



HAL
open science

Comparaison de l'efficacité de plantes de service introduites dans un verger de pommiers sur les niveaux d'infestation des arbres par *Dysaphis plantaginea*, le puceron cendré du pommier, et l'abondance de ses ennemis naturels

Victorine Kienlen

► To cite this version:

Victorine Kienlen. Comparaison de l'efficacité de plantes de service introduites dans un verger de pommiers sur les niveaux d'infestation des arbres par *Dysaphis plantaginea*, le puceron cendré du pommier, et l'abondance de ses ennemis naturels. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04790611

HAL Id: dumas-04790611

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04790611v1>

Submitted on 19 Nov 2024

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.

L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers Site de Rennes

<p><u>Année universitaire</u> : 2023 - 2024</p> <p><u>Spécialité</u> :</p> <p>Horticulture</p> <p><u>Spécialisation (et option éventuelle)</u> :</p> <p>Protection des Plantes et de l'Environnement (PPEH)</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

Comparaison de l'efficacité de Plantes de Service introduites dans un verger de pommiers sur les niveaux d'infestation des arbres par *Dysaphis plantaginea*, le puceron cendré du pommier, et l'abondance de ses ennemis naturels

Par : Victorine KIENLEN



Soutenu à Angers le 11/09/2024

Devant le jury composé de :

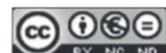
Président : M. CHEN Nicolas

Maître de stage : Mme. RIZZI Louna et Mme. GAUTIER Hélène (co-responsable)

Enseignant référent : M. DEGRAVE Alexandre

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Patrimoine-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Remerciements

Je tiens d'abord à remercier l'équipe PSH dans sa globalité. Merci à toutes d'avoir été si bienveillant·e·s, que vous soyez stagiaires, en CDD ou en CDI. Le concept du gouter de l'Insectarium c'est top, j'ai bien mangé pendant ces 6 mois !

Merci particulièrement à Louna, d'avoir été si présente pour moi pendant ces 6 mois. Merci de m'avoir remise sur le bon chemin quand je m'égarais dans les statistiques. Et merci de m'avoir fait rêver avec tes trails et voyages à vélo. Que le vol retour des pucerons te soit favorable pour ta thèse !

Merci à Hélène d'avoir relu avec tant d'attention mon mémoire et de m'avoir aidé à l'améliorer de jour en jour avec des remarques très pertinentes.

Merci à Claire Lavigne de nous avoir donné une piste intéressante pour traiter certains de nos résultats.

Merci à mon tuteur Alexandre Degrave de m'avoir poussé à écrire mon introduction, je serais toujours en train de procrastiner sinon.

Merci à Seo d'avoir fait toutes les randonnées possibles dans la région avec moi.

Merci à Flavie de nous avoir ambiencés le midi avec tous les récits des bénévoles en festival que tu as fait. Merci pour les randonnées trop chouettes que l'on a faites ensemble, la randonnée des 2 trous sous la tempête c'était chouette !

Merci à Filipa, Isis, Raphaël et Alexis pour ces derniers repas passés ensemble.

Merci à Seo, Filipa et Aïnhua pour tous les restaurants testés.

Merci à toutes les copain·e·s qui sont venu·e·s me rendre visite à Avignon, je vous aime. Merci aux copain·e·s d'Angers d'être descendu·e·s pour l'anniv d'Alex, ce fut 3 jours magiques avant la tempête du mémoire. Merci aux copain·e·s d'Alsace d'être toujours là quand je rentre.

Merci Alex, Emma et Rémi. Le Sud-Est avec vous c'était lumineux et festif.

Merci à Nono et Augugu d'avoir égayé mes soirées dans la première coloc de ma vie.

Merci Axelle d'être à nouveau présente dans ma vie. J'ai hâte de continuer à déambuler le soir dans les prochaines villes où nous nous recroiserons.

Merci le Sud-Est, je reviendrais.

