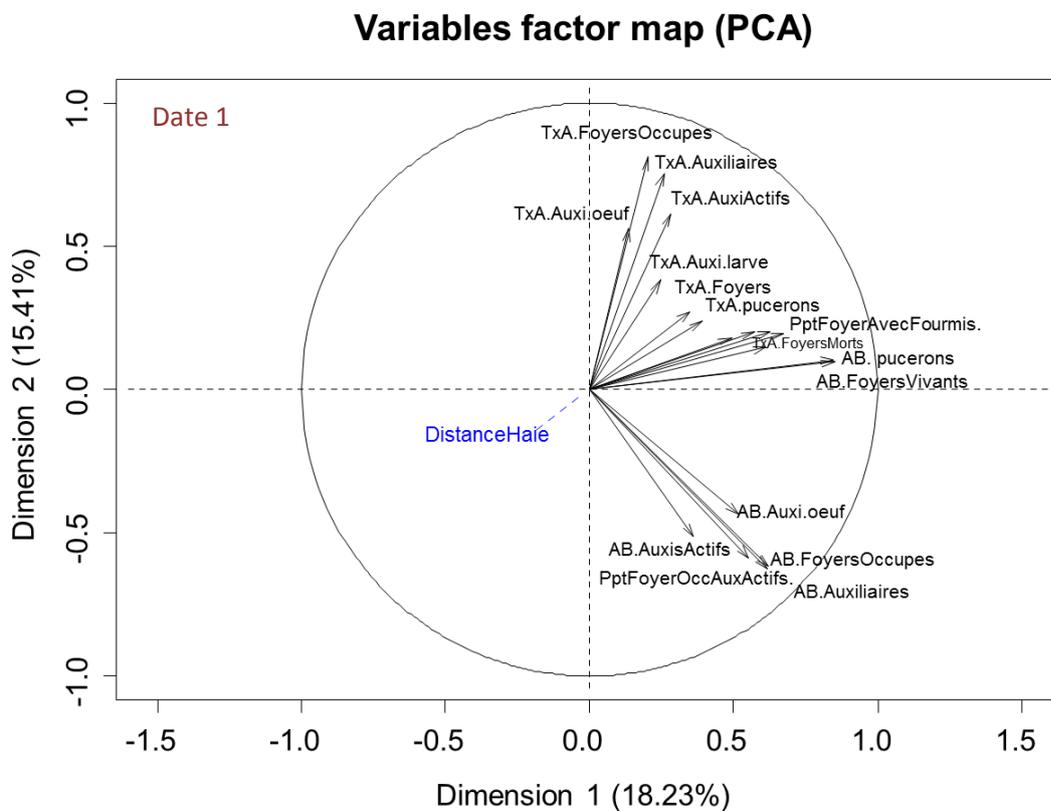


Figure 16b : Graphiques issus de l'analyse en composantes principales pour la date (11/04 au 01/05). Représentation des variables.

#### a) Phase de colonisation

La figure 16 présente les résultats de l'ACP réalisée pour la première période retenue (date 1 : 11/04 au 01/05 selon les sites). 33.6% de l'inertie totale est capturée par les deux premières dimensions.

La figure 16a nous donne les positions relatives des différentes modalités des facteurs étudiés (site, mode de conduite, variété) dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes. L'axe 1 oppose globalement les modalités caractérisées par des populations de pucerons élevées (variété DDA, sites P61, P14 et P35) aux modalités où ils sont peu nombreux (variété DAB, sites P76, P50 et P35-bis).

L'ACP confirme l'impression générale donnée par la partie descriptive des données avec de fortes disparités au sein des différents sites et des variétés en termes d'abondance de pucerons. A la date 1 seule la variété DDA est infestée, il s'agit d'une phase de colonisation des pucerons. La modalité de conduite du verger semble peu influencer cette phase de colonisation.

Les figures 6b nous donne la représentation des différentes variables actives dans le plan factoriel sélectionné. Pour faciliter la lecture, nous n'avons conservé que les variables les mieux représentées ( $\cos^2 > 0.15$ ). L'ACP complète est fournie en annexe n°4. Nous avons également conservé la variable illustrative « distance à la haie » bien qu'elle soit mal représentée sur ce plan factoriel. Cependant un examen de la matrice de corrélation entre cette variable et les dix premières composantes de l'ACP, nous indique que c'est sur l'axe 1 qu'elle est le mieux représentée.

On note une corrélation positive entre l'abondance des pucerons (abondance de foyers vivants) et la proportion de fourmis dans les foyers ce qui traduit probablement un effet positif de la présence des fourmis sur la phase d'émergence des colonies de pucerons. D'autres corrélations positives apparaissent entre l'ensemble des taux d'accroissements relatifs aux auxiliaires, d'une part, et leurs abondances, d'autre part, et les abondances de puceron. Au contraire, les taux d'accroissement des auxiliaires s'opposent à leurs abondances. Enfin, le taux d'accroissement des pucerons est indépendant de l'abondance en auxiliaires. L'ensemble de observations suggèrent que (1) la colonisation par les auxiliaires et le développement de leurs populations est favorisée par la présence de pucerons abondants, (2) le taux d'accroissement des auxiliaires est négativement corrélé à leurs abondances, suggérant un évitement et une répartition sur les patches de ressources et (3) l'absence de contrôle par les auxiliaires des populations de pucerons à ce stade.

Une autre corrélation bien visible sur ce plan factoriel est la corrélation entre la variable « distance à la haie » et les autres variables. En effet, il apparait clairement une corrélation négative avec le taux d'accroissement et l'abondance des populations de pucerons et de fourmis. Ce résultat suggère que les arbres situés à une faible distance de la haie sont plus infestés de pucerons et de fourmis. La présence de la haie, influence donc la dynamique des pucerons.

En revanche, les abondances d'auxiliaires apparaissent indépendantes de la distance à la haie.

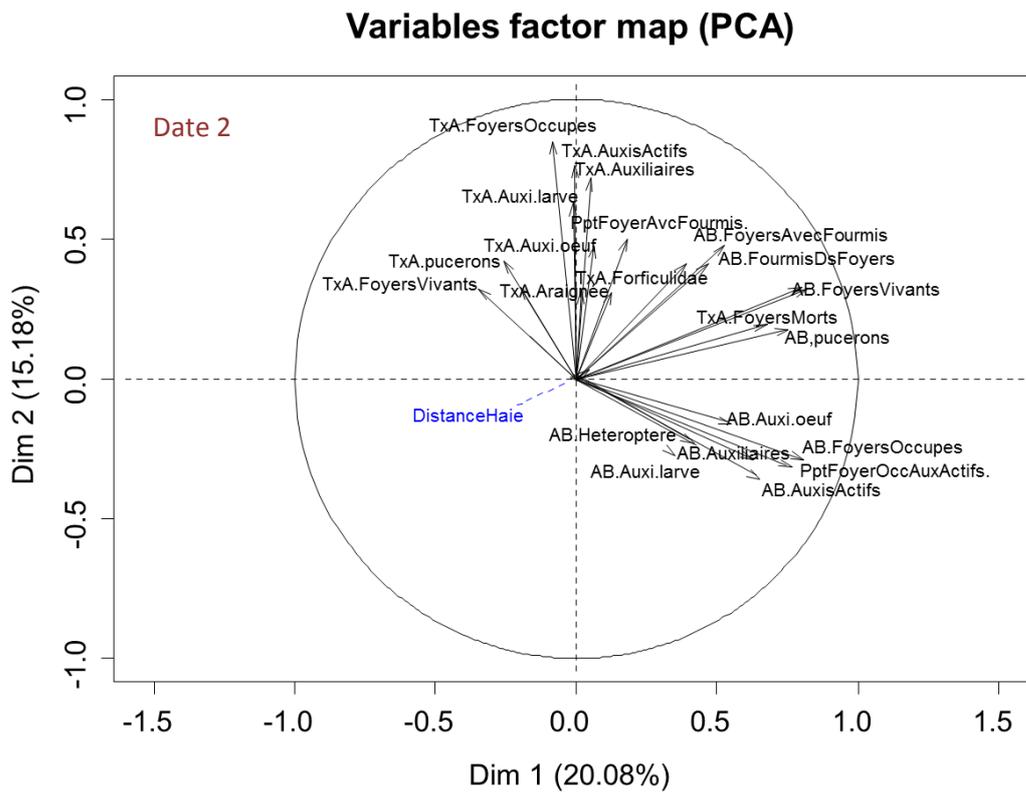
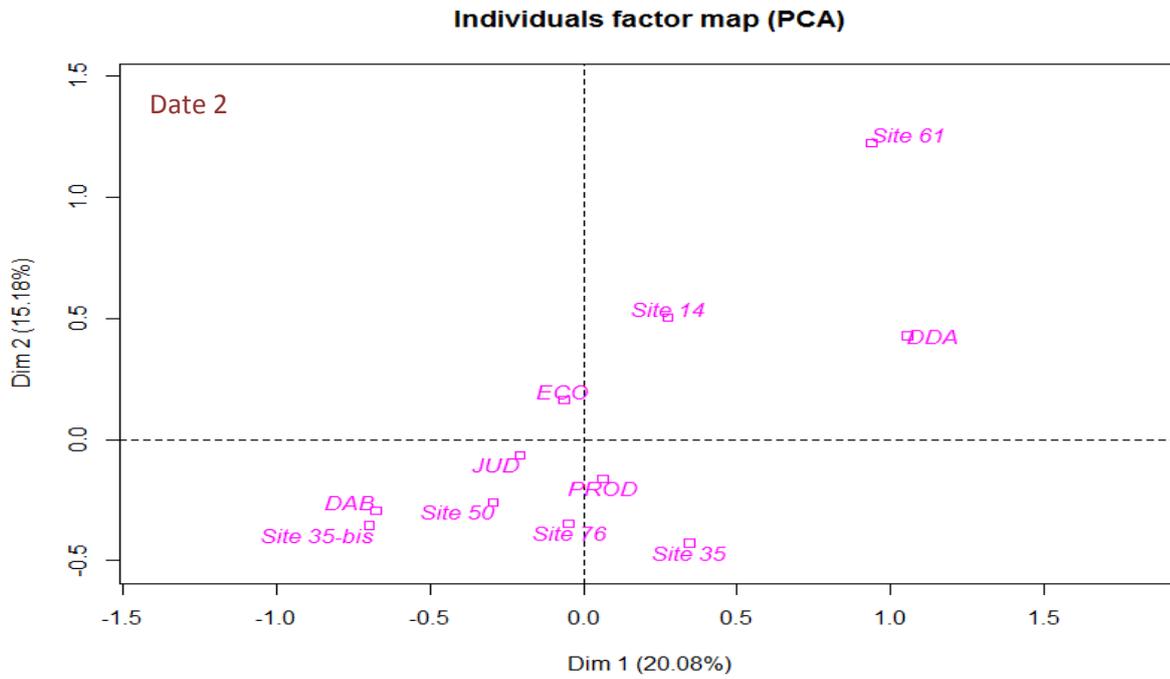


Figure 17 : Graphiques issus de l'analyse en composantes principales pour la date 2 (06/05 au 20/05).

Figure 17a : Représentation des modalités du plan d'expérience (Site-Modalité de culture-Variété).

Figure 17b : Représentation des variables fixes

b) Analyse des données à la Date 2 (06/05 au 20/05).

La figure 17 présente les résultats de l'ACP pour la seconde date. L'ACP normée réalisée sur ces données capture 35.3% de l'inertie totale sur les deux premières dimensions.

La figure 17a nous donne les positions relatives des différentes modalités des facteurs étudiés (site, mode de conduite, variété) dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes. Les positions relatives des modalités sur l'axe 1 sont très similaires à celles observées à la première date. Il s'agit toujours d'un axe de taille opposant les situations où les abondances sont fortes à des situations où celles-ci sont faibles.

La figure 17b nous donne la représentation des différentes variables dans le plan factoriel sélectionné. Comme précédemment, pour faciliter la lecture, nous n'avons retenu que les variables les mieux représentées (l'ACP complète est fournie en annexe n°4).

Dans l'ensemble, les relations entre variables sont assez similaires à celles observées à la première date avec une modification majeure concernant la relation entre le taux d'accroissement des pucerons et l'abondance des auxiliaires.

En effet, en regardant la corrélation entre les abondances d'auxiliaires actifs et le taux d'accroissement des pucerons, on constate une corrélation négative. Cette corrélation suggère la présence d'une régulation des populations de puceron par les auxiliaires entre les dates 2 et 3. De même, on constate une corrélation positive entre le taux d'accroissement du nombre de foyers mort et les abondances d'auxiliaires.

