HAL
open science

Étude du contrôle biologique du ravageur Dysaphis plantaginea en verger cidricole par son cortège d'auxiliaires, en lien avec les infrastructures dites agro-écologiques et les pratiques agricoles

Antoine Quéro

To cite this version:

Antoine Quéro. Étude du contrôle biologique du ravageur Dysaphis plantaginea en verger cidricole par son cortège d'auxiliaires, en lien avec les infrastructures dites agro-écologiques et les pratiques agricoles. Sciences agricoles. 2015. dumas-01225764

HAL Id: dumas-01225764

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01225764v1

Submitted on 6 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS OUEST

☑ CFR Angers

☐ CFR Rennes

Mémoire de Fin d'Études

☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage

☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Année universitaire : 2014.-2015

Spécialité : Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Production Végétale Durable

Etude du contrôle biologique du ravageur *Dysaphis plantaginea* en verger cidricole par son cortège d'auxiliaires, en lien avec les infrastructures dites agro-écologiques et les pratiques agricoles.

Par : Antoine Quéro

Soutenu à Montpellier le 16/09/2015

Devant le jury composé de :

Président : Brigitte BRUNEL

Maître de stage : Laurence ALBERT

Enseignant référent : Marie-Stéphane TIXIER

Rapporteur : Serge KREITER

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Remerciements

Je tiens à remercier mes tuteurs de stage : Laurence Albert, Marie Stéphane Tixier, Pierre Franck, Manuel Plantegenest, pour leur encadrement et pour leur patience.

Je tiens à remercier également ma famille et mon amie qui ont toujours cru en moi.

Merci à tous les producteurs ayant collaborés au projet « vergers de demain ». A l'équipe de l'IFPC pour leur bonne humeur et leur bon café.

Je tiens également à remercier tous les copains sans exception.

	Diplôme : Ingénieur Spécialité :Horticulture Spécialisation / option :Production Végétale Durable Enseignant référent : Marie-Stéphane Tixier

Auteur(s) :Antoine Quéro Date de naissance* :07/09/1991	Organisme d'accueil : Institut Français des Production Cidricole
Nb pages : 44 Annexe(s) : 41	Adresse : La Rangée Chesnel 61500 Sées
Année de soutenance : 2015	Maître de stage : Laurence Albert

Titre français : Etude du contrôle biologique du ravageur *Dysaphis plantaginea* en vergers cidricoles par son cortège d'auxiliaires, en lien avec les infrastructures dites agro-écologiques et les pratiques agricoles.

Titre anglais : Studying the biological control of the *Dysaphis plantaginea* pest in cider orchards through its accompanying auxiliaries, in connection with agroecological infrastructures and agricultural practice, as they are called.

Résumé: Dans le contexte actuel de réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires, l'Institut Français des Productions Cidricoles a mis en place depuis 2010 un projet visant à concevoir et expérimenter de nouveaux types de vergers cidricoles à bas intrants. Ce projet intitulé « Verger Cidricole de demain », a notamment pour objectif la recherche de solutions alternatives à l'utilisation d'aphicides dans la lutte contre l'un des ravageurs les plus nuisibles en jeunes vergers : le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea)*. Afin de favoriser la régulation naturelle de *D. plantaginea*, un dispositif testant l'influence des bandes fleuries et des haies bocagères sur la présence de populations d'auxiliaires, a été mis en place. L'effet de ces infrastructures agro-écologiques a été évalué sur différents auxiliaires et à trois moments clés de l'infestation du puceron cendré. Les résultats issus de ces analyses mettent en avant les forts liens observés entre la dynamique d'infestation du puceron cendré et les dynamiques de différents auxiliaires (syrphe, coccinelle…) ; ainsi que leur forte dépendance vis-à-vis de paramètres inhérents au système (pratiques culturales, biologie des arthropodes). L'analyse conclut sur l'effet bénéfique de différentes infrastructures agro-écologiques quant à la présence d'auxiliaires retrouvés sur les parcelles infestées.

Abstract : In the current context of reducing the use of pesticide, the French Institute for Cider Production has set up a project since 2010, aiming at conceiving and experimenting new types of cider orchards with a low input. The project, called « Verger Cidricole de demain », is notably aiming at finding alternative solutions to the use of aphicides in the fight against one of the most harmful pests in young orchards : the rosy apple aphid (*D. plantaginea*). In order to favour the natural control of the *D. plantaginea*, a system testing the effect of strips of flowers and bocage hedges on the presence of populations of auxiliaries has been set up. The effect of the agroecological infrastructures has been evaluated on different auxiliaries and at three key moments in the infestation by the rosy apple aphid. The results from those analyses underline the strong links observed between the dynamic of the infestation by the rosy apple aphid and the dynamic of different auxiliaries (the hoverfly, the ladybird) as well as their strong dependence on the inherent parameters of the system (methods of cultivation ; the biology of arthropods). The analysis concludes that there is a beneficial effect of the different agroecological infrastructures regarding the presence of auxiliaries found on the infested plots.

Mots-clés : *Dysaphis plantaginea*, puceron cendré, verger cidricole, lutte biologique, régulation naturelle, auxiliaire, syrphe, coccinelle, infrastructures agro-écologiques.

Key Words: *Dysaphis plantaginea*, rosy apple aphid, cider orchard, biological fight, natural control, auxiliary, hoverfly, ladybird, agroecological infrastructures.

AUTORISATION DE DIFFUSION DU MEMOIRE

1. Identification du rapport et de l'auteur

Nom et Prénom de l'auteur : Antoine Quéro, étudiant de Agrocampus Ouest.

Titre du mémoire : Etude du contrôle biologique du ravageur *Dysaphis plantaginea* en vergers cidricoles par son cortège d'auxiliaires, en lien avec les pratiques agricoles et les infrastructures dites agro-écologiques.

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 : Antoine Quéro

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) Durée :	Résumé diffusable	(OUI) NON
Consultation en bibliothèque	(OUI) NON	Reproduction	OUI (NON)

Signature du Maître de stage : Date : 07/09/2015

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) Durée :	Résumé diffusable	(OUI) NON
Consultation en bibliothèque	(OUI) NON	Reproduction	OUI (NON)

Signature du tuteur enseignant: Date : 16/09/2015

CONCLUSION : Confidentialité absolue : OUI □ (NON □)
Durée exigée :

Sommaire

Introduction. 6

I - Contexte. 7

1. Les pommiers cidricoles : de la filière à la culture. 7
2. Le projet CASDAR « Verger Cidricole de demain ». 8
3. Le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea*) : un des ravageurs principaux en jeune verger de pommier. 9
4. Les moyens de lutte utilisés face au puceron cendré du pommier. 11
5. La lutte biologique par conservation et les principaux ennemis naturels du puceron cendré. .. 13
6. Les infrastructures agro-écologiques. 14

II – Matériel et méthodes. 16

1. Les sites sélectionnés. 16
2. Vergers étudiés. 16
3. Suivi des populations de pucerons cendrés et de son cortège d'auxiliaires à l'échelle de la parcelle. 18
4. Evaluation de la prédation sur les différentes parcelles. 18
5. Biodiversité retrouvée sur les différents vergers et sur les infrastructures agro-écologiques (IAE). 19
6. Analyses Statistiques 19

III – Résultats. 22

1. Description générale. 22
   - A) Effet des facteurs : année, site, modalité, variété sur l'infestation du puceron cendré. 22
   - B) Effet des facteurs: année, site, modalité, variété sur la présence d'auxiliaires actifs. 24

2. Diversité du cortège des auxiliaires observés lors des comptages. 26

3. Etude de la dynamique du puceron cendré en relation avec les populations d'auxiliaires à trois temps différents de l'infestation. 29

4. Influence de la distance et de la qualité des IAE sur la présence d'auxiliaires. 34

IV –Discussion. 37

1. Limites des expérimentations pleins champs et de l'approche système. 37
2. Distribution spatiale des populations de pucerons cendrés et des populations d'auxiliaires actifs. 38
3. Dynamique temporelle des populations d'auxiliaires actifs au cours de l'infestation du puceron cendré. 39
4. Phénomène de régulation naturelle. 40
5. Influence de la distance et de la qualité des IAE sur la présence d'auxiliaires. 41

Conclusion 43

Bibliographie. 44

Annexes 49

Introduction.

Le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*, Passerini, 1860) est l'un des principaux ravageurs des vergers de pommiers en Europe (Miñarro et *al.*, 2005). A lui seul, ce puceron cause plus de dommages que tous les autres pucerons en vergers de pommiers (Forrest et Dixon, 1975).

Dans les contextes social, environnemental et politique actuels, la diminution des produits phytosanitaires est l'un des grands défis à relever (plan Ecophyto2018). La recherche de solutions alternatives à l'utilisation d'aphicide en vergers est donc un enjeu fort (Molliers et *al.*, 2010). Sous l'impulsion de plusieurs professionnels, l'Institut Français des Productions Cidricole a donc mis en place en 2010 le projet « Verger Cidricole de demain » (Deplaude et Dupont, 2009). Ce projet est une expérimentation plein champ se basant sur une analyse système. Il vise à concevoir, expérimenter et diffuser de nouveaux systèmes de vergers cidricoles innovants à bas intrants, capables de répondre aux enjeux et impasses techniques auxquels les producteurs cidricoles sont confrontés. Des expérimentations de solutions alternatives à l'utilisation de produits aphicides y sont notamment étudiées.

Le recours aux organismes auxiliaires comme moyen de régulation des différents ravageurs retrouvés en vergers cidricoles et en particulier du ravageur *D. plantaginea*, est l'une des solutions alternatives envisagées et étudiées lors de ce projet. En effet, de nombreux ennemis naturels existent dans les colonies de *D. plantaginea* (Miñarro et *al.*, 2005 ; Dib, 2010). De plus, les vergers sont des systèmes de cultures pérennes et multi strates, potentiellement favorables au développement et au maintien de chaine trophique tout au long de l'année (Simon et *al.*, 2015). Afin de favoriser la présence de ces auxiliaires, plusieurs méthodes peuvent être utilisées et notamment l'aménagement de l'environnement des parcelles (haies, bandes fleuries….). Ces aménagements aussi appelés infrastructures agro-écologiques (IAE), fournissent abris et ressources alimentaires (pollen, nectar, proies secondaires) aux différentes espèces d'auxiliaires permettant l'établissement de ces dernières (Landis et *al.*, 2010). Le dispositif expérimental du projet « Verger Cidricole de demain » a donc, entre autre, testé l'effet des haies bocagères et des bandes fleuries afin d'observer si de telles infrastructure pouvaient améliorer la régulation naturelle.

La présente étude vise à étudier le contrôle biologique du ravageur *D. plantaginea* en lien avec les pratiques agricoles et les infrastructures agro-écologiques. Elle s'appuie sur les résultats de deux années d'expériences (2014 et 2015) réalisées sur 6 sites du projet « Verger Cidricole de demain ».

I - Contexte.

1. Les pommiers cidricoles : de la filière à la culture.

La France est le pays comportant le plus grand verger cidricole en Europe (France Agrimer, 2015). Les principaux bassins de production de pomme à cidre se situent dans le grand ouest et se concentrent principalement sur quatre régions : la Basse et Haute Normandie, Pays de la Loire et la Bretagne. La surface totale du verger cidricole français est estimée à 8500 hectares pour une production annuelle de 250 000 tonnes de fruits. Ces pommes sont principalement destinées à l'élaboration de cidres (65% des volumes), mais aussi de jus de pomme (15%), de pommeaux et de calvados (15%). Ainsi annuellement, 1,6 million d'hectolitres de cidres sont produits. Ce volume est assuré à 85% à travers deux coopératives : Agrial et les Celliers associés ; le reste étant réalisé par des artisans et producteurs transformateurs. Le cidre produit est destiné en quasi-totalité à une consommation nationale.

Au sein du verger cidricole français, on distingue deux grands types de vergers (Quesnel *et al.*, 2014 ; site de l'Interprofession des Appellations Cidricoles (IDAC), 2015) :

- Les vergers dits traditionnels : caractérisés par une faible densité à l'hectare (100 arbres/hectare), conduits en hautes tiges et souvent couplés à des systèmes agro-sylvo-pastoraux. Leur production moyenne est estimée à 25 tonnes/hectare.
- Les vergers dit spécialisés ou intensifs : dans ces systèmes, la pomme constitue le seul revenu de la parcelle, ce sont des vergers caractérisés par une plus forte densité (en moyenne 750 arbres/hectare), mécanisés, greffés sur porte greffe (souvent sur MM106), conduits en basses tiges et le plus souvent contractualisés (récolte sous contrat avec des coopératives). Leur rendement moyen est 35 tonnes/hectare.

La surface des vergers traditionnels a énormément diminué au cours de ces dernières décennies, passant de 50 millions d'arbres en 1929 à 10 millions d'arbres en 1990 (Boré et Fleckinger, 1997). Ceci peut être expliqué notamment par le vieillissement des arbres et par la politique du remembrement (Site de la Chambre d'Agriculture de Normandie, 2015). A l'inverse, le modèle intensif a rapidement pris de l'essor au cours de ces 40 dernières années, ceci est dû principalement aux quotas laitiers poussant à la spécialisation des exploitations et également, à l'impulsion de plusieurs cidriers proposant des contrats de plantation. La surface du verger intensif cidricole est donc passée en 1980 de 670 hectares, à 8500 hectares en 2014 (Boré et Fleckinger, 1997). Ce modèle assure actuellement 75% de la production de pommes cidricoles et représente plus de 1500 exploitations.
Les vergers intensifs implantés lors des campagnes de 1980 ont dépassé leur maximum de production et on estime aujourd'hui, qu'un tiers du verger cidricole français doit être renouvelé.

La culture de pommes à cidre *(Malus pumila*, famille des Rosaceae) présente un millier de variétés, mais seulement une douzaine constitue la majorité du verger cidricole français. Celles-ci se distinguent des pommes à couteaux par leur richesse en tannin (polyphénols) et leur plus petite taille. Elles sont réparties en 4 grandes catégories : les variétés douces, douces-amères, amères et les variétés acidulées, dont la combinaison permet d'influencer la saveur et la couleur des cidres (Bauduin, 2006).
Les aspects techniques en vergers cidricoles et en vergers de pommes à couteaux sont globalement similaires mais diffèrent cependant sur quelques points :

- Les variétés en pommiers cidricoles sont généralement plus rustiques face aux bio-agresseurs que les variétés de pommes à couteaux.
- Les variétés cidricoles présentent une forte alternance (production irrégulière).
- Une moindre importance sur l'aspect du produit est portée en verger cidricole. En effet, les fruits étant destinés à la transformation, leur aspect n'est que secondaire (IFT plus petit, moins d'exigence de calibres, récolte mécanisée au sol, plus de tolérance à la tavelure…).

2. Le projet CASDAR « Verger Cidricole de demain ».

La production des vergers cidricoles étant destinée à la transformation, la protection systématique de ce type de culture ne peut être justifiée. L'Institut Français des Productions Cidricoles (IFPC), qui est l'organisme chargé de coordonner les programmes de recherche de la filière cidricole, ainsi que de communiquer des résultats obtenus auprès des producteurs et transformateurs, s'est donc engagé depuis longtemps dans une démarche de Production Fruitière Intégrée (PFI) avec la publication d'un guide pratique (Pouvreau *et al.*, 1997) et d'un cahier des charges.
Aujourd'hui, vu le contexte politique (plan Ecophyto2018) et par le fait qu'un tiers du verger cidricole français va devoir être renouvelé dans les dix ans à venir, les producteurs et la filière s'interrogent sur de nouveaux systèmes de production. C'est dans ce contexte que l'IFPC a mis en place le projet de recherche « Vergers Cidricoles de demain » (Deplaude et Dupont, 2009). Celui-ci a pour but de concevoir, expérimenter et diffuser de nouveaux systèmes innovants à bas intrants, capables de répondre aux enjeux et impasses techniques auxquels les producteurs cidricoles sont confrontés.

L'étude « Verger Cidricole de demain » est un projet CASDAR qui a débuté en 2009. Ce dernier repose sur une approche systémique ayant pour but d'expérimenter et d'évaluer des vergers cidricoles, de comparer des systèmes de production à double performance environnementale et économique ; en accord avec les orientations du Programme National de Développement Agricole et Rural (PNDAR) 2014-2020 (Ministère de l'Agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2013).
Ce projet consiste à étudier sur une période minimale de 8 ans, 8 vergers de producteurs répartis sur les 3 principaux bassins de production de pommes à cidres et sur 6 départements. Les vergers étudiés sont conduits à l'aide de différentes combinaisons alternatives, utilisant le moins d'intrants possible, allant de l'implantation du verger jusqu'à sa mise en production. Ainsi, différents aspects techniques portants sur des volets tels que la gestion de la charge de l'arbre, la fertilisation, la gestion du sol, la protection phytosanitaire sont testés et évalués.

3. Le puceron cendré du pommier (*Dysaphis plantaginea*) : un des ravageurs principaux en jeune verger de pommier.

Selon une enquête réalisée en 2009 par l'IFPC auprès de 89 producteurs, le puceron cendré (*D. plantaginea)* apparait comme l'un des principaux ravageurs en jeunes vergers cidricoles (Deplaude et Dupont, 2009). L'étude de ce ravageur et des moyens de lutte utilisés, constituent donc des points importants à évaluer lors du projet « Verger Cidricole de demain » (Albert *et al.*, 2014).

D'origine européenne, le puceron cendré est présent en Amérique du Nord, en Afrique du Nord, au Moyen-Orient ainsi qu'en Asie (Blackman et Eastop, 1984). Selon Blommers (2004) et De Berardinis (1993), les dégâts occasionnés par ce puceron pourraient représenter entre 30 à 80% de perte en vergers non protégés.

- <u>Morphologie et identification :</u>

Figure 1: Photos d' une colonie et de la forme ailée de Dysaphis plantaginea (photo : INRA, Bernard Chaudet)

D. plantaginea est reconnaissable à sa forme globuleuse et à sa couleur vert olive pour les adultes aptères (2 à 3 mm) ou rose pour les jeunes larves (figure 1). Les œufs ont une forme ovale et mesure environ 0.5 mm. On les reconnait à leur couleur noir brillant. L'extrémité des antennes de *D. plantaginea* est sombre et sa cauda (queue) est triangulaire et courte. La forme ailée du puceron cendré est de couleur noire avec une tache brun foncé brillant au centre de l'abdomen et possède deux paires d'ailes (figure 1).

- <u>Dégâts occasionnés :</u>

Le puceron cendré est un insecte de type piqueur suceur se nourrissant de sève élaborée (Homoptera, Aphididae**)**. Les dégâts causés par *D. plantaginea* sur pommier sont visibles sur différents organes et ont des répercussions à plus ou moins longs termes (figure 2). En effet, les piqures de ce puceron provoquent sur les feuilles de pommiers des enroulements (toujours dirigés vers la face inférieure) ainsi que des dépigmentations plus ou moins marquées (jaunissement) ayant un impact direct sur la photosynthèse et donc sur la production du verger. Ce ravageur s'attaque également aux bourgeons, aux jeunes fruits et en cas de forte infestation, le miellat qui est une substance excrétée par les pucerons, peut provoquer des brûlures de feuilles, occulter les stomates, et favoriser le développement de fumagine, complexe de champignons noirâtres, qui déprécie la qualité des fruits.
Les attaques de *D. plantaginea* peuvent donc préjudicier fortement le rendement et la valeur commerciale de la production.

De plus, le puceron cendré s'attaque aux jeunes pousses, provoquant des galles et déformant ainsi les jeunes rameaux. Ces dégâts rendent alors délicates les opérations de tailles, diminuent la vigueur des arbres, et peuvent compromettre sérieusement la formation du verger. Les dégâts causés par *D. plantaginea* impactent non seulement la production de l'année de l'infestation, mais aussi celles des années suivantes.

Figure 2: Dégâts occasionnés par le puceron cendré (photo : Alizée Taillade, Antoine Quéro.)

- <u>Cycle de développement :</u>

Dans les principales régions productrices de pommes à cidre, les dommages causés par le puceron cendré ont lieu entre la période de mi-avril à début juillet. Cette période critique est à mettre en relation avec le cycle biologique de *D. plantaginea*, (figure 3) notamment décrit par Lathrop dans son article « The biology of apple aphids » (1928). En effet, *D. plantaginea* se développe sur deux plantes : le pommier (*Malus domestica)*, son hôte primaire et le plantain (*Plantago* sp*)*, son hôte secondaire. Ce puceron passe l'hiver sous la forme d'œufs pouvant être observés sur son hôte primaire : le pommier. Ces œufs éclosent aux printemps (mi-mars) et donnent naissance aux premières fondatrices aptères qui se développent sur les jeunes bourgeons. Ces dernières vont alors se multiplier par parthénogénèse engendrant jusqu'à 70 virginipares aptères (femelles parthénogénétiques) ayant le même pouvoir multiplicateur. Trois à six générations se succèdent ainsi jusqu'au début de l'été pouvant créer de grosses colonies. C'est lors de cette période que *D. plantaginea* est préjudiciable pour la culture des pommiers (Lathrop, 1928 ; Blommers *et al.*, 2004). A partir de la troisième génération, des formes ailées commencent à apparaitre au sein des colonies, ce qui annonce le début de la migration du puceron cendré vers son hôte secondaire : le plantain. Cette migration va durer jusqu'à fin juin. Puis de juillet à novembre, 3 à 8 générations vont se développer sur cette plante vivace. Au début de l'automne, des sexupares ailés apparaissent au sein des colonies et vont commencer une nouvelle migration, cette fois-ci vers le pommier, où ils s'accoupleront et où les femelles pondront jusqu'à 8 œufs à la base des bourgeons ou sous l'écorce des arbres. L'espèce passera ainsi l'hiver sous la forme d'œufs et recommencera son cycle le printemps suivant (140° degrés jour au-dessus du seuil thermique de 4°C sont nécessaires à l'éclosion des œufs).

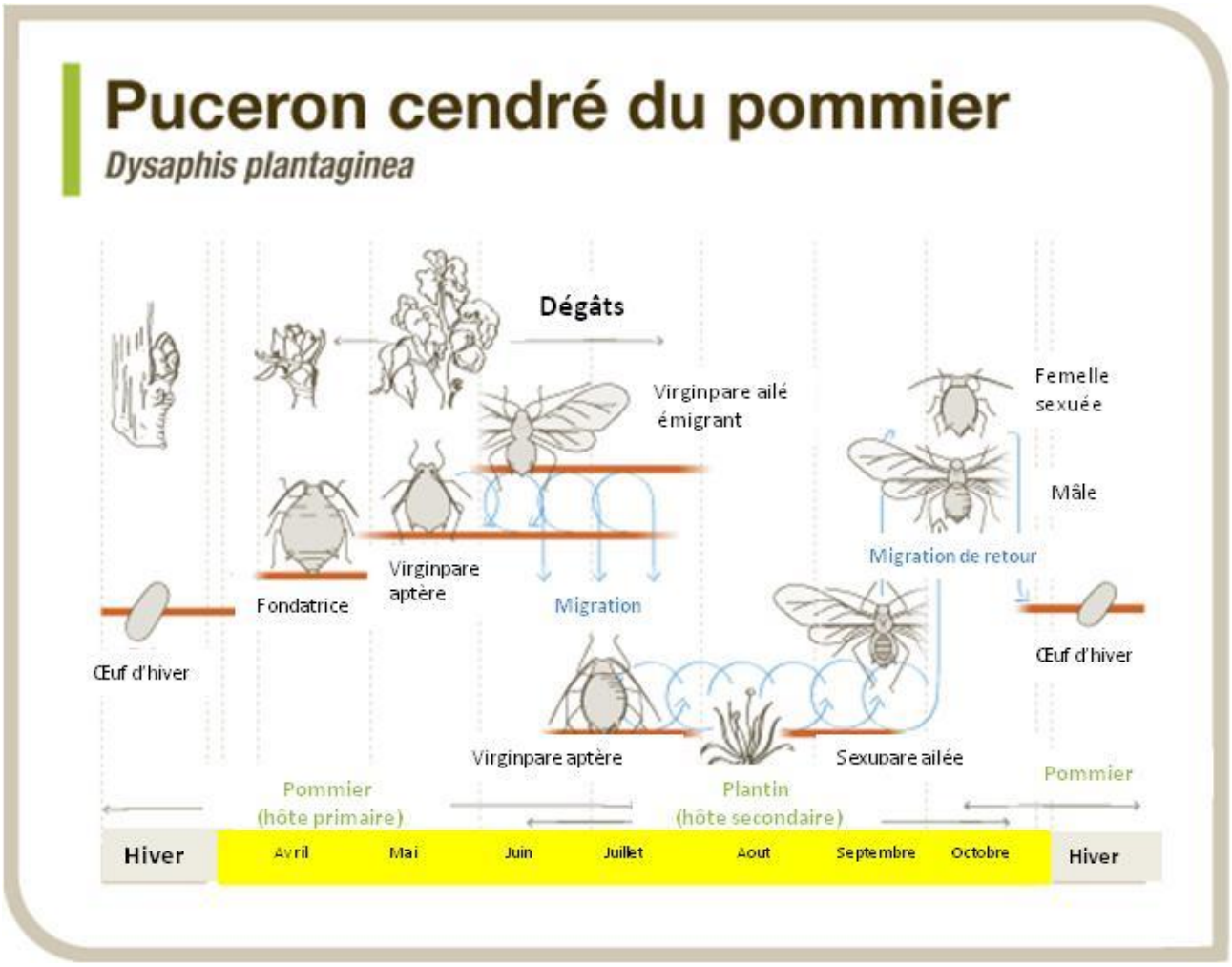


Figure 3: Cycle du puceron cendré (source:bayer-agri.fr)

4. Les moyens de lutte utilisés face au puceron cendré du pommier.

Pour contrôler le ravageur *D. plantagiena*, différents moyens et techniques ont été mis en œuvre et testés. On peut citer :

- Les aphicides. L'efficacité des aphicides est avérée (Simon et *al*., 2010) mais leurs utilisation est de plus en plus restreinte (le Plan Ecophyto 2018 prévoit de diminuer l'utilisation des produits phytosanitaires en France de 50% d'ici 2018.)

- La modification de l'appétence des feuilles par la pulvérisation d'argile. Cette technique consiste à appliquer sur les arbres en automne, de la kaoline calcinée pour créer une barrière physique efficace pendant toute la période de migration de retour des pucerons. Cette technique permettrait de diminuer de moitié les populations de pucerons cendrés au printemps suivant (Romet, 2004).

- La défoliation artificielle automnale. La défoliation automnale éviterait aux pucerons de s'alimenter suite à leur vol retour sur le pommier. Cette technique aurait pour conséquence une diminution de la ponte et réduirait ainsi l'inoculum au printemps suivant (Romet, 2004 ; Radoslav *et al.*, 2012).

- La conduite de l'arbre. La conduite centrifuge des pommiers visant à créer un « puits de lumière » au centre de l'arbre, permettrait de limiter le développement du puceron cendré. Avec cette conduite, le centre de l'arbre est moins feuillu. Ceci freinerait alors la colonisation du puceron cendré au sein de l'arbre infecté (Brun *et al.*, 2006 ; Simon *et al.*, 2009a).

- Le choix variétal. Les variétés tardives ont tendance à être plus tolérantes aux attaques des pucerons cendrés. En effet, sur ces variétés, on observe une plus forte mortalité chez les fondatrices. Ceci serait expliqué par le décalage temporel entre l'éclosion des œufs des pucerons cendrés et le débourrement des arbres (Miñarro et Dapena, 2007).

- La gestion de la fertilisation. Une fertilisation azotée trop importante peut entrainer un excès de vigueur et donc une attaque plus sévère du puceron cendré (Brown, 2008).

- La suppression du plantain. L'hypothèse est qu'en diminuant les populations de plantain avoisinant les vergers, les populations de pucerons cendrés se verraient dépourvues de leur hôte secondaire, ce qui limiterait leur développement. Une expérience menée au Canada dans la région de Vancouver a démontré que ceci n'a pas de réelle incidence sur l'abondance du puceron cendré (Brown, 2008).

- Le contrôle des fourmis. Les fourmis peuvent contribuer de manière importante au développement des colonies de puceron cendré. Ces dernières les « élèvent » pour leur miellat et les protègent contre leurs ennemis (Miñarro *et al.*, 2010). Les contrôler par l'utilisation de bande collante sur les troncs ou par l'application de soufre au pied des arbres, permettrait donc de limiter l'attaque du ravageur.

- La lutte biologique. « La régulation naturelle des populations ou le contrôle biologique naturel est issu de l'action conjointe de parasitoïdes, prédateurs et pathogènes qui a pour conséquence de réduire l'abondance d'un organisme en dessous […] d'une valeur seuil, qui correspond à une densité de ravageur au-dessus de laquelle les dégâts provoqués occasionnent des pertes économiquement dommageables » (Ricard *et al.*, 2012). Plusieurs méthodes ont été testées en lutte biologique augmentative consistant à des lâchers d'auxiliaires.
  Ainsi, nous pouvons citer l'expérience de Deguette et Wateau (2010). Cette dernière a consisté en un lâcher de larves de Coccinelle *Adalia bipunctata* (20 larves par arbre) dans un verger situé dans le Nord Pas de Calais durant trois années (2005, 2006 et 2007). Les résultats obtenus sont très variables suivant les années. Il semblerait que de tels lâchers contrôleraient efficacement les populations de pucerons cendrés lors d'année à faible infestation ; mais lors d'années de forte infestation, ce type de lutte n'empêcherait pas le développement des foyers déjà en place (Deguette et Wateau, 2010.).
  Une autre expérience de lutte biologique par augmentation contre le puceron cendré a été menée dans le domaine de l'INRA d'Avignon en avril 2009. Celle-ci a consisté en des lâchers de larves de forficules (20 par arbres) en verger de pommes à couteaux. Les résultats obtenus lors de cette expérience n'ont pas permis de conclure sur l'intérêt de cette méthode (Dib, 2010).

5. La lutte biologique par conservation et les principaux ennemis naturels du puceron cendré.

La lutte biologique par conservation « s'attache à favoriser la présence et l'efficacité des ennemis naturels contre les ravageurs, grâce à la mise en œuvre de pratiques agronomiques et écologiques favorables » (Ricard *et al.*, 2012). Une première phase consiste donc à répertorier les différents ennemis naturels du ravageur étudié. Puis, de comprendre leur écologie afin d'établir des pratiques favorables à l'établissement de leurs populations, c'est-à-dire des pratiques favorisant : abris, nourriture et sites d'hivernation.

En Europe, deux principaux prédateurs sont retrouvés dans les colonies de *D. plantaginea* (Miñarro *et al.*, 2005 ; Wyss *et al.*, 1999b ; Dib, 2007). Ces derniers apparaissent de façon séquentielle au sein des colonies de puceron cendré. On retrouve tout d'abord les syrphes et en particulier le syrphe ceinturé (*Episyrphus balteatus*), puis les coccinelles avec notamment, la coccinelle à deux points (*Adalia bipunctata*) et la coccinelle asiatique (*Harmonia axyridis*).

Selon Scholtz et Poehling (2010), les syrphes (figure 4) sont des diptères le plus souvent retrouvés en milieu ouvert. Les larves sont généralement aphidiphages et participent activement à la régulation des populations de pucerons. Les adultes sont floricoles (ils se nourrissent de nectar et pollen) et se reconnaissent facilement sur le terrain par leur vol stationnaire. Les femelles peuvent pondre de 500 à plus de 1000 œufs chez certaines espèces (Legemble, 2008). Chez les espèces aphidiphages, les œufs sont trouvés proches des colonies de pucerons, ils ressemblent à des grains de riz blancs (figure 4) et éclosent en moyenne après une semaine d'incubation (période qui peut différer en fonction de la température). Les larves (figure 4) ont une grande capacité de déplacement et sont des prédatrices voraces pouvant consommer jusqu'à 400 pucerons au cours de leur vie. Ce stade larvaire peut durer de 8 à 15 jours. Deux à trois générations par an peuvent ainsi se succéder avant l'hiver. Durant cette période, la plupart des espèces de syrphes hiverne à l'état adulte ou sous forme de pupe dans le sol.

Figure 4: photos d'Episyrphus balteatus (Syrphe ceinturé) au stade œuf, larvaire et au stade adulte. (photo: INRA)

Les coccinelles (figures 5) sont des insectes appartenant à l'ordre des coléoptères et sont retrouvés dans une grande diversité d'habitats, certaines préférant la strate herbacée et d'autres, comme *Adalia bipunctata*, la strate arbustive (Site INRA Encyclop'aphid, 2015). Les larves et les adultes ont un régime alimentaire similaire, elles sont souvent prédatrices et en majorité aphidiphages (en particulier les tribus Coccinellini, Hippodamini et Scymnini). Leur consommation journalière peut atteindre 40 pucerons (Lucas, 1993). En absence de proie, ces dernières peuvent également consommer du nectar, du miellat ou du pollen. Les femelles peuvent pondre une centaine d'œufs (figure 5). Ceux-ci, de couleur jaune orange, sont souvent pondus en petits groupes à proximité de leurs proies préférentielles. Leur période

d'incubation varie de 4 à 10 jours suivant l'espèce. Leur stade larvaire dure de une à deux semaines et leur durée de vie est en moyenne de 3 mois pour les générations printanières et d'un an pour les générations entrant en diapauses estivale et hivernale. Durant cette période, les espèces de coccinelles hivernent sous forme adulte sous les écorces ou sous les pierres.