Liste des abréviations

COV : Composé Organique Volatil

EN : Ennemis naturels

PdS : Plante de Service

Table des matières

I. Introduction	1
II. Matériel et méthode	7
A. Le verger	7
B. Les Plantes de Service	7
C. Mise en place de l'expérimentation	7
D. Suivi des populations de pucerons et des EN présents dans les colonies	8
E. Suivi des PdS	9
F. Prélèvement et analyse des COV	9
G. Analyses statistiques	10
III. Résultats	12
A. Evolution de l'infestation par <i>D. plantaginea</i>	12
B. Présence et effet des EN et du parasitisme dans les colonies	14
C. Attraction des EN par les PdS	15
D. Emission des COV par les PdS	15
E. Suivi des PdS	16
IV. Discussion	18
A. Effet de l'introduction de PdS en verger sur les infestations de pucerons	18
B. Effet des PdS sur la présence d'EN	18
C. Effet des COV sur les pucerons	20
D. Evolution et gestion des PdS	21
E. Choix des PdS	22
F. Perspectives de cette expérimentation : que faut-il améliorer ?	23
V. Conclusion	25
VI. Bibliographie	26
VII. Sitographie	31

Liste des Figures

- Figure 1. *Dysaphis plantaginea*, le puceron cendré du pommier (Marc Bertolini)
- Figure 2. Enroulement des feuilles de pommier dû à la présence de *D. plantaginea* (Victorine Kienlen)
- Figure 3. Cycle de développement de *D. plantaginea* [12]
- Figure 4. *Philodromus sp* (André Bon)
- Figure 5. Forficulidae dans une colonie de pucerons (Victorine Kienlen)
- Figure 6. Dynamique de la présence des EN dans les colonies de *D. plantaginea* (Albert et al., 2016)
- Figure 7. Cantharidae sur *F. vulgare* (Victorine Kienlen)
- Figure 8 : Miridae sur *M. x piperita* (Victorine Kienlen)
- Figure 9 : Larve de Syrphidae (Julie Laparre)
- Figure 10 : Syrphidae adulte sur *F. vulgare* (Victorine Kienlen) Figure
11. Coccinellidae adulte sur pommier (Victorine Kienlen)
- Figure 12. Larves de Coccinellidae sur un rameau infesté par *D. plantaginea* (Victorine Kienlen)
- Figure 13. *Aphidius matricariae* parasitant un puceron (Bernard Chaubet)
- Figure 14. Schéma simplifié du verger plurispécifique
- Figure 15. *Lolium multiflorum* (Louna Rizzi)
- Figure 16. *Foeniculum vulgare* (Victorine Kienlen)
- Figure 17. *Ocimum basilicum* cv Pistou (Victorine Kienlen)
- Figure 18. *Tagetes patula* cv Ground Control (Victorine Kienlen)
- Figure 19. *Mentha x piperita* Digne 38 (Louna Rizzi)
- Figure 20. Schéma d'une placette avec l'espacement des PdS correspondant aux placettes de *F. vulgare*, *M. x piperita* ou *L. multiflorum*
- Figure 21. Rameau long de pommier (Victorine Kienlen) Figure
22. Rameau court de pommier (Victorine Kienlen) Figure 23.
- Colonie de *D. plantaginea* (Victorine Kienlen)
- Figure 24. Dispositif de prélèvement des COV avec cloches (Victorine Kienlen)
- Figure 25. Dispositif de prélèvement des COV avec Radiello® accroché sur une placette (Victorine Kienlen)

Figure 26. Répartition du nombre d'arbres par classe d'infestation dans les 4 blocs du verger de pommier Akane (à gauche) et du verger de pommier Ariane (à droite).

Figure 27. Dynamique d'évolution du % de rameaux infestés par arbre en fonction de la PdS sur la période de suivi des pucerons.

Figure 28. Dynamique d'évolution du % de rameaux infestés par arbre en fonction du blocet de la PdS sur la période de suivi des pucerons.

Figure 29. Dynamique d'évolution du nombre moyen de pucerons par colonie suivie en fonction de la PdS sur la période de suivi des pucerons.

Figure 30. Dynamique d'évolution du nombre moyen de pucerons par colonie suivie en fonction du bloc et de la PdS sur la période de suivi des pucerons.

Figure 31. Abondance des EN comptés dans les colonies suivies (histogramme empilé) et dynamique d'évolution du nombre moyen de pucerons par colonie suivie (courbe noire) en fonction de la PdS sur toute la période d'observation

Figure 32. Puceron momifié noir (Victorine Kienlen)

Figure 33. Puceron momifié doré au milieu de pucerons sains et de larves de *Cecidomyiidae* (Victorine Kienlen)

Figure 34. Valeur moyenne (avec l'erreur standard à la moyenne en ombrage) des changements des classes d'infestation de pucerons avec (166 données) et sans EN (308 données) dans les colonies suivies sur la période d'observation.