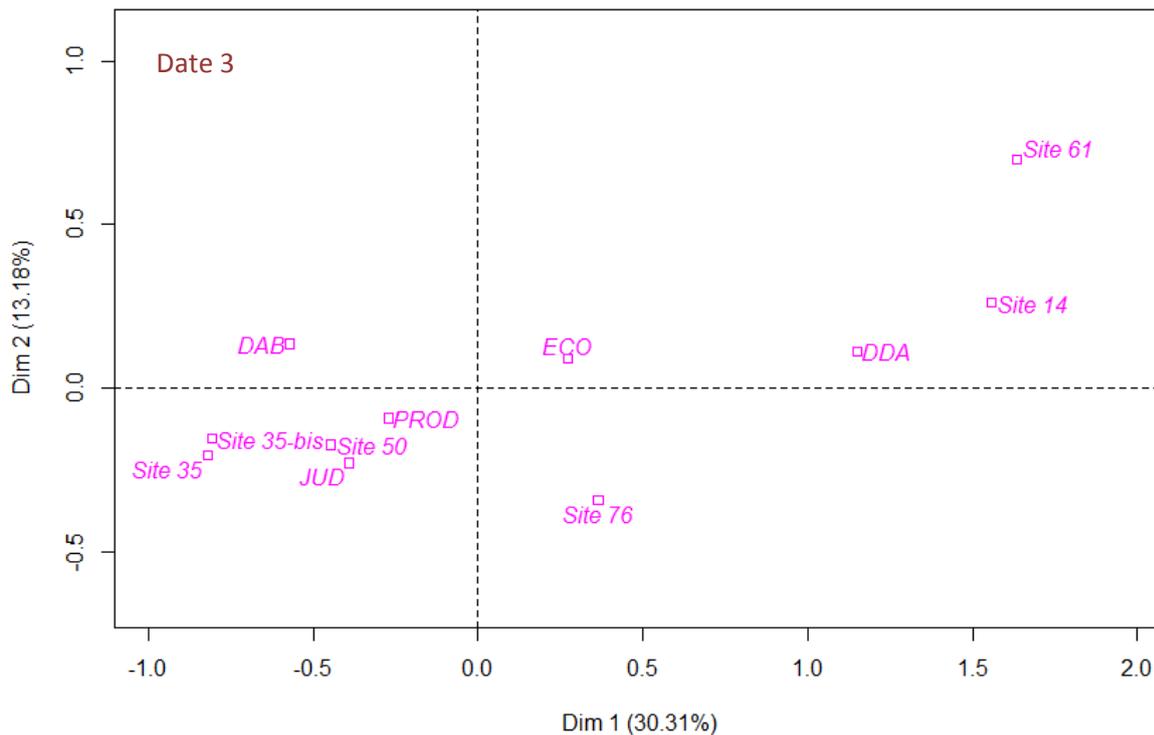
Les corrélations sensiblement positives entre les abondances d'auxiliaires et de pucerons nous suggèrent que nous sommes toujours à cette date dans une phase de colonisation des auxiliaires qui s'installent (ou se maintiennent) préférentiellement dans les arbres les plus colonisés par les pucerons. Par ailleurs, l'indépendance entre le taux d'accroissement des auxiliaires et l'abondance de pucerons, évoque un déplacement aléatoire des auxiliaires, il n'y aurait pas d'attractivité nette des arbres les plus infestés par les pucerons sur les auxiliaires. De plus, la corrélation entre les taux d'accroissement, suggère une capacité des auxiliaires, à détecter les foyers les plus productifs, peut-être parce qu'ils sont récents et potentiellement non occupés par d'autres auxiliaires.

Enfin, on note une indépendance entre la proportion de fourmis dans les foyers et les taux d'accroissement des populations de puceron ce qui suggère que les fourmis n'auraient pas d'effet de protection fort des pucerons et participeraient peu à la création de nouveaux foyers.

c) Analyse des données à la Date 3 (27/05-08/06) :

Notre troisième et dernière ACP (figure 18) nous indique le comportement de nos variables une fois le pic de populations des pucerons dépassé, lorsque les pommiers sont en pleine floraison. 43.5% de l'inertie totale à cette date est résumée sur les deux premières dimensions. La figure 18a représente les modalités de notre plan d'expérience pour cette nouvelle date. Nous pouvons y retrouver les mêmes informations que pour les première et deuxième dates concernant les facteurs site et variété.

### Individuals factor map (PCA)



### Variables factor map (PCA)

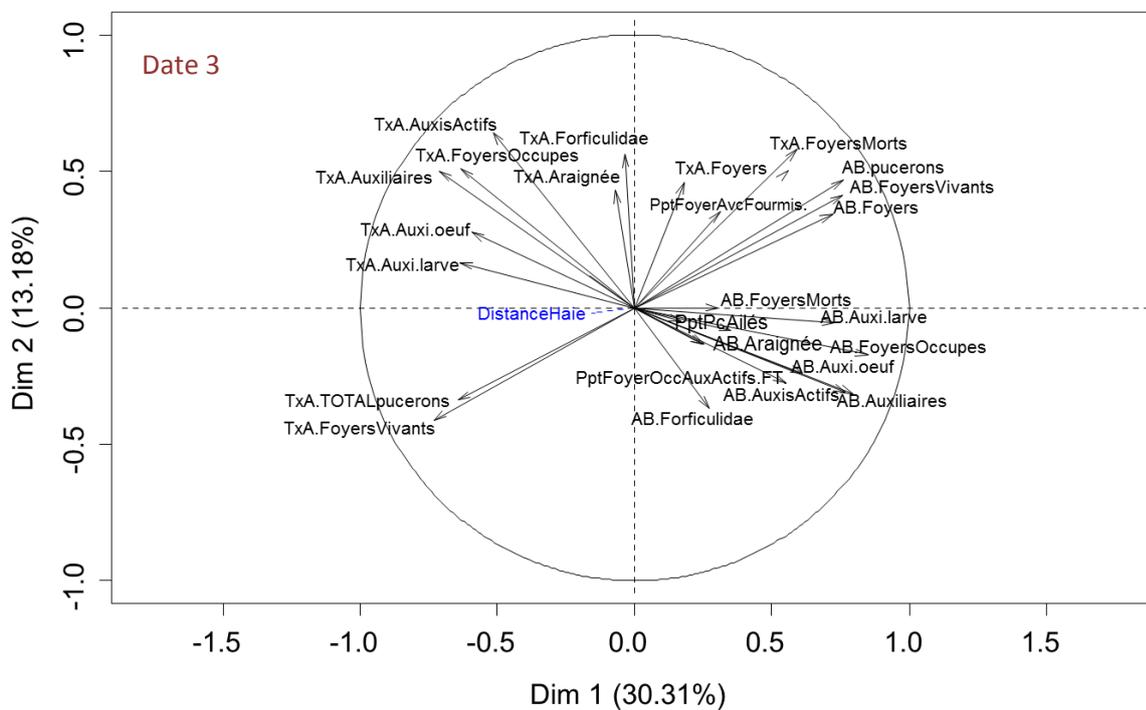


Figure 18 : Graphiques issus de l'analyse en composantes principales pour la date 3 (27/05-08/05).  
 Figure 18a : Représentation des modalités du plan d'expérience (Site-Modalité de culture-Variété).  
 Figure 18b : Représentation des variables fixes

Dans l'ensemble, les relations entre variables (figure 18b) sont à nouveau très similaires à celles observées à la deuxième date avec la persistance d'un effet de régulation naturelle.

On retrouve également une corrélation négative entre les abondances d'auxiliaires et leur taux d'accroissement, ce qui pourrait traduire l'existence d'une prédation intra-gilde des auxiliaires, la ressource en pucerons diminuant.

La principale différence observée dans l'ACP de cette troisième date est l'apparition d'une forte relation négative entre abondance et taux d'accroissement des pucerons. Cette relation suggère un possible effet de saturation des foyers : plus la présence de pucerons a été importante à la date 3, plus elle décroît à la date 4 (taux d'accroissement faible). Cette relation peut également résulter de la migration des pucerons dus à l'augmentation de leurs densités. A l'appui de cette hypothèse, on note une corrélation négative entre la proportion de pucerons ailés et le taux d'accroissement des pucerons.

Néanmoins, ce dernier résultat peut résulter d'un artefact dans le traitement de nos données. En les taux d'accroissement que nous avons considérés sont absolus et non pas relatifs. Ce choix a été dicté par la volonté de prendre en compte toutes les données, or l'accroissement relatif n'est plus calculable lorsque l'abondance des pucerons est nulle à la date antérieure (le dénominateur s'annule), situation fréquemment rencontrée. L'inconvénient majeur est d'introduire une relation fonctionnelle entre le taux d'accroissement et l'abondance susceptible de fausser les résultats des analyses.

Nous avons donc décidé de refaire les ACP pour les trois périodes dans un sous ensemble de notre jeu de donnée, en ne retenant que les arbres pour lesquelles l'abondance de pucerons est non nulle à la date considérée de manière à pouvoir évaluer le taux d'accroissement relatif des pucerons.

#### d) Analyse de données dans un sous ensemble de la population

Les nouvelles ACP effectuées dans le sous ensemble de notre jeu de données donnent approximativement les mêmes représentations des variables pour chacune des dates (ACP en annexe n°5).

On constate toujours un signal de régulation naturelle à la date 2 (corrélation négative entre les abondances d'auxiliaires et les taux d'accroissements relatifs au puceron). Cependant, on observe que la variable « taux d'accroissement relatif » est mal représentée.

On note que cette nouvelle analyse permet de mettre en avant un effet modéré de la modalité de culture sur l'ensemble de nos dates. Conformément aux résultats précédents (partie descriptive des données), on retrouve un bénéfice de la modalité PROD (moins infestée) dans la première date et de la modalité ECO pour les autres dates (meilleures occupations des auxiliaires).

#### e) Tests d'hypothèses

L'observation des résultats des ACP, nous permettent de poser deux hypothèses principales :

- Une apparition d'un phénomène de régulation naturelle à partir de la 2<sup>ème</sup> date. Effet traduit par la relation négative entre le taux d'accroissement des pucerons et l'abondance des auxiliaires actifs
- Une relation négative entre abondance et taux d'accroissement des pucerons à partir de la 3<sup>ème</sup> date, suggérant un effet de densité-dépendance négative (probablement imputable à la migration des pucerons).



Afin de conforter ces hypothèses et de tester la significativité des relations suggérées par les ACP nous avons réalisé des régressions linéaires (modèle gaussien) pour chacune des trois dates. Le but de ces modèles est de mettre en relation le taux d'accroissement des pucerons (variable quantitative à expliquer) avec d'une part l'abondance d'auxiliaires actifs (hypothèse 1) et d'autre part la proportion de pucerons ailés (hypothèse 2). L'effet des facteurs constituant notre plan d'expérience (site, modalité de culture et variété) ainsi que les interactions de premier ordre ont été inclus dans les modèles. L'influence des variables explicatives et le signe cette influence (sens de la relation) ont testés.

Les résultats obtenus sur notre premier jeu de données (ensemble de la population) sont présentés dans les tableaux ci-dessous. Le détail des analyses est fourni en annexe n°2. Les tableaux 1 et 2 présentent respectivement les résultats des hypothèses 1 et 2.

*Tableau 1 : Régression linéaire des abondances d'auxiliaires actifs sur le taux d'accroissement des pucerons (effet de régulation).*

Date	P-value	Sens de la relation
1	0.027	positif
2	0.023	négatif
3	2.2 <sup>e</sup> -16	négatif

Ces résultats confirment notre hypothèse, l'abondance d'auxiliaires actifs influence le taux d'accroissement des pucerons. Cependant, contrairement à ce que suggérait l'ACP en première période, on note également une relation significative entre les deux variables. Cette corrélation positive suggère bien une présence privilégiée des auxiliaires au sein des foyers les plus actifs.

*Tableau 2 : Régression linéaire de la proportion de pucerons ailés sur le taux d'accroissement des pucerons (effet de migration).*

Date	P-value	Sens de la relation
1	-	-
2	0.005	négatif
3	0.004	négatif

De même, les résultats de cette régression linéaire confirment notre hypothèse, les taux d'accroissement des pucerons des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> périodes sont conditionnés par la proportion de pucerons ailés dans les foyers.

Ces deux hypothèses ont également été testées sur le sous ensemble de population (arbres infestés par les pucerons). Nous avons supprimé les interactions de premier ordre du plan du fait du grand déséquilibre de nos données dans le plan d'expérience. Cependant, nous perdons tout de même toute significativité des relations. Ces résultats sont donc à prendre avec prudence.



## Discussion

### *Infestation par les populations de pucerons cendrés*

Dans notre étude des populations, nous avons mis en évidence des différences d'infestation en lien avec différents facteurs. Nous avons pu observer d'importantes disparités d'infestation selon les sites malgré leur relative proximité (région Nord-ouest de la France). Cette hétérogénéité peut être due à un ensemble de facteurs concomitants (conditions climatiques, pratiques culturales, phénomènes liées à la biologie du ravageur, environnement parcellaire, etc.).

Les conditions météorologiques hivernales peuvent influencer les éclosions du puceron cendré. Les températures moyennes du mois de février ont été approximativement comprises entre 4°C et 8°C en moyenne sur l'ensemble des sites (MétéoFrance), globalement favorables aux éclosions. Selon Bonnemaïson, (1959), des éclosions peuvent se produire dès que la température moyenne dépasse 4°C avec un taux augmentant avec la température jusque 13,5°C (optimum) au-delà, on note une diminution des taux d'éclosion. La température moyenne minimale de débourrement du pommier étant de 4,4°C, cela fait du puceron cendré un ravageur très adapté à son hôte (Graph *et al.*, 2006 cité par Poulet, 2011).

Les analyses mettent en évidence une infestation plus importante sur la variété Douce de l'Avent, particulièrement sensible dans les sites 14, 50, 61 et 35. Il s'agit d'une variété précoce et vigoureuse, deux caractéristiques favorables au développement des populations du puceron cendré. Cependant, l'observation à l'échelle du site nous a permis de constater que cette observation se vérifie surtout dans la modalité ECO, alors que la modalité PROD s'avère plus hétérogène. Ce différentiel entre les modalités de culture résulte des pratiques culturales. En effet, si on regarde les modalités PROD des sites 61 et 35, on note une plus faible infestation sur la variété Douce de l'Avent que sur la variété Judor. Ceci s'explique par les traitements insecticides précoces appliqués sur la variété Douce de l'Avent qui a retardé la prolifération du puceron sur cette variété, alors que la variété Judor se développant plus tard et étant infesté plus tardivement n'a pas été traité sur ces deux sites.

Des disparités d'infestation au sein des modalités de gestion du verger, peuvent également provenir des caractéristiques de l'environnement à proximité des arbres. Morel *et al.*, (2009) observent, par exemple, un effet 'bordure' en verger de pommes de table à l'INRA de Gotheron (69% d'arbres infestés en bordure contre 30% dans le centre du verger). Une des hypothèses qu'ils avancent pour expliquer ce phénomène serait un taux de colonisation plus élevé à l'automne sur les rangs de bordure au cours du vol de retour (Poulet, 2011). Les ACP ont mis en évidence une corrélation négative entre la distance à la haie et le taux d'accroissement et l'abondance des populations de pucerons et de fourmis. Ce résultat suggère que les arbres situés à une faible distance de la haie sont plus infestés de pucerons et de fourmis. La présence de la haie, influence donc positivement la dynamique de populations des pucerons, notamment dans la phase d'apparition des colonies.

La décroissance des populations dans la dernière période est imputable à la migration des pucerons ailés en fin de saison mais probablement également amplifiée par l'activité des auxiliaires.