Figure 5: photos de Harmonia axyridis (coccinelle asiatique) au stade œuf, larvaire et au stade adulte (photo:INRA)

6. Les infrastructures agro-écologiques.

Afin de favoriser la présence de ces divers auxiliaires au sein des vergers, les infrastructures agro-écologiques (IAE) sont des leviers pouvant être mobilisés. Ces dernières correspondent à des habitats semi-naturels qui ne reçoivent ni fertilisants chimiques, ni pesticides et qui sont gérés de manières extensives (Bonnet, 2012). Ainsi, certaines prairies permanentes, d'estives, landes, haies, arbres isolés, lisières de bois, bandes enherbées le long des cours d'eau, bordures de champs, bandes fleuries, jachères, terrasses et murets, mares et de fossés et autres particularités sont considérés comme des infrastructures agro-écologiques.

Plusieurs études ont été menées sur des vergers afin de savoir si de telles infrastructures pouvaient jouer un rôle sur la régulation de ravageurs. Simon *et al.* (2009b) ont ainsi répertorié 30 expériences portant sur ce thème : 16 d'entre elles se sont avérées être un succès, 9 ont abouti à des résultats peu significatifs et 5 cas ont été un échec. Ceci montre la difficulté pour mettre en place un contrôle biologique satisfaisant en système arboricole fruitier.

En ce qui concerne proprement les vergers des pommiers cidricoles, une étude de Miñarro et Prida (2013) a montré l'intérêt des haies bocagères dans l'augmentation de la biodiversité chez les arthropodes, et ainsi, l'amélioration possible de la lutte biologique naturelle contre les pucerons dans les vergers, en bordure de haie. Plusieurs auteurs mentionnent également l'utilisation des bandes fleuries comme levier d'actions afin de favoriser le contrôle biologique de *D. plantaginea* (Jamar et Lateur, 2014 ; Romet, 2005).

Ces différentes observations ont suscité un vif intérêt chez les producteurs de la filière cidricole. Ces derniers ont donc ajouté l'évaluation de ce type d'infrastructures sur l'amélioration de la lutte biologique contre le puceron cendré, dans le projet « Verger Cidricole de demain ».

Ainsi, sur les différents sites expérimentaux du projet « Verger Cidricole de demain », différentes bandes fleuries ont été testées. Une thèse CIFRE en partenariat avec l'INRA, Agrocampus Ouest et l'IFPC a également été intégrée au projet en 2014, ceci dans le but d'étudier les relations existantes entre la présence d'infrastructures agro-écologiques (haies et bandes fleuries) et le niveau de bio-contrôle

observé sur les parcelles. Le but étant à terme, de pouvoir fournir aux professionnels des leviers d'action pour les aider à choisir les IAE correspondant au mieux à leurs objectifs et contraintes.

Cette présente étude s'inscrit dans cette démarche et consiste à évaluer l'intérêt des infrastructures agro-écologiques et des pratiques agricoles dans le contrôle du puceron cendré en verger cidricole, pour l'année 2014 et 2015.

II – Matériel et méthodes.

1. Les sites sélectionnés.

Afin d'avoir une représentation globale de l'ensemble des systèmes de production de la filière et des 4 principaux bassins de production, un large panel de systèmes a été sélectionné. Ainsi, 8 vergers ont été plantés lors de cette expérience entre les années 2010 et 2012 sur 6 départements, chez 7 producteurs suivant le cahier des charges PFI (Production Fruitière Raisonnée) et chez 2 producteurs suivant le cahier des charges de l'agriculture biologique (figure 6). Les vergers plantés lors de cette étude, diffèrent également selon leurs conditions pédoclimatiques.

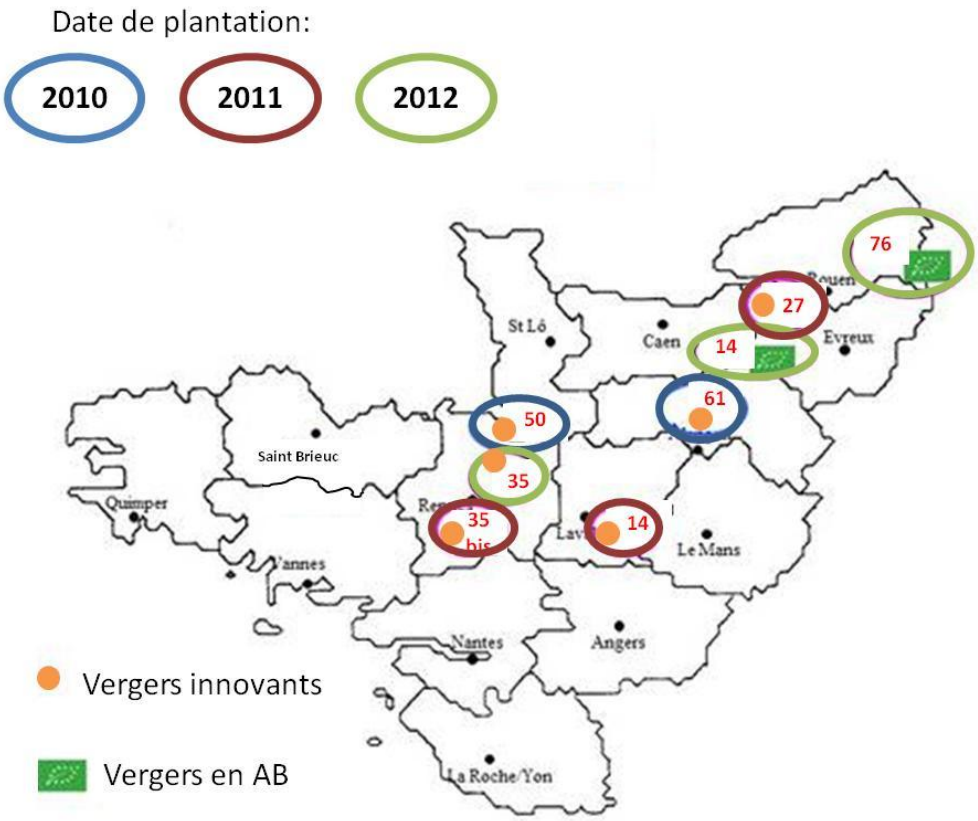


Figure 6: Localisation des différents sites expérimentaux répartis sur les 4 principales régions cidricoles : la Basse et Haute Normandie, les Pays de la Loire et la Bretagne (source : IFPC).

2. Vergers étudiés.

Le projet « Verger Cidricole de demain » est une expérimentation en plein champs s'appuyant sur une approche système.

<u>Les fiches descriptives des différents vergers sont présentées en annexe 1.</u>

Sur chaque site, un verger d'une surface variant entre 1 et 2 hectares a été planté (entre les années 2010 et 2012 selon les sites, voir figure 6). Chaque verger a été scindé en 2 modalités :

- La modalité PROD : qui correspond à un verger en phase avec les pratiques actuelles du producteur.

- La modalité ECO : qui correspond à un verger à faible niveau d'intrants combinant plusieurs itinéraires techniques alternatifs et innovants.

Ces deux modalités sont séparées par une haie de feuillus ayant été plantée en même temps que les vergers (appelé haie ECO/PROD).

Un dispositif commun aux différents sites et aux vergers ECO et PROD portant sur le matériel végétal a été établi lors de la conception des vergers. En effet, chaque verger comporte au minimum 3 rangs de 3 variétés (Judor, Dabinett, Douce de l'Avent) de 20 arbres minimum, greffés sur MM106 (figure 7). De manière sommaire, la variété Douce de l'avent se caractérise par sa forte vigueur et son débourrement précoce par rapport aux variétés Judor et Dabinett.

Les caractéristiques détaillées des variétés Judor, Dabinett et Douce de l'Avent annexe2.

Une bande fleurie a également été semée autour (sites 35 et 35 bis) ou en inter rangs des sites (sites 61, 14, 76, 50, 27) dans la modalité ECO, ceci afin d'évaluer l'intérêt de ce type d'infrastructure sur le niveau de bio-contrôle observé sur les parcelles. On distingue 2 modalités de bandes fleuries selon les vergers qui diffèrent par leur composition et densité de semis:

- Bandes fleuries mélange Ecosem « Verger durable ».
- Bandes fleuries mélange « IFPC 2 ».

Les caractéristiques de ces différents mélanges sont présentées en annexe 1 sur les fiches parcelles.

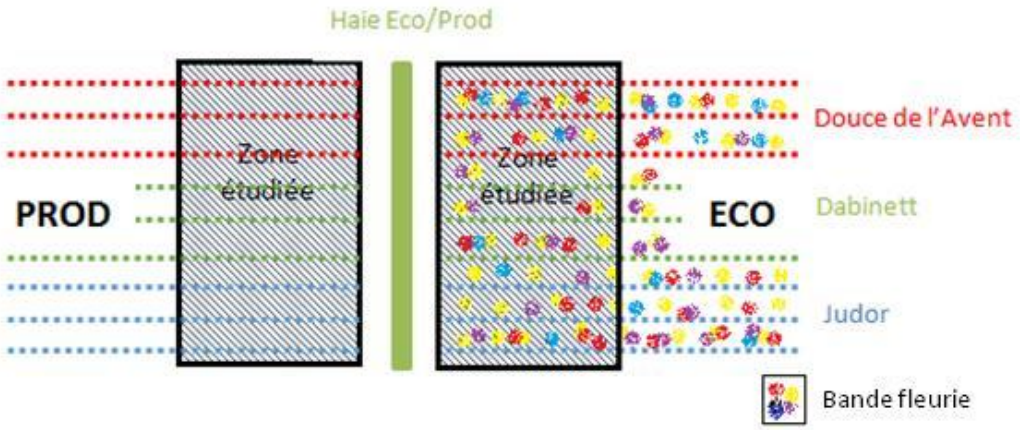


Figure 7: Schéma d'une zone étudiée (exemple du Site 14).

Les vergers plantés lors de cette étude, diffèrent également selon leurs itinéraires techniques (traitements phytosanitaires, fertilisation…), la conduite des arbres et leur densité de plantation (la densité de base utilisée dans la plupart des vergers est de 790 arbres/hectares, mais 1 site (35 bis) a été planté avec une densité de 910 arbres/ hectare et deux autres avec une densité de 510 arbres/hectare (modalités ECO sites 14 et 76).

3. Suivi des populations de pucerons cendrés et de son cortège d'auxiliaires à l'échelle de la parcelle.

Afin d'étudier l'infestation du puceron cendré et la régulation naturelle ayant lieu sur les différents sites et modalités, un suivi des populations de pucerons cendrés et des populations d'auxiliaires a été réalisé à l'échelle de la parcelle sur un tiers des deux modalités ECO et PROD (cette surface a été choisie de façon arbitraire, la surface totale des vergers ne pouvant être suivie par manque de temps). Ces échantillons ont été sélectionnés en fonction de leur proximité aux infrastructures agro-écologiques présentes en bordure de parcelle: haies séparant les vergers ECO et PROD, autres haies et bandes fleuries (figure 7). Les suivis ont été réalisés sur les années 2014 et 2015, de manière hebdomadaire sur la plupart des vergers et pour les vergers les plus éloignés, tous les 15 jours. En moyenne 180 arbres ont été suivis par parcelle pour chaque relevé. Cette expérience a commencé pour les deux années 2014 et 2015, mi-mars et s'est arrêtée début juillet, période pendant laquelle *D. plantaginea* pose problème et est présent en jeunes vergers cidricoles. Le suivi des 8 sites a été réparti entre deux personnes. Les arbres des parties de vergers sélectionnées ont été suivis jusqu'à une hauteur de 1,70 mètre (hauteur d'homme).

Chaque suivi a consisté au comptage du nombre de foyers vivants et/ou morts par arbre, du nombre de foyers occupés par des fourmis et du nombre de foyers occupés par des auxiliaires. Une estimation du nombre de pucerons ailés, non ailés et de fourmis par arbre a également été effectuée. Les auxiliaires retrouvés dans les foyers ont été identifiés (famille et espèces) et spécifiés lors des notations.

4. Evaluation de la prédation sur les différentes parcelles.

Cette étude s'insère dans un projet de l'INRA regroupant 5 sites (Avignon, Chizé, Dijon, Rennes et Toulouse) et a été réalisée sur 5 parcelles. Elle a pour but d'évaluer la prédation réalisée sur une graine d'adventice : la violette (*Viola arvensis*), et sur différentes proies : pucerons (*Acyrthosiphon pisum*), œufs de teigne *(Ephestia kuehnielle)* et œufs de carpocapse (*Cydia pomonella*) dans différents types et systèmes de culture aux cours de deux périodes de l'année. Ainsi, sur les parcelles « Verger Cidricole de demain », des cartes de prédations ont été placées sur 10 arbres de la variété Douce de l'Avent (sélectionnés aléatoirement) dans les deux modalités de chaque verger. Les cartes de prédations sont constituées d'un morceau de papier de verre (5x5cm) sur lequel est collé un type de proies. Ces dernières sont déposées au pied des arbres ou sur la face inférieure de feuilles et sont laissées durant un laps de temps défini dans les vergers, exposées à leurs prédateurs (24 H pour les pucerons et 3 jours pour les autres proies/graines). Suite à ce temps d'exposition, ces cartes sont collectées et analysées. La différence entre le nombre initial et le nombre final de proies ou de graines, permet d'estimer la prédation exercée sur la proie au sein de la parcelle. Sur chaque arbre, il a été placé au sol une carte de graines et une carte de pucerons, dans le couvert, une carte de pucerons et deux cartes d'œufs. Chaque carte contient soit 10 graines de violette (*Viola arvensis*), soit 3 pucerons (*Acyrthosiphon pisum*), soit un paquet d'une dizaine d'œufs *d'Ephestia kuehnielle* ou de carpocapse (*Cydia pomonella*).

Les résultats de cette étude sont en cours d'analyses et ne pourront être exposés dans ce rapport. Ils permettront, entre autre, d'évaluer la prédation exercée sur les pucerons dans les modalités ECO et PROD de 5 parcelles du projet « Verger Cidricole de demain ».

5. Biodiversité retrouvée sur les différents vergers et sur les infrastructures agro-écologiques (IAE).

Afin de caractériser la biodiversité retrouvée dans les différents sites et modalités des vergers, des captures de la faune entomologique ont été réalisées au filet fauchoir. Cent coups de filet fauchoir ont été effectués sur chaque haie (haie ECO/PROD et autres haies à proximité des vergers), sur les différents inter-rangs (bande fleurie et bande enherbée), et sur chaque variété (Judor, Dabinett et Douce de l'Avent) des deux modalités. Les insectes collectés seront ensuite déterminés (hiver 2015). Les résultats permettront par la suite d'évaluer la présence et la communauté d'auxiliaires présente sur chaque verger et leur localisation dans ces derniers.

6. Analyses Statistiques

L'analyse statistique s'effectuera sur les années 2014 et 2015, sur les sites : 14, 61, 35, 35 bis, 50 et 76. Les sites 53 et 27 ne seront pas étudiés dans ce rapport. En effet, très peu de pucerons cendrés ont été retrouvés dans la parcelle 53 en 2014 et 2015 et concernant la parcelle 27, un problème lors de la fin des comptages est survenu en 2015, rendant les résultats non exploitables dans cette étude.

- <u>Description générale.</u>

La première partie de cette étude visera à décrire l'infestation du puceron cendré et des populations d'auxiliaires retrouvées lors des deux années de comptage 2014 et 2015, en fonction des facteurs : années, sites, modalités et variétés.

Lors des comptages, deux variables d'abondance ont été utilisées pour caractériser les populations de pucerons cendrés observées par arbre : le nombre de foyers vivants et le nombre d'individus. Une régression linéaire réalisée entre le nombre de foyers vivants et le nombre de pucerons cendrés retrouvés par arbre, montre que ces deux variables sont fortement liées (Voir annexe 5: R^2=0.47 et p-value= 2e-16). Afin de simplifier la présentation des résultats et l'analyse, il n'a été utilisé dans cette partie qu'une seule variable d'abondance, correspondant au « nombre de foyers vivants ».

De plus, le nombre de relevés et le nombre d'arbres étudiés pour chaque site étant différents selon les sites et l'année, les résultats de cette partie ont dû être relativisés. Ainsi, il a été calculé l'abondance moyenne de foyers vivants par arbre afin de présenter et analyser les résultats obtenus (ex: AB_ moyenne de foyers vivants par arbre en 2015= nb foyers vivants observé en 2015/ nombres d'arbres étudié en 2015; avec nb arbres étudiés en 2015= ∑(nb arbre/ nb relevé) pour chaque site).

Des tests de Kruskall Wallis ont été réalisés afin de mettre en évidence, les différences d'infestation ayant eu lieu entre les sites et les variétés, sur l'ensemble des deux années de comptage (2014 et 2015). Les mêmes tests ont été également réalisés sur les populations d'auxiliaires actifs.

Un modèle généralisé a été ensuite réalisé afin d'expliquer le nombre de foyers vivants observés par arbre en fonction du plan expérimental constitué des facteurs : année, site, modalité et variété et de leur interaction de niveau 1.

Un autre modèle expliquant le nombre d'auxiliaires actifs observés en fonction du nombre de foyers vivants et du plan expérimental a été également réalisé, afin de mettre en évidence l'importance de ces différents facteurs et de leurs interactions sur la présence d'auxiliaires actifs.

- Etat du cortège des auxiliaires observés lors des comptages.

Cette partie a pour but de répertorier les différents auxiliaires observés sur les deux années de comptage afin d'en dissocier les principaux auxiliaires. Puis à partir de l'annexe 3 (réalisée à partir du logiciel Qgis), la dynamique de l'infestation du puceron cendré et des auxiliaires actifs au cours du temps et de l'espace a été étudiée en fonction des différents sites. A partir de ces documents, il a été également développé de manière sommaire, l'effet des aphicides et du matériel végétal, sur le développement du puceron cendré et des auxiliaires.

Dans un troisième temps, il a été étudié l'évolution des 5 principaux auxiliaires au cours de la période d'infestation du puceron cendré.

- Etude de la dynamique du puceron cendré en relation aux populations d'auxiliaires et des infrastructures agro écologiques à trois temps différents de l'infestation.

Analyses multivariées :

Le suivi de la population de pucerons cendrés et de son cortège d'auxiliaires sur les différentes populations de pommiers, a conduit à l'élaboration d'un fichier de données conséquent. Ce fichier comprend plus de 35 000 individus statistiques et 50 variables rendant ainsi l'exploitation des résultats complexe. L'ensemble des données recueillies ont été traitées par des analyses multivariées faisant notamment intervenir des Analyses en Composantes Principales (ACP).

Ces ACP présentent l'avantage d'être des analyses non-supervisées permettant de dégager l'information principale à partir des variables considérées. L'utilisation de ces analyses, a pour but de poser des hypothèses concernant le phénomène de régulation naturelle et l'influence possible des IAE sur la présence des auxiliaires actifs. Dans notre cas, les variables utilisées lors de la construction de nos axes sont :

- Abondance de foyers vivants (équivalent au nombre de foyers vivants par arbre)

- Abondance de foyers morts (équivalent au nombre de foyers morts par arbre)

- Abondance d'auxiliaires actifs (équivalent au nombre d'auxiliaires actifs par arbre : regroupant les larves de syrphes, les coccinelles au stade larvaire et adulte, les araignées, les forficules et les hétéroptères ou autrement dit punaises, les micro-hyménoptères, les larves de chrysope, les cantharides, les chrysopes larves)

- Abondance d'auxiliaires œufs (équivalent au nombre d'œufs de syrphe et coccinelle par arbre)

- Abondance de foyers occupés par des fourmis (équivalent au nombre de foyers occupés par des fourmis par arbre)

- Abondance de pucerons (équivalent au nombre de pucerons par arbre)

- Abondance de pucerons ailés (équivalent au nombre de pucerons ailés par arbre)

Afin de rendre compte de la dynamique de développement du puceron cendré vis à vis des populations d'auxiliaires, et ainsi d'observer le phénomène de régulation naturelle, les taux d'accroissement des différentes variables d'abondance citées précédemment ont également été calculés.

Taux d'accroissement (t) = (Abondance (t+1) - Abondance (t)) / (jour (t+1) – jour (t)).

De plus, dans le but d'évaluer si la qualité et la distance des IAE (bandes fleuries et haies bocagères) favorisent la présence des auxiliaires actifs, les distances séparant chaque arbre de la haie et bande fleurie la plus proche, ont été calculées. Une note de qualité a également été attribuée à chacun de ces deux types d'infrastructures agro-écologiques sur chaque modalité (ECO et PROD) des différents sites. Ces dernières ont été calculées en fonction de leur composition, de leur développement, de leur gestion et de leur emplacement sur la parcelle (voir annexe 4).

Les différentes variables relatives aux abondances et aux taux d'accroissements des populations d'auxiliaires et du puceron cendré, ainsi que les variables relatives à la distance et à la qualité des IAE ont été étudiées au cours de trois dates. A chacune de ces dates, il a été réalisé des ACP.

Ces trois dates ont été établies à partir d'un T0 relatif à chaque site selon l'année. En effet, étant donné que le puceron cendré se développe de manière différente selon les sites et les années (les sites de Normandie sont infestés plus tardivement que les sites de Bretagne, et un décalage de 15 jours a eu lieu entre les années 2014 et 2015), un temps T0 a été établi pour chaque site suivant l'année, correspondant à la date pour laquelle 10 premiers foyers ont été observés sur chaque site (T0 se situe entre fin-avril et mi-mai selon les sites et les années).

Puis à partir de ce T0, 3 autres dates ont été sélectionnées:

- La date T1 (T0 + 15 jours) : qui correspond à la phase de colonisation des vergers et du développement des premiers foyers de pucerons cendrés (située entre mi-mai et début-juin).

- La date T2: correspondant au pic du développement du puceron cendré et est observé environ 40 jours après T0 (située entre fin-mai et fin-juin).

-La date T3 (T0 + 60 jours): correspondant à la phase de décroissance du puceron cendré (située entre mi-juin et début-juillet).

En résumé, les ACP réalisées lors de cette étude ont pour objectif de rendre compte du phénomène de régulation naturelle. Ces analyses ont également pour but de poser des hypothèses concernant l'influence des IAE sur la présence d'auxiliaires actifs. Elles ont été effectuées sur trois temps correspondant à des phases précises du développement du puceron cendré, en fonction des variables d'abondance et le taux d'accroissement relatif aux populations d'auxiliaires et de pucerons cendrés.

Analyses univariées :

Suite à ces ACP, des hypothèses portant sur le phénomène de régulation naturelle ont été émises. Cette partie a consisté à expliquer le taux d'accroissement du puceron cendré en fonction des principaux auxiliaires rencontrés lors des différentes périodes d'infestation du puceron cendré. Des modèles linéaires généralisés, suivis de test de Chi2 ont été appliqués pour mener à bien cet objectif. Les variables liées au plan d'expérience ont également été incluses dans ces modèles, ainsi que leur interaction de premier ordre.

Des modèles généralisés ont été également appliqués afin de rendre compte de l'influence des IAE sur la présence d'auxiliaires actifs.

Le traitement des données a été réalisé avec le logiciel R studio.

III – Résultats.

1. Description générale.

A) Effet des facteurs : année, site, modalité, variété sur l'infestation du puceron cendré.

- Effet année et site.

Dans un premier temps, l'objectif est d'étudier la présence de foyers vivants en fonction des différentes années de comptage, sites, variétés et modalités.

Les données présentées sur la figure 8 font apparaitre le nombre de foyers observés par arbre en fonction des sites étudiés : 14, 35, 50, 61, 76 et 35 bis et des campagnes 2014 et 2015.

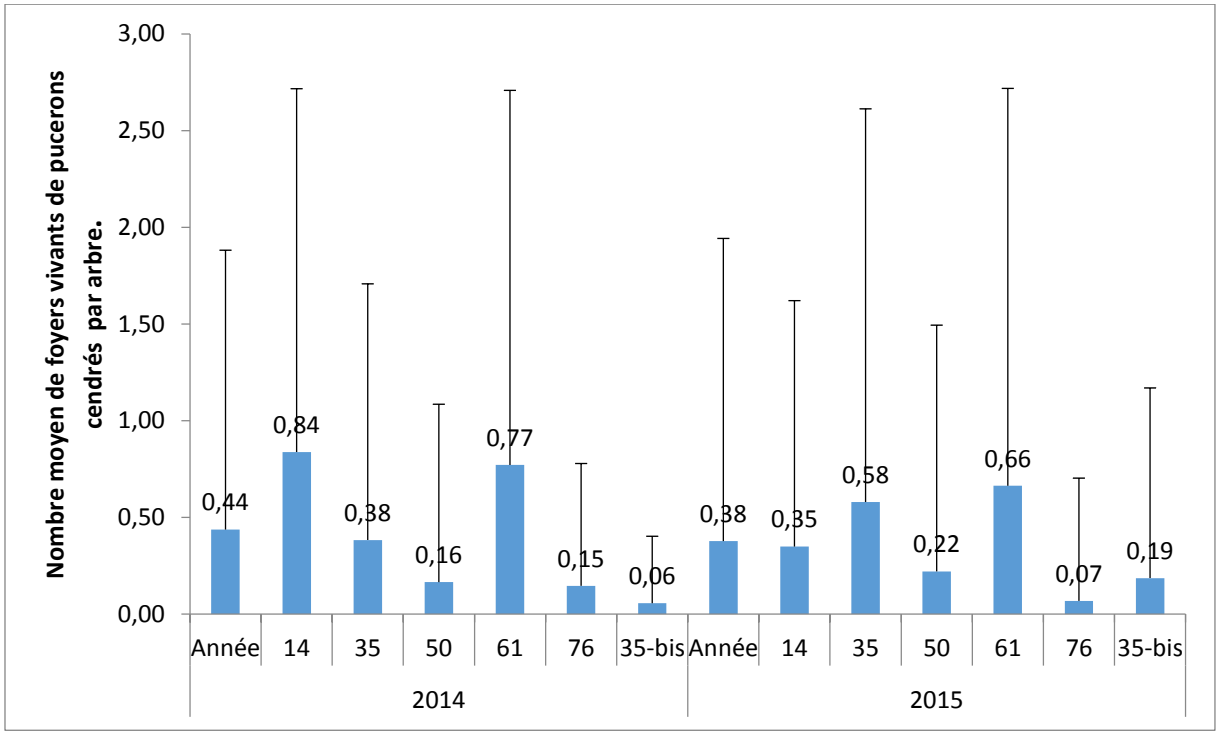


Figure 8: Nombre moyen de foyers vivants de pucerons cendrés recensés par arbre en fonction des sites et des années de comptages 2014et 2015.

L'étendue des écarts types signifie qu'une grande hétérogénéité d'infestation a été observée selon les arbres. Plusieurs tendances significatives sont cependant observées. L'infestation moyenne a été plus forte en 2014 (0.44 foyer par arbre) qu'en 2015 (0.38 foyer par arbre). Les sites 14, 61 et 35 semblent être plus sensibles au développement du ravageur que les sites 50, 76 et 35bis. L'infestation semble avoir été plus forte pour les sites 14, 61 et 76 lors de l'année 2014 que pour l'année 2015. A l'inverse, un plus grand nombre de foyers vivants ont été recensés lors de la campagne 2015 sur les 35 bis, 50 et 35 que lors de la campagne 2014. Un test de Kruskal Wallis réalisé sur les deux années de comptages, met en évidence que les infestations ayant eu lieu sur les 6 sites étudiés sont différentes de manière significative. Il dissocie 4 groupes distincts : le site 61 (a), le site 14 (b), le site 35 (c) et les sites 50, 35 bis et 76 (d) (annexe 5).

- Effet modalité.

Tableau 1: Pourcentage de foyers vivants retrouvés dans la modalité ECO et PROD pour l' années 2014 et pour l' année 2015.

Année	Modalité	Pourcentage de foyers vivants observés
2014	PROD	46%
	ECO	54%
2015	PROD	63%
	ECO	37%

Le tableau 1 montre les différences d'infestations entre les modalités ECO et PROD selon les années. On observe que pour l'année 2014, davantage de foyers vivants ont été recensés dans la modalité ECO (54%), contrairement à l'année 2015, où davantage de foyers vivants ont été recensés dans la modalité PROD (63%). Ceci peut être expliqué par l'utilisation d'aphicide plus tardivement au cours du cycle du puceron pour l'année 2015.

- Effet variété.

La présence du puceron cendré a également été évaluée sur les différentes variétés selon les années. La figure 9 présente les résultats obtenus.

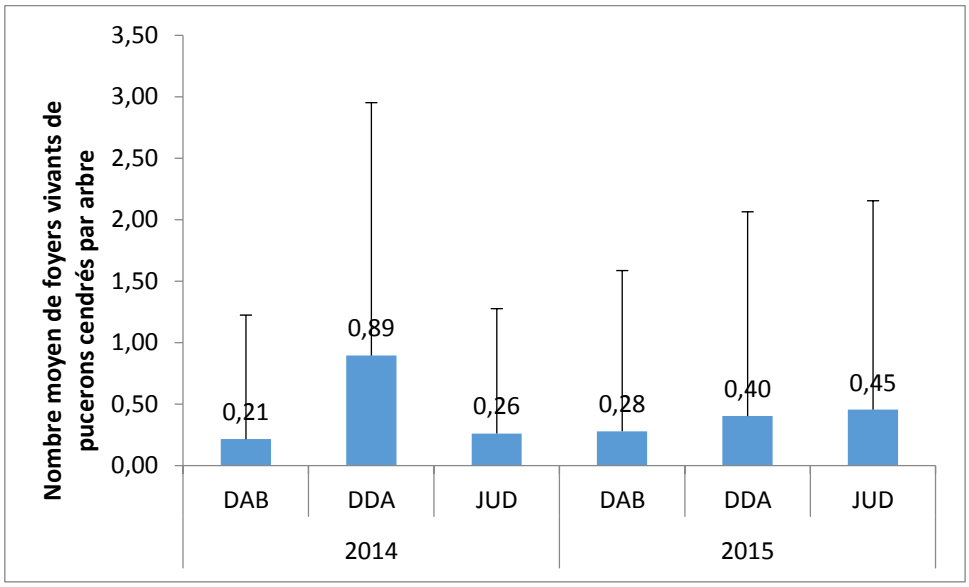


Figure 9: Nombre moyen de foyers vivants de pucerons cendrés recensés par arbre en fonction des variétés (DAB : Dabinett ; DDA : Douce de l'Avent; JUD : Judor) et des années de comptage 2014 et 2015.

La variété Dabinett est en moyenne la variété la moins infestée (0.24 foyer vivant de puceron cendré par arbre). En 2014, les variétés Judor et Dabinett présentent un niveau d'infestation similaire (0,21 foyer vivant pour Dabinett et 0,26 foyer vivant pour Judor), la variété Douce de l'Avent a, quant à elle, subit une infestation moyenne beaucoup plus grande (0,89 foyer vivant par arbre). En 2015, les différences d'infestations moyennes entre variétés sont moins marquées. La variété Dabinett reste la variété la moins touchée avec 0, 28 foyer vivant, puis suit, la variété Douce de l'avent avec 0.40 foyer vivant et enfin la variété Judor avec une moyenne de 0.45 foyer vivant. Le bilan de ces deux années a tendance à désigner la variété Douce de l'Avent, comme étant la variété la plus sensible aux pucerons cendrés (résultat

significatif), puis la variété Judor et enfin la variété Dabinett (hypothèses vérifiées par un test de Kruskall Wallis, annexe 5).

Un modèle généralisé a été réalisé dans le but d'expliquer le nombre de foyers vivants observé par arbre en fonction des facteurs : année, site, modalité et variété. Les résultats statistiques (annexe 5) mettent également en évidence la significativité des éléments : année, site, modalité et variété sur l'infestation du puceron cendré (p-value > 0.05) et sont en accord avec les résultats observés.

B) Effet des facteurs: année, site, modalité, variété sur la présence d'auxiliaires actifs.

- Effet année et site.

La présence d'auxiliaires actifs a également été évaluée en fonction des différents sites. La figure 10 montre que le nombre d'auxiliaires moyen retrouvé par arbre varie énormément selon les sites. De manière générale, moins d'auxiliaires actifs ont été retrouvés en 2015 par rapport à l'année 2014 (0.10 en 2014 et 0.07 en 2015). Un plus grand nombre d'auxiliaires retrouvé par arbre est observé sur les sites 61, et 14 et ceci lors deux années de comptage. Moins d'auxiliaires ont été recensés sur les parcelles 76 et 50 en 2015 par rapport à 2014.

De plus, et contrairement aux autres parcelles, le nombre d'auxiliaires actifs et de foyers vivants recensés sur la parcelle 76 lors des deux années de comptage, sont similaires (comparaison figures 10 et 8 : 0.15 foyer vivant en 2014 et 0.07 en 2015 versus 0.15 auxiliaire actif en 2014 et 0.08 en 2015). Cette parcelle est conduite en AB, ce qui pourrait expliquer ce résultat.

Un test de Kruskal Wallis réalisé sur les deux années de comptage, met en évidence et de manière significative, que les 6 sites étudiés n'ont pas accueilli un même nombre d'auxiliaires actifs. Ce test dissocie 4 groupes distincts de sites : le site 61 (a), le site 14 (b), les sites 76 et 35 (c) et les sites 50 et 35 bis (d) (annexe 5).