### *Distribution spatio-temporelle des populations d'auxiliaires*

De même que pour les pucerons cendrés, les sites présentent des disparités importantes dans les abondances des auxiliaires qu'ils accueillent. Ces disparités sont probablement également dues à des différences de contextes paysagers et climatiques. Debras *et al.*, en 2006 ont souligné l'importance primordiales des variables environnementales sur la composition des communautés d'arthropodes de verger (28.7%) alors que les pratiques culturales et la densité des haies ne contribuent, respectivement, que pour 12.4% et 2.2% à l'explication de la variabilité observée.

Notre étude a mis en évidence que les communautés d'auxiliaires actifs étaient majoritairement composée de larves de syrphes, de coccinelles (larves et adultes), d'araignées et de forficules. Ces groupes d'auxiliaires ont déjà été montrés comme étant les plus abondant aussi bien en vergers cidricoles (Albert *et al.*, 2014) qu'en vergers biologiques de pommier de table dans le Sud-est de la France (Dib *et al.*, 2010). Cependant, les forficules semblaient surtout être présentes dans les foyers par opportunisme, les feuilles enroulées constitueraient un abri assez humide intéressant pour elles. Elles ne semblaient pas avoir un rôle de prédateur très efficace dans ce contexte, elles ont été observées majoritairement sur le site 61 et dans des foyers déjà vides. On peut avoir aussi sous-estimé leur impact en début de saison puisque la plupart des forficules sont actifs la nuit (Dib, 2010). Néanmoins Helsen *et al.* (1998) indiquent que dans les conditions climatiques les plus courantes, les populations de *Forficula auricularia* se développent tardivement dans les vergers par rapport au début de l'infestation de *D. plantaginea* ce qui va dans le sens de nos observations.

Les analyses ont permis de mettre en évidence une plus forte abondance globale des auxiliaires dans la modalité ECO. Une analyse site par site montre que les abondances sont plus élevées dans la modalité ECO que dans la modalité PROD dans les sites 14, 61 et 76 alors qu'elles sont plus faibles dans les sites 35 et 35-bis. Or les sites 14, 61 et 76 ont une bande fleurie située dans les inter-rangs de pommiers alors que dans le site 35, l'aménagement fleuri entoure le verger et qu'il est inexistant dans le site 35-bis (bande fleurie ressemée en fin de saison 2014). Ces constatations sont en accord avec les observations de Bianchi *et al.*, (2008). L'abondance des auxiliaires diminue rapidement avec l'éloignement à l'IAE. Installer des aménagement fleuris au sein du verger pourrait donc permettre un colonisation plus importante des foyers de puceron cendrés au printemps (Albert *et al.*, 2014). On note, par ailleurs, une présence importante de syrphes dans la modalité ECO. Les syrphes adultes ont besoin de nectar et de pollen pour leur développement (Lyon, 1965; Bugg, 2008) et pourraient donc être particulièrement sensibles à la présence de bande fleuries.

Outre l'impact de la présence d'IAE, les traitements insecticides semblent aussi influencer les populations d'auxiliaires. Dans les modalités PROD des sites 35 et 61, ayant tous les deux subi deux traitements ciblant les pucerons, on note une très faible présence d'auxiliaires dans les foyers. Plus encore, dans la modalité PROD du site 14, le traitement au kaolin (14/05), dont l'effet sur les pucerons apparaît avoir été limité, semble, en revanche, avoir eu un effet négatif sur les auxiliaires (larves de syrphes et coccinelles principalement). En effet, l'argile perturberait le comportement des insectes et pourrait avoir une action physique défavorable à l'activité de prédation des auxiliaires (Sackett *et al.*, 2007 ; Marko *et al.*, 2008). On observe une meilleure résistance des araignées aux insecticides sur le site P35-bis dont les populations continuent de croître malgré le traitement insecticide. Cette observation confirme les travaux de Marko *et al.*, (2009) qui suggèrent que les araignées possèdent une importante capacité de résilience après des traitements insecticides, notamment grâce à leur recolonisation rapide depuis les milieux adjacents aux vergers, par dispersion aérienne.



## *Liens entre la dynamique des populations de puceron cendré et les abondances d'auxiliaires*

Sur les sites 50, 14 76 et 61, les larves de syrphes semblent être les auxiliaires les plus abondants et les plus efficaces en termes de régulation naturelle du puceron cendré, du fait de la concordance de leurs pics de présence. Plusieurs études (Miñarro *et al.*, 2005 ; Dib *et al.*, 2010 ; Albert *et al.*, 2014) ont également mis en évidence cette apparition précoce des syrphes et leur bonne performance prédatrice vis à vis du puceron cendré qui nous poussent à penser qu'ils pourraient contribuer efficacement à limiter le nombre de *D. plantaginea* pendant la phase initiale de croissance démographique.

Les autres auxiliaires (coccinelles, forficules et araignées) colonisent les arbres plus tard dans la saison. Les décalages d'apparition peuvent s'expliquer du fait de l'augmentation de pucerons qui peut inciter au développement des prédateurs, et la réelle augmentation des effectifs de prédateurs. En effet, une des caractéristiques principales du puceron cendré est son importante capacité de multiplication permise par la phase parthénogénétique (Guettala, 2009).

Un réel potentiel de régulation du puceron cendré par les auxiliaires actifs a été mis en évidence par l'existence d'une relation négative entre leurs abondances et le taux d'accroissement des populations de pucerons. Une relation significative entre ces deux variables est observée dès la première période suggérant un impact précoce de ceux-ci.

Par ailleurs, la corrélation entre le taux d'accroissement du nombre de foyers vivants et le taux d'accroissement des effectifs d'auxiliaires sur les autres périodes, suggère une colonisation des foyers vivants les plus actifs c'est-à-dire potentiellement les plus jeunes et les plus productifs possédant un potentiel de développement plus important. Ceci traduit une capacité des auxiliaires à repérer de jeunes colonies en croissance qui ne sont pas encore colonisées par les fourmis lesquelles assurent leur protection vis-à-vis des auxiliaires (Miñarro *et al.*, 2010). On retrouve ce comportement notamment chez les syrphes. Les femelles pondent toujours à proximité des colonies de pucerons en expansion (Chandler, 1968a,b ; Bargaen *et al.*, 1998; Scholz et Poehling, 2000; Vanhaelen *et al.*, 2001) ceci afin que les larves sortantes trouvent aisément une ressource alimentaire abondante (Scholz et Poehling, 2000). Ces jeunes foyers pourraient être également plus attractifs car dépourvus d'auxiliaires et donc moins soumis aux effets de la compétition ou de la prédation intra-gilde. En effet, les auxiliaires semblent sensibles à la présence d'autres auxiliaires au sein des foyers. On observe ainsi une relation négative entre les taux de croissance et les abondances des populations d'auxiliaires, notamment durant la troisième période de notre étude. Polis *et al.* (1989) cité par Dib (2010) précisent que les pucerons étant la proie commune de nombreux prédateurs, des phénomènes de prédation intra-gilde ou de cannibalisme peuvent apparaître car beaucoup de prédateurs sont présents en même temps attirés par une même ressource et que les uns peuvent devenir les prédateurs des autres en particulier en cas de faible densité de pucerons. De la prédation intra-gilde a été notamment observée entre des Coccinellidae et le syrphe ceinturé *Episyrphus balteatus* (Alhmedi, 2007,2008). Ruzicka (2010) a également montré des mécanismes d'évitement des congénères chez les chrysopes. Elles sont capables de repérer une kairomone laissée par une autre chrysope dans un foyer de pucerons et réagissent en l'abandonnant pour aller s'installer dans un autre foyer. Cependant Wyss *et al.*, (1999) suggèrent que syrphes et coccinelles ne sont pas en concurrence, mais combinent leurs effets pour réduire les populations de *D. plantaginea*.

Enfin, les analyses confirment l'importance primordiale de la migration des pucerons sur leur dynamique dans les phases tardives de leur colonisation. La décroissance des populations est plus rapide dans les arbres où ils sont en forte densité en lien avec une proportion d'individus



ailés élevée. Selon DIXON (1988 a, b) cité par Guettala (2009), la production d'ailés est induite par des différents facteurs environnementaux incluant la photopériode, la densité de population et la qualité des ressources alimentaires. Par ailleurs, Laamari (2004), explique la disparition progressive des colonies par la diminution de la fertilité des aptères et la migration des ailés dues à l'évolution physico-phénologique de l'arbre hôte. La phénologie de l'arbre influence donc la dynamique des populations aphidiennes par l'intermédiaire des modifications physiologiques de leurs sources alimentaires.

## Conclusion

L'étude réalisée a permis de compléter les connaissances sur le potentiel de régulation naturelle du puceron cendré *D.plantaginea* en vergers cidricoles. Les résultats présentés illustrent la présence d'un cortège d'auxiliaires pouvant exercer un effet suppressif sur les populations de puceron cendré. Les larves de syrphes ont été identifiées comme la meilleure famille d'auxiliaires pouvant contrôler les populations croissantes de pucerons du fait de leur présence précoce dans les foyers.

Les infrastructures agro-écologiques étudiées (haies et bandes fleuries) apparaissent comme un bon levier d'action au renforcement des interactions entre auxiliaires et pucerons.

Cependant, nous avons aussi pu soulever de fortes difficultés d'homogénéisation entre les différents sites étudiés au cours de ce projet. D'une part le dispositif expérimental exploité repose sur une approche système, ne permettant pas de comparer les systèmes ECO et PROD selon un seul facteur à la fois mais selon un ensemble de paramètres. D'autre part, le complexe ravageur/auxiliaires étudié est dépendant de nombreux facteurs interagissant entre eux tels que la biologie des insectes, le comportement et la capacité de déplacements des arthropodes, leurs interactions (compétition, prédation intra-gilde etc.), la proximité et la disponibilité en ressources alternatives, les perturbations liées aux pratiques culturales ainsi que les conditions climatiques du milieu (Simon *et al.*, 2010 ; Simon *et al.*, 2015). Ceci illustre toute la complexité d'étudier des relations entre les différents niveaux trophiques impliqués dans la régulation naturelle de bio-agresseurs.

Favoriser la présence d'auxiliaires clés au moment propice de la saison, par des pratiques culturales adaptées ou des infrastructures agro-écologiques, permettrait d'augmenter la régulation naturelle des bio-agresseurs et ainsi de maintenir leur population sous un seuil économiquement viable pour le système de production.

Afin d'optimiser ce bio-contrôle, cette étude pourrait être complétée par des études automnales ou hivernales. En effet, notre étude s'est concentrée sur la période printanière et estivale, mais il semblerait intéressant d'étudier et d'évaluer également le potentiel de régulation naturelle au moment du vol retour de *D. plantaginea* vers le pommier. La consommation des œufs durant l'hiver pourrait peut-être limiter les populations de pucerons cendrés le printemps suivant. De même, au cours de cette étude, nous avons pu montrer que les variétés de pommiers à cidre n'avaient pas la même sensibilité au puceron cendré (stade phénologique décalée, vigueur des arbres différentes...). L'exploitation de ce levier variétal semble être une piste intéressante d'approfondissement afin de disposer de matériel végétal peu sensible à un ensemble de bio-agresseurs et présentant une résistance durable.



## Références bibliographiques

- Albert L., Plantegenest M., Franck P., Gilles Y., 2013. Etude de la biodiversité en verger cidricole. AFPP Dixième Conférence internationale sur les ravageurs en agriculture.
- Alhmedi A., Francis, F., Bodson B., Haubruge E., (2007). Intraguild interactions of aphidophagous predators in fields: effect of *Coccinella septempunctata* and *Episyrphus balteatus* occurrence on aphid infested plants. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences Ghent University* 72, 381–390.
- Alhmedi A., Haubruge E., Francis F., (2008). Role of prey–host plant associations on *Harmonia axyridis* and *Episyrphus balteatus* reproduction and predatory efficiency. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 128, 49–56.
- Baudry J. and Burel F. (1998). Dispersal, movement, connectivity and land use processes. European congress of the International Association for landscape ecology, Preston (GBR), Dover, J.W. Bunce, R.G.H.
- Bargaen, H., Saudhof, K., and Poehling, H. M. 1998. Prey finding by larvae and adult females of *Episyrphus balteatus*. *Entomol. Exp. Appl.* 87:245–254.
- Bianchi F. & Wäckers F., (2008) – Effect of flower attractiveness and nectar availability in fields margins on biological control by parasitoids. *Biological control* 46,3 , 400-408.
- Bishop, D.B. & Bristow, C.M. (2003) 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, 202–210.
- Blommers, L.H.M., (1999). Probing the natural control of rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae). *IOBC/WPRS Bulletin* 22, 53–56.
- Blommers, L.H.M., Helsen, H.H.M., Vaal, F.W.N.M., (2004). Life history data of the rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea* (Pass.) (Homopt., Aphididae) on plantain and as migrant to apple. *Journal of Pest Science* 77, 155–163.
- Bonnemaïson, L. (1959) Le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea* Pass.) Morphologie et biologie—Méthodes de lutte. *Annales INRA, Série C Epiphyties*, III, 257–322.
- Boreau de Roince C. (2012). Biodiversité et aménagements fonctionnels en verger de pommiers : Implication des prédateurs généralistes vertébrés et invertébrés dans le contrôle des ravageurs. Thèse de Doctorat. AgroParisTech.
- Bribosia, E., Bylemans, D., Migon, M., Van Impe, G., (2005). In-field production of parasitoids of *Dysaphis plantaginea* by using the rowan aphid *Dysaphis sorbi* as substitute host. *BioControl* 50, 601–610.
- Brown, M.W. & Matthews, C.R. (2007) Conservation biological control of rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* (Passerini), in Eastern North America. *Environmental Entomology*, 36, 1131–1139.
- Brun Cassandre, 2013, Les services écosystémiques rendus par les infrastructures agro-écologiques. Mémoire de fin d'étude Master 2 Géographie : Parcours Espace, Dynamiques de milieux et risques.
- Bugg, R.L., Colfer R., Chaney W.E., Smith H.A., and Cannon J. (2008). Flower flies (syrphidae) and other biological control agents for aphids in vegetable crops. Agriculture and Natural Resources Publication. 8285.
- Carter, M.C., Dixon, A.F.G., (1984). Honeydew: an arrestant stimulus for coccinellids. *Ecological Entomology* 9, 383–385.
- Carroll, D.P., Hoyt, S.C., (1984). Augmentation of European earwigs (Dermaptera: Forficulidae) for biological control of apple aphid (Homoptera: Aphididae) in apple orchard. *Journal of Economic Entomology* 77, 738–740.
- Chandler, A.E.F. (1968). Some host-plant factors affecting oviposition by aphidophagous (Diptera: Syrphidae). *Ann. Appl. Biol.* 61:415–423.
- Chandler, A.E.F. (1969). Locomotive behavior of first instar larvae of aphidophagous Syrphidae (Diptera) after contact with aphids. *An. Behav.* 17:673–678.
- Dib H., 2010. Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera: Aphididae) en vergers de pommiers. Thèse de Doctorat, Université d'Avignon



- Dib H., Simon S., Sauphanor B., Capowiez Y., 2010. The role of natural enemies on the population dynamics of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea Passerini* (Hemiptera: Aphididae) in organic apple orchards in south-eastern France. *Biological Control* 55, 97-109.
- De Berardinis, E., P. Baronio and J. Baumgärtner, (1994). The effect of aphid (*Dysaphis plantaginea* Pass., Hom., Aphididae) feeding on apple fruit growth. *Ecol. Model.* 72:115–127.
- Debras JF. (2001). Optimisation du choix des essences d'une haie composite pour lutter contre le psylle du poirier *Cacopsylla pyri* L. Mémoire (Ingénieur Diplômé par l'Etat) option Agriculture. ENSA-Ecole Nationale Supérieure Agronomique.
- Debras, J.-F., Dussaud, A., Rieux, R., Dutoit, T., 2007. Recherche prospective sur le rôle « source » des haies en production fruitière intégrée. Le cas des perce-oreilles: *Forficula auricularia* L. et *Forficula pubescens* Gené. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* 330, 664–673.
- Dedieu, J.-L., (1998). Les pucerons cendrés en 1998: année atypique ou nouvelle situation. *La Lettre du Cercle Arbo* 11: 1.
- Delorme, R., Auge, D., Touton, P., Villatte, F., 1997. Résistance de *Dysaphis plantaginea* à divers produits insecticides en France. ANPP-4ème conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier, pp.45–52.
- Deplaud H., Dupont N., 2009 -Verger de demain : vers des vergers à faible intrant. *Pomme à cidre* 23, 16-18.
- Dixon, A.F.G. (1998) *Aphid Ecology*, 2nd edn. Chapman & Hall, London, U.K.
- Downes JA. 1974. Sugar feeding by the larvae of *Chrysopa* (Neuroptera). *Canadian Entomologist*, 106:121-125.
- Fleckinger (INRA). Stades phénologiques du pommier. En PDF, sur <http://www.vd.ch/fr/themes/economie/agriculture/production-vegetale/arboriculture/>
- Forrest, J.M.S. & Dixon AFG, (1975). The induction of leaf-roll galls by the apple aphids *Dysaphis devecta* and *D. plantaginea*. *Ann. Appl. Biol.* 81: 281–288.
- Garcin A., Vandrot H. (2003). Pêcher en culture biologique : Intérêt des bandes florales pour favoriser les aphidiphages. p. 26-30 (5) *Info Ctifl* n°188.
- Gilbert, F., 1986. Hoverflies. *Naturalists' Handbooks* (5). Cambridge University Press, Cambridge.
- Graf, B., Baumgärtner, J., Delucchi, V., 1985. Simulation models for the dynamics of three apple aphids *Dysaphis plantaginea*, *Rhopalosiphum insertum*, and *Aphis pomi* (Homoptera, Aphididae), in a Swiss apple orchard. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 99, 453–465.
- Graf, B., H. Hoehn and H.U. Hoepfli, (1999). Optimizing the control of rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea* (Pass.) (Homoptera : Aphididae). *IOBC/WPRS Bull.* 22(7): 71–76.
- Graf B., Höpli H.U., Höhn H., Samietz J. (2006) Temperature effects on egg development of the rosy apple aphid and forecasting of egg hatch, *Entomologia Experimentalis et Applicata*, n° 119, p 207-211.
- Guérin A. (2012). Favoriser les auxiliaires grâce aux bandes fleuries pour protéger le verger cidricole Synthèse bibliographique. Institut Français des Productions Cidricoles.
- Guettela Frah N. (2009). Entomofaune, Impact Economique et Bio- Ecologie des Principaux Ravageurs du Pommier dans la région des Aurès. Université de Batna, Faculté de sciences, Département Agronomie 178p.
- Helsen, H., Vaal, F., Blommers, L., (1998). Phenology of the common earwig *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae) in an apple orchard. *International Journal of Pest Management* 44, 75–79.
- Hemptinne, J.L., A.F.G. Dixon and J. Coffin, (1992). Attack strategy of ladybird beetles (Coccinellidae): factors shaping their numerical response. *Oecologia* 90: 238–245.
- Hemptinne, J-L., Doucet JL and Gaspar C., (1994). How do ladybirds and syrphids respond to aphids in the fields? *IOBC/WPRS Bull.* 17, 101–111.
- Hemptinne, J-L., A. Magro, A. Maureau, M. Hullé and A.F.G. Dixon, (2004). Development of a forecasting system for the integrated pest management of *Dysaphis plantaginea*. In: A.C. Simon, C.A. Dedryver, C.F. Rispe and M. Hulle´ (eds), *Aphids in a New Millenium*, INRA Editions, Paris, pp. 313 318.
-



- Herrmann, J.D., Bailey, D., Hofer, G., Herzog, F., Schmidt-Entling, M.H., (2010). Spiders associated with the meadow and tree canopies of orchards respond differently to habitat fragmentation. *Landsc. Ecol.* 25, 1375-1384.
- Hickman J.M. & Wratten SD. (1996). Use of *Phacelia tanacetifolia* strips to enhance biological control of aphids by hoverfly larvae in cereal fields. *Journal of Economic Entomology*, 89(4): 832-840.
- Hindayana D., Mayhöfer R., Scholz D. & Poehling H.M., 2001. Intraguild predation among the hoverfly *Episyrphus balteatus* DeGeer (Diptera: Syrphidae) and other aphidophagous predators. *Biol. Control*, 20(3), 236-246.
- Husson F., Josse J., Le S. & Mazet J., 2014 -FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R. R package version 1.26 - <http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR>
- Ipert G. (1974). Les Coccinelles. Les organismes auxiliaires en verger de pommier OILB /SROP. 3: 111- 121.
- Ipert G., Brun J., & Samie C. (1983). Influence des facteurs climatiques, et plus particulièrement des mouvements atmosphériques turbulents de l'air, sur l'envol migratoire d'une coccinelle *Aphidiphage Semiadalia undecimnotata*. Bulletin de l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la Protection des plantes, 13 (2) : 235-240.
- Iwai, H., Niijima, K., Matsuka, M., (2007). An artificial diet for aphidophagous syrphids, *Episyrphus balteatus* (de Geer) and *Eupeodes bucculatus* (Rondani) (Diptera: Syrphidae) using drone honeybee brood powder. *Applied Entomology and Zoology* 42, 167–172.
- Laamari M. (2004). Etude éco-biologique des pucerons dans quelques localités de l'est-Algérien. Thèse de doctorat d'état en sciences agronomiques. I. N. A. EL- Harrach- Alger, 204 p.
- Landis DA., Wratten SD & Gurr GM., 2000 – Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pest in agriculture. *Annual Review of Entomology* 23, 2, 11-117.
- Libourel G. (2007). Approche des effets de la nutrition de la plante sur les insectes qui s'en nourrissent? In: Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques, Caen, 4 & 5 décembre 2007, 4p.
- Lyon JP. (1965). Influence de quelques facteurs sur l'expression du potentiel de multiplication des syrphides aphidiphages. *Ann. Epiphyt.*, 16(4), 397-398.
- Marko V., Blommers L.H.M., Bogya S. & Helsen H., 2008. Kaolin particle films suppress many apple pests, disrupt natural enemies and promote woolly apple aphid. *J. Appl. Entomol.* 132, 26–35.
- Marko, V., Keresztes B., Fountain MT., Cross JV. (2009). Prey availability, pesticides and the abundance of orchard spider communities. *Biological Control* 48, 115-124.
- Miñarro, M., Hemptinne, J-L. & Dapena, E. (2005) Colonization of apple orchards by predators of *Dysaphis plantaginea*: sequential arrival, response to prey abundance and consequences for biological control. *BioControl* , 50, 403–414.
- Miñarro, M., Fernández-mata G., and Medina P. (2010) Role of ants in structuring the aphid community on apple. *Ecological Entomology*, vol. 35, no. 2, pp. 206–215.
- Morel K., Lecorre M., Durrand E., Garnier A., Simon S. (2009) Puceron cendré / Auxiliaires, In : Réunion bilan technique arboriculture biologique – SEFRA, le 02 décembre 2009, 10 p.
- Nagy, C., Markó, V., Cross, J., 2007. Effects of exclusion or supplementary honey feeding of the common black ant, *Lasius niger* (L.), on aphid populations and natural enemies on apple. *IOBC/wprs Bulletin* 30, 43–50.
- Niemczyk E. (1999) Occurrence and effectiveness of some predatory bugs (Heteroptera) in apple orchards *Integrated Plant Protection in Orchards*, *IOBC/wprs Bulletin*, Vol. 22,n° 6, p39 –46.
- Pekar, S., Kocourek, F., 2004. Spiders (Araneae) in the biological and integrated pest management of apple in the Czech Republic. *J. Appl. Entomol.* 128, 561-566.
- Peusens, G., Buntinx, L., Gobin, B., (2006). Parasitism of the parasitic wasp *Ephedrus persicae* (Frogatt) on the rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea* (Passerini). *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences Ghent University* 71, 369–374.
- Poulet J. (2011). Quels systèmes-vergers biologiques en pomme à cidre en Normandie ? Mémoire de fin d'étude. Agrocampus Ouest Centre d'Angers 154p.



- Polis G.A., Myers C.A., Holt R.D., (1989). The Ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20, 297–330.
- Qubbaj, T., Reineke, A., Zebitz, C.P.W., (2005). Molecular interactions between rosy apple aphids, *Dysaphis plantaginea*, and resistant and susceptible cultivars of its primary host *Malus domestica*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 115, 145–152.
- R Core Team, 2015 - R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria* -<http://www.R-project.org/>.
- Rat-Morris, E., 1994. Analyse des relations entre *Dysaphis plantaginea* (Passerini) (Insecta, Auchenorrhyncha) et sa plante hôte *Malus x domestica* Borkh: étude de la résistance du cultivar Florina. Thèse de Doctorat, Université François Rabelais, Tours.
- Ricard JM., Garcin A., Jay M., Mandrin JF. (2012). Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. Paris, Edition Ctifl, 472p.
- Romet L. 2005. Bandes florales et biodiversité fonctionnelle en verger. Journées Techniques Fruits & Légumes et Viticulture Biologiques, Beaune, les 6 et 7 décembre 2005, pages 53 à 60.
- Ruzicka Z, 2010. Detection of oviposition-detering larval tracks in *Chrysopa oculata* and *Chrysopa perla* (Neuroptera: Chrysopidae). *Eur. J. Entomol.* 107: 65–72 .
- Schepers A. 1989. Chemical control of Aphids. In *World Crop Pests* (Editor in Chief: Helle W); Aphids, their Biology, Natural Enemies and Control (eds: Minks AK, Harrewijn P) Vol. 2C; 89-122.
- Sackett T.E., Buddle C. M., Vincent C. (2007). Effects of kaolin on the composition of generalist predator assemblages and parasitism of *Choristoneura rosaceana* (Lep., Tortricidae) in apple orchards. *J. Appl. Entomol.* 131(7), 478–485. *J. Appl. Entomol.* 131(7), 478–485.
- Sarthou J.P., 2006. Dossier : la biodiversité dans tous ses états. *Alter Agri* n°76, p 4-14.
- Sauphanor, B., (1992). Une phéromone d'agregation chez *Forficula auricularia*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 62, 285–291.
- Scholz, D., Poehling, H.-M., (2000). Oviposition site selection of *Episyrphus balteatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94, 149–158.
- Schaulb L., Bloesch B., Graf B. & Höhn H., 1995. Fiche 201: Pucerons cendré et des galles rouges du pommier. Confédération Suisse, Agroscope Changins-Wädenswil ACW.
- Scholz, D., and Poehling, H. M. 2000. Oviposition site selection of *Episyrphus balteatus*. *Entomol. Exp. Appl.* 94:149–158.
- Schowalter, T.D., (2006). *Insect Ecology: An Ecosystem Approach*. Academic Press, London, UK.
- Simon S, Bouvier JC, Debras JF, Sauphanor B (2010) Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 139-152.
- Simon S., Marliac G., Capowiez Y. 2015. Quelles pratiques agro-écologiques pour contrôler les bio-agresseurs dans un système pérenne, le verger de pommiers? *Innovations Agronomiques* 43 (2015), 29-40.
- Smith, R.A., Mooney, K.A. & Agrawal, A.A. (2008) Coexistence of three specialist aphids on common milkweed, *Asclepias syriaca*. *Ecology*, 89, 2187–2196.
- Stry P., (1970). Biology of aphid parasites (Hymenoptera: Aphidiidae) with respect to integrated control. Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands.
- Stry P., (1975). Parasites (Hymenoptera, Aphidiidae) of leaf-curling apple aphids in Chechoslovakia. *Acta Entomologica Bohemoslovaca* 72, 99–114.
- Stadler, B., Dixon, A.F.G., (1999). Ant attendance in aphids: why different degrees of myrmecophily? *Ecological Entomology* 24, 363–369.
- Stewart-Jones, A., Pope, T.W., Fitzgerald, J.D. & Poppy, G.M. (2008) The effect of ant attendance on the success of rosy apple aphid populations, natural enemy abundance and apple damage in orchards. *Agricultural and Forest Entomology*, 10, 37–43.
- Symondson WOC. (2002). Molecular identification of prey in predator diets. *Molecular Ecology*. 11(4):627-41.
- Tixier-Boichard M., Lescourret F. (2015). Mieux utiliser la biodiversité pour réussir la transition agro-écologique : une synthèse de l'atelier 'Utiliser la biodiversité'. *Innovations Agronomiques* 43, 41-50.
-



- TransBioFruit, 2013. Les principales clés du verger bio transfrontalier. Pommes et poires, une approche globale. 44p
- Vanhaelen, N., Haubruge, E., Gaspar, C., and Francis, F. (2001). Oviposition preferences of *Episyrphus balteatus*. *Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent.* 66/2a.
- Villenave-Chasset J. 2006. Etude de la Bio-écologie des Névroptères dans une perspective de lutte biologique par conservation. Thèse de Doctorat. Institut National d'Horticulture Angers.
- Vogt H., Weigel A., (1999). Is it possible to enhance the biological control of aphids in apple orchard with flowering strips? IOBC/WPRS Bulletin 22, 39–46.
- Wyss E. (1995). The effects of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 75, 43–49. .
- Wyss E., Niggli U., Nentwig W., (1995). The impact of spiders on aphid populations in a strip-managed apple orchard. *J. Appl. Ent.* 119(7), 473-478.
- Wyss E., M. Villiger, J.-L. Hemptinne and H. Müller-Schärer, (1999a). Effects of augmentative releases of eggs and larvae of the ladybird beetle, *Adalia bipunctata*, on the abundance of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea*, in organic apple orchards. *Entomol. Exp. Appl.* 90: 167–173.
- Wyss, E., M. Villiger and H. Müller-Schärer, (1999b). The potential of three native insect predators to control the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea*. *BioControl* 44: 171–182.