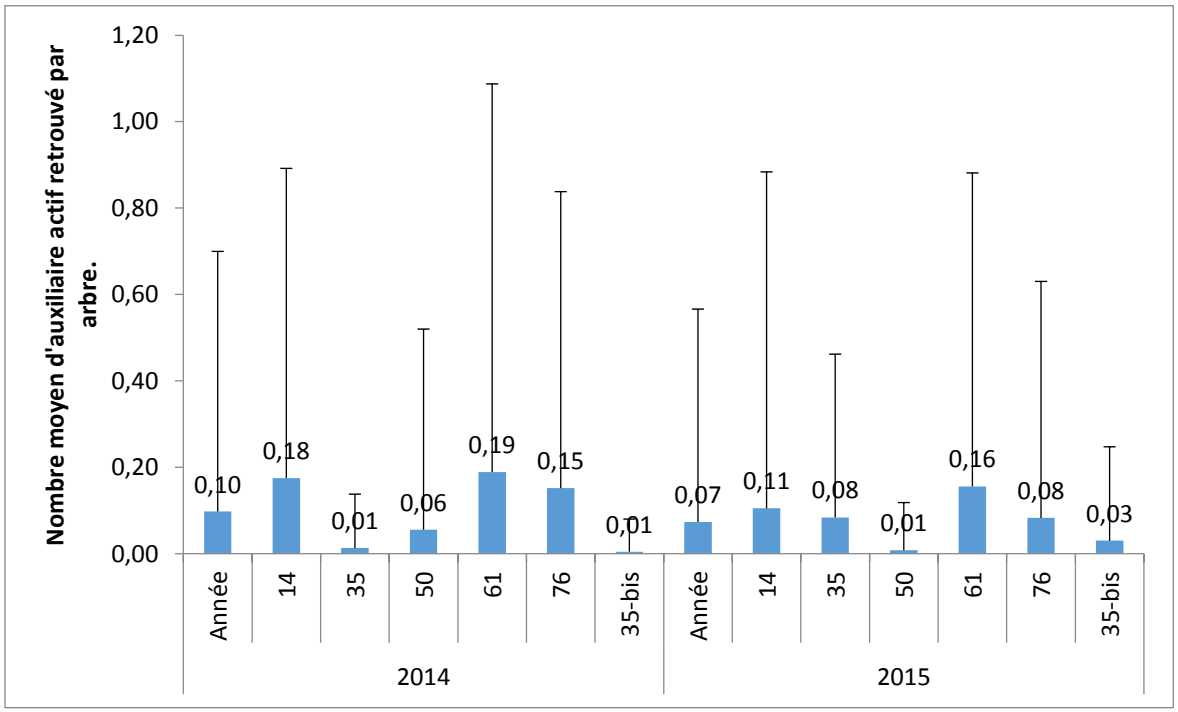


Figure 10 : Nombre moyen d'auxiliaires actifs observés par arbre en fonction des sites lors des années 2014 et 2015.

- Effet modalité.

Tableau 2: Pourcentage d'auxiliaires actifs observés dans la modalité ECO et PROD pour l' années 2014 et pour l'année 2015.

Année	Modalité	Pourcentage d'auxiliaires actifs observés
2014	PROD	36%
	ECO	64%
2015	PROD	48%
	ECO	52%

L'abondance moyenne d'auxiliaires actifs par arbre, observés par modalité selon l'année fluctue également. En 2014, 64% des auxiliaires ont été comptabilisés dans la modalité ECO et 36% dans la modalité PROD. Pour l'année 2015, un nombre équivalent d'auxiliaires a été recensé dans les deux modalités (52% en ECO et 48% en PROD).

- Effet variété.

La figure 11 présente le nombre moyen d'auxiliaires actifs observés par arbre en fonction des variétés. Ce dernier semble varier selon les sites, de la même façon que le taux d'infestation du puceron cendré trouvé par variété. En effet, le bilan sur les deux années montre qu'un nombre plus grand d'auxiliaires a été retrouvé sur la variété Douce de l'Avent (0,14 auxiliaire actif/arbre), puis sur la variété Judor (0.08) et enfin sur la variété Dabinett (0.04) (hypothèses vérifiées par un test de Kruskall Wallis, annexe 5).

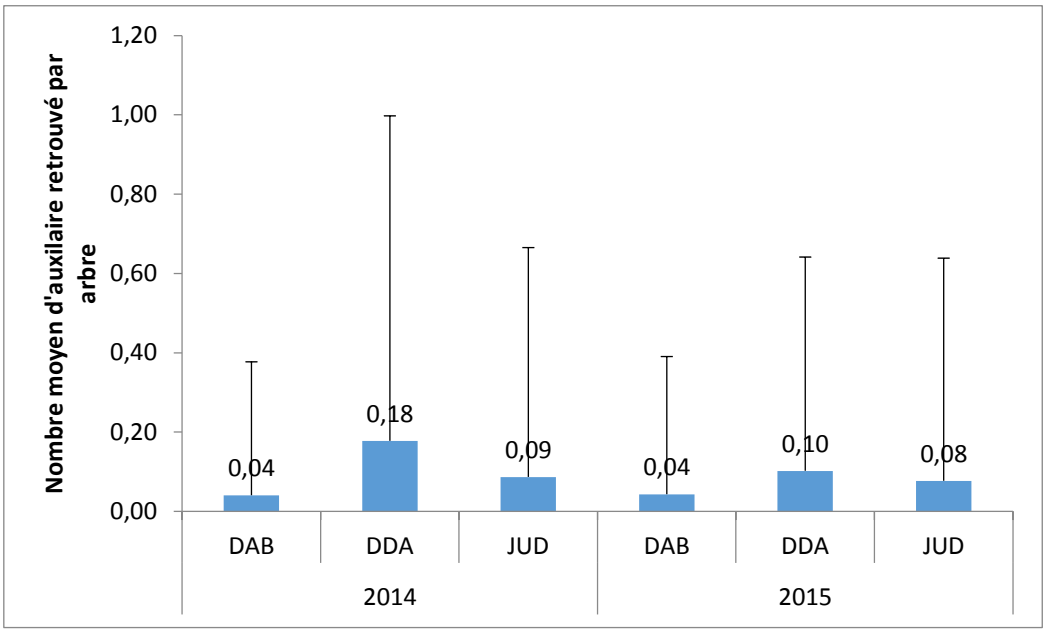


Figure 11: Nombre moyen d'auxiliaires actifs observés par arbre en fonction des variétés (DAB : Dabinett ; DDA : Douce de l'Avent; JUD : Judor) et des années 2014 et 2015

Un modèle généralisé a été réalisé dans le but d'expliquer le nombre d'auxiliaires actifs observés par arbre en fonction de l'abondance de pucerons cendrés et des facteurs : année, site, modalité et variété. Les résultats statistiques (annexe 5), mettent également en évidence la significativité des éléments : année, site, modalité et variétés sur la présence d'auxiliaires actifs et son accord avec les résultats observés.

2. Diversité du cortège des auxiliaires observés lors des comptages.

- <u>Etat du cortège des auxiliaires retrouvés lors des comptages.</u>

Lors des comptages, les auxiliaires ont été identifiés et comptabilisés. Le graphique ci-dessous (figure 12), présente les différents auxiliaires observés sur les sites lors des deux campagnes 2014 et 2015 ainsi que leur abondance.

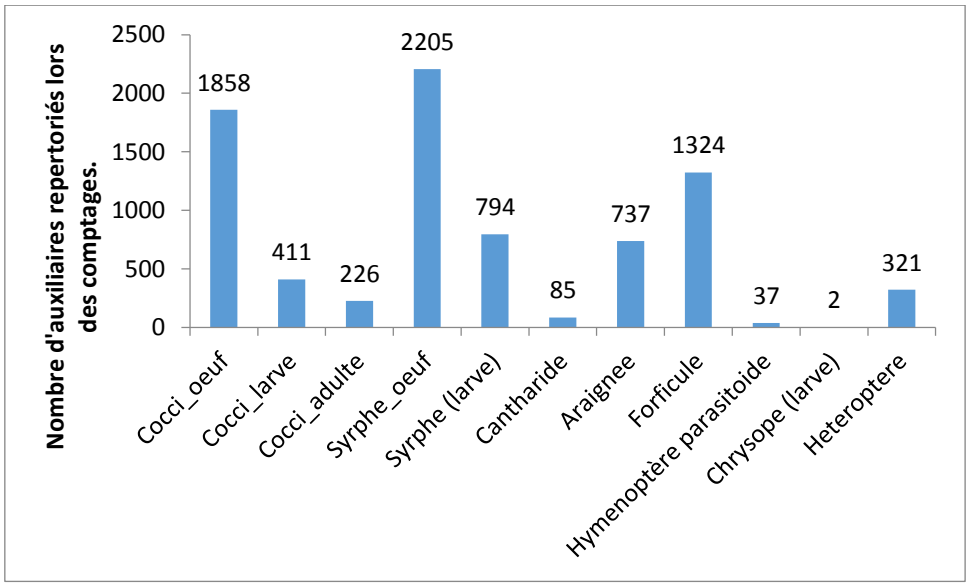


Figure 12: Diversité du cortège des auxiliaires observés sur l'ensemble des sites lors des deux années de comptage 2014 et 2015.

Les auxiliaires les plus observés sont : les forficules (1324 individus), puis les syrphes larves (794 individus), les araignées (737 individus), les coccinelles larves (411 individus, la majorité étant de l'espèce *Harmonia axyridis*), les hétéroptères (321 individus, principalement des familles Miridae, Anthocoridae, Nabidae) et enfin les coccinelles adultes (226 individus, la majorité étant de l'espèce *Harmonia axyridis*). Très peu de chrysopes (2 larves), d'hyménoptères parasitoïdes (35 individus) et de cantharides (85 individus) ont été répertoriés lors des deux années de comptages.

- <u>Dynamique de l'infestation du puceron cendré et des auxiliaires actifs au cours du temps en fonction des années et des différents sites.</u>

Les résultats de l'annexe 4 indiquent comment les populations d'auxiliaires se sont développées au cours du temps et en fonction de l'infestation du puceron cendré sur les différents sites étudiés. De manière générale, on remarque que les populations d'auxiliaires actifs se développent sur les arbres infestés par le ravageur, et ce, en même temps que l'infestation de *D. plantaginea*. Cependant, on remarque que pour le site 76 et pour l'année 2015, une forte population d'auxiliaires (*Harmonia axyridis*) était déjà présente dans les deux modalités (ECO et PROD) avant le début de l'infestation du puceron cendré. De plus, les résultats des deux années de comptage pour la parcelle 14, indiquent un léger décalage en fin d'infestation, où davantage d'auxiliaires sont retrouvés sur les arbres anciennement infestés (les auxiliaires retrouvés en fin de cycle étaient alors des larves de coccinelles). Ces documents permettent également d'observer sur quelles variétés le puceron cendré se développe au cours de la saison. On observe que le développement du ravageur *D. plantaginea* a lieu en premier sur la variété Douce de l'Avent puis sur la variété Dabinett et ensuite sur la variété Judor.

De plus, sur la plupart des sites (sites 61, 50, 35, 35 bis 14), on constate un effet « bordure ». En effet, le début de l'infestation du puceron cendré semble commencer sur les rangs situés en périphérie des zones d'études, proche des haies environnantes. Ceci est notamment visible pour le site 35, où l'infestation commence sur les premiers rangs de la variété Judor dans la modalité ECO. Ces rangs sont par la suite les plus infestés. Sur le site 61, et pour la majorité des autres sites, on observe que l'infestation commence sur les rangs de la variété Douce de l'Avent situés en périphérie.

Enfin, les documents présentés en annexe 3, mettent en évidence l'efficacité des aphicides sur le développement des populations de pucerons cendrés et celles des auxiliaires. En effet, sur les 8 sites étudiés, 6 ont eu recours à l'utilisation d'aphicide lors des deux années (sites 61, 50, 35 et 35 bis). La diminution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires après l'utilisation de produits phytosanitaires est flagrante.

- Dynamique des principaux auxiliaires en fonction de l'infestation du puceron cendré.

La dynamique de ces principaux auxiliaires a ensuite été étudiée en fonction de l'infestation du puceron cendré.

Le graphique de la figure 13 présente la dynamique globale des principaux auxiliaires rencontrés sur l'ensemble des sites, années, modalités et variétés à partir du début de l'infestation des pucerons cendrés (établi à la date de relevé où le nombre de foyers vivants retrouvé par site a été égale ou supérieur à 10 foyers vivants). Le nombre d'auxiliaires et de foyers vivants ont été relativisés à l'arbre observé lors des périodes considérées. Les périodes d'infestation correspondent à des intervalles de 15 jours.

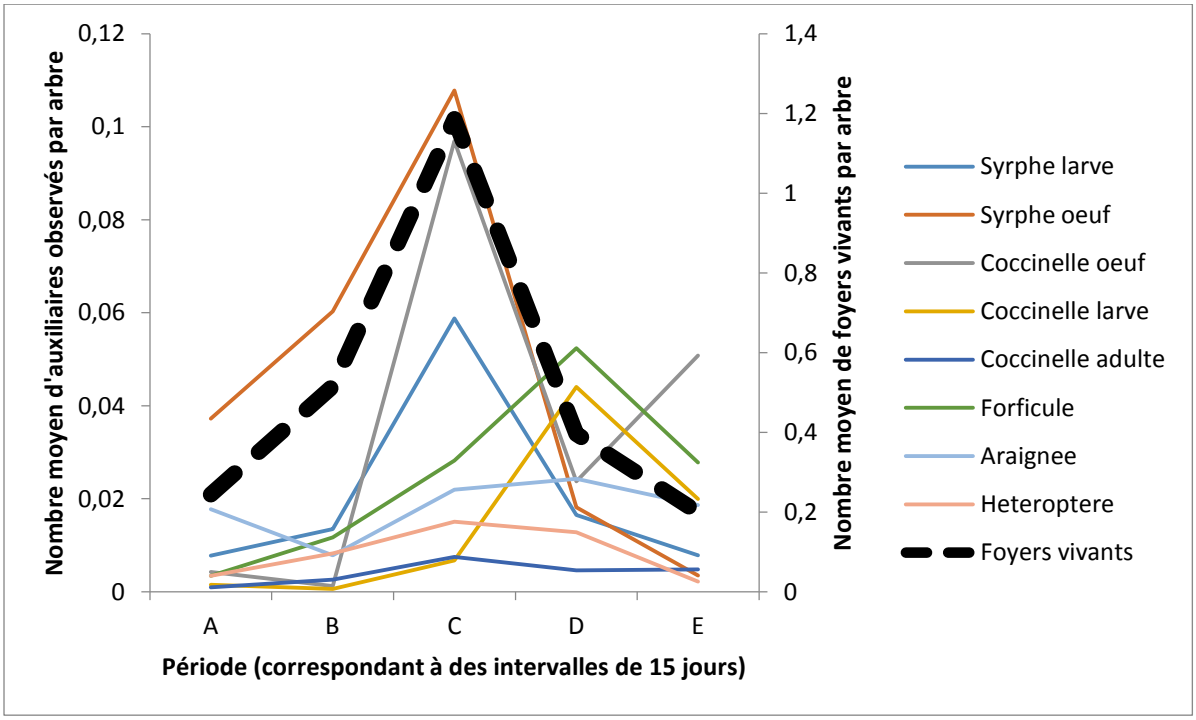


Figure 83: Dynamique des principaux auxiliaires observés par arbre au cours de la période d'infestation du puceron cendré.

A la date T + 15j, les araignées sont les auxiliaires actifs les plus présents (0.015 individu/arbre). De nombreux œufs de syrphe sont également répertoriés (0.035œuf/arbre) et quelques larves de syrphes commencent à apparaitre dans les foyers ainsi que quelques forficules.

Lors de la T + 15j – T + 30j, une augmentation du nombre de foyers vivants est observé (0.50 foyer moyen/arbre) ainsi qu'une augmentation du nombre d'œufs de syrphes (0.06 œuf/arbre), de forficules et d'hétéroptères.

La période T + 30j – T + 45j, correspond au pic de développement du puceron : une moyenne de 1.18 foyers vivants/arbre est alors recensée. Cette période correspond également au pic des œufs de syrphe (0.10 œuf/arbre), de coccinelles (0.09 œuf/arbre) de larves de syrphes (0.058 larve /arbre), de coccinelles adultes (0.007coccinelle/arbre) et de punaises (0.015 hétéroptère/arbre).

La période T + 45j – T + 60j, correspond au commencement de la phase de décroissance du puceron cendré. Une forte chute du nombre de foyers vivants moyens est recensée (divisée par 3 entre la période C et D). Une chute du nombre d'œufs de syrphe (moyenne de 0.018 œuf/arbre) et de larve syrphe (0.016 larve/arbre) est aussi observée. Cette période correspond également au pic de larves de coccinelles observées lors de la saison (0.044 larve/arbre), de forficules (0.052 individu/arbre) et d'araignées (0.024 individu /arbre).

Lors de la période T + 60j – T + 75j, une diminution générale de l'ensemble des auxiliaires et du nombre de foyers vivants est observée.

Le cortège d'auxiliaires varie donc selon la période d'infestation du puceron cendré. On observe tout d'abord le développement des populations de syrphes, punaises et araignées, qui suivent le développement des foyers de pucerons cendrés. Puis arrivent les araignées, forficules et larves de coccinelle, et ce, 15 jours après le pic du nombre de foyers de pucerons cendrés.

3. Etude de la dynamique du puceron cendré en relation avec les populations d'auxiliaires à trois temps différents de l'infestation.

- Analyses multivariées.

La méthode des ACP (Analyse en Composantes Principales) permet d'évaluer les ressemblances entre plusieurs individus statistiques en fonction des valeurs prises par les variables quantitatives considérées. Cette méthode a pour objectif de permettre la création d'hypothèses concernant :

-la répartition des individus vis-à-vis des différentes variables explicatives.

-des interactions entre les variables explicatives.

Dans cette étude, l'objectif visé est de mettre en évidence le phénomène de régulation naturelle et de poser des hypothèses quant à l'influence des IAE sur la présence d'auxiliaires actifs. Les variables quantitatives considérées dans cette étude et participant à la construction des ACP sont : les abondances et taux d'accroissement des différentes populations d'auxiliaires et de pucerons. Les variables relatives à la distance et qualité des IAE (distance à la haie, distance à la bande fleurie, note de la haie et note de la bande fleurie) ont été utilisées en variables quantitatives supplémentaires, elles ne participent donc pas à la construction des différents axes, mais sont projetées sur le graphique des corrélations. Comme cité précédemment, l'ACP permet aussi de comparer nos différents individus. Dans cette étude, les individus ont été illustrés à partir des barycentres des différents variables qualitatives : année, site, variété et modalité dans le nuage des individus.

Les ACP ont été réalisés à 3 temps différents. Ainsi, la date T+15 jours correspond à la date du début de colonisation du puceron et à l'émergence des premiers foyers, la date correspond au pic d'infestation (environ T+ 40 jours), c'est à dire au développement des premiers foyers et à la colonisation de nouveaux rameaux des arbres infestés ; la date T + 60 jours correspond à la phase de décroissance du puceron.

- **ACP Date 1**

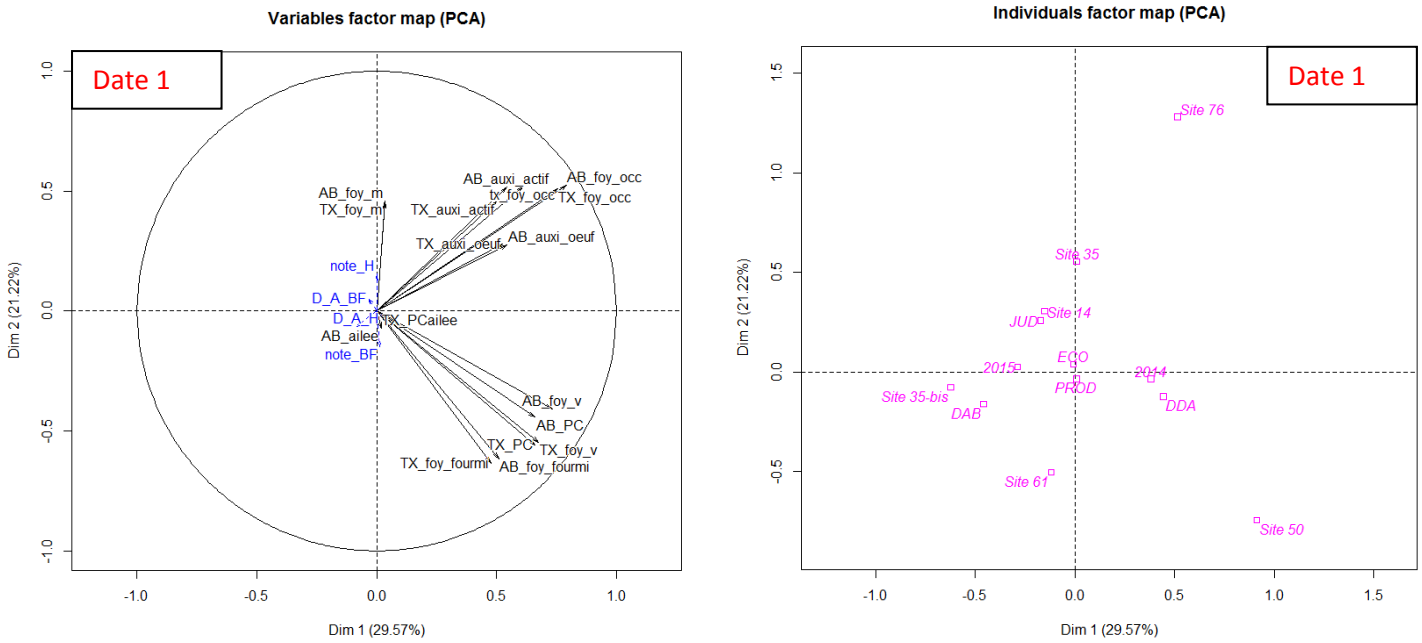


Figure 14: Représentation des variables puis celle des individus sur les deux axes les plus explicatifs de l'ACP à la date 1.

A T+15 jours, la réalisation de l'ACP a permis d'expliquer plus de 50% de la variabilité totale avec la Composante Principale 1 (Dim1) qui explique 29,57% de la variabilité et la Composante Principale 2 (Dim2) qui expliquait 21,22% de la variabilité. A cette date, le cercle des corrélations dissocie deux groupes de variables : un groupe constitué des variables relatives aux populations d'auxiliaires ainsi qu'à leur dynamique et un autre groupe constitué des variables relatives à l'infestation du puceron cendré à leur taux d'accroissement. Les variables supplémentaires relatives à la distance et à la qualité aux infrastructures agro-écologiques (IAE) ne sont pas bien projetées sur le cercle des corrélations. Ces variables expliquent donc peu le système étudié.

La distribution des échantillons indique que les échantillons des site76 et 50 se distinguent fortement des autres échantillons. La distribution des variables attribue cette discrimination à un fort nombre de foyers vivants de pucerons pour le site 50 et a un nombre d'auxiliaires actifs élevé pour le site 76. La représentation graphique des individus de la variété Douce de l'Avent indique également que cette variété semble plus précoce à l'infestation à la date T1.

- **ACP Date 2 :**

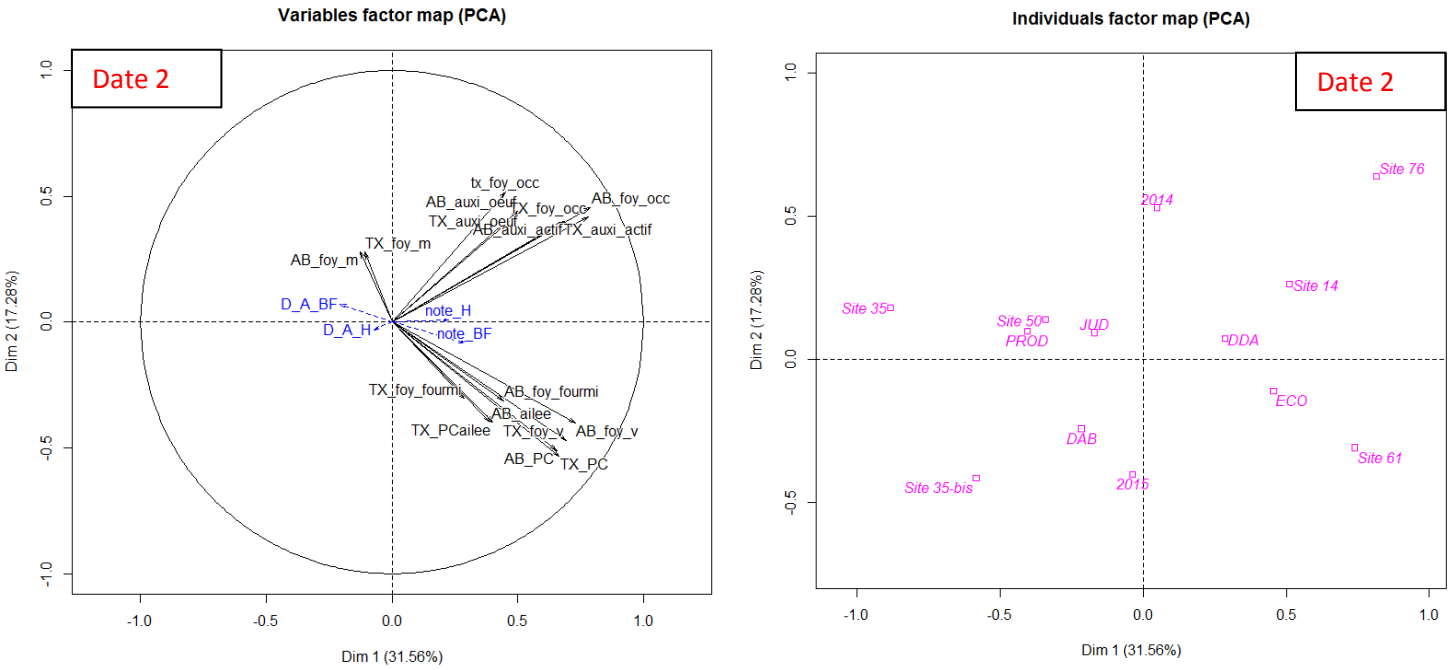


Figure 15: Représentation des variables puis celle des individus sur les deux axes les plus explicatifs de l'ACP à la date 2.

A T2, correspondant à la date du pic du puceron cendré (environ T+40 jours), la réalisation de l'ACP a permis d'expliquer plus de 48% de la variabilité totale. La Composante Principale 1 explique alors 31,56% de la variabilité et la deuxième dimension (Dim2) explique 17,28% de la variabilité. A nouveau, le cercle de corrélation dissocie les variables relatives aux populations d'auxiliaires et celles relatives aux populations de pucerons cendrés et aux foyers occupés par les fourmis. Les variables illustratives relatives aux IAE sont mal représentées selon les axes principaux de l'ACP.

Concernant le nuage des individus, on remarque que les sites en AB (76 et 14) se différencient par les variables relatives aux populations d'auxiliaires. En revanche, la distribution des variables attribue la discrimination du site 61 à un fort nombre de foyers vivants de pucerons ainsi qu'à la présence de fourmis dans les foyers. La représentation graphique des individus de la modalité ECO semble indiquer que plus de foyers de pucerons cendrés sont retrouvés dans cette modalité.

- **ACP Date 3 :**

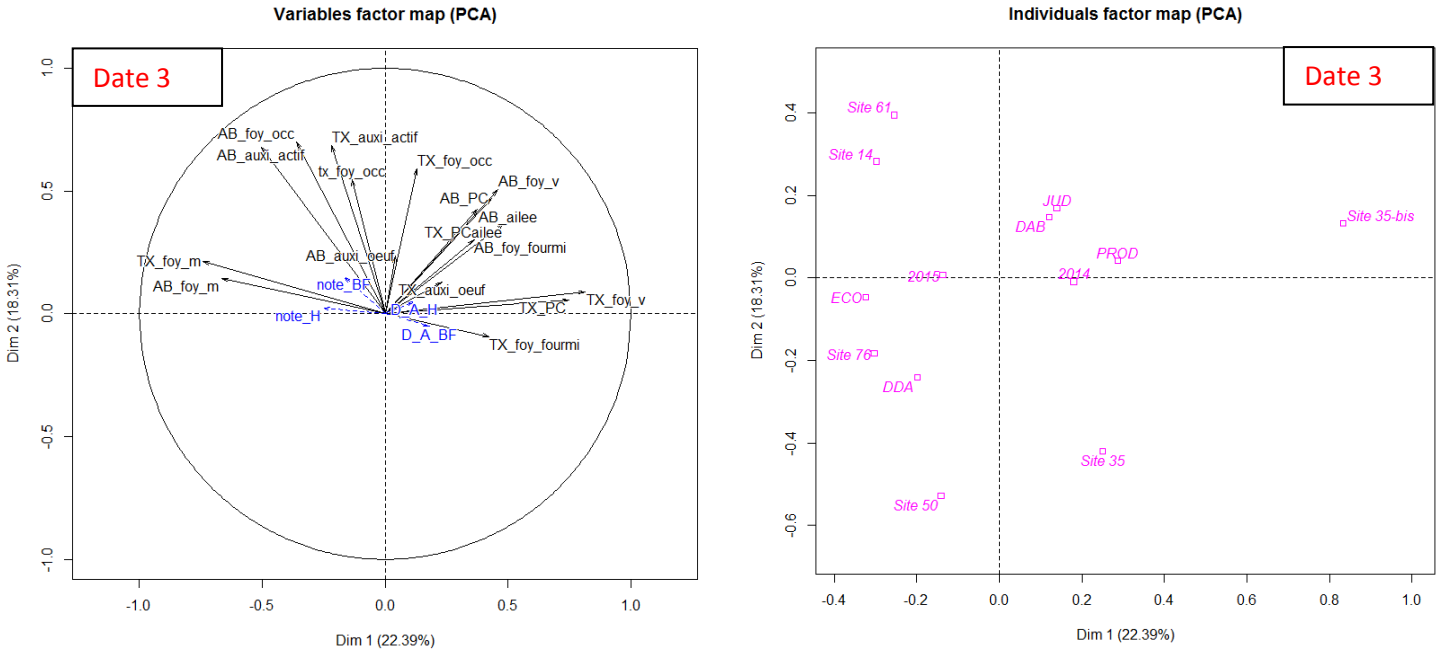


Figure 16: Représentation des variables puis celle des individus sur les deux axes les plus explicatifs de l'ACP à la date 3.

Lors de la phase de décroissance, T+60 jours, la réalisation de l'ACP a permis d'expliquer plus de 40% de la variabilité totale. La CP1 explique alors 22,39% de l'inertie générale et la CP2 18,31%. Le cercle des corrélations indique l'arrivé de pucerons ailées et la forte présence de foyers morts. On observe également une dissociation entre les différentes variables d'abondance de puceron cendré et des auxiliaires et leur taux de développement. En effet, les taux de développement relatifs aux différentes populations étudiées se différencient des variables d'abondance de ces dernières, traduisant une décroissance des diverses populations. Cette décroissance peut être expliquée pour le puceron cendré selon 3 phénomènes : l'utilisation de produits phytosanitaires (utilisés sur la plupart des sites), la migration naturelle du puceron cendré et la régulation naturelle.

Concernant la régulation naturelle à la date 3, le taux d'accroissement de la variable d'abondance de foyers vivants semble s'opposer à la variable d'abondance d'auxiliaires actifs pouvant traduire le phénomène de régulation naturelle.

Les variables relatifs aux IAE ne ressortent toujours pas de manière significative ; signifiant que ces dernières expliquent très peu le système étudié.

Concernant le nuage des individus, le site 35 bis se différencie fortement des autres échantillons. La distribution des variables semble attribuer ceci à un fort taux de développement des foyers vivants et de pucerons. Les sites 61 et 14 se différencient quant à eux, selon la variable d'abondance d'auxiliaires actifs et le nombre de foyers occupés. Plus de d'auxiliaires actifs et de foyers occupés sembleraient être retrouvé sur ces sites.

Suite à ces analyses multivariées réalisées à partir de la méthode des ACP, des analyses univariées ont été effectuées.

- Analyses univariées.

La réalisation des divers ACP a permis de réaliser des hypothèses quant au phénomène de régulation naturelle. En effet, il semblerait qu'en date T3, l'abondance d'auxiliaire actifs jouerait de manière négative sur le taux d'accroissement des pucerons cendré. Ce phénomène ne serait pas vérifier en date T1 et T2. Afin de vérifier ces hypothèses, des modèles linéaires expliquant le taux d'accroissement des pucerons cendrés en fonction des différents auxiliaires ont été réalisées. Les variables liées au plan d'expérience ont également été incluses dans ces régressions, ainsi que leur interaction de premier ordre.

Taux d'accroissement de pucerons ~ Abondance auxiliaires x+ (site + modalité + variété + année)^2

X étant les différentes familles d'auxiliaires testés.

Les tableaux suivants présentent l'effet des auxiliaires actifs (syrphe larve, Hétéroptères, coccinelles larves et adultes, araignées, forficules), et l'effet individuel des principales familles d'auxiliaire, sur le taux d'accroissement de puceron cendré. Les valeurs P-value et les coefficients (estimate) sont ceux des auxiliaires cités en colonne.

Tableau 3 : Régression linéaire des abondances d'auxiliaires actifs sur le taux d'accroissement des pucerons à la date 1 (effet de régulation).

Période T1	P-value facteur Auxiliaire	Estimate Auxiliaire
Auxiliaires actifs total	< 2e-16***	+ 0.92
Syrphe larve	8.367e-14***	+ 0.92
Coccinelle (larves et adultes)	0.00205***	+ 1.76
Forficule	0.26138 (non significative)	
Araignée	0.000428***	+ 1.57
Hétéroptère	1.87e-11***	+ 1.38

Les résultats des régressions linéaires réalisées lors de la période T1 correspondant à la phase de colonisation et de développement des premiers foyers, indiquent que le taux d'accroissement des pucerons est influencé par la présence des auxiliaires actifs: coccinelles adultes et larves, syrphes larves, araignées et hétéroptères (p value>0.05). La relation positive (coefficient positif) suggère que les auxiliaires sont observés sur les arbres où la dynamique d'infestation est la plus grande. Lors de cette période, les forficules ne semblent pas jouer sur le taux d'accroissement des pucerons. Les observations sur le terrain montre que ces derniers ont été retrouvés la plus part du temps dans des foyers morts ce qui pourraient expliquer ces résultats.

Tableau 4 : Régression linéaire des abondances d'auxiliaires actifs sur le taux d'accroissement des pucerons à la date 2 (effet de régulation).