## Annexes

### ANNEXE n°1 : Protocoles des relevés effectués dans le cadre du suivi de la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole

#### ✓ Protocole Carte de prédation

Dans le cadre d'un projet de recherche piloté par l'unité PSH de l'INRA d'Avignon (ANR agrobiosphère *PEERLESS* 2013-2016) sur la «Viabilité d'une gestion écologique renforcée de la santé des plantes dans les paysages agricoles», des expérimentations en grandes cultures et en vergers de pommier sont menées sur plusieurs sites français pour étudier l'impact relatif des bandes fleuries par rapport à d'autres aménagements en bordure de parcelle sur le contrôle biologique des insectes ravageurs (Lavigne, 2014). Nous avons suivi le protocole commun de ce projet en mettant en place des cartes de prédatations sur deux de nos sites d'études (14 et 61) afin d'obtenir un indicateur d'activité des auxiliaires au sein des vergers. Ces cartes ont été mises en place à la date correspondant à 1200 et à 1500 degrés jour cumulés (DJC) calculés en base 0°C à partir de la date arbitraire de 1<sup>er</sup> janvier. Chaque carte est constituée d'un morceau de papier de verre de 5 cm x 5 cm fixé au sol avec un clou ou agrafé dans la canopée interne des pommiers.

Quatre types de cartes sont mises en place:

- *Carte de graines* : 10 graines de *Viola arvensis* sont déposées sur l'ensemble de la carte.
- *Carte d'œufs Ephemera kuehniella*
- *Carte d'œufs de carpocapse* : 10 œufs environ issus de l'élevage de PSH (comptage du nombre d'œufs exact et inscription au dos de la carte).
- *Carte de pucerons Acyrthosiphon pisum (puceron de pois)* : 3 individus par carte.

→ Positionnement des cartes :

Les cartes à 1200 DJC ont été posées aléatoirement sur 10 arbres sur le rang du milieu de Dabinett dans les deux modalités (ECO et PROD). Celles de 1500 DJC, ont, quant à elles, été mises en place dans Douce de l'Avent (plus précoce et homogène que Dabinett), sur le rang coté Dabinett.

Sur chaque arbre, nous avons placé au sol : 1 carte de graines et une carte de pucerons ; dans la canopée : une carte d'œufs d'*Ephestia*, une carte d'œufs de carpocapse et une carte de puceron.

→ Période d'installation des cartes :

Toutes les cartes sont à installer en même temps à 1200 et 1500 DJC (soit les semaines du 20 mai et du 16 juin en Basse Normandie). Les cartes puceron sont relevées après un jour d'exposition ; toutes les autres cartes sont relevées après 4 jours d'exposition.

→ Notation de la prédation :

Les nombres de pucerons, graines et œufs de carpocapse restant après 1 ou 4 jours d'exposition ont été dénombrés. La présence/absence d'œufs d'*Ephestia* après l'exposition a été notée.

✓ Suivi des arthropodes du sol :

Trois pots Barber ont été placés aléatoirement, au centre des inter-rangs de chaque variété dans chacune des modalités de façon à avoir un gradient de distance aux IAE.

Trois pots ont également été mis en place dans chaque IAE suivie (haie de séparation ECO/PROD, îlots de bandes fleurie, haies de bordure). Ce qui donne un total de 9 pots dans la modalité ECO, 9 dans la modalité PROD et 3 pots par IAE.

Ces pots sont en plastique alimentaire d'un volume de 500mL. Ils contiennent une solution constituée d'un 1/3 d'alcool éthylique dénaturé à 95°C et de 2/3 d'eau.

Les pots restent ouverts durant 7 jours. Un relevé par mois a été effectué d'avril à septembre.

Le tri et l'identification seront par la suite effectués au laboratoire à l'aide de clés d'identification et par des spécialistes.

## ANNEXE n°2 : Codes R utilisés pour les analyses

### 1. Description générales des données

- *Corrélation entre les variables d'abondance de pucerons et de foyers vivants de pucerons*

```
Call:lm(formula = AB.FoyersVivants ~ AB.TOTALpucerons, data = Data03.se1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-16.477	-0.213	-0.213	-0.213	12.431

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )	
(Intercept)	0.2130320	0.0106434	20.02	<2e-16	***
AB.TOTALpucerons	0.0179987	0.0001579	113.96	<2e-16	***

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 0.919 on 7808 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6245, Adjusted R-squared:  0.6245
F-statistic: 1.299e+04 on 1 and 7808 DF, p-value: < 2.2e-16
```

- *Modèle linéaire généralisé par la variable « abondance de foyers vivants de puceron »*

```
> res.lm <- glm(AB.FoyersVivants~ (Site + Variete + Modalité)^2, data=Data03
.sel, family=poisson)
> anova(res.lm, test="Chisq")
Analysis of Deviance Table      Model: poisson, link: log
```

```
Response: AB.FoyersVivants
Terms added sequentially (first to last)
```

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			7809	15629.0	
Site	5	2652.60	7804	12976.4	< 2.2e-16 ***
Variete	2	1787.94	7802	11188.4	< 2.2e-16 ***
Modalité	1	46.83	7801	11141.6	7.738e-12 ***
Site:Variete	10	883.47	7791	10258.1	< 2.2e-16 ***
Site:Modalité	5	660.09	7786	9598.0	< 2.2e-16 ***
Variete:Modalité	2	423.49	7784	9174.5	< 2.2e-16 ***

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(res.lm)
```

```
Call: glm(formula = AB.FoyersVivants ~ (Site + Variete + Modalité)^2,
family = poisson, data = Data03.sel)
```

```
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.5590 -0.7914 -0.3921 -0.1372  9.9413
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)   -1.1611    0.1163  -9.984 < 2e-16 ***
Site35         -0.8215    0.1960  -4.192 2.77e-05 ***
Site35-bis    -1.4799    0.2290  -6.462 1.03e-10 ***
Site50        -5.2200    0.4685 -11.141 < 2e-16 ***
Site61         1.1947    0.1238   9.648 < 2e-16 ***
Site76         0.2933    0.2134   1.374 0.169360
VarieteDDA     2.0638    0.1195  17.273 < 2e-16 ***
VarieteJUD    -2.1178    0.1854 -11.423 < 2e-16 ***
ModalitéPROD   0.7166    0.1216   5.892 3.81e-09 ***
Site35:VarieteDDA 0.1156    0.2035   0.568 0.570078
Site35-bis:VarieteDDA -1.7341    0.2828  -6.132 8.70e-10 ***
Site50:VarieteDDA 3.3840    0.4595   7.365 1.78e-13 ***
Site61:VarieteDDA -0.9113    0.1271  -7.170 7.51e-13 ***
Site76:VarieteDDA -2.9781    0.3559  -8.369 < 2e-16 ***
Site35:VarieteJUD 3.6682    0.2424  15.131 < 2e-16 ***
Site35-bis:VarieteJUD 2.1934    0.2959   7.413 1.24e-13 ***
Site50:VarieteJUD 3.4023    0.4821   7.058 1.69e-12 ***
Site61:VarieteJUD 1.2291    0.1816   6.767 1.31e-11 ***
Site76:VarieteJUD 1.6116    0.3090   5.216 1.83e-07 ***
Site35:ModalitéPROD -2.4357    0.1377 -17.685 < 2e-16 ***
Site35-bis:ModalitéPROD -1.8969    0.2300  -8.248 < 2e-16 ***
Site50:ModalitéPROD 0.9994    0.1344   7.434 1.05e-13 ***
Site61:ModalitéPROD -1.9568    0.1011 -19.347 < 2e-16 ***
Site76:ModalitéPROD -2.2786    0.2810  -8.110 5.06e-16 ***
VarieteDDA:ModalitéPROD -0.4638    0.1200  -3.865 0.000111 ***
VarieteJUD:ModalitéPROD 1.7401    0.1422  12.235 < 2e-16 ***
```

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)
Null deviance: 15629.0 on 7809 degrees of freedom
Residual deviance: 9174.5 on 7784 degrees of freedom
```

AIC: 12661  
Number of Fisher Scoring iterations: 7

- *Modèle linéaire généralisé par la variable « abondance d'auxiliaires actifs »*

```
> res.lm <- glm(AB.AuxisActifs ~ (Site + Variete + Modalité)^2, data=Data03.s  
el, family=poisson)  
> anova(res.lm, test="Chisq")  
Analysis of Deviance Table Model: poisson, link: log
```

Response: AB.AuxisActifs  
Terms added sequentially (first to last)

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	Pr(>Chi)
NULL			7809	4594.1	
Site	5	634.41	7804	3959.7	< 2.2e-16 ***
Variete	2	408.67	7802	3551.0	< 2.2e-16 ***
Modalité	1	60.92	7801	3490.1	5.959e-15 ***
Site:Variete	10	125.07	7791	3365.0	< 2.2e-16 ***
Site:Modalité	5	108.88	7786	3256.1	< 2.2e-16 ***
Variete:Modalité	2	60.23	7784	3195.9	8.331e-14 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
> summary(res.lm)

```
Call: glm(formula = AB.AuxisActifs ~ (Site + Variete + Modalité)^2,  
family = poisson, data = Data03.sel)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.3081	-0.4028	-0.1563	-0.0520	8.7436

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-2.59499	0.27815	-9.330	< 2e-16 ***
Site35	-1.77576	0.64009	-2.774	0.005533 **
Site35-bis	-3.08186	1.03744	-2.971	0.002972 **
Site50	-16.56900	312.37902	-0.053	0.957699
Site61	-0.36549	0.40381	-0.905	0.365404
Site76	1.18690	0.35600	3.334	0.000856 ***
VarieteDDA	1.73756	0.29839	5.823	5.77e-09 ***
VarieteJUD	-1.45385	0.44234	-3.287	0.001014 **
ModalitéPROD	-0.91394	0.42602	-2.145	0.031929 *
Site35:VarieteDDA	-0.01328	0.69257	-0.019	0.984696
Site35-bis:VarieteDDA	-0.16078	1.13368	-0.142	0.887220
Site50:VarieteDDA	15.60778	312.37904	0.050	0.960151
Site61:VarieteDDA	1.06691	0.42214	2.527	0.011491 *
Site76:VarieteDDA	-2.09056	0.45075	-4.638	3.52e-06 ***
Site35:VarieteJUD	1.86242	0.85628	2.175	0.029628 *
Site35-bis:VarieteJUD	1.85098	1.32481	1.397	0.162364
Site50:VarieteJUD	16.21245	312.37919	0.052	0.958608
Site61:VarieteJUD	3.04212	0.53068	5.732	9.90e-09 ***
Site76:VarieteJUD	1.18372	0.52060	2.274	0.022979 *
Site35:ModalitéPROD	-3.34463	1.05767	-3.162	0.001566 **
Site35-bis:ModalitéPROD	-2.15003	1.13517	-1.894	0.058224 .
Site50:ModalitéPROD	0.64181	0.26956	2.381	0.017269 *
Site61:ModalitéPROD	-1.70842	0.25885	-6.600	4.11e-11 ***
Site76:ModalitéPROD	-0.86961	0.36883	-2.358	0.018385 *
VarieteDDA:ModalitéPROD	0.55614	0.43461	1.280	0.200679
VarieteJUD:ModalitéPROD	2.16572	0.45303	4.781	1.75e-06 ***

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 4594.1 on 7809 degrees of freedom  
Residual deviance: 3195.9 on 7784 degrees of freedom  
AIC: 3982.9  
Number of Fisher Scoring iterations: 17

## 2. Analyses des interactions dynamiques entre les populations de pucerons et d'auxiliaires

- Régression linéaire entre les variables « taux d'accroissement des pucerons », « abondance d'auxiliaires actifs » et les modalités du plan d'expérience.

DATA 1

```
> res.lm = lm(TxA.TOTALpucerons ~ AB.AuxisActifs + (Site + Modalité + Variete)
^2, data=DataP1)
> anova(res.lm)
```

Analysis of Variance Table

Response: TxA.TOTALpucerons

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
AB.AuxisActifs	1	29.2	29.24	4.8803	0.02725	*
Site	5	442.0	88.39	14.7518	2.721e-14	***
Modalité	1	0.8	0.81	0.1352	0.71317	
Variete	2	992.9	496.45	82.8542	< 2.2e-16	***
Site:Modalité	5	1074.6	214.91	35.8672	< 2.2e-16	***
Site:Variete	10	856.6	85.66	14.2961	< 2.2e-16	***
Modalité:Variete	2	10.5	5.26	0.8772	0.41605	
Residuals	2576	15435.0	5.99			

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(res.lm)
```

```
Call: lm(formula = TxA.TOTALpucerons ~ AB.AuxisActifs + (Site + Modalité +
Variete)^2, data = DataP1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-17.306	-0.772	-0.156	0.475	38.851

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.14397	0.28796	0.500	0.617156
AB.AuxisActifs	0.68305	0.57309	1.192	0.233422
Site35	1.32351	0.36006	3.676	0.000242 ***
Site35-bis	-0.05017	0.34838	-0.144	0.885493
Site50	-0.67309	0.32643	-2.062	0.039312 *
Site61	0.25592	0.37297	0.686	0.492669
Site76	0.18974	0.51843	0.366	0.714400
ModalitéPROD	-0.14345	0.31100	-0.461	0.644643
VarieteDDA	1.23330	0.36434	3.385	0.000722 ***
VarieteJUD	-0.07387	0.36131	-0.204	0.838023
Site35:ModalitéPROD	-2.53223	0.36049	-7.024	2.74e-12 ***
Site35-bis:ModalitéPROD	0.05802	0.34875	0.166	0.867882
Site50:ModalitéPROD	1.21413	0.33372	3.638	0.000280 ***
Site61:ModalitéPROD	0.78307	0.37401	2.094	0.036382 *
Site76:ModalitéPROD	-0.09539	0.51910	-0.184	0.854209
Site35:VarieteDDA	0.73501	0.44153	1.665	0.096098 .
Site35-bis:VarieteDDA	-1.33711	0.42728	-3.129	0.001772 **
Site50:VarieteDDA	1.79551	0.42196	4.255	2.16e-05 ***
Site61:VarieteDDA	-0.35868	0.45741	-0.784	0.433012
Site76:VarieteDDA	-1.62412	0.63534	-2.556	0.010635 *
Site35:VarieteJUD	0.07879	0.44082	0.179	0.858153
Site35-bis:VarieteJUD	0.19541	0.42652	0.458	0.646881
Site50:VarieteJUD	0.12834	0.39678	0.323	0.746375
Site61:VarieteJUD	1.06351	0.45637	2.330	0.019863 *
Site76:VarieteJUD	-0.07922	0.63468	-0.125	0.900681
ModalitéPROD:VarieteDDA	0.31721	0.24138	1.314	0.188916
ModalitéPROD:VarieteJUD	0.17560	0.22851	0.768	0.442301

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.448 on 2576 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1808, Adjusted R-squared: 0.1725

F-statistic: 21.87 on 26 and 2576 DF, p-value: < 2.2e-16

DATA 2

```
> res2.lm = lm(TxA.TOTALpucerons ~ (AB.AuxisActifs + Site + Modalité + Variete)^2, data=DataP2)
> anova(res2.lm)
Analysis of Variance Table
```

Response: TxA.TOTALpucerons

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
AB.AuxisActifs	1	126	126.14	4.7578	0.02926 *
Site	5	5155	1031.01	38.8886	< 2.2e-16 ***
Modalité	1	883	883.48	33.3239	8.737e-09 ***
Variete	2	171	85.52	3.2258	0.03988 *
Site:Modalité	5	5422	1084.49	40.9060	< 2.2e-16 ***
Site:Variete	10	6026	602.63	22.7305	< 2.2e-16 ***
Modalité:Variete	2	1129	564.29	21.2846	6.788e-10 ***
Residuals	2576	68295	26.51		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(res2.lm)
```

```
Call: lm(formula = TxA.TOTALpucerons ~ AB.AuxisActifs + (Site + Modalité + Variete)^2, data = DataP2)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-45.182	-1.633	0.071	0.845	62.890

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	0.6176	0.6057	1.020	0.307982
AB.AuxisActifs	-0.7014	0.3189	-2.200	0.027919 *
Site35	-2.6221	0.7582	-3.458	0.000552 ***
Site35-bis	-0.9406	0.7330	-1.283	0.199514
Site50	0.2059	0.6865	0.300	0.764239
Site61	3.3793	0.7849	4.306	1.73e-05 ***
Site76	0.8741	1.0925	0.800	0.423715
ModalitéPROD	2.1504	0.6541	3.288	0.001024 **
VarieteDDA	4.9729	0.7691	6.466	1.20e-10 ***
VarieteJUD	-1.0266	0.7600	-1.351	0.176913
Site35:ModalitéPROD	1.7016	0.7610	2.236	0.025441 *
Site35-bis:ModalitéPROD	-1.4252	0.7344	-1.941	0.052418 .
Site50:ModalitéPROD	-3.8185	0.7014	-5.444	5.69e-08 ***
Site61:ModalitéPROD	-7.6401	0.7864	-9.715	< 2e-16 ***
Site76:ModalitéPROD	-1.5499	1.0914	-1.420	0.155718
Site35:VarieteDDA	-6.7415	0.9298	-7.250	5.47e-13 ***
Site35-bis:VarieteDDA	-3.4249	0.9024	-3.796	0.000151 ***
Site50:VarieteDDA	-6.0647	0.8866	-6.841	9.81e-12 ***
Site61:VarieteDDA	1.2534	0.9643	1.300	0.193790
Site76:VarieteDDA	-4.8503	1.3382	-3.624	0.000295 ***
Site35:VarieteJUD	-0.4697	0.9272	-0.507	0.612488
Site35-bis:VarieteJUD	0.8166	0.8972	0.910	0.362792
Site50:VarieteJUD	1.8604	0.8346	2.229	0.025897 *
Site61:VarieteJUD	-0.6873	0.9601	-0.716	0.474126
Site76:VarieteJUD	0.8077	1.3350	0.605	0.545212
ModalitéPROD:VarieteDDA	-3.0398	0.5080	-5.983	2.49e-09 ***
ModalitéPROD:VarieteJUD	-0.2634	0.4808	-0.548	0.583842

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 5.149 on 2576 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2169, Adjusted R-squared:  0.209
F-statistic: 27.44 on 26 and 2576 DF, p-value: < 2.2e-16
```

### DATA 3

```
> res3.lm = lm(TxA.TOTALpucerons ~ (AB.AuxisActifs + Site + Modalité + Variete)^2, data=DataP3)
> anova(res3.lm)
Analysis of Variance Table
```

Response: TxA.TOTALpucerons

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
AB.AuxisActifs	1	8518	8517.9	550.5683	< 2.2e-16 ***

```

Site          5      989    197.8   12.7869  2.658e-12 ***
Modalité     1      122    122.4    7.9106  0.004952 **
Variete      2      640    320.2   20.6979  1.209e-09 ***
Site:Modalité 5      888    177.7   11.4840  5.502e-11 ***
Site:Variete 10     1112   111.2    7.1901  2.808e-11 ***
Modalité:Variete 2      198    99.0    6.3958  0.001695 **
Residuals    2577   39869    15.5
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(res3.lm)

```

```

Call: lm(formula = TxA.TOTALpucerons ~ AB.AuxisActifs + (Site + Modalité +
      Variete)^2, data = DataP3)

```

```

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-37.314  -0.358   0.012   0.497  91.709

```

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -0.570920   0.463022  -1.233  0.217677
AB.AuxisActifs -1.428089   0.089675 -15.925 < 2e-16 ***
Site35        1.263609   0.578924   2.183  0.029149 *
Site35-bis    0.698195   0.560219   1.246  0.212772
Site50        0.558734   0.525003   1.064  0.287316
Site61       -1.597830   0.598923  -2.668  0.007682 **
Site76       -1.812711   0.832721  -2.177  0.029582 *
ModalitéPROD -0.690245   0.499135  -1.383  0.166820
VarieteDDA   -2.349520   0.588282  -3.994  6.68e-05 ***
VarieteJUD    0.929216   0.580612   1.600  0.109631
Site35:ModalitéPROD 0.089347   0.578941   0.154  0.877363
Site35-bis:ModalitéPROD 0.444957   0.560192   0.794  0.427098
Site50:ModalitéPROD 0.714617   0.536086   1.333  0.182641
Site61:ModalitéPROD 3.721633   0.600587   6.197  6.69e-10 ***
Site76:ModalitéPROD 0.974237   0.832753   1.170  0.242150
Site35:VarieteDDA 1.396065   0.710356   1.965  0.049486 *
Site35-bis:VarieteDDA 1.725498   0.687343   2.510  0.012121 *
Site50:VarieteDDA 1.074222   0.677151   1.586  0.112775
Site61:VarieteDDA -1.527734   0.735721  -2.077  0.037945 *
Site76:VarieteDDA 3.810539   1.022082   3.728  0.000197 ***
Site35:VarieteJUD 0.002731   0.708314   0.004  0.996923
Site35-bis:VarieteJUD -0.833124   0.685365  -1.216  0.224251
Site50:VarieteJUD -1.037980   0.637749  -1.628  0.103739
Site61:VarieteJUD 0.002384   0.734872   0.003  0.997412
Site76:VarieteJUD 0.158018   1.020195   0.155  0.876920
ModalitéPROD:VarieteDDA 1.105335   0.389288   2.839  0.004556 **
ModalitéPROD:VarieteJUD -0.215537   0.367255  -0.587  0.557331
---

```

```

Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

```

Residual standard error: 3.933 on 2577 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2382, Adjusted R-squared:  0.2305
F-statistic: 31 on 26 and 2577 DF, p-value: < 2.2e-16

```

- Régression linéaire entre les variables « taux d'accroissement des pucerons », « proportion de pucerons ailés » et les modalités du plan d'expérience.

#### DATA 2

```

> res = lm(TxA.TOTALpucerons ~ PptPcAilés + (Site + Modalité + Variete)^2, data=DataP2)
> anova(res)
Analysis of Variance Table

```

```

Response: TxA.TOTALpucerons
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
PptPcAilés 1     209   209.50   7.8886  0.005012 **
Site       5    4987   997.38  37.5563 < 2.2e-16 ***
Modalité   1     895   894.50  33.6825  7.283e-09 ***

```

```

Variete           2      158      79.11      2.9789      0.051022      .
Site:Modalité     5      5413     1082.67     40.7678     < 2.2e-16     ***
Site:Variete     10      5975      597.52     22.4994     < 2.2e-16     ***
Modalité:Variete  2      1159      579.61     21.8251     3.989e-10     ***
Residuals       2576     68411      26.56

```

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(res)

```

```

Call: lm(formula = TxA.TOTALpucerons ~ PptPcAilés + (Site + Modalité +
      Variete)^2, data = DataP2)

```

```

Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-45.838  -1.632   0.069   0.942  62.244

```

Coefficients:

```

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      0.6600    0.6060   1.089 0.276137
PptPcAilés      -24.6820    36.6049  -0.674 0.500193
Site35           -2.7081     0.7577  -3.574 0.000358 ***
Site35-bis      -0.9982     0.7332  -1.361 0.173489
Site50           0.1744     0.6871   0.254 0.799657
Site61           3.2941     0.7846   4.198 2.78e-05 ***
Site76           0.7134     1.0910   0.654 0.513256
ModalitéPROD     2.0655     0.6537   3.160 0.001596 **
VarieteDDA       4.7775     0.7650   6.245 4.94e-10 ***
VarieteJUD      -1.0135     0.7606  -1.332 0.182837
Site35:ModalitéPROD  1.8646     0.7578   2.461 0.013938 *
Site35-bis:ModalitéPROD -1.3101     0.7332  -1.787 0.074064 .
Site50:ModalitéPROD -3.7555     0.7022  -5.348 9.65e-08 ***
Site61:ModalitéPROD -7.5121     0.7849  -9.571 < 2e-16 ***
Site76:ModalitéPROD -1.4287     1.0910  -1.310 0.190453
Site35:VarieteDDA -6.5788     0.9281  -7.088 1.75e-12 ***
Site35-bis:VarieteDDA -3.2124     0.8979  -3.578 0.000353 ***
Site50:VarieteDDA -5.9547     0.8887  -6.701 2.54e-11 ***
Site61:VarieteDDA  1.4359     0.9616   1.493 0.135499
Site76:VarieteDDA -4.6470     1.3362  -3.478 0.000514 ***
Site35:VarieteJUD -0.4784     0.9280  -0.515 0.606270
Site35-bis:VarieteJUD  0.8166     0.8979   0.909 0.363200
Site50:VarieteJUD  1.8534     0.8353   2.219 0.026590 *
Site61:VarieteJUD -0.7192     0.9608  -0.749 0.454201
Site76:VarieteJUD  0.8077     1.3362   0.605 0.545554
ModalitéPROD:VarieteDDA -3.0892     0.5081  -6.080 1.38e-09 ***
ModalitéPROD:VarieteJUD -0.2895     0.4811  -0.602 0.547361

```

```

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

```

```

Residual standard error: 5.153 on 2576 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2155, Adjusted R-squared:  0.2076
F-statistic: 27.22 on 26 and 2576 DF, p-value: < 2.2e-16

```

DATA 3

```

> res = lm(TxA.TOTALpucerons ~ PptPcAilés + (Site + Modalité + Variete)^2 , d
ata=DataP3)
> anova(res)

```

Analysis of Variance Table

```

Response: TxA.TOTALpucerons
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
PptPcAilés    1     144   144.02   8.4932  0.003595 **
Site          5    2588   517.67  30.5287 < 2.2e-16 ***
Modalité      1     357    356.67 21.0338 4.728e-06 ***
Variete       2    1202   601.10 35.4486 6.499e-16 ***
Site:Modalité  5    1682   336.34 19.8353 < 2.2e-16 ***
Site:Variete  10    2152   215.23 12.6931 < 2.2e-16 ***
Modalité:Variete  2     514    257.12 15.1630 2.839e-07 ***
Residuals   2577  43698    16.96

```

```
---  
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
> summary(res)
```

```
Call: lm(formula = TxA.TOTALpucerons ~ PptPcAilés + (Site + Modalité +  
Variete)^2, data = DataP3)
```