Période T2	P-value facteur Auxiliaire	Estimate Auxiliaire
Auxiliaires actifs total	< 2e-16***	+ 1.81
Syrphe larve	< 2e-16***	+ 3.8
Coccinelle (larves et adultes)	2.14e-05***	+ 1.61
Forficule	0.12878 (non significative)	
Araignée	0.000970***	+ 1.09
Hétéroptère	1.51e-09***	+ 3.9

Les résultats observés lors de la période T2 correspondant au pic du puceron cendré, sont similaires aux résultats observés lors de la phase T1.

Tableau 5 : Régression linéaire des abondances d'auxiliaires actifs sur le taux d'accroissement des pucerons à la date 3 (effet de régulation).

Période T3	P-value facteur Auxiliaire	Estimate Auxiliaire
Auxiliaires actifs total	< 2e-16***	-2.74
Syrphe larve	8.37e-11***	-7.82
Coccinelle (larves et adultes)	3.53e-16***	-1.66
Forficule	< 2e-16***	-4.11
Araignée	< 2.2e-16***	-4.7
Hétéroptère	4.079e-07***	-6.7

Les résultats en phase T3 correspondant à la phase de décroissance du puceron cendré, indiquent une relation négative entre le taux d'accroissement des pucerons et l'abondance des diverses populations d'auxiliaires étudiées. Ces résultats peuvent traduire le phénomène de régulation naturelle.

4. Influence de la distance et de la qualité des IAE sur la présence d'auxiliaires.

Les différentes ACP réalisées précédemment n'ont pas permis la formulation d'hypothèses quant à la possible influence de la distance et de la qualité des IAE sur le nombre d'auxiliaires retrouvés (la qualité des haies et des bandes fleuries selon les modalités et les sites vous sont présentées en annexe 4).

Des tests ont cependant été réalisés afin de rendre compte de l'effet possible de ces divers facteurs, sur les populations auxiliaires retrouvées au sein des arbres infestés. Ces derniers ont été réalisés aux trois temps T1 (correspondant à la phase de colonisation du puceron cendré), T2 (correspond au pic de l'infestation) et T3 (correspondant à la phase de déclin) sur les populations d'auxiliaires actifs retrouvées à chaque temps (toutes familles confondues). Les mêmes tests ont ensuite été réalisés juste sur les populations de larves de syrphes et sur les populations de coccinelles (larves et adultes) qui ont été les deux auxiliaires les plus abondamment retrouvés lors des périodes sélectionnées avec les forficules (les précédents résultats ont montré que les forficules n'influençaient pas de manière significative le taux de développement des pucerons cendrés, ces derniers n'ont donc pas été étudiés dans cette partie).

Les variables liées au plan d'expérience ont également été incluses dans les modèles généralisés, ainsi que leurs interactions de premier ordre.

Abondance d'auxiliaires actifs ~ Abondance de pucerons cendrés + facteur IAE (qualité des bandes fleuries, qualité des haies, distance à la bande fleurie, distance à la haie la plus proche) + (site + modalité + variété + année) ^ 2

<u>Dans les tableaux ci-dessous les valeurs P-value et les coefficients (estimate) sont ceux des variables relatives aux IAE (en gris).</u>

Tableau 6: Influence des IAE sur la présence d'auxiliaires actifs sur les arbres infestés en période T1 (la P-value est celle du facteur IAE en gris et l' « estimate » est le coefficient attribué à ce facteur).

Période T1	P-value facteur IAE	Estimate IAE
Effet distance à la bande fleurie		
Auxiliaires actifs	0.0120882 *	+ 0.03300
Syrphe larve	5.517e-09 ***	+ 0.03477
Coccinelle (larves et adultes)	0.202180(non significative)	
Effet distance à la haie		
Auxiliaires actifs	4.970e-05 ***	+ 3.172e-03
Syrphe larve	2.453e-06 ***	+ 0.04976
Coccinelle (larves et adultes)	0.776491(non significative)	
Effet note de la bande fleurie		
Auxiliaires actifs	0.0155463 *	-0.21009
Syrphe larve	0.004513 **	+ 0.16860
Coccinelle (larves et adultes)	3.995e-05 ***	- 0.31871
Effet note de la haie		
Auxiliaires actifs	1.284e-07 ***	-0.01756
Syrphe larve	0.0002719 ***	+ 14.6309
Coccinelle (larves et adultes)	0.0011145 **	+ 0.05175

Le tableau 6, indique que les variables : « distance à la haie », « distance à la bande fleurie », « qualité de la bande fleurie » et « qualité des haies », ont une influence significative sur la présence d'auxiliaires retrouvés sur les arbres infestés en période T1 (p-value <0.05). Plus d'auxiliaires semblent être retrouvés loin des haies et des bandes fleuries (coefficient positif) ainsi que sur les sites et dans les modalités où les haies bocagères et les bandes fleuries sont de moindre qualité (coefficient négatif).

Les tests réalisés seulement sur les larves de syrphes indiquent que ces dernières sont majoritairement retrouvées dans les modalités où les bandes fleuries et les haies sont de bonne qualité. Cependant au sein des sites, les larves de syrphes ne semblent pas être retrouvées sur les arbres infestés proches de ces infrastructures.

Concernant les coccinelles, l'effet de la distance aux IAE ne semble pas jouer sur leur présence (p-value < 0.05). Plus d'individus sont retrouvés sur les modalités présentant de bonnes qualités de haie (coefficient positif) et de moins bonnes qualités de bandes fleuries.

Tableau 7: Influence des IAE sur la présence d'auxiliaires actifs sur les arbres infestés en période T2 (la P-value est celle du facteur IAE en gris et l' « estimate » est le coefficient attribué à ce facteur).

Période T2	P-value facteur IAE	Estimate IAE
Effet distance à la bande fleurie		
Auxiliaires actifs	0.0001010 ***	-0.010657
Syrphe larve	5.135e-12 ***	-0.01850
Coccinelle (larves et adultes)	0.528624 (non significative)	
Effet distance à la haie		
Auxiliaires actifs	8.378e-07 ***	-0.001853
Syrphe larve	6.797e-07 ***	+ 0.00179
Coccinelle (larves et adultes)	0.9491099 (non significative)	
Effet note de la bande fleurie		
Auxiliaires actifs	0.035748 *	+ 1.347672
Syrphe larve	3.287e-15 ***	+ 0.17788

Coccinelle (larves et adultes)	0.749932 (non significative)	
Effet note de la haie		
Auxiliaires actifs	2.998e-12 ***	+ 0.020001
Syrphe larve	1.442e-12 ***	+ 3.006e-03
Coccinelle (larves et adultes)	< 2.2e-16 ***	+ 1.40062

Le tableau 7 indique qu'en période T2, la qualité et de la distance aux IAE sont des facteurs ont une influence significative sur le nombre d'auxiliaires actifs retrouvé sur les arbres infestés (p-value <0.05). De manière générale, les auxiliaires actifs sont retrouvés dans les modalités ayant des bandes fleuries et haies bocagères de bonnes qualités (coefficient positif), et également proches de ces infrastructures (coefficient négatif).

Concernant plus particulièrement les populations de larves de syrphes, on remarque que ces dernières sont plus abondantes sur les modalités ayant des IAE de bonne qualité. De plus, les arbres infestés proches des bandes fleuries hébergent plus d'auxiliaires actifs.
Les populations de coccinelles, quant à elles, semblent être présente dans les modalités ayant des haies de bonnes qualités.

Tableau 8 : Influence des IAE sur la présence d'auxiliaires actifs sur les arbres infestés en période T3 (la P-value est celle du facteur IAE en gris et l' « estimate » est le coefficient attribué à ce facteur).

Période T3	P-value facteur IAE	Estimate IAE
Effet distance à la bande fleurie		
Auxiliaires actifs	0.0013506 **	-0.020642
Syrphe larve	0.271963 (non significative)	
Coccinelle (larves et adultes)	0.06739(non significative)	
Effet distance à la haie		
Auxiliaires actifs	0.188636 (non significative)	
Syrphe larve	0.085847 (non significative)	
Coccinelle (larves et adultes)	0.0328443 *	-7.059e-03
Effet note de la bande fleurie		
Auxiliaires actifs	1.307e-05 ***	+ 0.24193
Syrphe larve	0.051701 (non significative)	
Coccinelle (larves et adultes)	0.312820 (non significative)	
Effet note de la haie		
Auxiliaires actifs	1.704e-06 ***	+ 0.13669
Syrphe larve	(convergence)	
Coccinelle (larves et adultes)	4.337e-07 ***	+1.272e+00

En période T3, plus d'auxiliaires actifs sont observés sur les arbres infestés proche des bandes fleuries et dans les modalités ayant de bonnes qualités d'IAE. L'effet « distance à la haie » ne ressort pas de manière significative sur la présence d'auxiliaires actifs.

A cette période, l'abondance de larves de syrphe sur les arbres infestés n'est plus corrélée aux différentes variables relatives aux IAE.

Concernant les coccinelles, il semblerait que plus d'individus soient retrouvés sur les arbres infestés proche des haies et dans les modalités où la qualité haies bocagères est bonne.

IV –Discussion.

1. Limites des expérimentations pleins champs et de l'approche système.

Le projet « Verger Cidricole de demain » est une expérience plein champ s'appuyant sur une approche système. Ce type d'approche « se positionne à l'interface de deux domaines représentés par les sous-systèmes Biophysique et Technique et combine des concepts, des démarches (méthodes et outils), des postures et des échelles d'analyses » (Werry et *al.*, 2014*)*. Dans cette étude, les conditions climatiques, la densité de plantation, l'âge des vergers, la distance et la qualité des IAE, la fertilisation et les traitements aphicides varient selon les sites et modalités de vergers. Les systèmes biophysique et technique étant différents selon les vergers étudiés, il a donc été difficile de comparer ces derniers. Ce sont cependant ces facteurs et leurs interactions qui peuvent expliquer que les sites 61, 14 et 35 ont été plus infestés que les sites 50, 35 bis et 76 lors des deux années de comptage et les différences d'infestations ayant eu lieu entre les modalités ECO et PROD.

En effet, et ce, malgré leur rapprochement géographique (grand Ouest), les **conditions climatiques** des divers sites étudiés diffèrent. Blommers (2004), a mis en évidence que les œufs de pucerons cendrés nécessitaient de 140° degrés jour au-dessus du seuil thermique de 4°C afin d'éclore. Les printemps étant plus doux en Bretagne qu'en Basse Normandie (donnée T° moyennes, selon le site de Météo France), le développement des pucerons cendrés peut en être affecté.

De plus, la plupart des vergers étudiés lors de ce projet ont été plantés avec une **densité de plantation** de 790 arbres/hectare, mais un site (35 bis) a été planté avec une densité de 910 arbres/ hectare et deux autres avec une densité de 510 arbres/hectare (modalités ECO sites 14 et 76). L'effet de la densité de plantation sur l'infestation du ravageur *D. plantaginea*, n'a pas encore été mis en évidence, mais ce facteur pourrait jouer un rôle non négligeable sur l'infestation du puceron cendré. Ceci pourrait être du, entre autre, à une vitesse de colonisation du ravageur plus grande en verger à forte densité de plantation.

La fumure de fond utilisée lors de l'implantation des différents vergers (annexe1) et la fertilisation des vergers diffèrent entre les sites et les modalités, influençant donc la vigueur des arbres. Une expérience réalisée par Brown (2008), montre que les arbres ayant une **forte teneur en azote foliaire** sont plus infestés par le puceron cendré. Durant cette étude, le facteur fertilisation n'a pu être exploité par manque de temps. Cependant ce facteurs a pu influencer le développement de *D. plantaginea.*

Lors de cette étude, les différents vergers ont été plantés à des années différentes (entre 2010 et 2012). L'infestation du puceron cendré étant un problème en jeune verger cidricole (les jeunes arbres ayant une plus forte concentration en azote foliaire), le facteur « âge » du verger est donc aussi une autre variable pouvant influencer le développement du puceron cendré.

De plus, les itinéraires techniques et notamment **les traitements aphicides** utilisés diffèrent selon les sites. Sur les 6 sites étudiés, 4 sont en conduite conventionnelle et ont eu recours à l'utilisation d'aphicides (sites 61, 35, 35bis et 50), 2 autres sont en conduite biologique (sites 14 et 76) et n'ont pas eu recours à ce type de produits. L'effet direct de ces traitements sur le développement du puceron cendré et des populations d'auxiliaires a également été mis en évidence et décrit par plusieurs auteurs (Sauphanor et *al*., 2005, Simon et *al*., 2010). La

fréquence de traitement étant plus forte dans la modalité PROD, les résultats obtenus en 2014 pourraient être expliqués en partie par cette variable.

Enfin, **l'environnement parcellaire** des différents sites et modalités sont différents (ex : le site 76 est entouré de haies bocagères et le site 35 bis, ne présente qu'une haie ECO/PROD), ce qui a pu jouer un rôle non négligeable sur la régulation naturelle et le développement du puceron cendré. Plusieurs auteurs ont notamment mis en évidence l'effet des haies bocagères (Debras et *al.*, 2006) et des bandes fleuries (Romet, 2005 ; Dib, 2007) quant à l'augmentation de bio-contrôle observé sur les parcelles situées à proximité de telles infrastructures.

Dans cette étude, ces différents paramètres n'ont pas pu être été testés par manque de temps. Nous ne tenterons donc pas d'expliquer les différences d'infestation ayant eu lieu entre les divers sites et années étudiés. L'analyse de l'influence de ces divers facteurs sur l'infestation du puceron cendré pourrait à l'avenir, compléter le bilan effectué dans cette étude.

2. Distribution spatiale des populations de pucerons cendrés et des populations d'auxiliaires actifs.

- Distribution spatiale du puceron cendré.

Dans cette étude, et ce, malgré l'influence des divers facteurs pouvant influencer le développement du puceron cendré, il a été démontré que **les différentes variétés testées ont répondu de manières différentes au développement du puceron cendré**. En effet, la variété Douce de l'Avent a été celle qui a été la plus touchée lors des deux années de comptage, puis suit la variété Judor et enfin la variété Dabinett. Ceci peut être expliqué pour la variété Douce de l'Avent, par sa plus forte vigueur et son débourrement précoce qui, selon Miñarro et Dapena (2007), favorisent la survie des premières fondatrices et ainsi permettrait le bon développement des premières colonies. **Le choix variétal est donc un levier d'action intéressant afin de limiter les dégâts occasionnés par *D. plantaginea* en jeune verger.**

De plus, un **phénomène de « bordure »** a été observé sur plusieurs parcelles. Ce phénomène a également été remarqué à l'INRA de Gotheron en verger de pommes de table où 69% d'arbres infestés ont été retrouvés en bordure de parcelle, contre 30% dans le centre du verger (Morel *et al.*, 2009). Cet effet « bordure » serait expliqué par le fait que lors du vol retour, les pucerons cendrés s'arrêteraient sur les premiers pommiers des vergers rencontrés et donc situés en bordure de parcelle. Limiter le développement de ces populations en début de saison permettrait de réduire la pression phytosanitaire exercée par ces colonies sur le reste du verger. Dans un premier temps, les traitements aphicides pourraient donc être seulement utilisés sur les arbres les plus infestés en bordure de parcelle.

- Distribution spatiale des auxiliaires actifs.

La présence d'auxiliaires semble être conditionnée par la présence de proie. En effet, en moyenne sur les deux années, plus d'auxiliaires actifs sont observés sur la variété Douce de l'Avent qui est la variété ayant subi une plus forte infestation du puceron cendré, puis sur la variété Judor et enfin sur la variété Dabinett. De plus, les sites les plus infestés (sites 14, 61 et 35) sont également les sites qui ont abrité un plus grand nombre d'auxiliaires. Enfin, les résultats statistiques du test généralisé (expliquant le nombre d'auxiliaires actifs retrouvé par arbre en fonction de l'abondance de pucerons et des facteurs liés au plan d'expérience ainsi que leurs interactions), met en évidence et de manière significative que les auxiliaires actifs sont retrouvés sur les arbres infestés.

Les modalités ECO des différents sites étudiés semblent également favoriser la présence d'auxiliaires. En effet, en 2014 et en 2015, plus d'auxiliaires ont été retrouvés dans les modalités ECO que dans les modalités PROD. Cette observation peut être expliquée par plusieurs facteurs. D'une part, dans les modalités ECO, des bandes fleuries ont été implantées. Ces IAE pourraient favoriser la régulation naturelle par une présence plus importante d'auxiliaires (Bugg, 2008) en offrant des abris et de la nourriture (proies secondaires, nectar, pollen…). De plus, l'indice de fréquence de traitement (IFT) et la toxicité des molécules actives utilisées sur ces parcelles sont moindres, ce qui permet aux populations d'auxiliaires de mieux s'installer (Sauphanor et *al*., 2005, Simon et *al*., 2010).

Enfin, les résultats présentés dans la première partie nous montrent que les sites conduits en AB semblent accueillir plus d'auxiliaires actifs. En effet, les sites 14 et 76 font partie des 3 sites ayant accueilli un plus grand nombre d'auxiliaires actifs lors des deux années de comptage. Proportionnellement à leurs niveaux d'infestation, ces parcelles semblent également accueillir un fort taux d'auxiliaires (ceci a été notamment observé pour la parcelle 76 où un nombre similaire de foyers vivants et d'auxiliaires actifs ont été retrouvés lors des deux années de comptage). Plusieurs auteurs (Sauphanor et *al*., 2005, Simon et *al*., 2010) ont mis en évidence que la dynamique des différents auxiliaires et celle du puceron cendré sont affectées lors de l'utilisation de produits phytosanitaires. Ceci pourrait donc expliquer les résultats observés sur les parcelles 14 et 76, qui n'ont reçu aucun traitement aphicide lors des deux années d'étude. Ces résultats seraient également en accord avec l'étude de Le Corre (2006) qui a démontré que la canopée des vergers en AB était caractérisée par une plus grande abondance en auxiliaires par rapport aux vergers en PFI**. La conduite en AB favoriserait donc l'établissement de populations d'auxiliaires.**

3. Dynamique temporelle des populations d'auxiliaires actifs au cours de l'infestation du puceron cendré.

Dans cette étude, il a été montré que **les principaux auxiliaires retrouvés lors des comptages sont : les forficules puis les larves de syrphes, les araignées, les larves de coccinelles, les hétéroptères et enfin les coccinelles adultes.** La dynamique de ces différents auxiliaires varie selon l'infestation du puceron cendré. **On observe tout d'abord le développement des populations de syrphes, punaises et araignées, qui suivent le développement des foyers de pucerons cendrés. Puis arrivent les araignées, forficules et larves de coccinelle, et ce, 15 jours après le pic du nombre de foyers de pucerons.** La composition et la dynamique des cortèges d'auxiliaires sont proches de celles observées dans d'autres études (Dib, 2010 ; Albert et *al*., 2014 ; Gama et Francis, 2008 ; Miñarro et *al.*, 2005).

La forte dépendance observée entre la dynamique du puceron cendré et celle des larves de syrphe peut être expliquée par les observations de Scholz et Poehling, (2010), qui ont montré que certaines espèces de larves de syrphes se nourrissaient exclusivement de pucerons et de ce fait, leur dynamique était intiment liée à celle de leurs proies.

Les coccinelles les plus retrouvées lors des comptages appartenaient à l'espèce *Harmonia axyridis* (coccinelle asiatique). Aujourd'hui, cette espèce est un problème écologique. En effet, *Harmonia axyridis* entre non seulement en compétition (pour la nourriture et l'espace) avec les espèces indigènes, mais en plus, elle est capable de se nourrir directement de leurs larves, se comportant ainsi en prédateur intra guide. (San Martin G *et al.*, 2005). Ces coccinelles ont également tendance à hiverner en groupe. Les fortes populations retrouvées

sur la parcelle 76 et 14, ont donc pu avoir des répercussions non seulement sur le développement du puceron cendré, mais également sur celui des autres populations d'auxiliaires. L'établissement de ces populations sur les différents vergers peut donc être un point positif pour la régulation naturelle, mais à l'avenir, il peut aussi être un problème, par l'appauvrissement en biodiversité des vergers.

La dynamique des différents auxiliaires et celle du puceron cendré sont affectées lors de l'utilisation de produits phytosanitaires (Sauphanor et *al*., 2005, Simon et *al*., 2010). Sur la plupart des sites étudiés, des aphicides ont été utilisés après T2 (soit environ après 40 jours après le début de l'infestation du puceron cendré). Cette application n'a pas permis le développement des populations de larves de coccinelles, d'araignées et de forficules, qui ont tendance à arriver en fin d'infestation. En comparaison, le site 14 n'a pas subi de traitement phytosanitaire en 2015 et un nombre conséquent de larves de coccinelles a été observé en fin de cycle. En effet, 11 jours après l'apparition des premières larves, l'infestation s'est vue diminuer de plus de 70%. L'établissement de telles populations dans les vergers pourrait être un avantage intéressant pour lutter contre le puceron cendré.

4. Phénomène de régulation naturelle.

- <u>Discussion des résultats obtenus aux temps T1 et T2.</u>

Les analyses réalisées à T1 (T+15 jours), T2 (T+ 40 jours) et T3 (T+ 60 jours), ont permis de poser l'hypothèse que le taux d'accroissement des colonies de pucerons cendrés pouvait être lié à la présence d'auxiliaires actifs. Les différents tests réalisés mettent en évidence que les coccinelles, larves de syrphe, araignées et hétéroptères aux temps T1 et T2 ont été retrouvés dans les foyers vivants ayant un plus fort taux d'accroissement. **Les auxiliaires retrouvés lors de ces périodes n'ont donc pas permis le contrôle du ravageur avant traitement.** Ces résultats mettent aussi en avant que **les auxiliaires, aux temps T1 et T2, se développeraient sur des arbres ayant des foyers à forte croissance et pouvant leur offrir suffisamment de nourriture pour leur développement** (Vanhaelen et *al.*, 2001 ; Scholz et Poehling, 2010).

Concernant les populations de larves de syrphe, plusieurs auteurs ont notamment mis en évidence que les femelles de syrphe pondaient à proximité des colonies de pucerons en expansion, et ceci afin que les larves puissent se nourrir de manière convenable lors de l'éclosion (Vanhaelen et *al.*, 2001 ; Scholz et Poehling, 2010). Ces résultats pourraient donc expliquer pourquoi les larves de syrphes sont retrouvées dans les foyers à fort développement aux temps T1 et T2.

Une expérience consistant à des lâchers de coccinelles (*Adalia bipunctata* 20 larves par arbre) dans un verger de pommiers situé dans le Nord Pas de Calais durant trois années consécutives, a montré que ces lâchers contrôleraient efficacement le puceron cendré lors des années de faible infestation, mais lorsque cette dernière est plus importante, ce type de lutte n'empêcherait pas le développement des foyers déjà en place (Deguette et Wateau , 2010).
La régulation naturelle de *D. plantaginea* avec des populations de coccinelles varient donc selon l'infestation. Dans notre cas, il semblerait qu'en phase T1 et T2, les larves de coccinelles retrouvées sur les arbres contaminés ne permettraient pas de limiter l'infestation.

L'effet non significatif des forficules aux temps T1 et T2 peuvent être expliqués par les résultats de Dib (2010). Ce dernier a montré que les forficules utilisaient l'enroulement des feuilles dû à l'action des pucerons cendrés, comme habitat, mais que ces derniers n'auraient qu'une faible activité de prédation sur les populations de *D. plantaginea*. Les observations

réalisées sur le terrain confortent cette hypothèse car un grand nombre de forficules ont été retrouvés dans des foyers morts.

- Discussion des résultats obtenus au temps T3.

Lors de la période T3, nous observons un effet négatif des différents auxiliaires actifs (larves de syrphe, coccinelles, hétéroptères, araignées et forficules) sur le taux d'accroissement des populations de pucerons cendrés. **En T3, la présence de ces auxiliaires actifs suggère donc une possible régulation naturelle**. Ceci conforterait les observations de Stadler et Dixon (1999) qui ont montré que la régulation naturelle peut diminuer fortement l'infestation de puceron cendré. **Cependant, lors de cette phase, plusieurs sites ont reçu des traitements aphicides** (sites 61, 50, 35 et 35 bis) pouvant influencer de manière considérable le développement du puceron cendré et celui des auxiliaires (Sauphanor et *al*., 2005, Simon et *al*., 2010). **De plus, la date T3 correspond également à la phase de migration du puceron cendré. Les résultats obtenus sont donc à relativiser.**

- Retour sur la méthodologie utilisée.

La méthodologie utilisée afin de comparer les différents vergers s'est basée sur la sélection de 4 dates de relevés pour chaque site en 2014 et en 2015. Ces derniers correspondant aux 4 temps : T0, T1, T2 et T3 (seuls 4 temps ont pu être utilisés afin de comparer ensemble les différents sites). Afin d'observer le phénomène de régulation naturelle, les taux d'accroissement des populations de pucerons cendrés ont été calculés en fonction de ces 4 temps. Ces derniers correspondent en moyenne à des intervalles de 20 jours. Ce laps de temps utilisé au cours de cette étude, a peut être été trop long, comparé aux cycles biologiques des différentes populations d'arthropodes.

En effet, le puceron cendré se développe de manière exponentielle : 3 à 6 générations de pucerons cendrés se développent sur le pommier durant une période de 3 à 4 mois (Blommers *et al.*, 2004 ; Dib.,2010) et chaque puceron a un grand pouvoir multiplicateur (un seul puceron peut donner jusqu'à 70 autres individus). De plus, la durée du stade larvaire des syrphes et coccinelles est de 8 à 15 jours (Legemble J., 2008 ; Lucas, 1993). L'intervalle de temps utilisé peut donc avoir été trop important, ce qui n'a pas permis de mettre en évidence le phénomène de régulation naturelle aux temps T1 et T2.

Une étude similaire à l'échelle de chaque site avec des intervalles de temps plus petits, pourrait donc être effectuée afin de rendre compte du phénomène de régulation.

5. Influence de la distance et de la qualité des IAE sur la présence d'auxiliaires.

L'étude réalisée dans la partie 4 aux temps T1, T2 et T3, a permis de mettre en évidence que la présence d'auxiliaires était influencée par la distance et la qualité des infrastructures agro-écologiques.

En effet, les différents tests statistiques réalisés, indiquent que la présence d'auxiliaires actifs en période T1 (correspondant à T+15 jours après le début de l'infestation) n'est pas liée à la qualité et à la distance des IAE. **Ceci peut être expliqué pour la bande fleurie, à son faible développement à cette période de l'année** (située entre mi-mai et début- juin). En effet, sur la plupart des sites, moins de 3 espèces étaient en fleur dans les bandes fleuries des modalités ECO. **En revanche, lors du pic d'infestation, soit à environ T+40 jours, les résultats montrent l'influence de ces facteurs. Plus d'auxiliaires actifs**

sont alors retrouvés sur les arbres infestés en bordure de haies et bandes fleuries et sur les modalités présentant de bonnes « qualités » d'infrastructures agro écologiques (haies et/ou de bandes fleuries). Dans les modalités ECO et à cette période, plus de 6 espèces étaient en floraison dans les bandes fleuries.
Ces résultats seraient en accord avec plusieurs auteurs, qui ont mis en évidence l'effet des bandes fleuries (Romet, 2005, Dib, 2007; Jamar et Lateur, 2014) et des haies (Debras et *al.*, 2006, Miñarro et Prida, 2013), sur l'augmentation de la régulation naturelle en vergers. Enfin, **au temps T3, plus d'auxiliaires actifs sont également retrouvés sur les arbres infestés dans les modalités présentant de bonnes qualités de bandes fleuries et/ou de haies bocagères.** Cependant, au sein de ces parcelles, ces derniers ne sont plus forcément retrouvés sur les arbres infestés proches des bandes fleuries.

L'étude plus particulière des larves de syrphes, nous montre que ces dernières s'établissent dans un premier temps sur les sites présentant de bonnes qualités d'infrastructures agro- écologiques. Ceci peut être dû au régime alimentaire des syrphes adultes. En effet, ceux-ci sont floricoles (ils se nourrissent de nectar et pollen) : la bonne qualité des IAE favoriserait donc leur présence (Scholtz et Poehling, 2010 ; Vanhaelen, 2001 ; Boutin et *al.*, 2015). Néanmoins, en T1, ces derniers sont retrouvés de manière aléatoire sur les arbres infestés des différents sites. Cette observation pourrait être expliquée par le fait que les syrphes ont une grande capacité à voler et donc à rechercher les pucerons (Horn, 1981). **Lors du pic de l'infestation de pucerons correspondant également au pic de larves de syrphes, la présence de larves semble être plus forte dans les modalités présentant des IAE de bonne qualité. Plus de larves de syrphes sont également retrouvés, proches des bandes fleuries, source de nectar et de pollen pour les adultes**. **Lors de la phase de déclin du puceron cendré, on remarque que la présence de larves de syrphes n'est plus mise en relation avec les différents facteurs relatifs aux IAE ; ce qui pourrait être notamment dû à l'utilisation de produits phyto-sanitaires** ayant eu lieu sur la majorité des parcelles et affectant grandement les populations d'auxiliaires (Sauphanor et *al*., 2005).

Les populations de coccinelles aux différents temps sembleraient être retrouvées sur des parcelles offrant de bonnes qualités de haies bocagères. Ipertit (1974) a montré que la plupart des espèces de coccinelles sont attirées préférentiellement par la haute strate des arbres. Ces observations pourraient expliquer les résultats obtenus. Ces dernières seraient également retrouvées en T3, sur les arbres proches des haies bocagères, ce qui conforterait les observations de Ipertit (1974).

Les infrastructures agro-écologiques semblent donc être des leviers d'actions intéressants pour favoriser la présence d'auxiliaires du puceron cendré en jeune verger.

Conclusion

Dans cette étude, il a été observé une grande variabilité d'infestation suivant les différents sites et modalités d'expériences. En effet, certains sites et modalités ont montré de fortes sensibilités au développement de *D. plantaginea* durant les deux années d'expérience (sites 61, 14, 35), tandis que d'autres semblent être moins sensibles (sites : 50, 35 bis, 76). Ces différences peuvent être expliquées par plusieurs facteurs concomitants et inféodés au plan d'expérience. En effet, le projet « Verger Cidricole de demain » étant une expérience plein champ de type système, de nombreuses variables sont à prendre en considération afin d'expliquer les résultats obtenus. Néanmoins sur les trois variétés testées lors de ces deux années, il semblerait que la variété Douce de l'Avent relève d'une plus haute sensibilité à l'infestation du puceron cendré. Le choix variétal serait donc un levier d'action intéressant afin de limiter les dégâts occasionnés par *D.plantaginea* en jeune verger.

Concernant l'arrivée et les effectifs des différents auxiliaires comptabilisés lors de la période d'infestation du puceron cendré, les larves de syrphes ont été retrouvées le plus abondamment et très tôt dans la saison. Les araignées et hétéroptères suivent une dynamique similaire à celle des larves de syrphes, mais ils ont été observés en quantité moindre. Les larves de coccinelles et les forficules ont été retrouvés quant à eux en grande quantité, mais principalement en fin d'infestation. Dans une approche de lutte biologique, les larves de syrphes semblent donc être de bonnes candidates pour le contrôle des populations de pucerons cendrés en début d'infestation et au cours de leur développement.

De manière générale, la régulation naturelle ayant eu lieu sur les 6 sites étudiés lors des deux années d'expérimentation, n'a pas permis le contrôle du ravageur avant traitement. Les populations de larves de syrphes, de coccinelles, d'hétéroptères, et d'araignées sembleraient se développer sur les arbres infestés pouvant leur offrir suffisamment de nourriture pour leur bon développement. Les auxiliaires retrouvés en fin de cycle ont pu toutefois limiter le développement de *D. plantaginea*. L'utilisation d'aphicides et le phénomène naturel de migration du puceron cendré lors de cette période, ont pu masquer cet effet.
Cette étude à l'échelle de l'ensemble des sites, n'a donc pas pu mettre en évidence de manière flagrante le phénomène de régulation naturelle. Afin de compléter cette dernière, il serait intéressant d'étudier le bio contrôle exercé sur des laps de temps plus petits et également d'étudier ce phénomène à l'échelle des foyers. Ceci permettrait de rendre compte de la dynamique de la colonisation des populations d'auxiliaires et de *D. plantaginea* au sein des arbres.

Il a également été montré lors de cette étude que les infrastructures agro-écologiques semblent être des leviers d'actions intéressants afin de favoriser le développement de populations d'auxiliaires, et ainsi, la régulation naturelle en verger. En particulier, il a été montré que les bandes fleuries semblent favoriser la présence de larves de syrphes sur les arbres infestés, et les haies semblent contribuer au développement des coccinelles. L'utilisation et la création de telles infrastructures en jeunes vergers pourraient donc permettre l'établissement de populations d'auxiliaires pouvant réduire significativement l'infestation du ravageur *D. plantaginea* et donc l'utilisation d'aphicides.
Afin de favoriser cette régulation naturelle, il serait intéressant de voir si des lâchers d'auxiliaires (coccinelles, syrphes), des l'implantation de bandes fleuries et de haies, permettraient un établissement plus rapide des différentes populations et donc un bio contrôle plus fort. Enfin, l'étude du contexte paysager environnant les vergers, pourrait également permettre d'expliquer la présence des différents auxiliaires impliqués dans la régulation naturelle du ravageur *D.plantaginea*.

Bibliographie.

Albert L., Plantegenest M., Frank P., Gilles Y., 2014. Etude de la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole. Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier 22 et 23 octobre 2014, 10 p.

Bauduin R., 2006. Guide pratique de la fabrication du cidre. Centre technique de la fabrication du cidre (CTPC), p. 11-13.