```
Residuals:  
  Min       1Q   Median       3Q      Max   
-40.775  -0.491   0.022   0.588  91.569
```

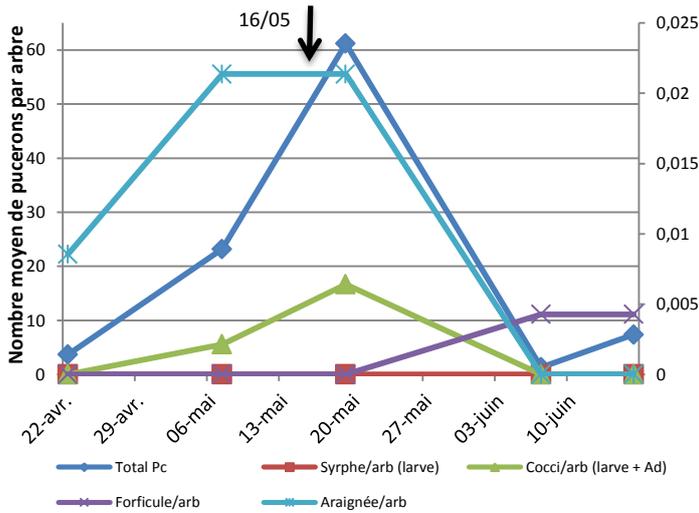
```
Coefficients:  
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)      
(Intercept)      -0.91695    0.48420  -1.894  0.058370 .   
PptPcAilés       -6.76244    2.86152  -2.363  0.018190 *   
Site35            1.68094    0.60547   2.776  0.005538 **   
Site35-bis        1.12153    0.58584   1.914  0.055681 .   
Site50            0.93873    0.54915   1.709  0.087496 .   
Site61           -1.81430    0.62686  -2.894  0.003832 **   
Site76           -1.87542    0.87195  -2.151  0.031582 *   
ModalitéPROD     -0.44621    0.52232  -0.854  0.393027 .   
VarieteDDA       -3.52654    0.61133  -5.769  8.95e-09 ***   
VarieteJUD        1.04420    0.60781   1.718  0.085922 .   
Site35:ModalitéPROD -0.33391    0.60547  -0.551  0.581344 .   
Site35-bis:ModalitéPROD 0.03095    0.58584   0.053  0.957868 .   
Site50:ModalitéPROD  0.40266    0.56144   0.717  0.473321 .   
Site61:ModalitéPROD  4.45113    0.62689   7.100  1.60e-12 ***   
Site76:ModalitéPROD  0.76537    0.87204   0.878  0.380196 .   
Site35:VarieteDDA  2.25443    0.74154   3.040  0.002388 **   
Site35-bis:VarieteDDA 2.55787    0.71751   3.565  0.000371 ***   
Site50:VarieteDDA  1.59958    0.71266   2.245  0.024883 *   
Site61:VarieteDDA -2.44761    0.76780  -3.188  0.001451 **   
Site76:VarieteDDA  4.95224    1.06803   4.637  3.71e-06 ***   
Site35:VarieteJUD -0.04412    0.74154  -0.059  0.952563 .   
Site35-bis:VarieteJUD -0.89681    0.71751  -1.250  0.211454 .   
Site50:VarieteJUD -1.27706    0.66748  -1.913  0.055827 .   
Site61:VarieteJUD -0.75684    0.76773  -0.986  0.324313 .   
Site76:VarieteJUD -0.28420    1.06770  -0.266  0.790124 .   
ModalitéPROD:VarieteDDA 1.77926    0.40615   4.381  1.23e-05 ***   
ModalitéPROD:VarieteJUD -0.33349    0.38441  -0.868  0.385735 .
```

```
---  
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

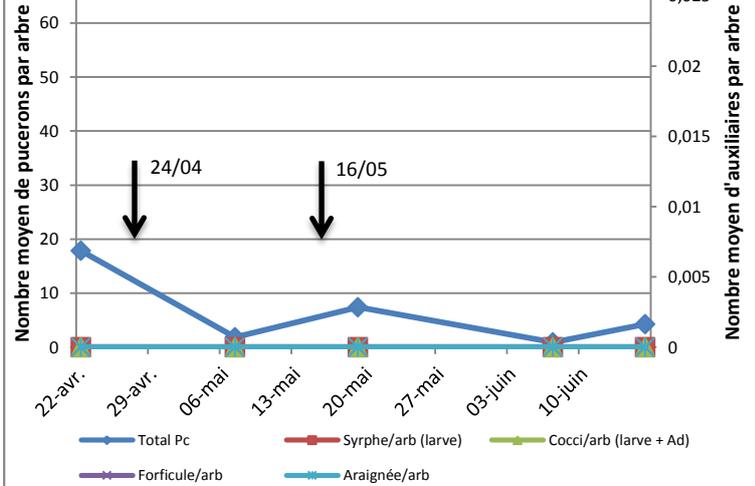
```
Residual standard error: 4.118 on 2577 degrees of freedom  
Multiple R-squared:  0.1651, Adjusted R-squared:  0.1567  
F-statistic: 19.6 on 26 and 2577 DF, p-value: < 2.2e-16
```

**ANNEXE n°3 : Courbes des évolutions temporelles du nombre moyen de pucerons cendrés et d'auxiliaires par arbre en fonction des dates d'observations et du site (P61, P35 et P76).**

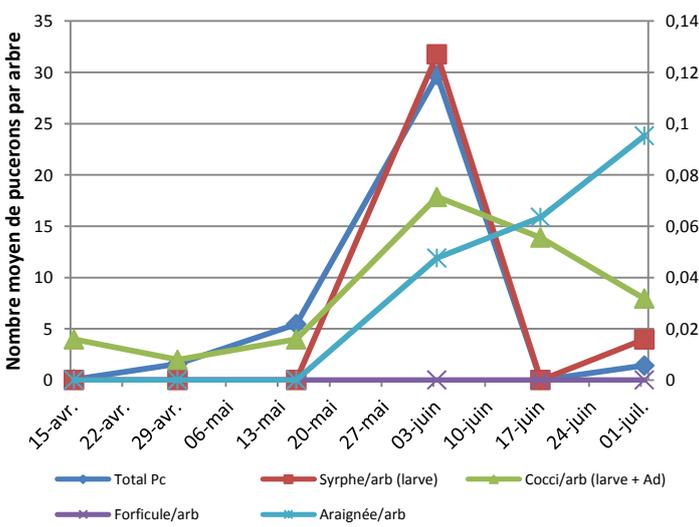
**Evolution temporelle du nombre moyen de pucerons cendrés et auxiliaires dans la modalité ECO sur le site P35**



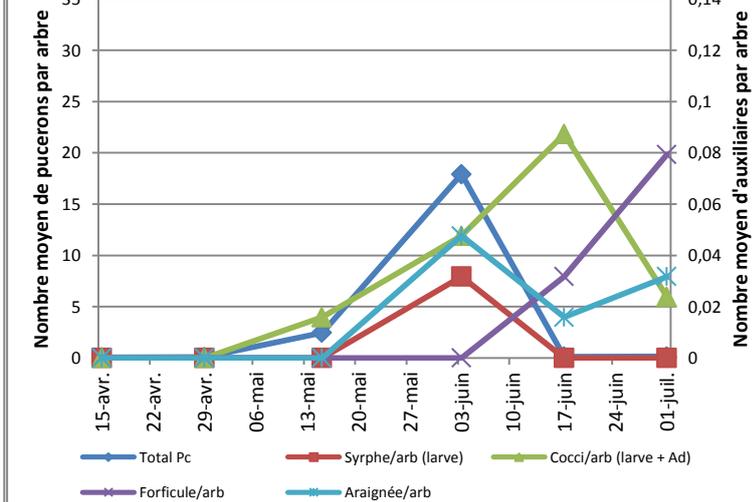
**Evolution temporelle du nombre moyen de pucerons cendrés et auxiliaires dans la modalité PROD sur le site P35**



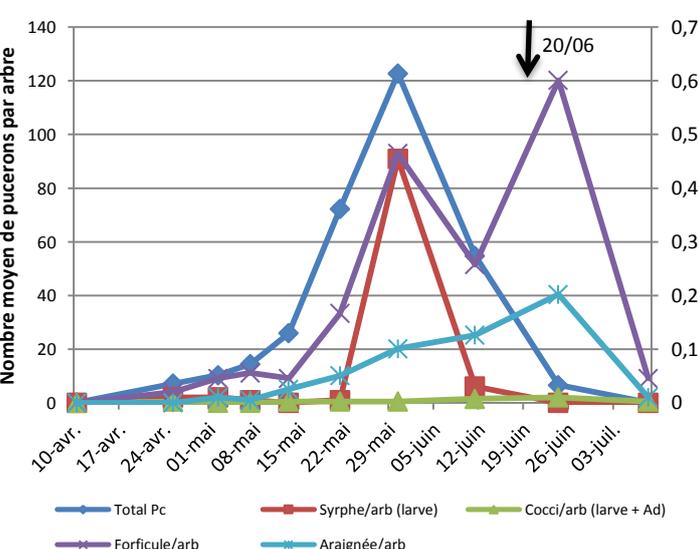
**Evolution temporelle du nombre moyen de pucerons cendrés et auxiliaires dans la modalité ECO sur le site P76**



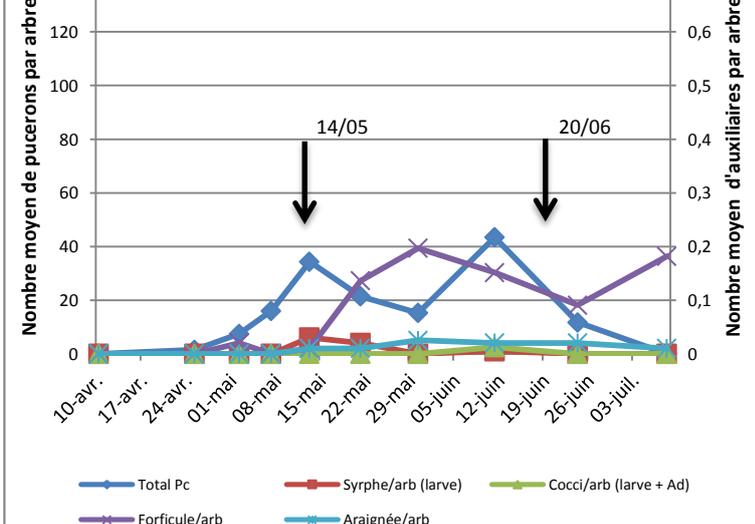
**Evolution temporelle du nombre moyen de pucerons cendrés et auxiliaires dans la modalité PROD sur le site P76**



**Evolution temporelle du nombre moyen de pucerons cendrés et auxiliaires dans la modalité ECO sur le site P61**

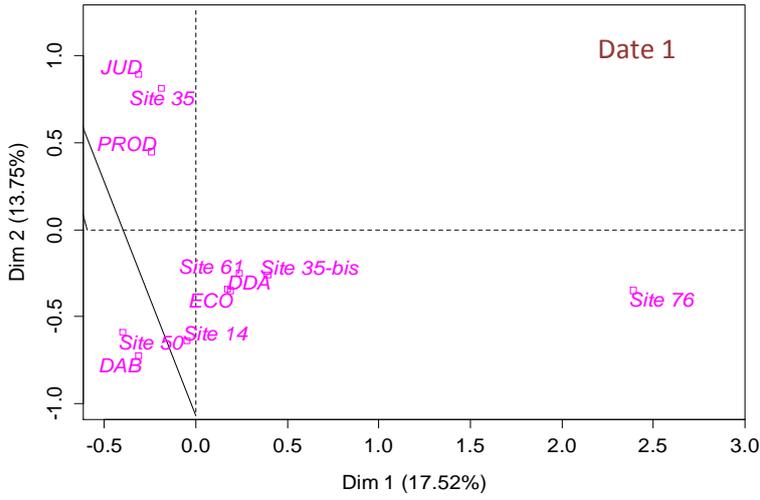


**Evolution temporelle du nombre moyen de pucerons cendrés et auxiliaires dans la modalité PROD sur le site P61**

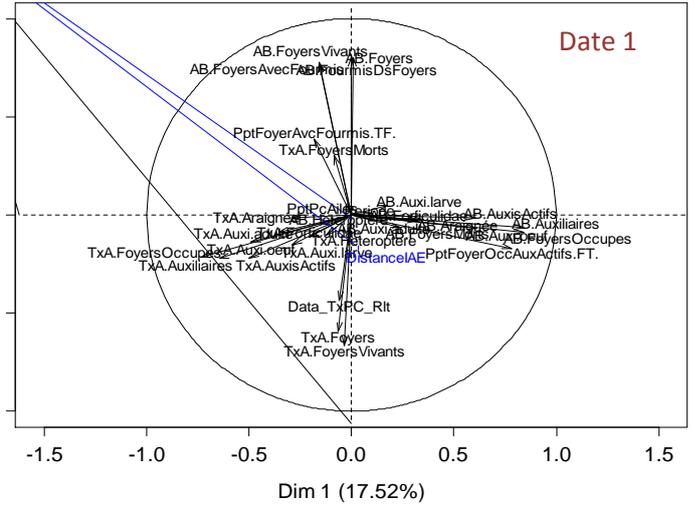


# ANNEXE n°4 : Représentation graphique des ACP complètes (ensemble du jeux données)

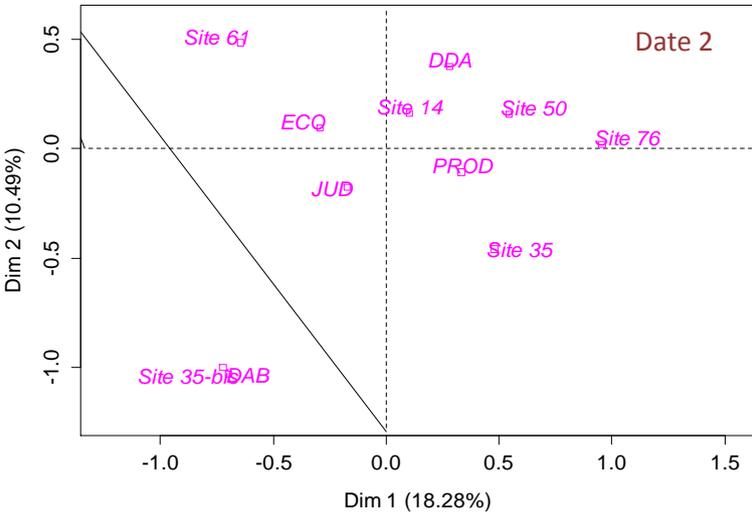
**Individuals factor map (PCA)**



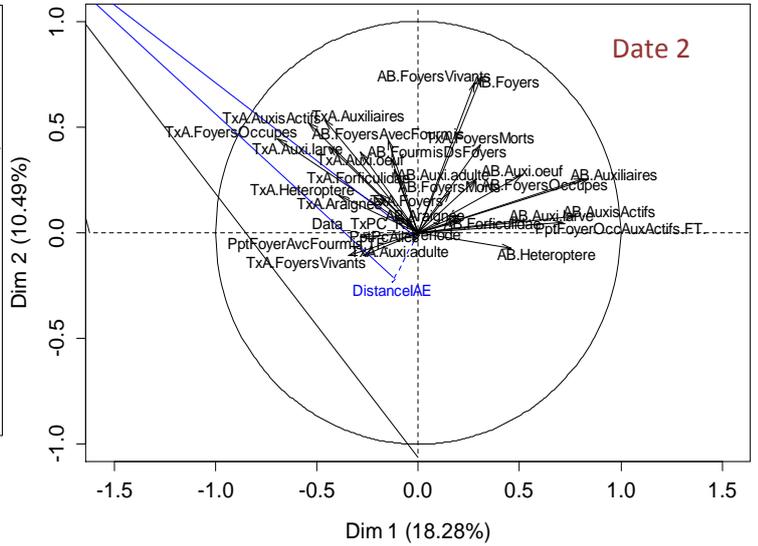
**Variables factor map (PCA)**



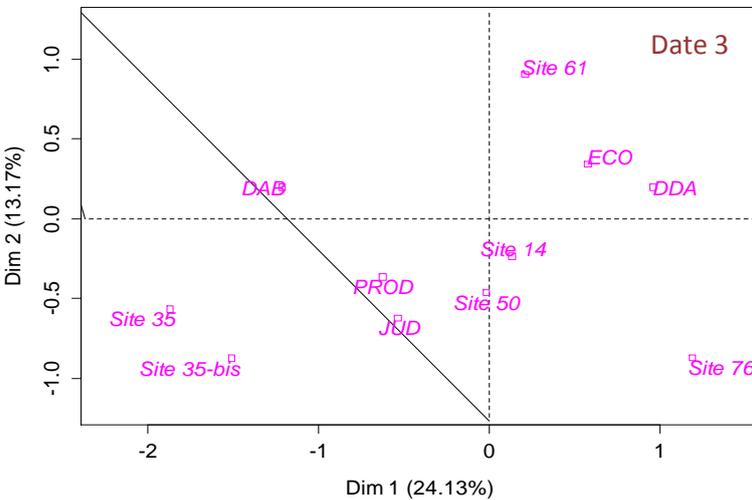
**Individuals factor map (PCA)**



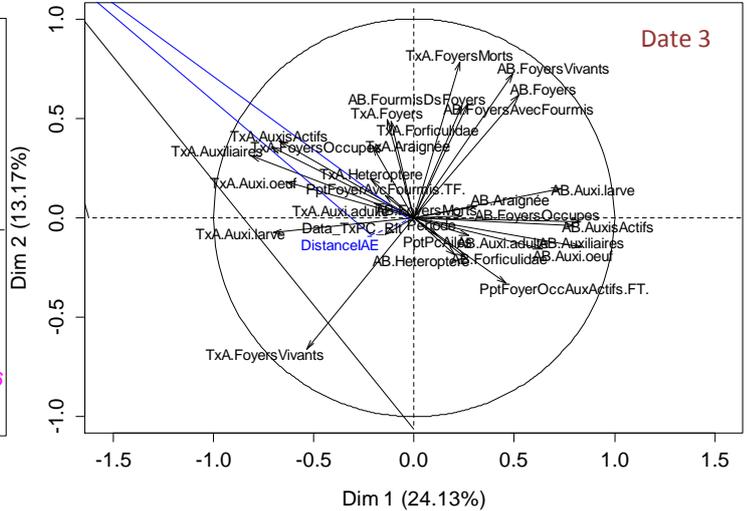
**Variables factor map (PCA)**



**Individuals factor map (PCA)**

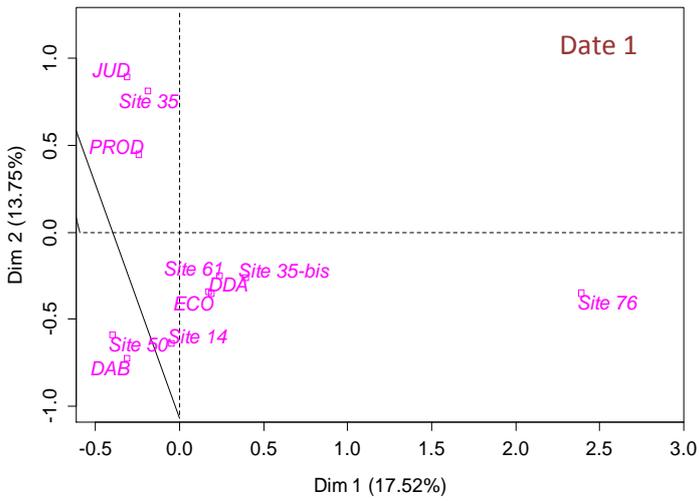


**Variables factor map (PCA)**

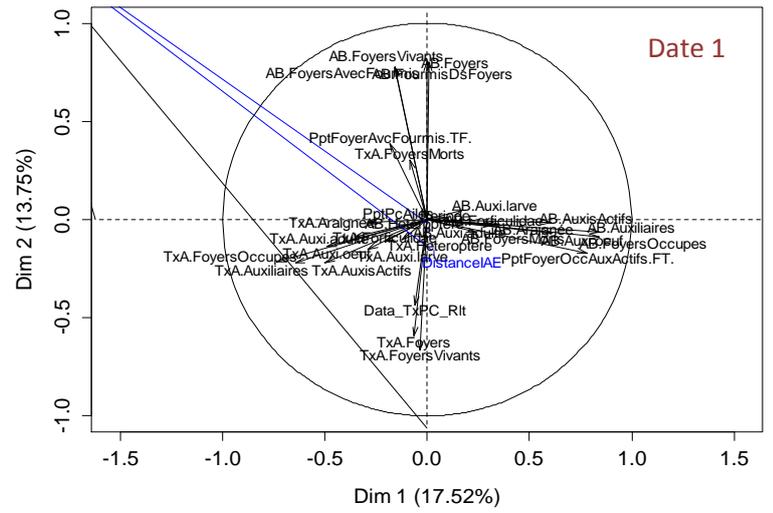


**ANNEXE n°5 : Représentation graphique compètes des ACP (sous ensemble du jeux données)**

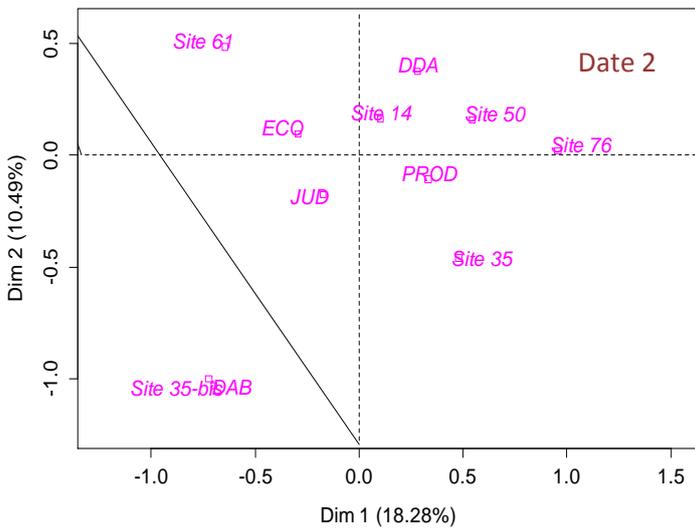
**Individuals factor map (PCA)**



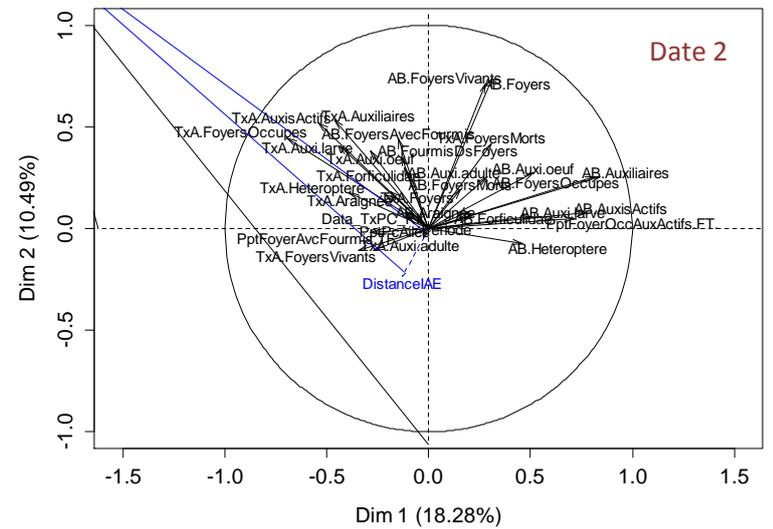
**Variables factor map (PCA)**



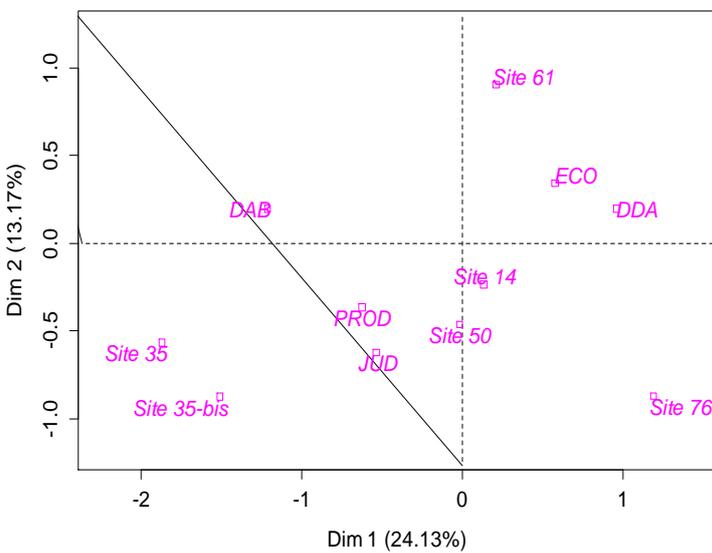
**Individuals factor map (PCA)**



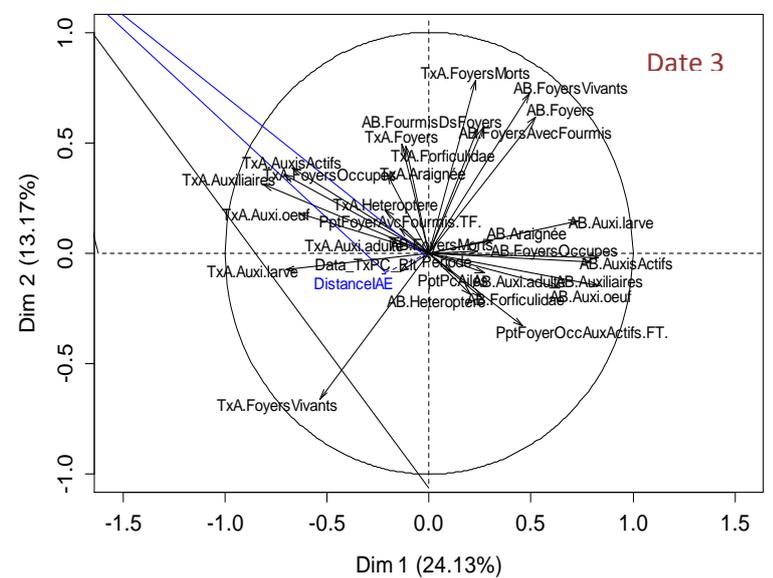
**Variables factor map (PCA)**



**Individuals factor map (PCA)**



**Variables factor map (PCA)**





## RESUME

---

### **Etude de la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole : Cas de la régulation naturelle du puceron cendré *Dysaphis plantaginea*.**

Le puceron cendré *D. plantaginea* est un important ravageur du pommier pouvant causer d'importantes pertes économiques de rendement. Afin de répondre aux attentes des acteurs de la filière cidricole, des expérimentations ont été mises en place afin d'évaluer le potentiel de régulation naturelle du puceron cendré par son cortège d'auxiliaires. Cette étude a été menée dans deux types de vergers de pommes à cidre : un système dit PROD, conduit selon les pratiques des producteurs et un système dit ECO où des innovations agronomiques ont été mises en place (installation d'infrastructures agro-écologiques (IAE), faible niveaux d'intrants etc.). Les résultats issus de ces analyses montrent de fortes interactions entre les populations de pucerons et d'auxiliaires dépendantes de nombreux paramètres inhérents au système d'étude (biologie des arthropodes, perturbations liées aux pratiques culturales, proximité et disponibilité en ressources alternatives, phénomènes de compétition intra-gilde etc.). Ces interactions illustrent également, la présence d'un cortège d'auxiliaires pouvant exercer un effet suppressif sur les populations de puceron cendré. Favoriser la présence d'auxiliaires clés au moment propice de la saison, par des pratiques culturales adaptées ou des infrastructures agro-écologiques, permettrait d'augmenter la régulation naturelle des bio-agresseurs et ainsi de maintenir leur population sous un seuil économiquement viable pour le système de production.

**Mots clés :** régulation naturelle, *Dysaphis plantaginea*, pommier cidricole, auxiliaires

## ABSTRACT

---

### **Study of functional biodiversity in cider apple orchards : Case of biological control of the rosy apple aphid *Dysaphis plantaginea*.**

The rosy apple aphid *D. plantaginea* is a major pest of cider apple that can cause significant economic yield losses. To meet expectations of actors of cider sector, some experiments have been set up to assess the potential biological control of rosy apple aphid by its natural enemies' communities. This study carried out in two types of cider apple orchards: a PROD system, led by the practices of producers and a ECO system in which agronomic innovations were tested (setting up of agro-ecological infrastructure, low levels of pesticides etc.). Results of these analyze show large interactions between populations of rosy apple aphids and the natural enemies' communities Results of these analyze show large interactions between populations of rosy apple aphids and the natural enemies' communities which dependent on many parameters inherent of the system of study (biology of arthropods, disruptions related to cultural practices, proximity and availability of alternative resources, predation intra-guild etc.). These interactions also show the presence of natural enemies can exert a suppressive effect on aphid populations. Favor the presence of specific natural enemies at the right time of the season, by appropriate cultivation practices or agro-ecological infrastructure, would increase the biological control of pests and so maintain their populations in an economically viable threshold for production system.

**Key words:** biological control, *Dysaphis plantaginea*, cider apple orchard, natural enemies