Blackman R.L., Eastop V.F., 1984. Aphids on the world's crops: an identification guide. Wiley and sons, Chichester. In: 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 et des Pays de Vaucluse, Institut National de la Recherche Agronomique, p. 31-42.

Blommers L.H.M., Helsen H.H.M., Vaal F.W.N.M., 2004. Life history data of the rosy apple aphid *Dysaphis* (Pass.) (Homopt.,Aphididae) on plantain and as migrant to apple. Journal of Pest Science n°77, p. 155-163.

Bonnet X., 2012. Les « infrastructures agro-écologiques» : état des lieuxdans les communes françaises. Le point sur n°145 Commissariat général du développement durable, 4 p.

Boré J.M., Fleckinger J., 1994. Pommiers à cidre: variétés de France. INRA, p. 5 -14

Boutin M., Petit K., Oste S., Devigne C., Vanhee B., Deville P., Pernin C., Grumiaux F., 2015. AGRICOBIO : agriculture et corridor ecologique a Guines rôle des bandes fleuries et des haies dans la protection des cultures. AFPP-cinquième conférence internationale sur les méthodes alternatives de protection des plantes, 11 p.

Brown A.E., 2008. Variability in abundance of the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea*), the role of its alternate host (*Plantago major*), and potential control strategies in organic apple orchards in British Columbia.A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science. University of British Columbia, Vancouver, Canada, p. 8-38.

Bugg, R.L., Colfer R., Chaney WE,. Smith HA, and Cannon J., 2008. Flower flies (syrphidae) and other biological control agents for aphids in vegetable crops. Agirculture and Natural Resources Publication. 8285. 25 p. Disponible en version pdf sur :http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8285.pdf

Brun L., Defrance H., Girard T., Lauri P.E., Sauphanor B., Simon S., 2006. Conduite de l'arbre et développement du puceron cendré *Dysaphis plantaginea*. In : Simon S., Bussi C., Thierry G., Corroyer N., 2009. Arboriculture biologique: 11 années d'expérimentation en vergers de pêchers et pommiers. INRA,Unité Expérimentale de Recherche Intégrée de Gotheron, p. 42-44.

De Berardinis E., Baronio P., Baumgärtner J., 1994. The effect of aphid (*Dysaphis plantaginea*Pass.,Hom.Aphididae) feeding on apple fruit growth. EcologicalModellingn°72, p. 115-127.

Debras J.-F., Torre F., Rieux R., Kreiter S., Garcin M.S., Van Helden M., Buisson E., Dutoit T., 2006. Discrimination between agricultural management and the hedge effect in pear orchards (south-eastern France). Annals of Applied Biology 149, p.347–355.

Deguette M., Wateau K., 2009. Le puceron cendré du pommier : mieux connaître sa dynamique pour optimiser le raisonnement de la lutte. Fiche technique FREDON Nord Pas-de-Calais, 4 p.

Deplaude H., Dupont N., 2009. Verger de demain : vers des vergers à faible intrant. Pomme à cidre 23, p. 16-18.

Dib H., 2007.Suivies d'abondance d'Hyménoptères parasitoïdes dans des vergers biologiques d'olivier et de pommiers où des zones florales sont maintenues « Lutte Biologique par Conservation », rapport de Master, Université d'Avignon, 41 p.

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 et des Pays de Vaucluse, Institut National de la Recherche Agronomique, 252 p.

Dupont N., Pommes à cidres les variétés. Présentation des caractéristiques des principales variétés cidricoles, 2014. IFPC, 16 p. Disponible en version PDF sur : http://www.ifpc.eu/fileadmin/users/ifpc/infos_techniques/Classeur_var_cidricoles_avec_fiches_varietales.pdf.

Forrest J.M.S., Dixon A.F.G., 1975. The induction of leaf-roll galls by the apple aphids *Dysaphis devecta* and *D. plantaginea*. Annals of Applied Biology 81, p. 281–288.

Gama G., Francis F., 2008. Etude de la biodiversité entomologique d'un milieu humide aménagé : le site du Wachnet, le long du Geer à Waremme (Province de Liège, Belgique). Faunistic Entomology 61,p. 33 – 42.

Horn D.J., 1981. Effect of weedy backgrounds on colonization of collards by green peach aphid *Myzus persicae*, and its major predators. Environmental Entomology 10, p. 285–289.

Iperti G., 1974. Les Coccinelles. Les organismes auxiliaires en verger de pommier OILB /SROP. 3: 111- 121.In :Guettala F., 2009. Entomofaune, Impact Economique et Bio- Ecologie des Principaux Ravageurs du Pommier dans la région des Aurès. Thèse de doctorat Université de Batna Faculté des Sciences- Département d'Agronomie, p.13.

Jamar L., Lateur M., 2014. Pratiques alternatives aux produits phytosanitaires en arboriculture – Effet de la gestion des litières de feuilles en automne sur le développement de la tavelure du pommier en verger biologique. Centre Wallon de Recherches Agronomiques, 10 p.

Landis D.A., Wratten S.D., Gurr GM., 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pest in agriculture. Annual Review of Entomology 23, 2, p.11-117.

Lathrop F.H., 1928. The biology of apple aphids. The Ohio Journal of Science n°28, p.177-204.

Le Corre M., 2006. Le système tri-trophique « pommier- puceron cendré-auxiliaire » incidence des stratégie de protection pour différentes variétés en vergers de production. Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale d'Ingenieur des Techniques Agricoles, Bordeaux , p.8-16.

Legemble J. ,2008. Les syrphes. Fiche Technique du service régional de la protection des végétaux de Hautes-Normandie, 3 p. Disponible en version PDF sur : http://draaf.haute-normandie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Les_syrphes_cle49c121.pdf

Lucas E., 1993. Evaluation de l'efficacité de prédation des coccinnelles *Coccinella septempunctata* L. et Harmonia axyridis Pallas (Coleoptera : coccinellidae) en tant qu'auxiliaires de lutte biologique en vergers de pommiers. Mémoire de fin d'étude, Université du Québec à Montréal, p. 40-53.

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.BioControln°50, p. 403-414.

Miñarro M., Dapena E., 2007. Resistance of apple cultivars to *Dysaphis plantaginea*(Hemiptera: Aphididae): role of tree phenology in infestation avoidance. Environmental Entomology n°36, p. 1206-1211.

Miñarro M., Fernandez-Mata G., Medina P., 2010.Role of ants in structuring the aphid community on apple. Ecological Entomology n°35, p. 206-215.

Miñarro M., Prida E., 2013. Hedgerows surrounding organic apple orchards in north-west Spain: potential to conserve beneficial insects. The Royal Entomological Society, Agricultural and Forest Entomology n°15, p. 382–390

Ministère de l'Agriculture, de l'alimentaire et de la forêt, 2013. Note d'orientation relative à la préparation du programme national de développement agricole et rural 2014-2020, 11 p. Disponible en version PDF sur :http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/circulaire_PNDAR_2014-2020_cle43b168.pdf consulté le 14/04/2015.

Mollier P., Chabriat G., Ricci P., Barzman M., Jeuffroy M.-H., Sauphanor B., Simon S., Delière L., Forget D., Ghewy T., Mischler P., Dumoulin F., Méssean A., Doré T., Caranta C., Blancard D., Guyomard H., Stengel P., 2010. Pour une agriculture compétitive plus économe en pesticides. INRA Magazine 12, p. 1–12.

Morel K., Lecorre M., Durrand E., Garnier A., Simon S., 2009. Puceron cendré et Auxiliaires, In : A. Taillade, 2015. Etude de la biodiversité fonctionnelle en verger cidricole : Cas de la régulation naturelle du puceron cendré *Dysaphis plantaginea*, 82 p.

Ongagna P., Giuge L., Iperti G., Ferran A., 1993. Cycle de développement d'*Harmonia axyridis (Col. Coccinellidae)* dans son aire d'introduction: Le Sud-Est de la France. Entomophaga n°38, p. 125-128.

Pouvreau D., Dupont N., Primault J., 1997. Protection raisonnée en verger cidricole : guide pratique, 48p.

Quesnel F., Malvache H., Boniou C., Geoffroy A.M., 2014. Basse-Normandie, Données Filière cidricole. Agreste, Publication de la Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, 3 p. Disponible en version PDF sur : http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/21880/1/agr_BN_2014_67.pdf consulté le 13/04/2015

Radoslav A., Hristina K., Donka R., 2012. Non-chemical control of Aphis spiraecola patch and *Dysaphis plantaginea* pass on apple. JBiopest n°5, p. 239-242.

Ricard J.M., Garcin A., Jay M., Mandrin J.F., 2012. Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière. Paris, Edition Ctifl, 472 p.

Romet L, 2004. Lutte automnale contre le puceron cendré du pommier. ITAB, Alter Agri n°67, p. 14-21.

Romet L, 2005. Bandes florales et biodiversité fonctionnelle en verger. GRAB, Conférence Journées techniques nationales fruits et légumes et viticulture biologique, Beaune, p. 53-61.

San Martin G., Hautier L., Ottart N., 2005. La Coccinelle asiatique, *Harmonia axyridis.* Insectes n°136, p. 7-11

Sauphanor B., Bouvier J-C., Boiseneau C., RieuxR., Simon S., Capowiez Y., 2005.Impacts biologiques des systèmes de protection en vergers de pommier. Phytoma- La défense des végétaux 581, p. 42-46.

Scholz D., Poehling H. M., 2000. Oviposition site selection of Episyrphus balteatus. Entomol. Exp. Appl. 94, p.149–158.

Simon S., Sauphanor B., Defrance H., Lauri, P.E., 2009a.Manipulations des habitats du verger biologique et de son environnement pour le contrôle des bio-agresseurs. Des éléments pour la modulation des relations arbre-ravageurs-auxiliaires.Innovations Agronomiques n°4, p. 125-134.

Simon S., Bouvier J. C., Debras J. F., Sauphanor B., 2009b. Biodiversity and pest management in orchard systems.Areview.Agronomy for sustainabel development n°30, p. 139-152.

Simon S., Bouvier J-C, Debras J-F, Sauphanor B., 2010. Biodiversity and pest management on orchard systems. Areview. Agronomy for Sustainable Development 30, p. 139-152.

Vanhaelen N., Haubruge E., Gaspar C., and Francis F., 2001. Oviposition preferences of *Episyrphus balteatus*. *Med. Fac. Landbouw. Univ.Gent*. 66/2, p. 269-275.

Wery J., Belhouchette H., Marrou H., Metay A , 2015. Mémento d'Agronomie Systémique. Montpellier SupAgro/IAMM – UMR System, 17 p.

Wyss E., Villiger M., HemptinneJ.-L., Müller-Schärer H., 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. Entomologia Experimentalis et Applicatan°90, p.167-173.

Wyss E., Villiger M., Müller-Schärer H., 1999b. The potential of three native insect predators to control the rosy apple aphid, *Dysaphisplantaginea*.BioControln°44, p.171-182.

Sites web :

Site de France Agrimaire : http://www.franceagrimer.fr/filiere-vin-et-cidriculture/Cidriculture/La-filiere-en-bref/Production consulté le 13/04/2015.

Site de la chambre d'agriculture de Normandie : http://www.normandie.chambagri.fr/agriscopie-cidre.asp; consultés le 13/04/2015

Site de l'IDAC (Interprofession des Appellations Cidricoles) : http://www.idac-aoc.fr/fr/les-calvados/de-la-recolte-au-cidre.html consulté le 13/04/2015.

Site de l'INRA Encyclop'aphid: https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Predateurs-insectes/Coleoptera-Coccinellidae consulté le 23/04/2015

Site de météo France :http://www.meteofrance.com/climat/france/rennes/35281001/normales

Annexes

Annexe 1 : Fiches descriptives des différents vergers du projet « Verger Cidricole de demain ».

Annexe 2 : Caractéristiques des variétés sélectionnées.

Annexe 3 : Evolutions de l'infestation du puceron cendré et des auxiliaires actifs par parcelle.

Annexe 4 : Notes attribuées aux bandes fleuries et aux haies.

Annexe 5 : Résultats Statistiques.

Annexe 1 : Fiches descriptives des différents vergers du projet « Verger de demain ».

Annexe 1 : P 14

Septembre 2014 - Version 4.0

Rappel du dispositif commun

Dans chaque parcelle sont implantées, sur MM106, les variétés Judor, Dabinett Douce de l'Avent et son pollinisateur sur le rang à raison de trois rangs par variété et modalité (ordre des variétés à respecter). Deux modalités sont comparées et séparées par une haie (repère visuel et limite des dérives de pulvérisation) :

- une parcelle PROD, gérée comme le reste du verger du producteur et correspondant au témoin
- une parcelle ECO, gérée de façon innovante avec des techniques de production choisies pour leur impact très limité sur l'environnement.

Présentation de la parcelle

- *Surface totale (ECO+PROD)* : 2 ha
- *Type de production :* biologique
- *Innovation spécifique de la parcelle :* parcelle basse densité avec introduction de volailles dans la modalité ECO (prévue pour hiver 2014-2015).
- *Contexte pédoclimatique :* Région bocagère. Localisation sur un plateau plutôt froid et sur une zone relativement bien arrosée avec une moyenne annuelle de précipitations de 700-800 mm. Sol profond, limoneux. Forte déficience en potasse, insuffisance en magnésie, ambiance calcique convenable, mais acidification potentielle à surveiller (pH=6,4). Bon taux de saturation (91%) et taux de matière organique autour de 3%.
- *Précédent cultural :* prairie naturelle
- *Implantation :*
  - Date de plantation : 2012
  - Méthode de plantation : à la main
  - Distance de plantation : PROD : 5,5 m x 2,3 m/ECO : 6,5 mx 3 m
  - Palissage : Douce de l'Avent, à voir sur Dabinett (palissage bas à 1 fil)
  - Fumure : apports en potasse (conséquent), magnésie + un peu de carbonate
  - Entretien du sol :

	PROD	ECO
Ligne de plantation	Plastique noir	• Mulch de copeaux de bois discontinu (au pied des arbres uniquement) • Enherbement spontané entre les îlots de mulch
Inter-rang	Enherbement spontané	• Pairie fleurie (Mélange Ecosem « Verger durable ») à la densité de 40 kg/ha (semis en 2012) 1 inter-rang sur 2 : 90% graminées : fétuque rouge et pâturin/10% de fleurs : bleuet des champs, nielle des blés, coquelicot, centaurée des prés, carotte sauvage, vipérine, marguerite des prés, mauve musquée, chicorée sauvage, compagnon blanc, silène enflé, brunelle, chrysanthème des moissons, léontodon changeant, achillée millefeuille. • Enherbement spontané sur les autres inter-rangs

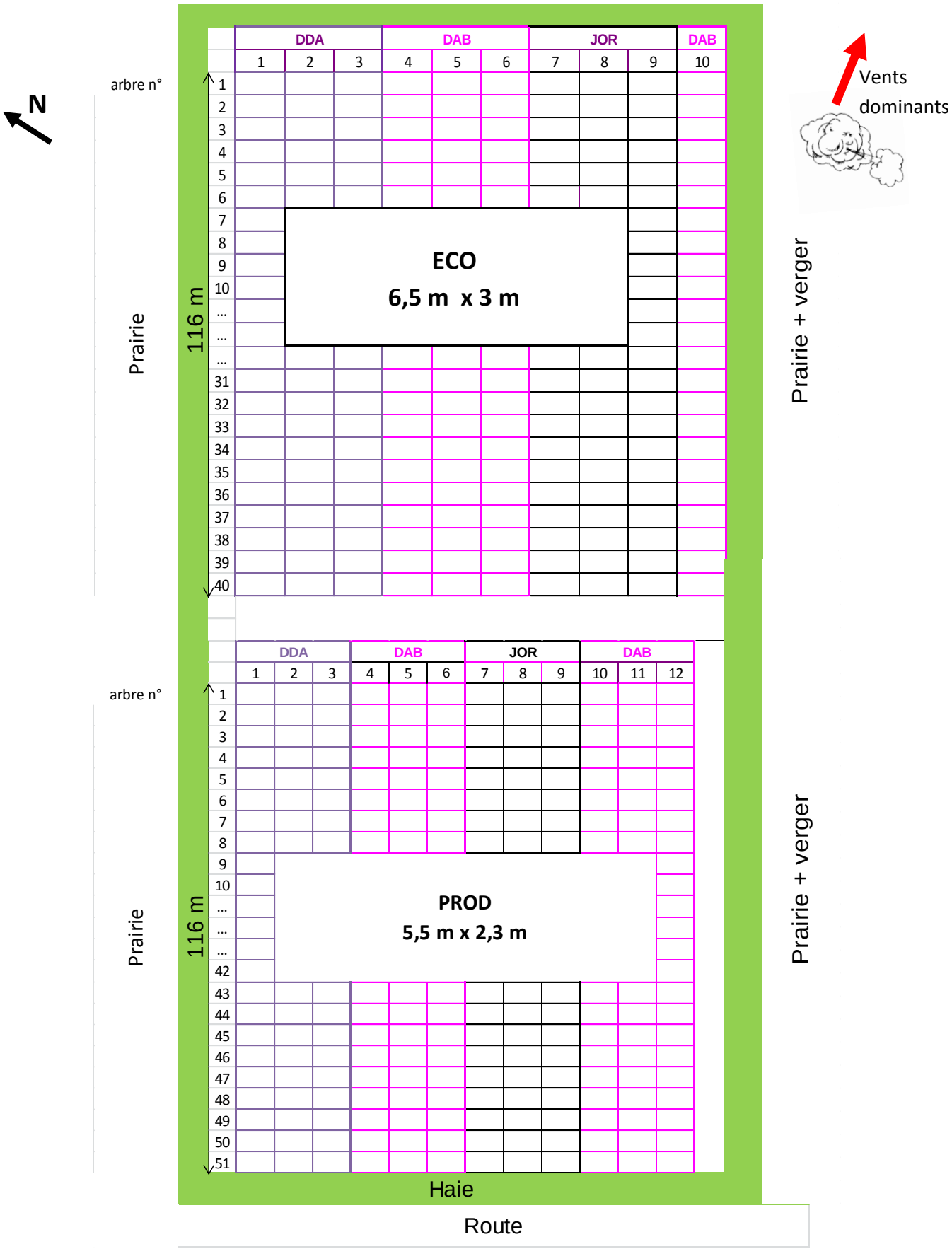
- *Aménagements de la parcelle :*

	PROD	ECO
Haie séparation ECO/PROD	Essences proposées d'après celles qui ont été choisies pour la parcelle 2 (ASL de Pontorson), d'après les références bibliographiques et adaptées au contexte pédoclimatique local. Haie d'une largeur de 5 m, constituée d'une succession de planches de plantations constituées de végétaux de type bourrage (charmille, cornouillers, sureau, noisetier, saule blanc, troène, houx) et de type haut jet (tilleul, frêne, chêne pédonculé, érable champêtre).	
Aménagements faune auxiliaire		• 4 nichoirs à mésanges : 2 Schwegler ∅26 mm et 2 Schwegler ∅32 mm (2012 et 2013) • 2 abris d'hivernage à chrysopes (depuis 2013)

Pilotage de la parcelle

- *Station météo :* Pulsonic (Ticheville, 61)
- *Modèle tavelure :* Clean Arbo (modèle PV)
- *Méthode d'enregistrement des opérations culturales :* Cahier de culture papier

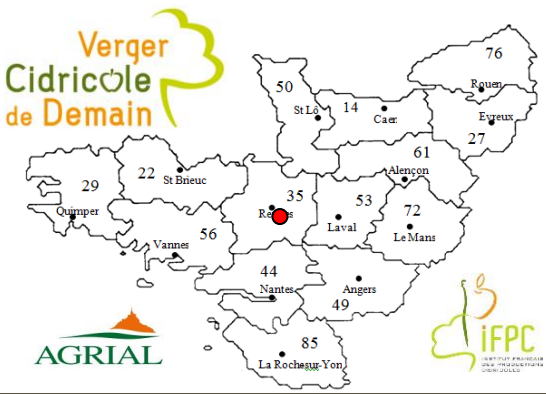
Plan du dispositif expérimental de la parcelle:



VERGER DE DEMAIN

Annexe 1 : P 35

Septembre 2014 - Version 4.0



Rappel du dispositif commun

Dans chaque parcelle sont implantées, sur MM106, les variétés Judor, Dabinett Douce de l'Avent et son pollinisateur sur le rang à raison de trois rangs par variété et modalité (ordre des variétés à respecter). Deux modalités sont comparées et séparées par une haie (repère visuel et limite des dérives de pulvérisation) :

- une parcelle PROD, gérée comme le reste du verger du producteur et correspondant au témoin
- une parcelle ECO, gérée de façon innovante avec des techniques de production choisies pour leur impact très limité sur l'environnement.

Présentation de la parcelle

- *Surface totale (ECO+PROD) :* 1ha 80
- *Type de production :* conventionnelle
- *Innovation spécifique de la parcelle :* éclaircissage mécanique en contexte de mur fruitier
- *Contexte pédoclimatique :* Parcelle situé dans un secteur de plaine. Sol acide (pH=6), de texture argilo-limoneuse, très riche en potasse et légèrement faible dans les autres éléments majeurs. Faible CEC, liée à une faible teneur en matière organique (2,28%) et un taux moyen en argile. Faible taux de saturation (63%) dû à l'acidité du sol. Climat typique du bassin de Rennes (moyenne annuelle des précipitations variant entre 600 et 700 mm).
- *Précédent cultural :* blé
- *Implantation :*
  - Date de plantation : 2011
  - Méthode de plantation : manuelle
  - Distance de plantation : 5,5 m x 2,3 m
  - Palissage : pas de palissage (fléchage des têtes)
  - Fumure de fond : 35 t/ha de fumier de porc composté
  - Entretien du sol :

	PROD	ECO
Ligne de plantation	Plantation sur bâche plastique puis le long de la bâche (jusqu'en 2014) A partir de 2014 désherbage chimique	Plantation sur bâche plastique jusqu'en 2014 Mai 2014 enherbement total avec pâturin et tonte avec un satellite
Inter-rang	Enherbement classique (2011)	Mélange fétuque Ray-grass anglais et pâturin à 30 kg/ha jusqu'en septembre 2011 avant semis de luzerne de 2011 à 2014 Mai 2014 : mélange pâturin + trèfle blanc sur bande centrale de 2,5 m ; pâturin sur reste de l'inter-rang

- *Aménagements de la parcelle :*

	PROD	ECO
Haie séparation ECO/PROD	Essences choisies par les techniciens d'après une synthèse bibliographique fournie par l'IFPC : houe, noisetier, sureau noir, chêne à épingles, charme commun	
Aménagements faune auxiliaire		• 5 nichoirs à mésanges : 3 Schwegler ∅26 mm et 2 Schwegler ∅32 mm (2013) • 2 abris d'hivernage à chrysopes (depuis 2013) • 1100 m² de bandes fleuries Mélange « FIBL spécial choux » (2012-2014) : Bleuet des champs 12,5%, Carotte sauvage 12,5%, Ammi commun 12,5%, Panais sauvage 12,5%, Cumin des près 25 %, Aneth odorant 12,5%, Coquelicot 12,5% • 1100 m² de bandes fleuries Mélange « IFPC 2 » à partir de mai 2014 : bleuet des champs (20%), compagnon blanc (12,5%), silène enflée (10%), achillée millefeuille (5%), Aneth odorant (15%), lotier corniculé (5%), luzerne lupuline (12,5%), géranium des Pyrénées (10%), potentille argentée (5%), phacélie (5%)

Pilotage de la parcelle

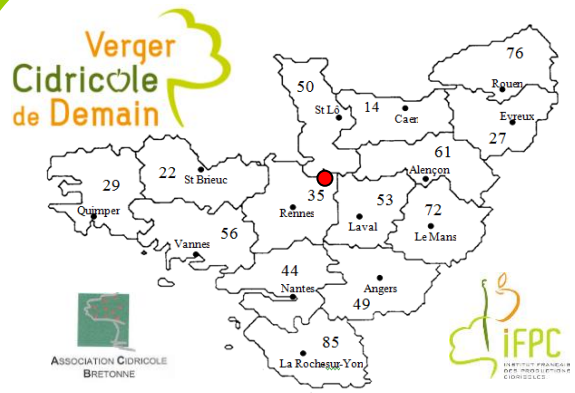
- *Station météo :* Davies (installée en 2011 sur l'exploitation)
- *Modèle tavelure :* Modèle type Clean Arbo
- *Méthode d'enregistrement des opérations culturales :* carnet puis cahier culture

Plan du dispositif expérimental de la parcelle

VERGER DE DEMAIN

Annexe 1 : P 35 bis

Février 2015 – Version 5.0



Rappel du dispositif commun

Dans chaque parcelle sont implantées, sur MM106, les variétés Judor, Dabinett Douce de l'Avent et son pollinisateur sur le rang à raison de trois rangs par variété et modalité (ordre des variétés à respecter). Deux modalités sont comparées et séparées par une haie (repère visuel et limite des dérives de pulvérisation) :

- une parcelle PROD, gérée comme le reste du verger du producteur et correspondant au témoin
- une parcelle ECO, gérée de façon innovante avec des techniques de production choisies pour leur impact très limité sur l'environnement.

Présentation de la parcelle

- *Surface totale (ECO+PROD)* : 1 ha 76
- *Type de production :* conventionnelle
- *Innovation spécifique de la parcelle :* éclaircissage mécanique en contexte de mur fruitier
- *Contexte pédoclimatique :* Parcelle située en secteur bocager, présentant une légère pente nord-sud. Sol de type limon sablo-argileux, avec une bonne teneur en matière organique (3,15%) et un taux de saturation satisfaisant (74%). Sol riche en phosphore et en potasse. Secteur plus arrosé que la zone du bassin de Rennes avec une moyenne annuelle des précipitations autour de 700-800mm.
- *Précédent cultural :* maïs puis prairie
- *Implantation :*
  - Date de plantation : décembre 2011
  - Méthode de plantation : à la main
  - Distance de plantation : 5,5 m x 2 m
  - Palissage : Dabinett et Judor à 1 fil à 1,20 m et Douce de l'Avent à 3 fils
  - Fumure de fond : 30-40 t/ha de fumier de bovin
  - Entretien du sol :

	PROD	ECO
Ligne de plantation	Bâche plastique (jusqu'en 2012) puis désherbage chimique	Bâche plastique (jusqu'en 2012) puis tonte et désherbage mécanique
Inter-rang	Enherbement classique (30% Ray Grass Anglais Capri , 70% Fétuque Elevée Regiment)	

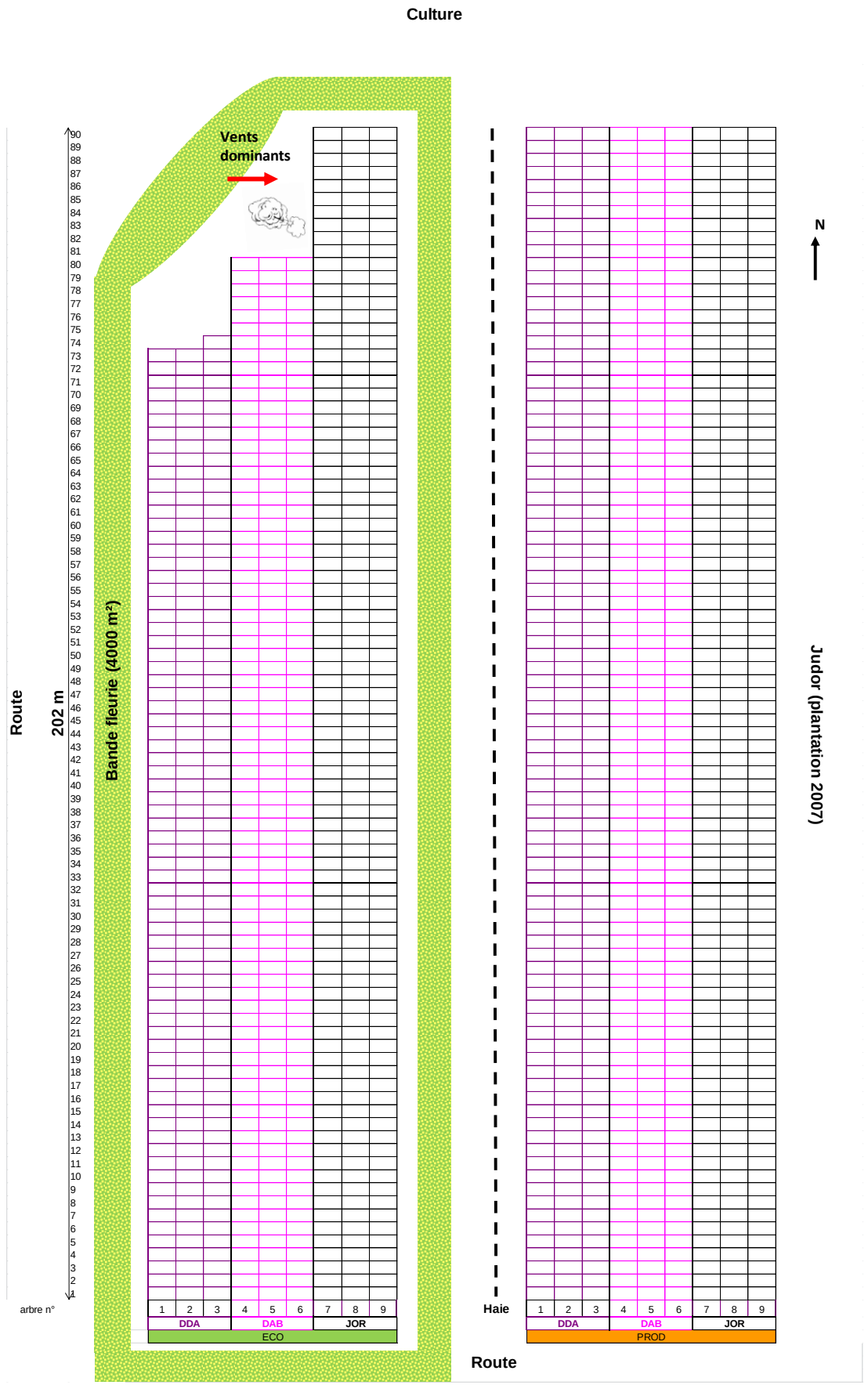
- *Aménagements de la parcelle :*

	PROD	ECO
Haie séparation ECO/PROD (2011)	Essences proposées par Breizh Bocage : succession de planches constituées de végétaux de type bourrage (viorne, noisetier, cornouiller, néflier) et de type haut jet (tilleul, chêne pédonculé, merisier, charme)	
Aménagements faune auxiliaire		• 7 nichoirs à mésanges : 4 en terre cuite ∅30 mm (2013), 2 Schwegler ∅26 mm et 1 Schwegler ∅32 mm (depuis septembre 2012) • 2 abris d'hivernage à chrysopes (depuis 2013) • Bandes fleuries Mélange « Colignon » (4000 m² semés en avril 2012 à une densité de 50 kg/ha) : Bleuet des champs 6%, Chrysanthème des moissons 4%, Coquelicot 2%, Lotier corniculé 3%, Luzerne 10%, Trèfle des près 2%, Agrostis commun 20%, Fétuque rouge 38%, Fléole 15%) et nouveau mélange à l'automne 2014 : Mélange « IFPC 2 » (bleuet des champs (20%), compagnon blanc (12,5%), silène enflée (10%), achillée millefeuille (5%), Aneth odorant (15%), lotier corniculé (5%), luzerne lupuline (12,5%), géranium des Pyrénées (10%), potentille argentée (5%), phacélie (5%) • Bandes fleuries Mélange « IFPC 2 » (4000 m² semés en Septembre 2014 à une densité de 50 kg/ha) : bleuet des champs (20%), compagnon blanc (12,5%), silène enflée (10%), achillée millefeuille (5%), Aneth odorant (15%), lotier corniculé (5%), luzerne lupuline (12,5%), géranium des Pyrénées (10%), potentille argentée (5%), phacélie (5%)

Pilotage de la parcelle

- *Station météo :* DFI-elec (installée en 2012 sur l'exploitation)
- *Modèle tavelure :* modèle privé conçu par N. Broussaud
- *Méthode d'enregistrement des opérations culturales :* cahier de traitements personnel

Plan du dispositif expérimental de la parcelle



Annexe 1 : P 50

Septembre 2014 - Version 4.0

Rappel du dispositif commun

Dans chaque parcelle sont implantées, sur MM106, les variétés Judor (JOR), Dabinett (DAB), Douce de l'Avent (DDA) et son pollinisateur sur le rang à raison de trois rangs par variété et modalité (ordre des variétés à respecter). Deux modalités sont comparées et séparées par une haie (repère visuel et limite des dérives de pulvérisation) :

- une parcelle PROD, gérée comme le reste du verger du producteur et correspondant au témoin
- une parcelle ECO, gérée de façon innovante avec des techniques de production choisies pour leur impact très limité sur l'environnement.

Présentation de la parcelle

- *Surface totale (ECO+PROD)* : 3 ha
- *Type de production :* conventionnelle
- *Innovation spécifique de la parcelle :* gestion de l'alternance par voies mécaniques (brosses et complément secouage)
- *Contexte pédoclimatique :* Parcelle située en zone de bocage remembré. Sol légèrement acide (pH=6,8) de texture limono-sableux. Sol bien pourvu dans les différents éléments majeurs mais excès en potasse, typique du secteur entrainant un déséquilibre du rapport magnésie/potasse. Bon taux de saturation (83%). Bon taux de matière organique (2,7%). Proximité de la baie du Mont Saint Michel : températures plus douces qu'à l'intérieur des terres et régime hydrique moindre (650 à 750 mm/an).
- *Précédent cultural :* maïs
- *Implantation :*
  - Date de plantation : 2010
  - Méthode de plantation : à la main
  - Distance de plantation : 5,5 m x 2,3 m
  - Palissage : palissage haut sur Douce de l'Avent (3 fils) et 1fil à 1,50 m pour Dabinett
  - Fumure de fond (ECO+PROD): 9t/ha de fumier de poulailler
  - Entretien du sol :

	PROD	ECO
Ligne de plantation	Bâche plastique et désherbage chimique le long de la bâche sur 20 cm	Bâche plastique (2010- hiver 2014)
Inter-rang	Semis de graminées	Pairie fleurie - Mélange Ecosem « Verger durable » (90% graminées : fétuque rouge et pâturin/10% de fleurs : bleuet des champs, nielle des blés, coquelicot, centaurée des prés, carotte sauvage, vipérine, marguerite des prés, mauve musquée, chicorée sauvage, compagnon blanc, silène enflé, brunelle, chrysanthème des moissons, léontodon changeant, achillée millefeuille) Semis en 2010 à une densité de 40 kg/ha

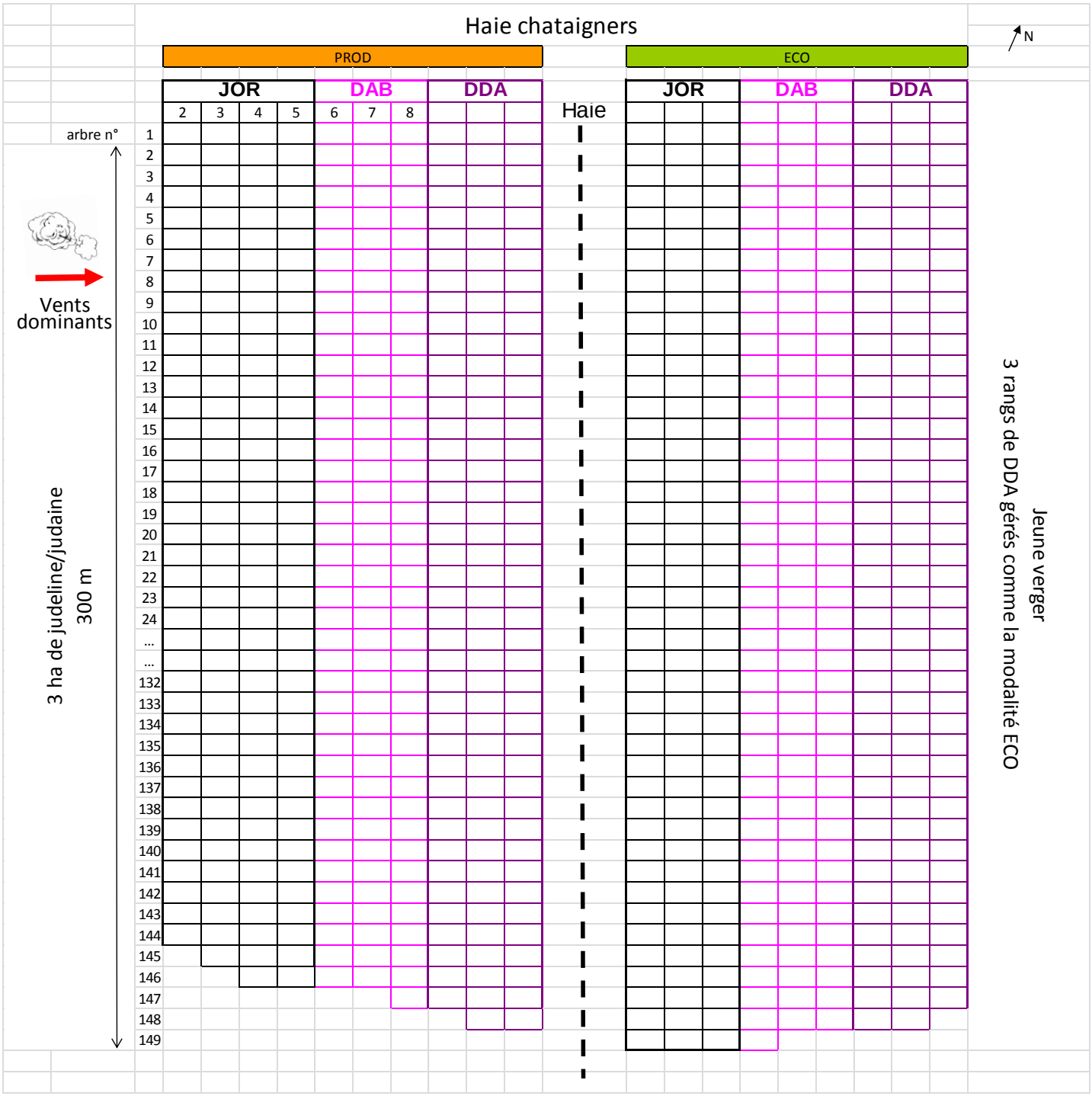
- *Aménagements de la parcelle :*

	PROD	ECO
Haie séparation ECO/PROD	Essences proposées par l'ASL de Pontorson (Association Syndicale Libre de reboisement) Succession de planches de 5 m de large, constituées de végétaux de type bourrage (charmille, cornouillers, sureau, noisetier, saule blanc, troène, houx) et de type haut jet (tilleul, frêne, chêne pédonculé, érable champêtre) (Implantation mars 2010)	
Aménagements faune auxiliaire		• 6 nichoirs à mésanges Schwegler ∅30 mm (depuis 2013) • 2 abris d'hivernage à chrysopes (depuis 2013)

Pilotage de la parcelle

- *Station météo :* Davies (installée en 2011 sur l'exploitation)
- *Modèle tavelure :* Clean arbo
- *Méthode d'enregistrement des opérations culturales :* logiciel Mes p@rcelles (distribué par les Chambres d'Agriculture)

Plan du dispositif expérimental de la parcelle

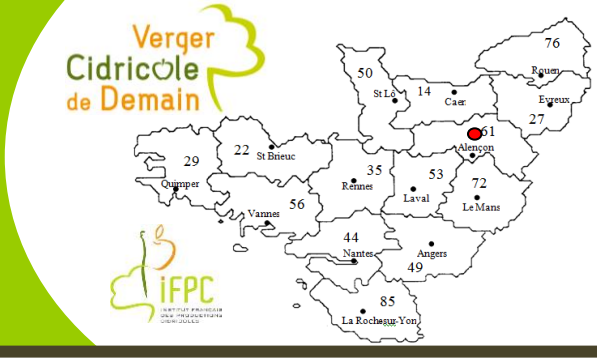


VERGER DE DEMAIN

Annexe 1 : P 61

Suivi IFPC

Septembre 2014 - Version 4.0



Rappel du dispositif commun

Dans chaque parcelle sont implantées, sur MM106, les variétés Judor, Dabinett Douce de l'Avent et son pollinisateur sur le rang à raison de trois rangs par variété et modalité (ordre des variétés à respecter). Deux modalités sont comparées et séparées par une haie (repère visuel et limite des dérives de pulvérisation) :

- une parcelle PROD, gérée comme le reste du verger du producteur et correspondant au témoin
- une parcelle ECO, gérée de façon innovante avec des techniques de production choisies pour leur impact très limité sur l'environnement.

Présentation de la parcelle

- *Surface totale (ECO+PROD)* : 2 ha
- *Type de production :* conventionnelle
- *Innovation spécifique de la parcelle :* gestion de l'alternance par voies mécaniques (brosses)
- *Contexte pédoclimatique :* Parcelle située dans un secteur de plaine. Sol de pH alcalin (pH=8) à texture limoneuse riche en sable (40%) d'où la mise en place d'irrigation. Sol pauvre en phosphore et en magnésie mais riche en potasse. Bonne CEC mais sol sursaturé (risque de blocage du phosphore). Bon taux de matière organique (2,5%), typique des sols de plaine du secteur. Le climat est de type océanique dégradé, caractérisé par une moyenne de précipitations annuelle de 750 à 800 mm.
- *Précédent cultural :* Tournesol
- *Implantation :*
  - Date de plantation : 2010
  - Méthode de plantation : machine
  - Distance de plantation : 5,5 m x 2,3 m
  - Palissage : 2 fils sur l'ensemble des variétés
  - Fumure de fond (ECO+PROD): 400 kg/ha de 20-20-0
  - Entretien du sol :

	PROD	ECO
Ligne de plantation	Plantation sur sol nu	
	Désherbage chimique	• Désherbage chimique sur une bande de largueur réduite 1ère, 2ème et 3ème feuille • Désherbage mécanique à la Relion + tonte (3ème et 4ème feuille) • Enherbement total envisagé à partir de la 6ème feuille (plus tardivement que les autres parcelles car contexte de la parcelle plus asséchant)
Inter-rang	Semis graminées (2012)	Pairie fleurie - Mélange Ecosem « Verger durable » (90% graminées : fétuque rouge et pâturin/10% de fleurs : bleuet des champs, nielle des blés, coquelicot, centaurée des prés, carotte sauvage, vipérine, marguerite des prés, mauve musquée, chicorée sauvage, compagnon blanc, silène enflé, brunelle, chrysanthème des moissons, léontodon changeant, achillée millefeuille) Semis en 2012 à une densité de 40 kg/ha

- *Aménagements de la parcelle :*

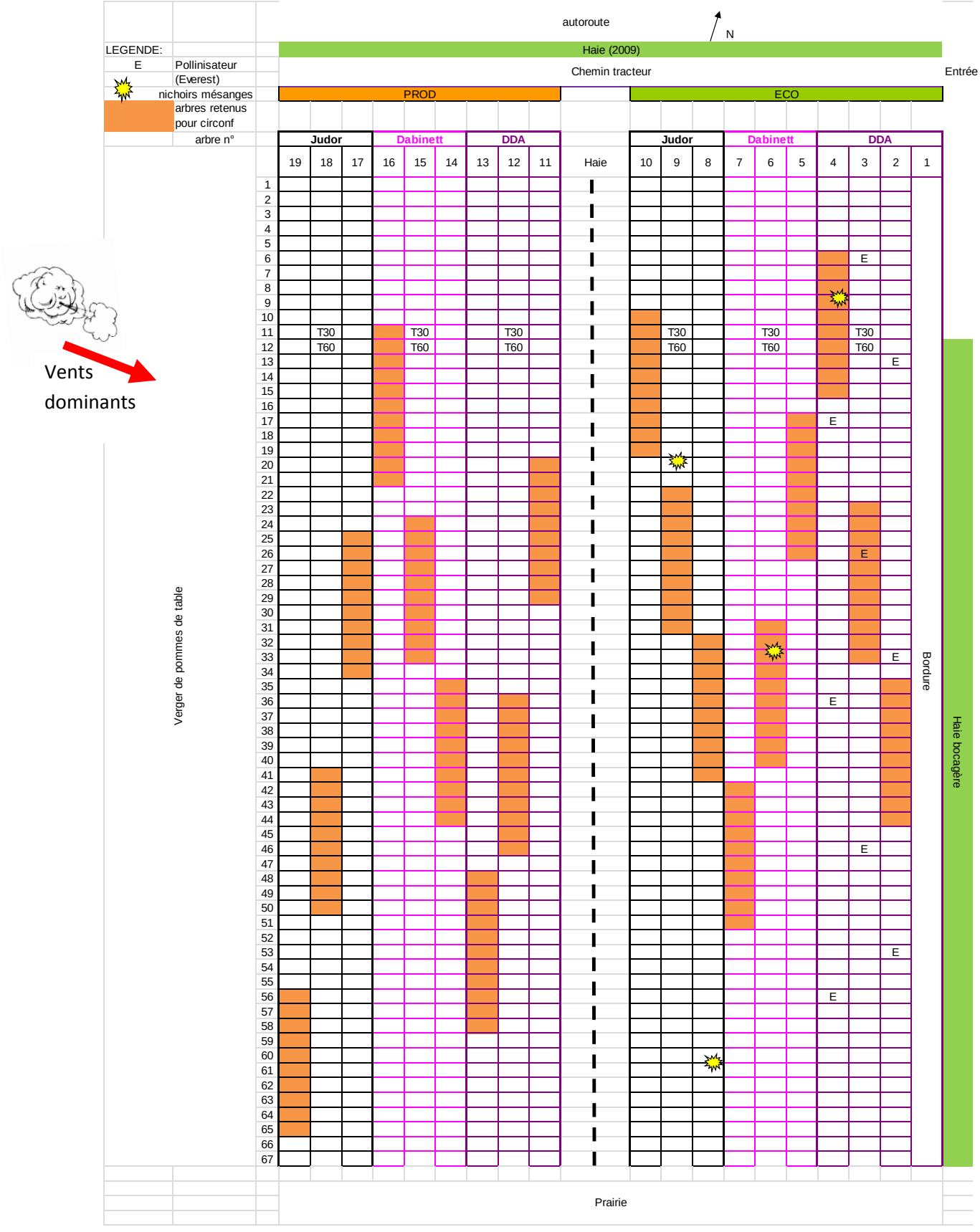
	PROD	ECO
Haie séparation ECO/PROD	Haie de charmilles en double épaisseur (depuis 2013)	
Aménagements faune auxiliaire		• 4 nichoirs à mésanges Schwegler ∅32 mm (depuis 2012) • 2 abris d'hivernage à chrysopes (depuis 2013)
Autres aménagements	Haie au Nord (depuis 2009) : charmille, érable sycomore, merisier, acacia	

FranceAgriMer
Basse-Normandie
UNICID

Pilotage de la parcelle

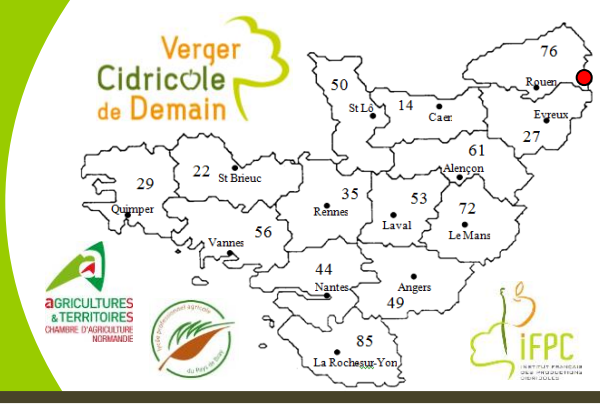
- *Station météo :* Agriscope (Station météo sur le site de l'IFPC, à Sées)
  Davies (réseau AGRIAL in situ)
- *Modèle tavelure :* RimPro et Melkior
- *Méthode d'enregistrement des opérations culturales :* cahier personnel du producteur

Plan du dispositif expérimental de la parcelle



VERGER DE DEMAIN

Annexe 1 : P 76



Septembre 2014 - Version 4.0

Rappel du dispositif commun

Dans chaque parcelle sont implantées, sur MM106, les variétés Judor, Dabinett Douce de l'Avent et son pollinisateur sur le rang à raison de trois rangs par variété et modalité (ordre des variétés à respecter). Deux modalités sont comparées et séparées par une haie (repère visuel et limite des dérives de pulvérisation) :

- une parcelle PROD, gérée comme le reste du verger du producteur et correspondant au témoin
- une parcelle ECO, gérée de façon innovante avec des techniques de production choisies pour leur impact très limité sur l'environnement.

Présentation de la parcelle

- *Surface totale (ECO+PROD)* : 1,35 ha
- *Type de production :* biologique
- *Innovation spécifique de la parcelle :* parcelle basse densité avec introduction de moutons Shropshire dans la modalité ECO (introduction prévue pour l'hiver 2014-2015)
- *Contexte pédoclimatique :* parcelle située en coteau et en zone de bocage du Pays de Bray. Sol limoneux argileux et bien pourvu dans les différents éléments majeurs. Bon taux de saturation (91%). Bon taux de matière organique (2,5%). Zone gélive, climat se rapprochant plus du continental et avec une moyenne annuelle de 600-700 mm de précipitations.
- *Précédent cultural :* luzerne et maïs
- *Implantation :*
  - Date de plantation : 2012
  - Méthode de plantation : manuelle
  - Distance de plantation : PROD : 5,5 m x 2,3 m/ECO : 6,5 m x 3 m
  - Palissage : 1 fil sur l'ensemble de la parcelle
  - Fumure : 40 t/ha de fumier de bovin frais et peu pailleux
  - Entretien du sol :

	PROD	ECO
Ligne de plantation	Plastique noir	• Mulch de copeaux de bois discontinu (au pied des arbres uniquement) • Enherbement spontané entre les îlots de mulch
Inter-rang	Enherbement classique	• Pairie fleurie (Mélange Ecosem « Verger durable ») à la densité de 40 kg/ha (semis en 2012) 1 inter-rang sur 2 : 90% graminées : fétuque rouge et pâturin/10% de fleurs : bleuet des champs, nielle des blés, coquelicot, centaurée des prés, carotte sauvage, vipérine, marguerite des prés, mauve musquée, chicorée sauvage, compagnon blanc, silène enflé, brunelle, chrysanthème des moissons, léontodon changeant, achillée millefeuille. • Enherbement classique sur les autres inter-rangs

- *Aménagements de la parcelle :*

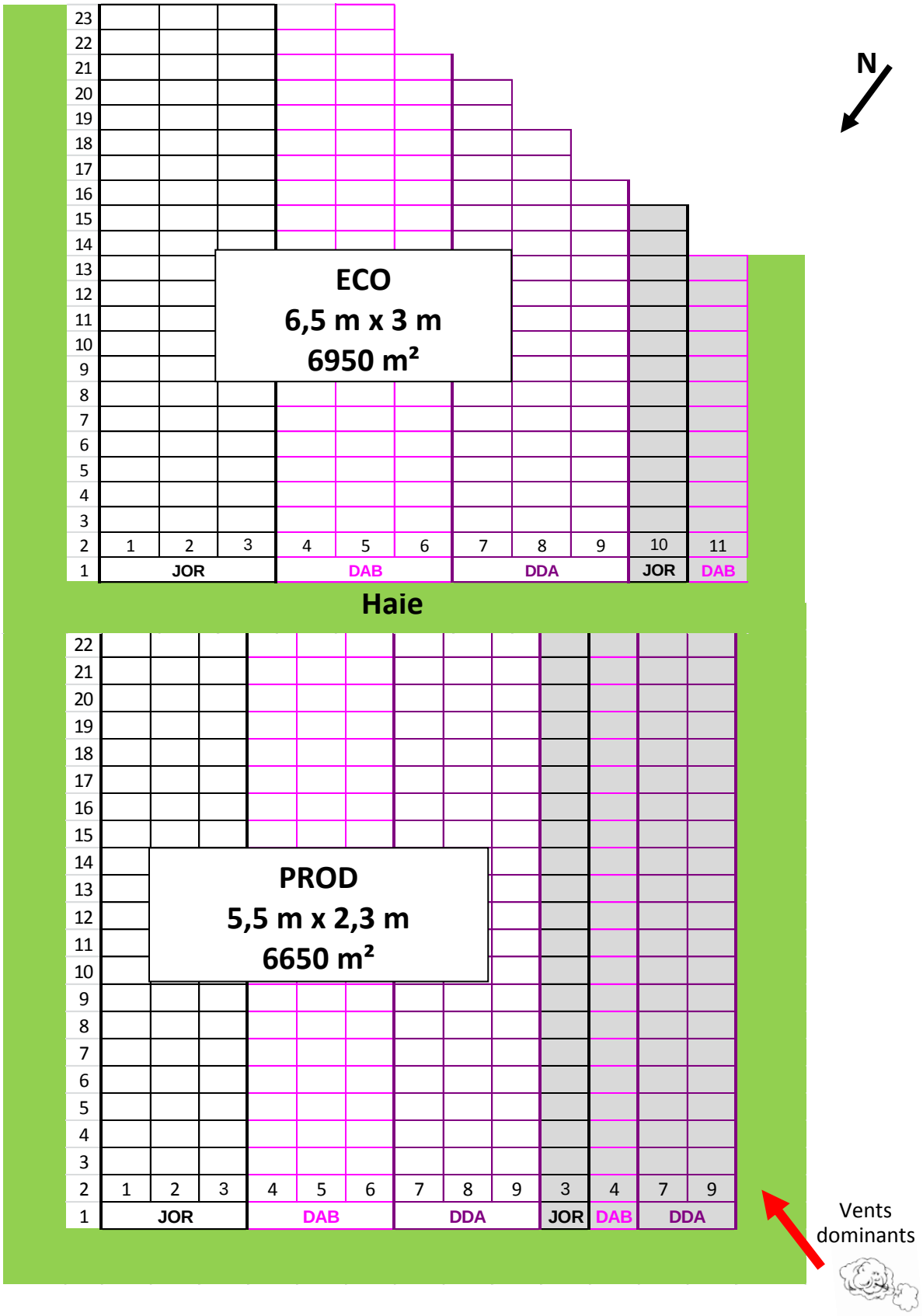
	PROD	ECO
Haie séparation ECO/PROD	Essences proposées par les techniciens d'après les références bibliographiques et adaptées au contexte pédoclimatique local : succession de planches, constituées de végétaux de type bourrage (cornouiller sanguin, noisetier, fusain, sureau noir, viorne obier, laurier tin, buis et cornille) et de type haut jet (charme, aulne glutineux, tilleul, frêne commun, érable champêtre et merisier) (Implantation 2012)	
Aménagements faune auxiliaire		• 5 nichoirs à mésanges : 3 en terre cuite ∅30 mm, 1 Schwegler ∅26 mm et 1 Schwegler ∅32 mm (2013) • 2 abris d'hivernage à chrysopes (depuis 2013)
Autres aménagements	Clôture entre les modalités ECO et PROD et autour de l'ensemble de la parcelle	

FranceAgriMer
UNICID

Pilotage de la parcelle

- *Station météo :* Cimel (installée sur l'exploitation)
- *Modèle tavelure :* Clean Arbo (Fredon Basse-Normandie)
- *Méthode d'enregistrement des opérations culturales :* Carnet de culture CETA cidricole

Plan du dispositif expérimental de la parcelle



Annexe 2 : Caractéristiques des variétés sélectionnées.

Principales caractéristiques des variétés sélectionnées (Dupont N., 2014) :

- Judor : Variété de pomme « aigre », dont la période de récolte se situe entre octobre et novembre. C'est une variété qui entre vite en production, avec un potentiel estimé à plus de 40 t/hectare. Concernant l'aspect phytosanitaire, Judor est considérée comme peu sensible à la tavelure, sensible au chancre et peu sensible aux maladies de conservation.

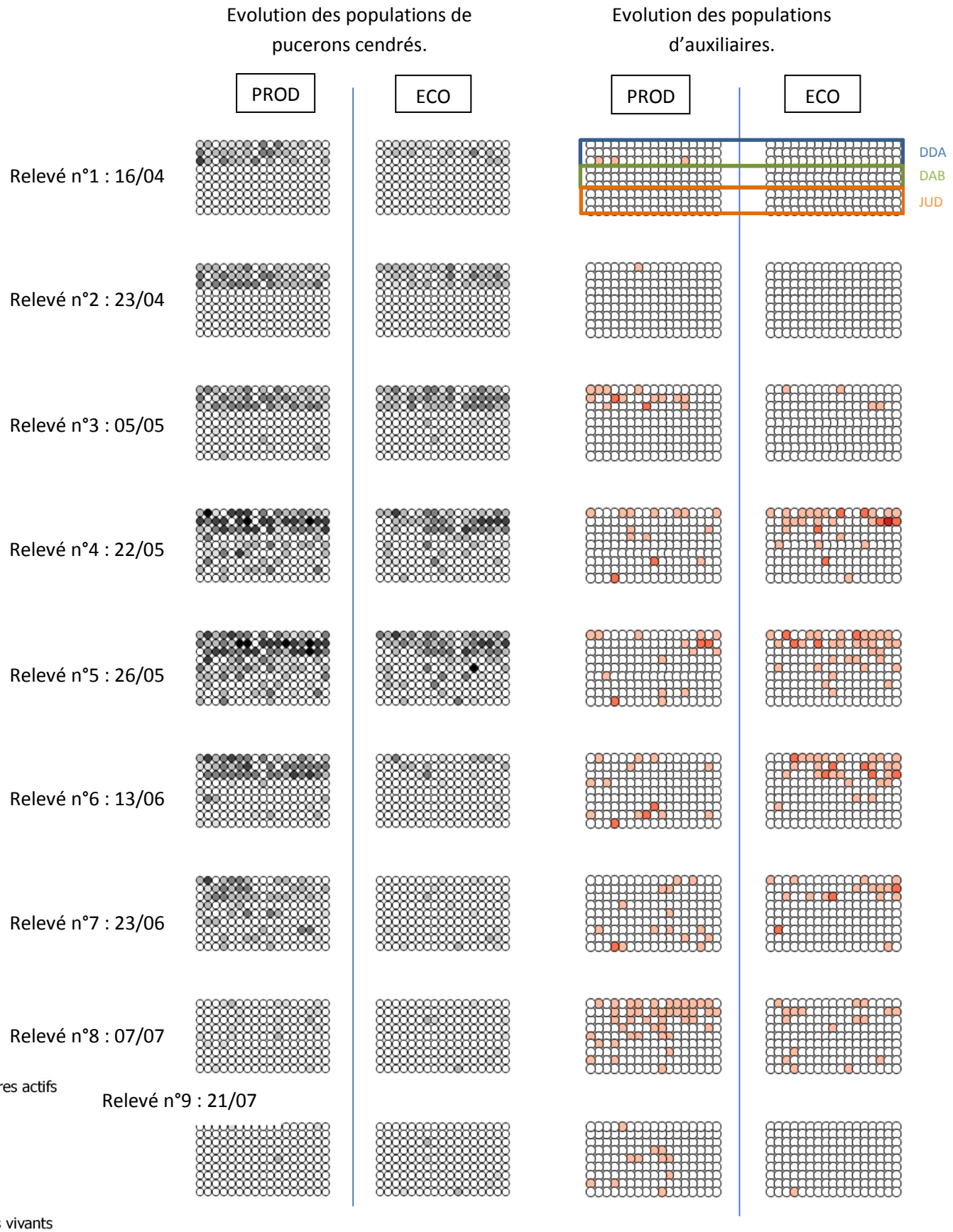
- Dabinett : Variété de pomme « douce-amère » à maturité fin octobre. Cette dernière, présente une bonne rusticité et est considérée comme peu sensible à la tavelure, à l'oïdium et au chancre. Dabinett est également une variété peu alternante et productive, avec une entrée en production rapide et a un potentiel estimé à 35 à 40T/hect.

- Douce de l'Avent : Nouvelle variété « douce » à maturité de fin novembre à début décembre. Cette dernière a un potentiel de production estimé entre 35 à 40T/hect. C'est une variété vigoureuse qui présente un bon comportement face aux bio-agresseurs, cependant elle serait plus sensible aux nouvelles races de tavelure.

Annexe 3 : Evolutions de l'infestation du puceron cendré et des auxiliaires actifs par parcelle.

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 14 pour l'année 2014.



Légende

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0 - 0
- 0 - 3
- 3 - 8
- 8 - 19
- 19 - 44

Nombre de foyers vivants

- 0.0 - 0.0
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 3.0000
- 3.0000 - 6.0000
- 6.0000 - 11.0000
- 11.0000 - 17.0000

Aucuns traitements aphicides

Annexe 2

Légende

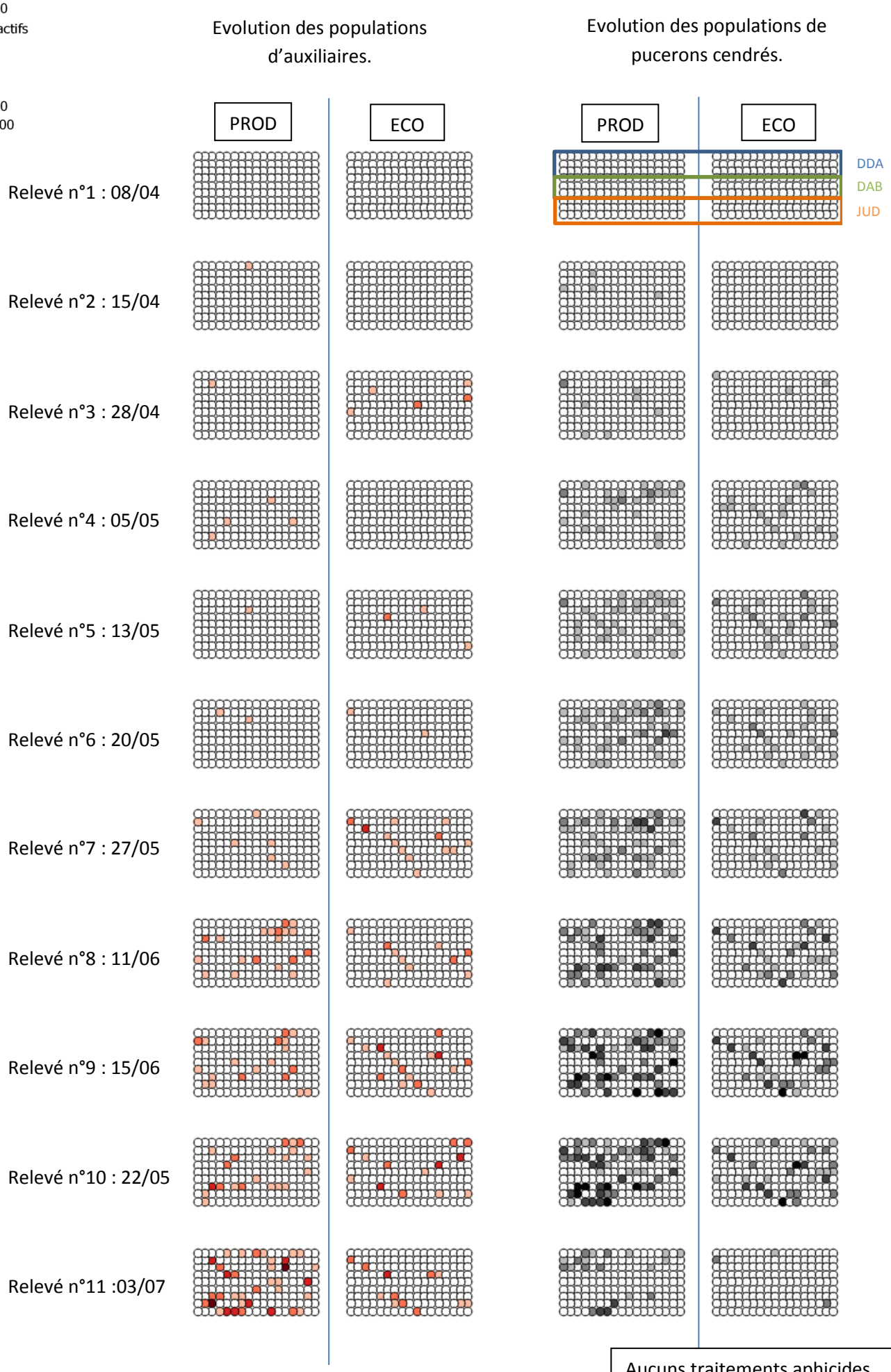
Nombre de foyers vivants

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 3.0000
- 3.0000 - 8.0000
- 8.0000 - 19.0000

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 3.0000
- 3.0000 - 10.0000
- 10.0000 - 27.0000

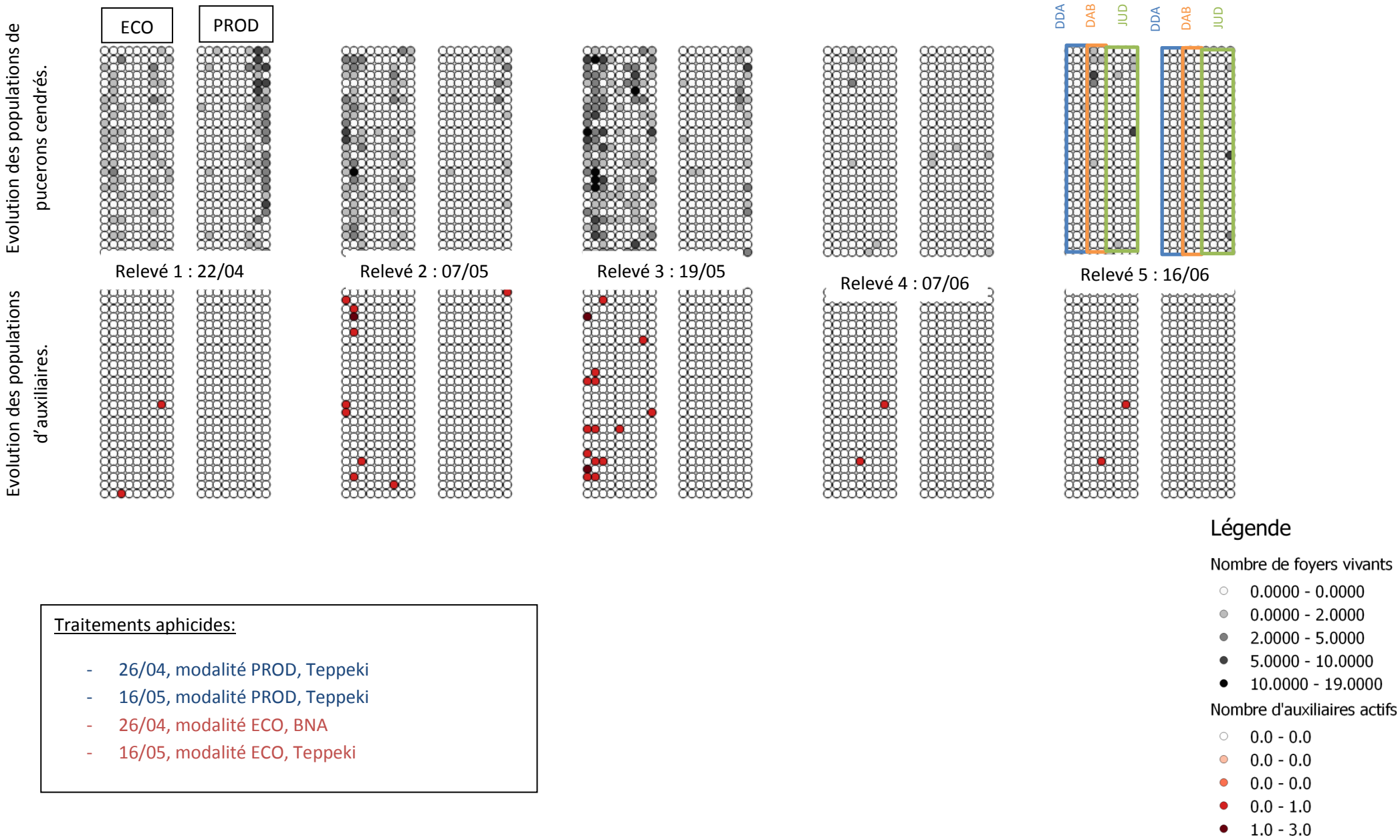
Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 14 pour l'année 2015.



Aucuns traitements aphicides

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 35 pour l'année 2014.

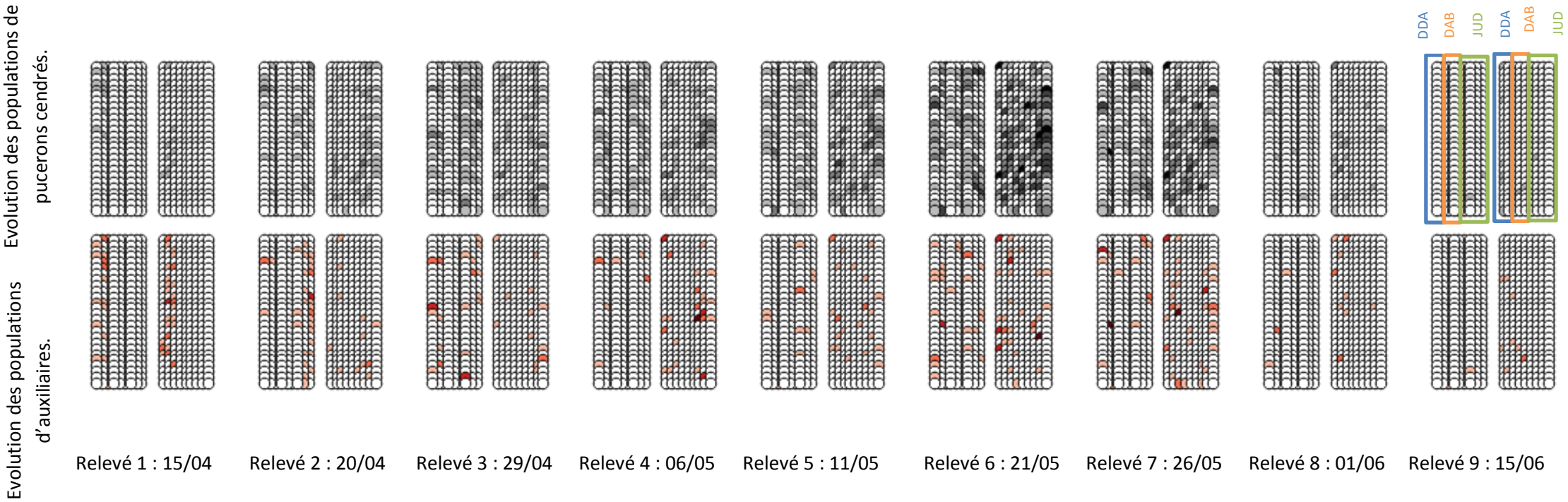


Traitements aphicides:

- 26/04, modalité PROD, Teppeki
- 16/05, modalité PROD, Teppeki
- 26/04, modalité ECO, BNA
- 16/05, modalité ECO, Teppeki

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 35 pour l'année 2015.



Traitements aphicides:

- 21/05, modalité PROD, Teppeki
- 07/04, modalité ECO, BNA
- 21/05, modalité ECO, Teppeki

Légende

Nombre de foyers vivants

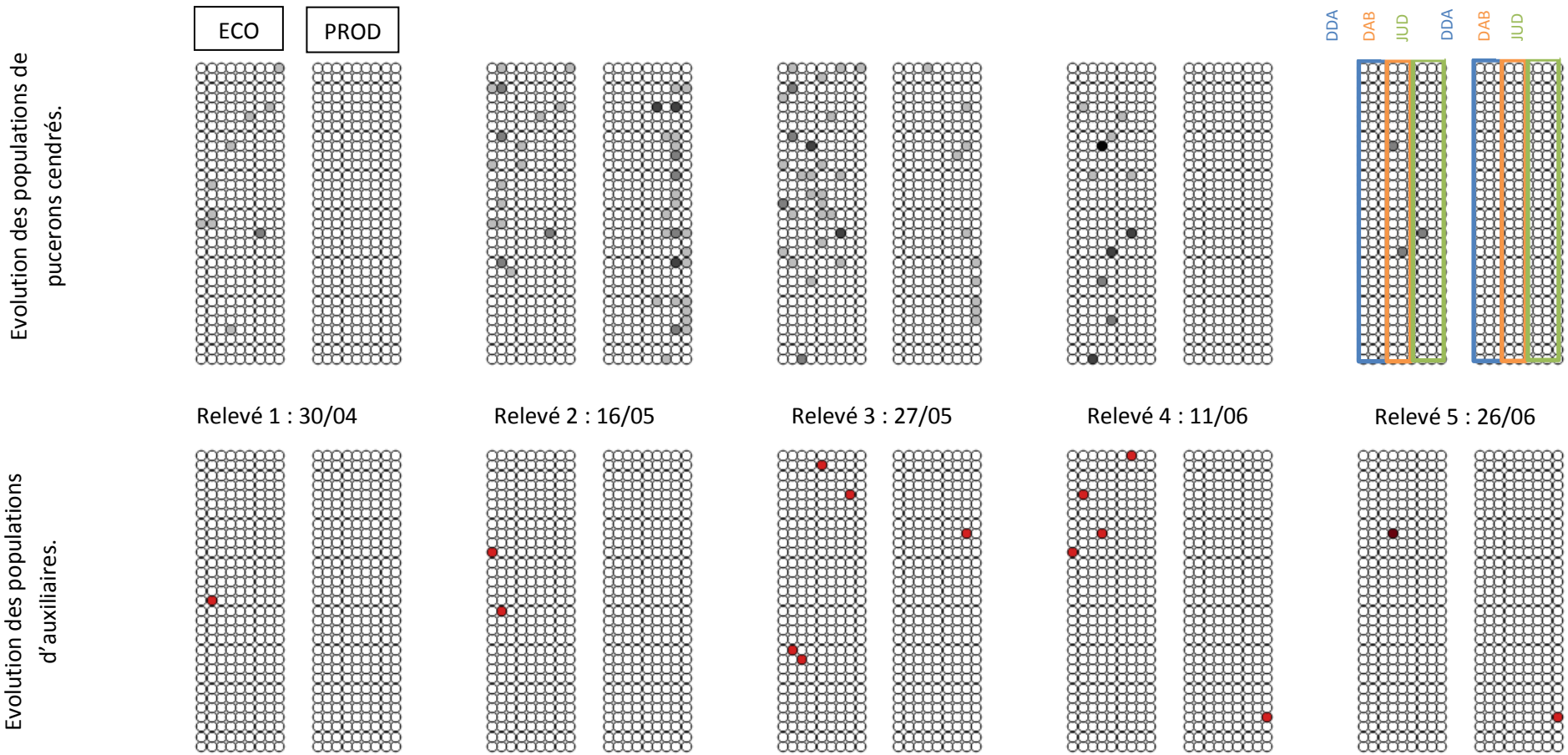
- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 3.0000
- 3.0000 - 8.0000
- 8.0000 - 18.0000
- 18.0000 - 34.0000

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 2.0000
- 2.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 7.0000

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 35 bis pour l'année 2014.



Traitements aphicides:

- 07/05, modalité PROD, Ter'Alg HN
- 30/05, modalité PROD, Ter'Alg HN
- 05/06, modalité PROD, Ter'Alg HN
- 19/06, modalité PROD, SokalciArbo
- 21/05, modalité PROD, Teppeki

Légende

Nombre de foyers vivants

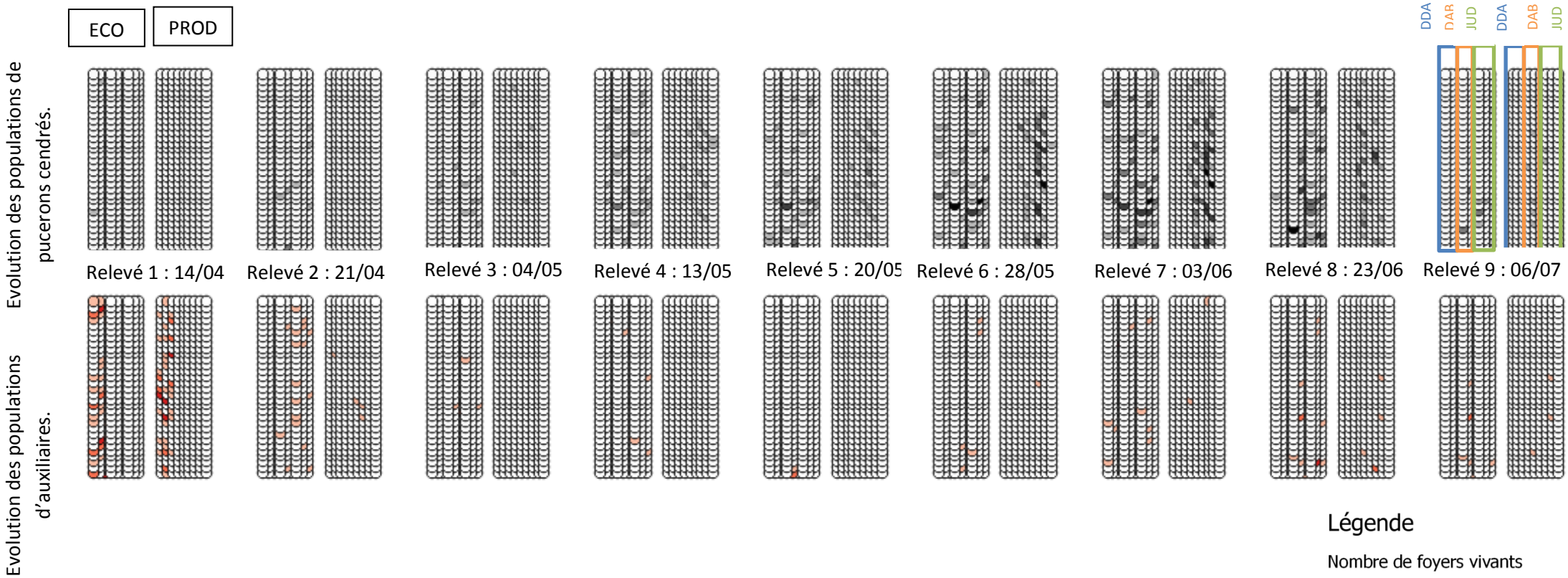
- 0.0 - 0.0
- 0.0 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 6.0
- 6.0 - 7.0

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 2.0000

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 35 bis pour l'année 2015.



Traitements aphicides:

- Après le 03/06, modalité PROD, Teppeki
- Après le 03/06, modalité ECO, Teppeki

Légende

Nombre de foyers vivants

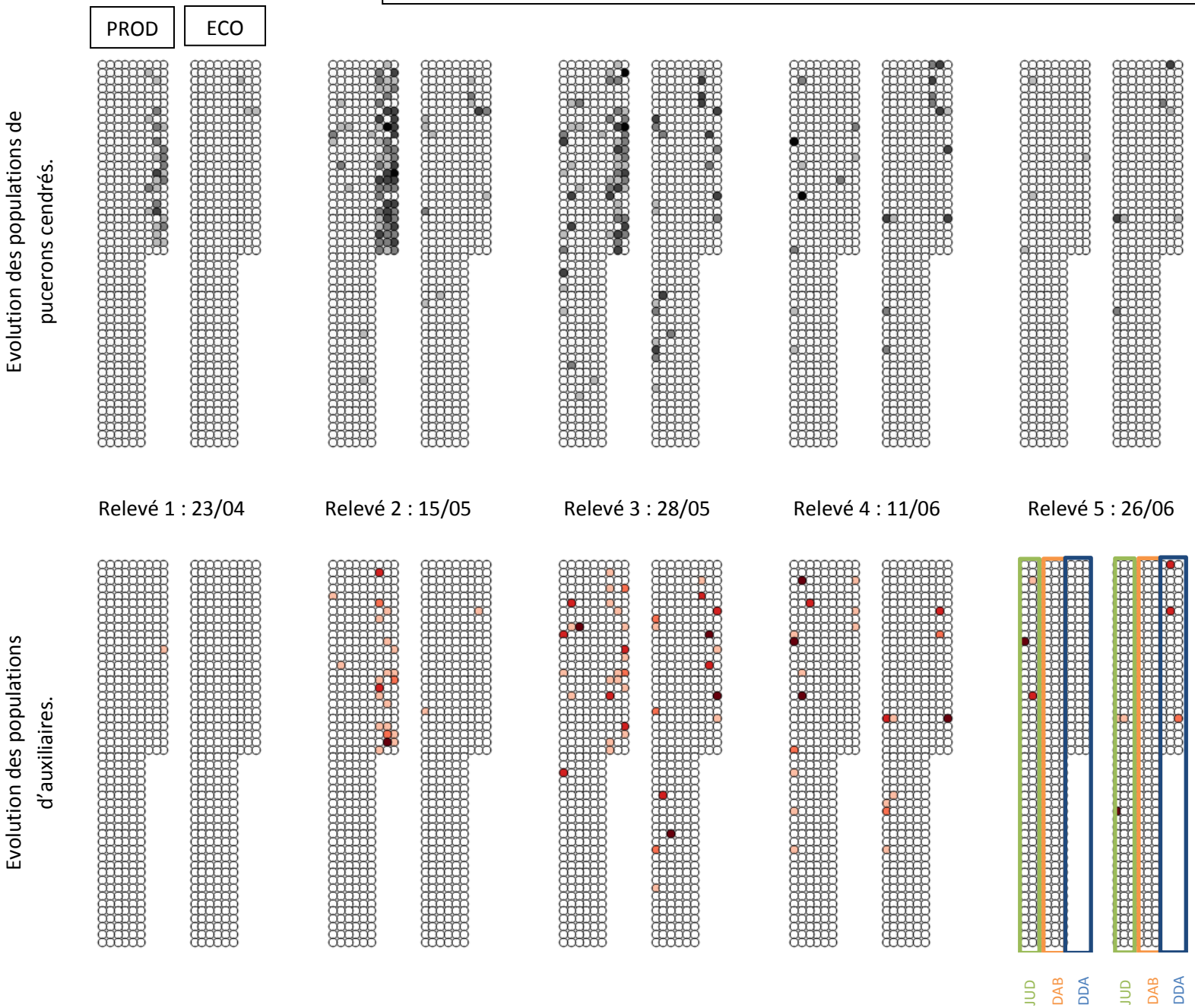
- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 2.0000
- 2.0000 - 6.0000
- 6.0000 - 10.0000
- 10.0000 - 23.0000

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0 - 0.0
- 0.0 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 4.0

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 50 pour l'année 2014.



Traitements aphicides:

- 16/05, modalité PROD, Aphicide

Légende

Nombre de foyers vivants

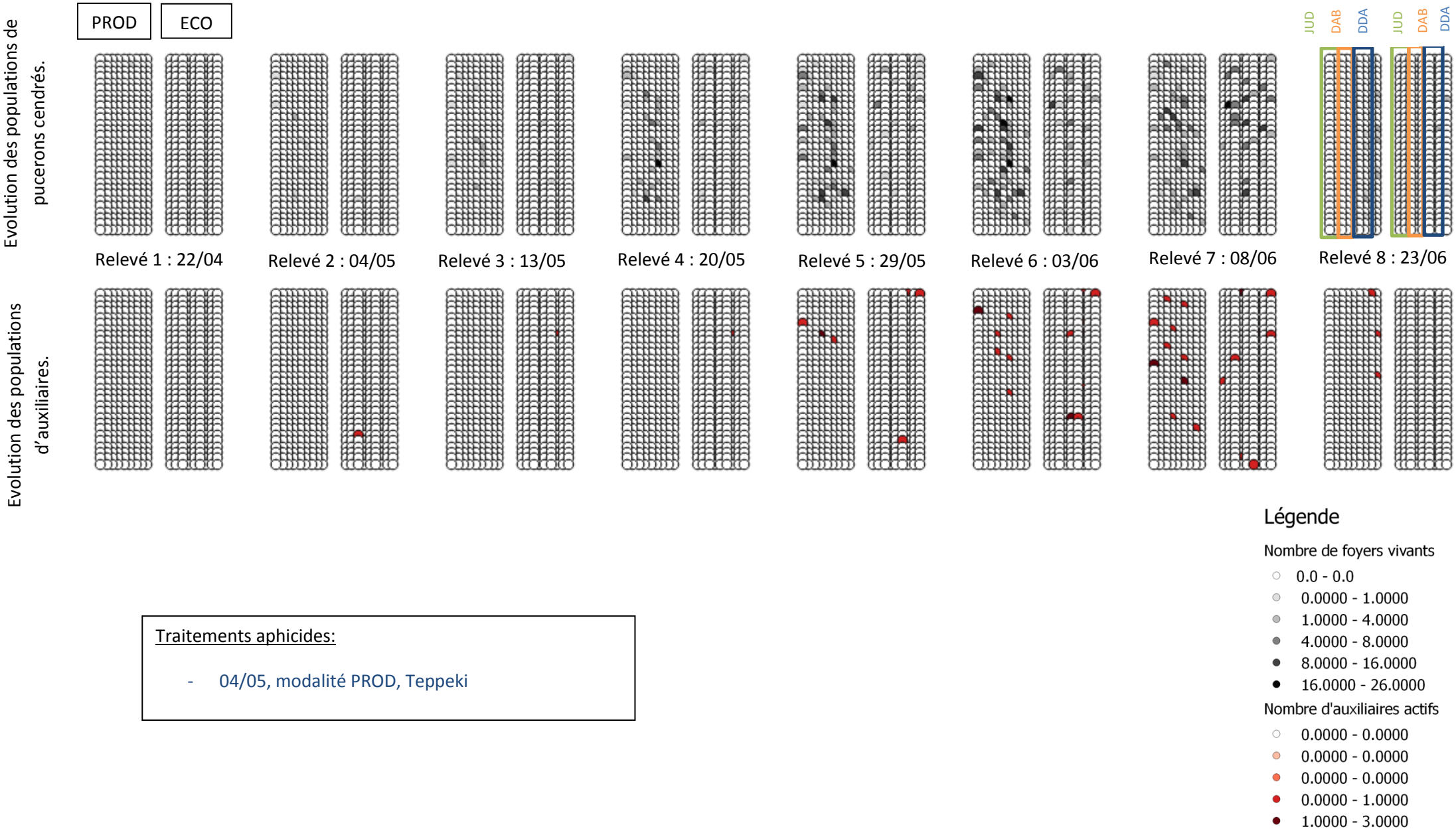
- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 3.0000
- 3.0000 - 9.0000
- 9.0000 - 25.0000

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 2.0000
- 2.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 10.0000

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 50 pour l'année 2015.

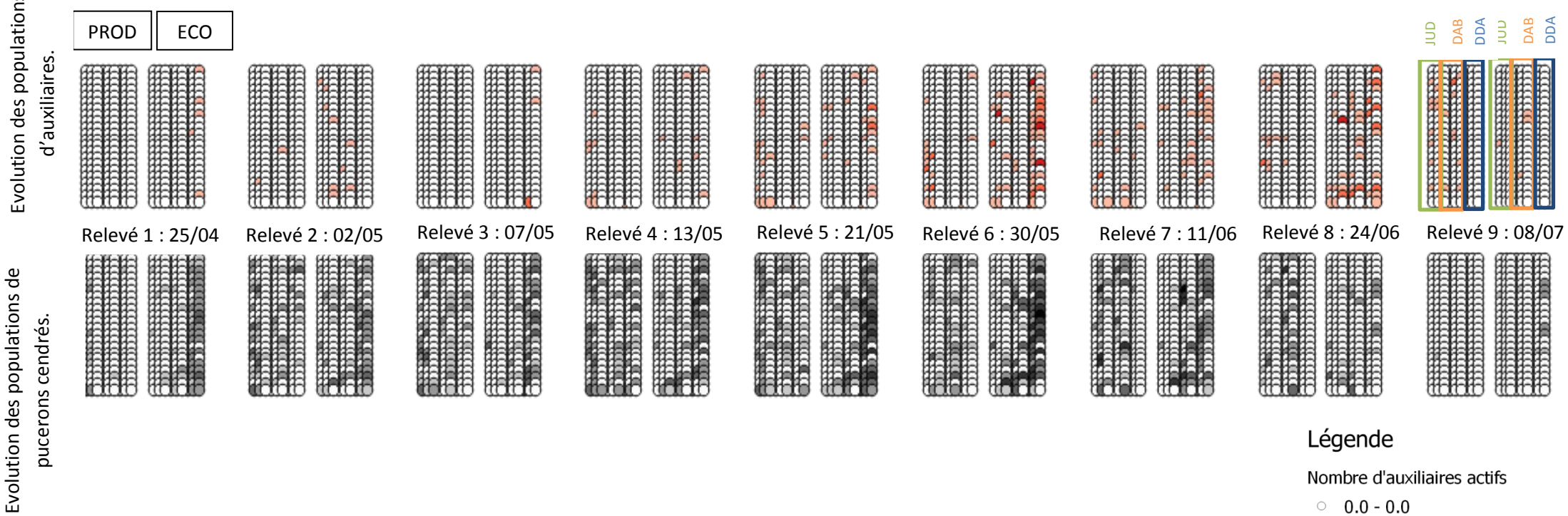


Traitements aphicides:

- 04/05, modalité PROD, Teppeki

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 61 pour l'année 2014.



Légende

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0 - 0.0
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 9.0000
- 9.0000 - 19.0000
- 19.0000 - 40.0000

Nombre de foyers vivants

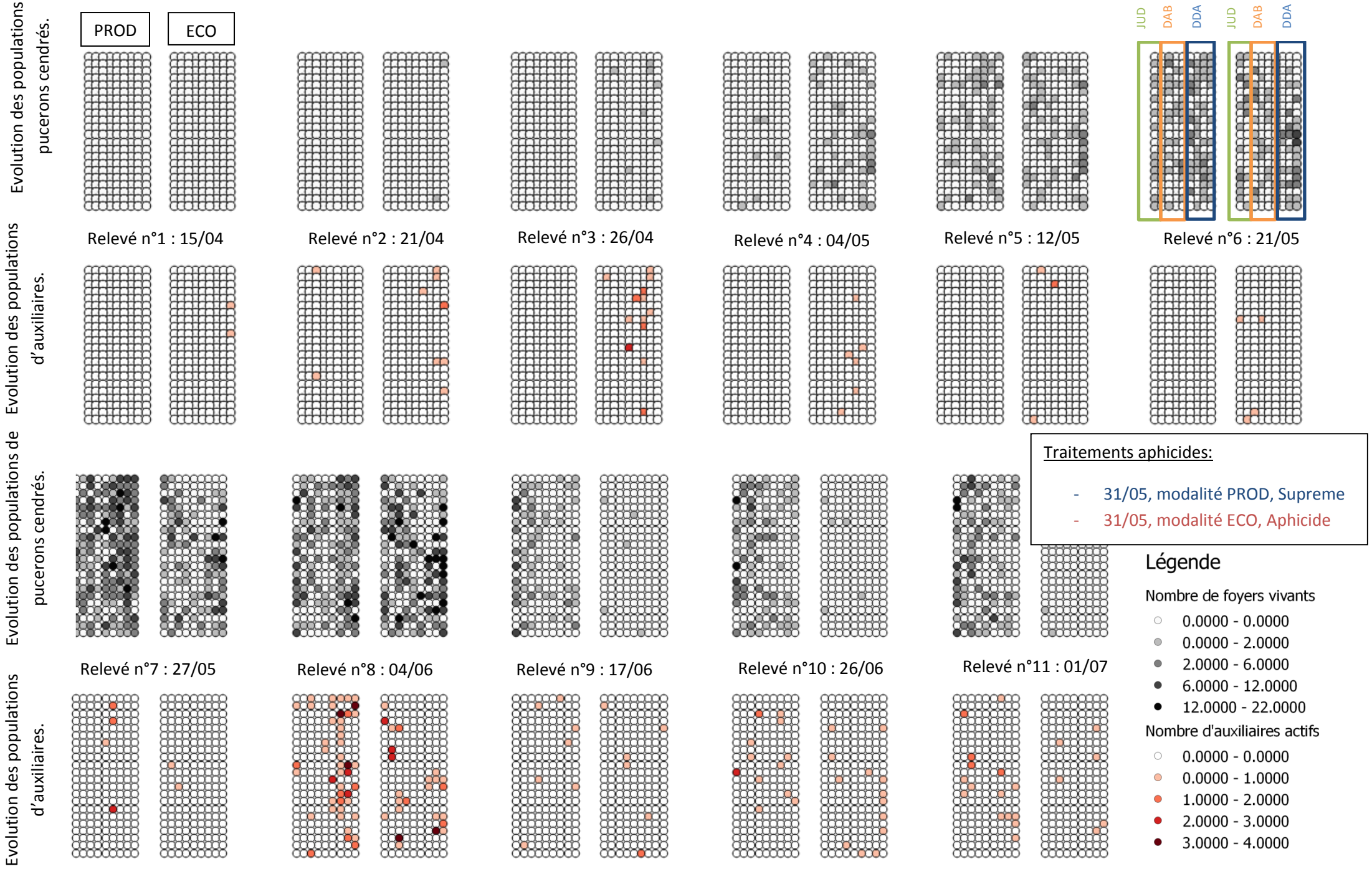
- 0.0 - 0.0
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 9.0000
- 9.0000 - 15.0000
- 15.0000 - 23.0000

Traitements aphicides:

- 14/05, modalité PROD, Supreme
- 20/06, modalité PROD, Supreme
- 20/06, modalité ECO, Teppeki

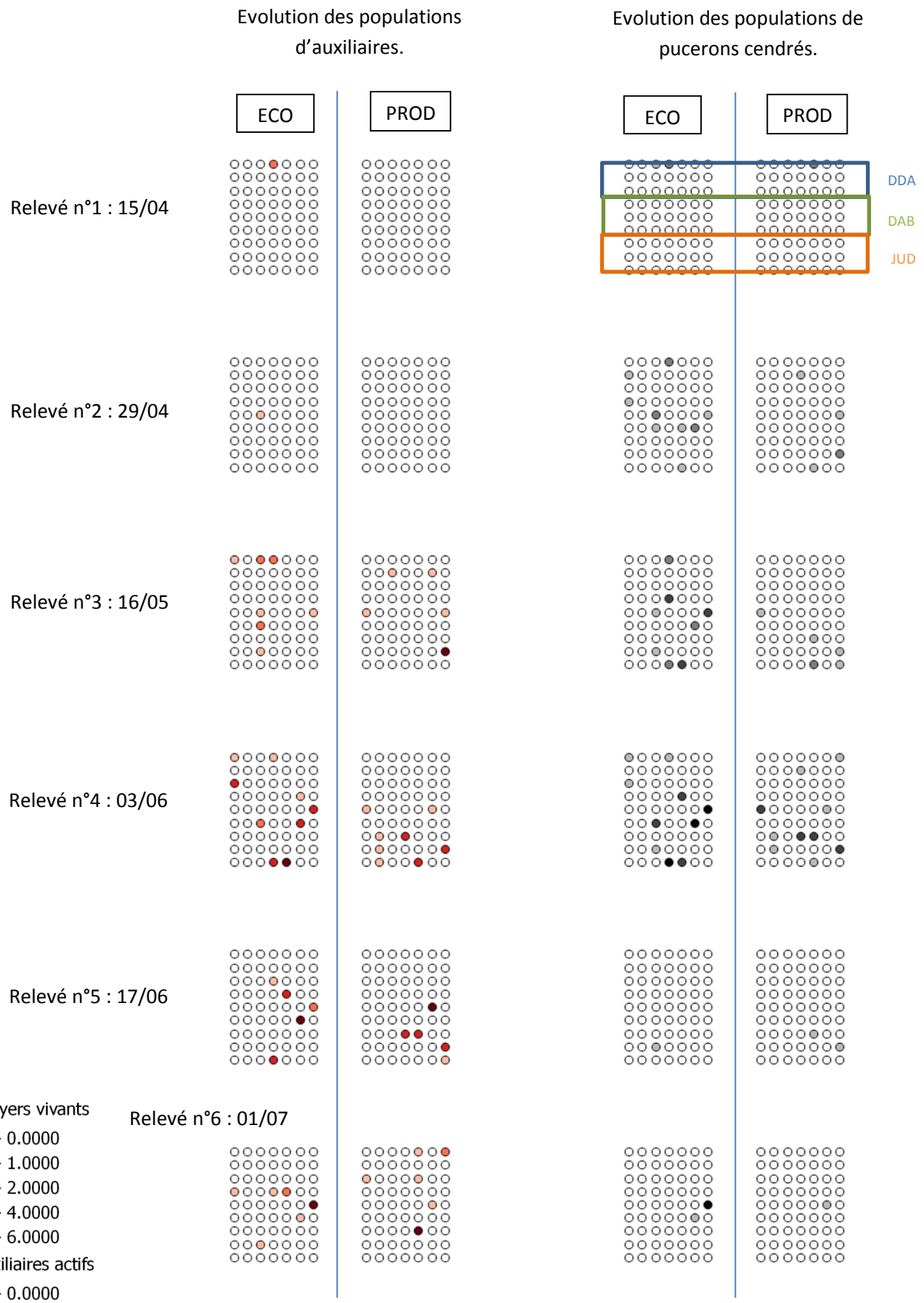
Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 61 pour l'année 2015.



Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 76 pour l'année 2014.



Légende

Nombre de foyers vivants

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 2.0000
- 2.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 6.0000

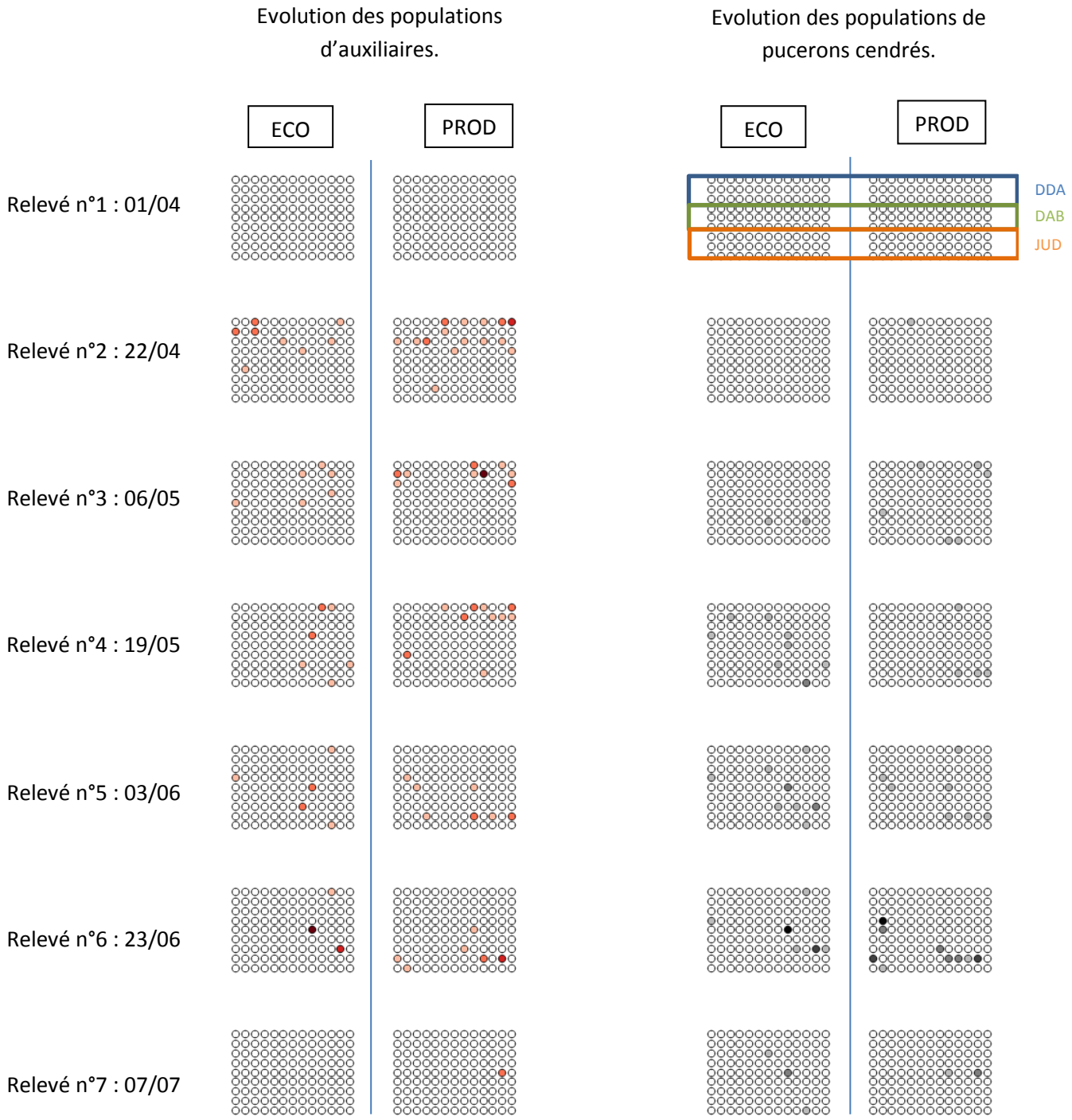
Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 2.0000
- 2.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 7.0000

Aucuns traitements aphicides.

Annexe 2

Evolution des populations de pucerons cendrés et d'auxiliaires sur la Parcelle 76 pour l'année 2015.



Légende

Nombre de foyers vivants

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 8.0000
- 8.0000 - 19.0000

Nombre d'auxiliaires actifs

- 0.0000 - 0.0000
- 0.0000 - 1.0000
- 1.0000 - 4.0000
- 4.0000 - 7.0000
- 7.0000 - 12.0000

Aucuns traitements aphicides.

Annexe 4 : Notes attribuées aux bandes fleuries et aux haies.

Notes de qualités attribuées aux différentes haies.

		Site	35bis		50				35						53		
		Modalité	ECO	PROD	ECO		PROD		ECO			PROD			ECO		PROD
		N° Haie	1	1	1	2	1	2	1	2	3	1	3	4	1	2	
		Nom	Haie ECO/PROD	Haie ECO/PROD	Haie ECO/PROD	Haie chataignier	Haie ECO/PROD	Haie chataignier	Haie ECO/PROD	Haie mésange (haie ECO côté droit)	Haie habitation	Haie ECO/PROD	Haie habitation	Haie Agée (Haie Prod côté gauche)	Haie ECO/PROD	Haie fond ECO	-
Critères		nb points															
Type de haie	Monospécifique	1				1		1									
	Plurispecifique	6	6	6	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2	
Strate	Haie peu développée	0															
	Présence strate arbustive	2							2			2			2		
	Présence strate arborescente et arbustive	3	3	3	3	3	3	3		3	3		3	3		3	
Densité/porosité de la haie (pourcentage de vide dans la haie)	plus de 70% de vide	0															
	entre 30 et 70% de vide	2	2	2	2		2		2			2			2		
	moins de 30% de vide	3				3		3		3	3		3	3		3	
Gestion	Taille fréquente (hauteur maximalle de 2 m)	1															
	Pas de gestion fréquente	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Total par haie	14	13	13	9	9	9	9	8	10	10	8	10	10	8	10	
	Total Moda		13	13	18		18		28			28			18		0
	Total Parcelle		26		36				56						18		

Notes de qualités attribuées aux différentes haies.

		Site	61					14						76							27				
		Modalité	ECO			PROD		ECO			PROD			ECO			PROD				ECO			PROD	
		N° Haie	1	2	3	3	4	1	2	3	3	4	5	1	2	3	3	4	5	6	1	2	3	3	4
		Nom	Haie Eco	Haie fond ECO	Haie Eco/Prod	Haie Eco/Prod	Haie fond PROD	Haie ECO côté gauche	Haie ECO côté droit	Haie Eco/Prod	Haie Eco/Prod	Haie PROD côté droit	Haie PROD côté gauche	Haie ECO côté gauche	Haie ECO côté droit	Haie Eco/Prod	Haie Eco/Prod	Haie PROD côté droit	Haie PROD côté gauche	Haie PROD Fond	Haie ECO côté gauche	Haie ECO côté droit	Haie Eco/Prod	Haie Eco/Prod	Haie PROD côté droit
Critères		nb points																							
Type de haie	Mono spécifique	1							1			1													
	Plurispécifique	6	6	6	6	6	6	6		6	6		6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Strate	Haie peu développée	0			0	0																			
	Présence strate arbustive	2		2			2		2	2	2	2	2		2	2	2	2		2	2	2	2	2	2
	Présence strate arborescente et arbustive	3	3					3						3					3						
Densité/porosité de la haie (pourcentage de vide dans la haie)	plus de 70% de vide	0			0	0																			
	entre 30 et 70% de vide	2	2	2			2	2		2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	moins de 30% de vide	3							3			3													
Gestion	Taille fréquente (hauteur maximale de 2 m)	1							1			1													
	Pas de gestion fréquente	2	2	2	2	2	2	2		2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Total par haie	14	13	12	8	8	12	13	7	12	12	7	12	13	12	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12
	Total Modalité		33			20		32			31			37			49				36			24	
	Total Parcelle		53					63						86							60				

Notes de qualités attribuées aux différentes Bandes fleuries.

			Parcelle et Modalité **ECO**							Modalité **PROD**
Critères		**nb points**	**61**	**14**	**27**	**76**	**50**	**35**	**35bis**	
Diversité florale	moins de 5 sp	1				1	1	1		1
	entre 6 et 9 sp	2		2	2				2	
	entre 10 et 13	3	3							
	plus de 14	4								
Densité de plante fleure présent dans la bande enherbé	moins de 10%	1			1					1
	entre 10 et 30%	2					2			
	entre 30 et 60%	3	3	3						
	plus de 60%	4				4		4	4	
Recouvrement de la bande fleurie sur la parcelle	moins de 30%	1						1	1	-
	de 30 à 70%	5		5	5	5	5			
	plus de 70%	9	9							
Total		17	15	10	8	10	8	6	7	2

Annexe 5 : Résultats Statistiques

Corrélation entre les variables d'abondances de foyers pucerons cendré et le nombre de pucer on cendré :

Lm (formula = nb_foy_v ~ PC, data = donnee)

Residuals:
```
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-25.0059  -0.9673  -0.6067   0.3452  24.4791
```

Coefficients:
```
EstimateStd. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 9.673e-01  1.957e-02   49.43   <2e-16 ***
PC          9.134e-03  9.171e-05   99.61   <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Residual standard error: 1.959 on 11161 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.4706,	Adjusted R-squared: 0.4705
F-statistic: 9921 on 1 and 11161 DF, p-value: < 2.2e-16

Comparaison des différentes infestations selon les sites ; réalisé par le Test de Kruskal Wallis.

```
> kruskal(donnee$nb_foy_v,donnee$Site,p.adj="BH",console=TRUE, group=TRUE)
Study: donnee$nb_foy_v ~ donnee$Site
Kruskal-Wallis test's
Ties or no Ties

Value: 1975.947
degrees of freedom: 5
Pvalue chisq  : 0

donnee$Site,  means of the ranks

       donnee.nb_foy_v    r
14            22669.13 6120
35            22278.61 7488
35-bis        19685.57 8370
50            19710.31 9150
61            23228.47 9108
76            19398.50 2394

P value adjustment method: BH
t-Student: 1.96002
Alpha    : 0.05
Minimum difference changes for each comparison

Means with the same letter are not significantly different

Groups, Treatments and mean of the ranks
a        61             23230
b        14             22670
c        35             22280
d        50             19710
d        35-bis         19690
d        76             19400
```

Comparaison des différentes infestations selon les variétés ; réalisé par le Test de Kruskal Wallis.

```
> kruskal(donnee$nb_foy_v,donnee$var,p.adj="BH",console=TRUE, group=TRUE)
Study: donnee$nb_foy_v ~ donnee$var
Kruskal-Wallis test's
Ties or no Ties

Value: 473.9069
degrees of freedom: 2
Pvalue chisq  : 0

donnee$var,  means of the ranks

    donnee.nb_foy_v     r
DAB        20409.64 14460
DDA        22310.06 13710
JUD        21278.39 14460

P value adjustment method: BH
t-Student: 1.96002
Alpha    : 0.05
Minimum difference changes for each comparison

Means with the same letter are not significantly different

Groups, Treatments and mean of the ranks
a        DDA     22310
b        JUD     21280
c        DAB     20410
```

Comparaison de l'abondance d'auxiliaires actifs retrouvés selon les sites ; réalisé par le Test de Kruskal Wallis.

```
> kruskal(donnee$nb_auxi_actif,donnee$Site,p.adj="BH",console=TRUE, group=T
RUE)
Study: donnee$nb_auxi_actif ~ donnee$Site
Kruskal-Wallis test's
Ties or no Ties

Value: 697.8735
degrees of freedom: 5
Pvalue chisq  : 0

donnee$Site,  means of the ranks

       donnee.nb_auxi_actif    r
14                 21885.70 6120
35                 21374.10 7488
35-bis             20718.12 8370
50                 20653.04 9150
61                 22051.65 9108
76                 21494.48 2394

P value adjustment method: BH
t-Student: 1.96002
Alpha    : 0.05
Minimum difference changes for each comparison

Means with the same letter are not significantly different

Groups, Treatments and mean of the ranks
a        61             22050
b        14             21890
```

```
c        76              21490
c        35              21370
d        35-bis          20720
d        50              20650
```

Comparaison de l'abondance d'auxiliaires actifs retrouvés selon les variétés ; réalisé par le Test de Kruskal Wallis.

```
> kruskal(donnee$nb_auxi_actif,donnee$var,p.adj="BH",console=TRUE, group=TR
UE)
Study: donnee$nb_auxi_actif ~ donnee$var
Kruskal-Wallis test's
Ties or no Ties

Value: 378.4396
degrees of freedom: 2
Pvalue chisq  : 0

donnee$var,  means of the ranks

    donnee.nb_auxi_actif     r
DAB             20864.62 14460
DDA             21890.90 13710
JUD             21220.82 14460

P value adjustment method: BH
t-Student: 1.96002
Alpha    : 0.05
Minimum difference changes for each comparison

Means with the same letter are not significantly different

Groups, Treatments and mean of the ranks
a        DDA     21890
b        JUD     21220
c        DAB     20860
```

Modèle linéaire généralisé de la variable « abondance de foyers vivants de puceron cendrés » en fonction du plan expérimentale (Année, Site, Modalité,Variété).

```
> Res1=glm(nb_foy_v ~ (Annee + Site + moda + var)^2, family = poisson,data
= donnee)
> anova(Res1,test='Chi')
Analysis of Deviance Table

Model: poisson, link: log

Response: nb_foy_v

Terms added sequentially (first to last)


           Df Deviance Resid. Df Resid. Dev  Pr(>Chi)
NULL                       42629      80867
Annee       1     88.6     42628      80778 < 2.2e-16 ***
Site        5   6163.7     42623      74614 < 2.2e-16 ***
moda        1    210.3     42622      74404 < 2.2e-16 ***
var         2   1726.5     42620      72678 < 2.2e-16 ***
Annee:Site  5   1074.7     42615      71603 < 2.2e-16 ***
Annee:moda  1    502.8     42614      71100 < 2.2e-16 ***
Annee:var   2   1402.1     42612      69698 < 2.2e-16 ***
```

```
Site:moda    5   1020.2     42607      68678 < 2.2e-16 ***
Site:var    10   1425.6     42597      67252 < 2.2e-16 ***
moda:var     2    423.6     42595      66829 < 2.2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
> summary(Res1)
Call:
glm(formula = nb_foy_v ~ (Annee + Site + moda + var)^2, family = poisson,
    data = donnee)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.0502  -0.9379  -0.6167  -0.3780  14.5904

Coefficients:
                      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)           -1.59092    0.06044 -26.321  < 2e-16 ***
Annee2015             -0.93304    0.05830 -16.003  < 2e-16 ***
Site35                -0.62297    0.08101  -7.690 1.47e-14 ***
Site35-bis            -0.91745    0.10843  -8.462  < 2e-16 ***
Site50                -0.71722    0.08197  -8.750  < 2e-16 ***
Site61                 0.88710    0.06283  14.118  < 2e-16 ***
Site76                 0.23401    0.14236   1.644  0.10022
modaPROD               0.76954    0.05354  14.373  < 2e-16 ***
varDDA                 2.04977    0.05905  34.710  < 2e-16 ***
varJUD                 0.14802    0.07054  -2.098  0.03587 *
Annee2015:Site35       1.35248    0.05595  24.173  < 2e-16 ***
Annee2015:Site35-bis   1.97862    0.09818  20.154  < 2e-16 ***
Annee2015:Site50       0.87607    0.06340  13.818  < 2e-16 ***
Annee2015:Site61       0.81091    0.04713  17.205  < 2e-16 ***
Annee2015:Site76      -0.08698    0.14569  -0.597  0.55050
Annee2015:modaPROD     0.82577    0.03625  22.777  < 2e-16 ***
Annee2015:varDDA      -0.86144    0.04535 -18.995  < 2e-16 ***
Annee2015:varJUD       0.03307    0.04968   0.666  0.50564
Site35:modaPROD       -1.07718    0.05427 -19.849  < 2e-16 ***
Site35-bis:modaPROD   -1.97439    0.07650 -25.809  < 2e-16 ***
Site50:modaPROD       -0.12117    0.06784  -1.786  0.07409 .
Site61:modaPROD       -1.20681    0.04721 -25.560  < 2e-16 ***
Site76:modaPROD       -1.57858    0.14692 -10.744  < 2e-16 ***
Site35:varDDA          0.15065    0.07453   2.021  0.04326 *
Site35-bis:varDDA     -2.29715    0.11408 -20.137  < 2e-16 ***
Site50:varDDA         -0.86955    0.07332 -11.859  < 2e-16 ***
Site61:varDDA         -0.64520    0.05952 -10.841  < 2e-16 ***
Site76:varDDA         -2.75555    0.22009 -12.520  < 2e-16 ***
Site35:varJUD          1.26712    0.08099  15.646  < 2e-16 ***
Site35-bis:varJUD      0.42950    0.09042   4.750 2.03e-06 ***
Site50:varJUD         -0.54258    0.08503  -6.381 1.76e-10 ***
Site61:varJUD          0.20954    0.06914   3.031  0.00244 **
Site76:varJUD         -0.05395    0.15681  -0.344  0.73083
modaPROD:varDDA       -0.48566    0.04434 -10.953  < 2e-16 ***
modaPROD:varJUD        0.31691    0.04683   6.767 1.32e-11 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 80867  on 42629  degrees of freedom
Residual deviance: 66829  on 42595  degrees of freedom
AIC: 82362

Number of Fisher Scoring iterations: 7
```

Modèle linéaire généralisé de la variable « abondance d'auxiliaire actifs » en fonction de l'abondance de foyer vivant et du plan expérimentale (Année, Site, Modalité, Variété).

```
> Res2=glm( nb_auxi_actif~ nb_foy_v + (Annee + Site + moda + var)^2, family
= poisson,data = donnee)
> anova(Res2,test='Chi')
Analysis of Deviance Table

Model: poisson, link: log

Response: nb_auxi_actif

Terms added sequentially (first to last)


           Df Deviance Resid. Df Resid. Dev  Pr(>Chi)
NULL                       42629      24579
nb_foy_v    1  1968.55     42628      22611 < 2.2e-16 ***
Annee       1    84.41     42627      22526 < 2.2e-16 ***
Site        5  1599.74     42622      20927 < 2.2e-16 ***
moda        1    89.77     42621      20837 < 2.2e-16 ***
var         2   449.15     42619      20388 < 2.2e-16 ***
Annee:Site  5   412.48     42614      19975 < 2.2e-16 ***
Annee:moda  1    21.51     42613      19954 3.524e-06 ***
Annee:var   2    22.23     42611      19931 1.487e-05 ***
Site:moda   5   133.44     42606      19798 < 2.2e-16 ***
Site:var   10   166.75     42596      19631 < 2.2e-16 ***
moda:var    2    40.87     42594      19590 1.331e-09 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
> summary(Res2)
Call:
glm(formula = nb_auxi_actif ~ nb_foy_v + (Annee + Site + moda +
    var)^2, family = poisson, data = donnee)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.5642  -0.4767  -0.3136  -0.1506  15.4374

Coefficients:
                     Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)         -2.464694   0.108751 -22.664  < 2e-16 ***
nb_foy_v             0.154132   0.003113  49.507  < 2e-16 ***
Annee2015           -0.231327   0.112368  -2.059 0.039527 *
Site35              -3.602327   0.282809 -12.738  < 2e-16 ***
Site35-bis          -3.329791   0.319347 -10.427  < 2e-16 ***
Site50              -1.988892   0.241910  -8.222  < 2e-16 ***
Site61               0.305441   0.115267   2.650 0.008053 **
Site76               0.386000   0.176032   2.193 0.028323 *
modaPROD            -0.411137   0.111150  -3.699 0.000217 ***
varDDA               1.147788   0.114310  10.041  < 2e-16 ***
varJUD               0.340486   0.127432   2.672 0.007542 **
Annee2015:Site35     2.120505   0.191009  11.102  < 2e-16 ***
Annee2015:Site35-bis 2.224562   0.272599   8.161 3.33e-16 ***
Annee2015:Site50    -1.558205   0.170488  -9.140  < 2e-16 ***
Annee2015:Site61     0.361616   0.089829   4.026 5.68e-05 ***
Annee2015:Site76    -0.300538   0.147203  -2.042 0.041186 *
Annee2015:modaPROD   0.585282   0.078893   7.419 1.18e-13 ***
Annee2015:varDDA    -0.589223   0.101857  -5.785 7.26e-09 ***
Annee2015:varJUD    -0.424658   0.109047  -3.894 9.85e-05 ***
Site35:modaPROD     -0.661759   0.124450  -5.317 1.05e-07 ***
Site35-bis:modaPROD -0.910320   0.171899  -5.296 1.19e-07 ***
```

```
Site50:modaPROD       0.385031   0.145052   2.654 0.007944 **
Site61:modaPROD      -0.778271   0.090726  -8.578  < 2e-16 ***
Site76:modaPROD       0.076457   0.146689   0.521 0.602215
Site35:varDDA         1.632782   0.237115   6.886 5.74e-12 ***
Site35-bis:varDDA     0.620463   0.222929   2.783 0.005382 **
Site50:varDDA         1.130751   0.247106   4.576 4.74e-06 ***
Site61:varDDA        -0.169904   0.117611  -1.445 0.148563
Site76:varDDA        -0.576326   0.181328  -3.178 0.001481 **
Site35:varJUD         1.513467   0.247011   6.127 8.95e-10 ***
Site35-bis:varJUD     0.185248   0.251751   0.736 0.461830
Site50:varJUD         1.100953   0.253043   4.351 1.36e-05 ***
Site61:varJUD         0.270225   0.127439   2.120 0.033970 *
Site76:varJUD        -0.277485   0.191057  -1.452 0.146399
modaPROD:varDDA       0.028748   0.100355   0.286 0.774521
modaPROD:varJUD       0.493130   0.104761   4.707 2.51e-06 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 24579  on 42629  degrees of freedom
Residual deviance: 19590  on 42594  degrees of freedom
AIC: 24325
```

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

Date 1

```
>resTX = lm(TX_PC ~ AB_auxi_actif  + (Site + moda + var + Annee)^2 - (Site:
Annee) - (moda: Annee), data=DataACPT1)
>anova(resTX)
Analysis of Variance Table

Response: TX_PC
DfSumSq Mean Sq  F value    Pr(>F)
AB_auxi_actif    1   578.8  578.84 130.9350 < 2.2e-16 ***
Site             5   342.9   68.59  15.5148 3.540e-15 ***
moda             1     5.7    5.67   1.2823  0.257517
var              2   411.0  205.51  46.4867 < 2.2e-16 ***
Annee            1    25.3   25.28   5.7174  0.016834 *
Site:moda        5   596.2  119.25  26.9740 < 2.2e-16 ***
Site:var        10   344.1   34.41   7.7834 1.691e-12 ***
moda:var         2    46.4   23.18   5.2441  0.005307 **
var:Annee        2   355.0  177.52  40.1550 < 2.2e-16 ***
Residuals     5076 22440.2    4.42
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
>summary(resTX)

Call:
lm(formula = TX_PC ~ AB_auxi_actif + (Site + moda + var + Annee)^2 -
    (Site:Annee) - (moda:Annee), data = DataACPT1)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max
-31.391  -0.572  -0.184   0.236  44.508

Coefficients:
EstimateStd. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)         -0.13347    0.18220  -0.733  0.46389
```

```
AB_auxi_actif        0.92789    0.10576   8.773  < 2e-16 ***
Site35               0.48963    0.21870   2.239  0.02521 *
Site35-bis          -0.06394    0.21158  -0.302  0.76251
Site50              -0.10272    0.20425  -0.503  0.61506
Site61               0.21630    0.22642   0.955  0.33947
Site76               0.08130    0.28015   0.290  0.77166
modaPROD             0.27570    0.18917   1.457  0.14505
varDDA               1.28736    0.23338   5.516 3.64e-08 ***
varJUD               0.28752    0.23143   1.242  0.21416
Annee2015            0.27202    0.10166   2.676  0.00748 **
Site35:modaPROD     -1.23426    0.21906  -5.634 1.85e-08 ***
Site35-bis:modaPROD -0.07586    0.21174  -0.358  0.72016
Site50:modaPROD      0.86812    0.20666   4.201 2.71e-05 ***
Site61:modaPROD      0.14297    0.22669   0.631  0.52826
Site76:modaPROD     -0.22304    0.27945  -0.798  0.42484
Site35:varDDA        0.28335    0.26786   1.058  0.29018
Site35-bis:varDDA   -0.59508    0.25967  -2.292  0.02197 *
Site50:varDDA        0.35214    0.25725   1.369  0.17110
Site61:varDDA        0.03728    0.27750   0.134  0.89315
Site76:varDDA       -0.59830    0.34340  -1.742  0.08152 .
Site35:varJUD       -0.51475    0.26789  -1.921  0.05473 .
Site35-bis:varJUD    0.12965    0.25906   0.500  0.61677
Site50:varJUD       -0.31834    0.24917  -1.278  0.20145
Site61:varJUD        0.30553    0.27719   1.102  0.27040
Site76:varJUD       -0.11338    0.34278  -0.331  0.74083
modaPROD:varDDA     -0.12297    0.14570  -0.844  0.39869
modaPROD:varJUD     -0.44617    0.14208  -3.140  0.00170 **
varDDA:Annee2015    -1.21425    0.14689  -8.266  < 2e-16 ***
varJUD:Annee2015    -0.14571    0.14378  -1.013  0.31093
---
Signif.codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 2.103 on 5076 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1076,   Adjusted R-squared:  0.1025
F-statistic:  21.1 on 29 and 5076 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Date 2

```
>resTX = lm(TX_PC ~ AB_auxi_actif + (Site + moda + var + Annee)^2 - (moda:A
nnee), data=DataACPT2)
>anova(resTX)
Analysis of Variance Table

Response: TX_PC
DfSumSqMeanSq  F value    Pr(>F)
AB_auxi_actif    1  16341 16341.3 438.9969 < 2.2e-16 ***
Site             5   9208  1841.5  49.4711 < 2.2e-16 ***
moda             1   1349  1348.7  36.2315 1.875e-09 ***
var              2    173    86.5   2.3245   0.09794 .
Annee            1   3176  3176.2  85.3261 < 2.2e-16 ***
Site:moda        5  11476  2295.2  61.6600 < 2.2e-16 ***
Site:var        10   2602   260.2   6.9902 5.589e-11 ***
Site:Annee       5   2817   563.5  15.1376 8.653e-15 ***
moda:var         2    721   360.4   9.6825 6.353e-05 ***
var:Annee        2    692   345.8   9.2906 9.387e-05 ***
Residuals     5070 188726    37.2
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
>summary(resTX)

Call:
lm(formula = TX_PC ~ AB_auxi_actif + (Site + moda + var + Annee)^2 -
```

```
    (moda:Annee), data = DataACPT2)

Residuals:
    Min      1Q  Median      3Q     Max 
-27.508  -1.264  -0.300   0.633 163.504 

Coefficients:
EstimateStd. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)            0.40562    0.57813   0.702 0.482954    
AB_auxi_actif          1.79408    0.11693  15.344  < 2e-16 ***
Site35                -0.60585    0.71083  -0.852 0.394080    
Site35-bis             0.09841    0.68726   0.143 0.886145    
Site50                -0.10600    0.65594  -0.162 0.871631    
Site61                 3.75817    0.73432   5.118 3.20e-07 ***
Site76                 0.82144    0.95450   0.861 0.389503    
modaPROD               2.51746    0.54876   4.588 4.59e-06 ***
varDDA                 0.86070    0.67678   1.272 0.203518    
varJUD                -0.23946    0.67153  -0.357 0.721412    
Annee2015              0.65309    0.54972   1.188 0.234867    
Site35:modaPROD       -1.61781    0.63486  -2.548 0.010855 *  
Site35-bis:modaPROD   -2.42147    0.61400  -3.944 8.13e-05 ***
Site50:modaPROD       -3.45018    0.59999  -5.750 9.43e-09 ***
Site61:modaPROD      -10.00149    0.65701 -15.223  < 2e-16 ***
Site76:modaPROD       -2.07120    0.81053  -2.555 0.010637 *  
Site35:varDDA         -1.05131    0.77736  -1.352 0.176304    
Site35-bis:varDDA     -1.27317    0.75242  -1.692 0.090685 .  
Site50:varDDA         -1.49315    0.74859  -1.995 0.046139 *  
Site61:varDDA          2.75751    0.80673   3.418 0.000635 ***
Site76:varDDA         -1.53283    0.99580  -1.539 0.123794    
Site35:varJUD         -1.16085    0.77697  -1.494 0.135221    
Site35-bis:varJUD     -0.62526    0.75173  -0.832 0.405581    
Site50:varJUD         -0.41841    0.72314  -0.579 0.562879    
Site61:varJUD         -0.81914    0.80531  -1.017 0.309119    
Site76:varJUD         -1.57943    0.99487  -1.588 0.112445    
Site35:Annee2015      -0.68592    0.63555  -1.079 0.280528    
Site35-bis:Annee2015  -0.91037    0.61412  -1.482 0.138295    
Site50:Annee2015      -0.41687    0.60448  -0.690 0.490459    
Site61:Annee2015       3.25377    0.65711   4.952 7.60e-07 ***
Site76:Annee2015      -2.01090    0.83536  -2.407 0.016109 *  
modaPROD:varDDA       -1.20945    0.42329  -2.857 0.004291 ** 
modaPROD:varJUD        0.62861    0.41235   1.524 0.127452    
varDDA:Annee2015       1.36063    0.42634   3.191 0.001424 ** 
varJUD:Annee2015       1.70670    0.41728   4.090 4.38e-05 ***
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 6.101 on 5070 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2046,	Adjusted R-squared:  0.1993 
F-statistic: 38.36 on 34 and 5070 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Date 3

```
>resTX = lm(TX_PC ~  AB_auxi_actif + (Site + moda + var + Annee)^2 - (var:A
nnee) , data=DataACPT3)
>anova(resTX)
Analysis of Variance Table

Response: TX_PC
Df Sum Sq Mean Sq  F value    Pr(>F)    
AB_auxi_actif    1  49224   49224 881.8691 < 2.2e-16 ***
Site             5   2861     572  10.2510 8.596e-10 ***
moda             1   1503    1503  26.9314 2.190e-07 ***
```

```
var              2   1721     861  15.4177 2.111e-07 ***
Annee            1   1868    1868  33.4746 7.653e-09 ***
Site:moda        5  12230    2446  43.8202 < 2.2e-16 ***
Site:var        10   5962     596  10.6810 < 2.2e-16 ***
Site:Annee       5    998     200   3.5746  0.003145 **
moda:var         2    751     375   6.7233  0.001213 **
moda:Annee       1    529     529   9.4690  0.002101 **
Residuals     5072 283106      56
---
Signif.codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1
>summary(resTX)

Call:
lm(formula = TX_PC ~ AB_auxi_actif + (Site + moda + var + Annee)^2 -
    (var:Annee), data = DataACPT3)

Residuals:
Min       1Q   Median       3Q      Max
-168.394   -0.215    0.361    1.255   90.186

Coefficients:
EstimateStd. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)          6.921e+03  1.290e+03   5.363 8.53e-08 ***
AB_auxi_actif       -2.743e+00  1.180e-01 -23.247  < 2e-16 ***
Site35              -2.002e+03  1.567e+03  -1.278  0.20139
Site35-bis          -4.865e+03  1.516e+03  -3.210  0.00134 **
Site50              -3.701e+03  1.492e+03  -2.480  0.01316 *
Site61              -1.544e+03  1.620e+03  -0.953  0.34058
Site76              -6.347e+03  2.065e+03  -3.073  0.00213 **
modaPROD            -2.614e+03  8.490e+02  -3.079  0.00209 **
varDDA              -9.956e-01  7.843e-01  -1.269  0.20438
varJUD              -1.039e-02  7.830e-01  -0.013  0.98941
Annee               -3.436e+00  6.405e-01  -5.365 8.47e-08 ***
Site35:modaPROD      5.237e-01  7.778e-01   0.673  0.50077
Site35-bis:modaPROD  1.271e+00  7.528e-01   1.689  0.09134 .
Site50:modaPROD      1.526e+00  7.362e-01   2.073  0.03824 *
Site61:modaPROD      9.545e+00  8.134e-01  11.734  < 2e-16 ***
Site76:modaPROD      1.090e+00  9.953e-01   1.095  0.27353
Site35:varDDA       -6.959e-01  9.517e-01  -0.731  0.46467
Site35-bis:varDDA    2.069e-01  9.210e-01   0.225  0.82224
Site50:varDDA        5.884e-02  9.157e-01   0.064  0.94877
Site61:varDDA       -5.622e+00  9.849e-01  -5.708 1.21e-08 ***
Site76:varDDA        1.054e+00  1.216e+00   0.866  0.38645
Site35:varJUD        4.581e-01  9.526e-01   0.481  0.63065
Site35-bis:varJUD   -4.051e-01  9.218e-01  -0.439  0.66037
Site50:varJUD        5.933e-02  8.842e-01   0.067  0.94650
Site61:varJUD        9.960e-01  9.853e-01   1.011  0.31212
Site76:varJUD        4.801e-01  1.217e+00   0.395  0.69313
Site35:Annee         9.947e-01  7.776e-01   1.279  0.20092
Site35-bis:Annee     2.416e+00  7.525e-01   3.211  0.00133 **
Site50:Annee         1.838e+00  7.408e-01   2.481  0.01313 *
Site61:Annee         7.652e-01  8.043e-01   0.951  0.34143
Site76:Annee         3.151e+00  1.025e+00   3.074  0.00212 **
modaPROD:varDDA      1.291e+00  5.178e-01   2.493  0.01271 *
modaPROD:varJUD     -5.057e-01  5.049e-01  -1.002  0.31659
modaPROD:Annee       1.297e+00  4.215e-01   3.077  0.00210 **
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Residual standard error: 7.471 on 5072 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2152,   Adjusted R-squared:  0.2101
F-statistic: 42.15 on 33 and 5072 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

AGRO CAMPUS OUEST	Diplôme : Ingénieur Spécialité :Horticulture Spécialisation / option :Production Végétale Durable Enseignant référent : Marie-Stéphane Tixier

Auteur(s) :Antoine Quéro Date de naissance* :07/09/1991	Organisme d'accueil : Institut Français des Production Cidricole
Nb pages : 44 Annexe(s) : 41	Adresse : La Rangée Chesnel 61500 Sées
Année de soutenance : 2015	Maître de stage : Laurence Albert

Titre français : Etude du contrôle biologique du ravageur *Dysaphis plantaginea* en vergers cidricoles par son cortège d'auxiliaires, en lien avec les infrastructures dites agro-écologiques et les pratiques agricoles.

Titre anglais : Studying the biological control of the *Dysaphis plantaginea* pest in cider orchards through its accompanying auxiliaries, in connection with agroecological infrastructures and agricultural practice, as they are called.

Résumé: Dans le contexte actuel de réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires, l'Institut Français des Productions Cidricoles a mis en place depuis 2010 un projet visant à concevoir et expérimenter de nouveaux types de vergers cidricoles à bas intrants. Ce projet intitulé « Verger Cidricole de demain », a notamment pour objectif la recherche de solutions alternatives à l'utilisation d'aphicides dans la lutte contre l'un des ravageurs les plus nuisibles en jeunes vergers : le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea)*. Afin de favoriser la régulation naturelle de *D. plantaginea*, un dispositif testant l'influence des bandes fleuries et des haies bocagères sur la présence de populations d'auxiliaires, a été mis en place. L'effet de ces infrastructures agro-écologiques a été évalué sur différents auxiliaires et à trois moments clés de l'infestation du puceron cendré. Les résultats issus de ces analyses mettent en avant les forts liens observés entre la dynamique d'infestation du puceron cendré et les dynamiques de différents auxiliaires (syrphe, coccinelle…) ; ainsi que leur forte dépendance vis-à-vis de paramètres inhérents au système (pratiques culturales, biologie des arthropodes). L'analyse conclut sur l'effet bénéfique de différentes infrastructures agro-écologiques quant à la présence d'auxiliaires retrouvés sur les parcelles infestées.

Abstract : In the current context of reducing the use of pesticide, the French Institute for Cider Production has set up a project since 2010, aiming at conceiving and experimenting new types of cider orchards with a low input. The project, called « Verger Cidricole de demain », is notably aiming at finding alternative solutions to the use of aphicides in the fight against one of the most harmful pests in young orchards : the rosy apple aphid (*D. plantaginea*). In order to favour the natural control of the *D. plantaginea*, a system testing the effect of strips of flowers and bocage hedges on the presence of populations of auxiliaries has been set up. The effect of the agroecological infrastructures has been evaluated on different auxiliaries and at three key moments in the infestation by the rosy apple aphid. The results from those analyses underline the strong links observed between the dynamic of the infestation by the rosy apple aphid and the dynamic of different auxiliaries (the hoverfly, the ladybird) as well as their strong dependence on the inherent parameters of the system (methods of cultivation ; the biology of arthropods). The analysis concludes that there is a beneficial effect of the different agroecological infrastructures regarding the presence of auxiliaries found on the infested plots.

Mots-clés : *Dysaphis plantaginea*, puceron cendré, verger cidricole, lutte biologique, régulation naturelle, auxiliaire, syrphe, coccinelle, infrastructures agro-écologiques.

Key Words: *Dysaphis plantaginea*, rosy apple aphid, cider orchard, biological fight, natural control, auxiliary, hoverfly, ladybird, agroecological infrastructures.