Figure 35. Valeur moyenne (avec l'erreur standard à la moyenne en ombrage) des changements des classes d'infestation de pucerons avec *Syrphidae* (larves et autres EN autres que *Coccinellidae*, 35 données) ou avec *Coccinellidae* (larves et adultes et autres EN autres que *Syrphidae*, 67 données) et sans EN (308 données) dans les colonies suivies sur la période d'observation.

Figure 36. Abondance des EN adultes comptés sur les PdS (3min d'observation aérienne) (histogramme empilé) et dynamique d'évolution de la floraison moyenne par placette (courbe rose) en fonction de la PdS sur toute la période d'observation.

Figure 37. Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *F. vulgare* à chaque date de prélèvement.

Figure 38. Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *T. patula* à chaque date de prélèvement.

Figure 39. Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *O. basilicum* à chaque date de prélèvement.

Figure 40. Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *M. xpiperita* à chaque date de prélèvement

Figure 41. Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *L. multiflorum* à chaque date de prélèvement

Figure 42. **Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV des Radiellos accrochés à 1,20m du sol en fonction des PdS pour le prélèvement du 21 mai.**

Figure 43. **Rouille sur *F. vulgare*** (Victorine Kienlen)

Figure 44. ***M. x piperita* desséchée** (Victorine Kienlen)

Figure 45. **Plants de *O. basilicum* après la plantation d'avril** (Victorine Kienlen)

Figure 46. **Plants de *T. patula* desséchés** (Victorine Kienlen)

Figure 47. **Rouille sur *L. multiflorum*** (Victorine Kienlen)

Liste des Tableaux

Tableau 1. **Abondance des EN et des pucerons momifiés dans les colonies sur toute la période d'observation en fonction des PdS.**

Liste des Annexes

ANNEXE 1 : Calendrier des actions réalisées pour l'expérimentation et le suivi des PdS

ANNEXE 2 : Tableau récapitulatif des COV trouvés dans les profils des PdS avec les cloches

I. Introduction

La protection des cultures par le développement de solutions alternatives aux pesticides est aujourd'hui un enjeu majeur de nos sociétés. Cependant, le constat est que la réduction des pesticides dans notre système agricole est un objectif difficile à atteindre malgré la succession des différents plans Ecophyto mis en place depuis 2008 en France. Entre 2008 et 2013, la consommation des pesticides a augmenté de 5% (Guichard et al., 2017). En 2020, le constat est sans appel, la superficie totale traitée avec des produits phytosanitaires est 10 % supérieure à celle de 2008 [1], malgré un léger recul de la surface agricole utilisée française entre 2010 et 2020 [2] Nous sommes donc loin de l'objectif de la réduction des 50% d'utilisation de pesticides fixée par le premier plan Ecophyto.

Pourtant, les risques liés à l'utilisation des pesticides suscitent des préoccupations. En 2013, une première étude de l'Inserm a révélé "des augmentations de risque significatives pour plusieurs pathologies [...] en lien avec l'exposition aux pesticides et/ou selon les catégories d'usages (insecticides, herbicides, fongicides)" [3]. En 2021, l'Inserm a actualisé ces données, évoquant désormais de "fortes présomptions de l'existence d'un lien entre différentes pathologies et l'exposition aux pesticides. Les agricultrices sont les plus concerné·e·s par les pathologies associées à l'utilisation fréquente de pesticides [4]. Et même au-delà de la santé humaine, c'est tout notre environnement qui est touché. Les pesticides se retrouvent dans tous les milieux, terrestres et marins, impactant directement la faune (Mamy et al., 2022). Ils sont une des causes de la réduction de la biodiversité globale impactant tous les niveaux trophiques (Köhler et Triebkorn, 2013). Ainsi, des services écosystémiques essentiels pour l'agriculture, assurés par la faune terrestre, comme la pollinisation, la régulation naturelle des ravageurs des cultures ou encore la fertilisation naturelle des sols [5], sont en danger et leur disparition a pour conséquence de rendre la filière agricole toujours plus dépendante aux pesticides (Laffon, 2024).

De plus, on arrive dans une impasse avec l'utilisation des pesticides. En effet, à cause du danger que représente l'utilisation de pesticides, de plus en plus de produits sont interdits en France, souvent, sans solutions de remplacement. Les agricultrices se tournent alors vers d'autres produits, lorsqu'il y en a, qui sont donc utilisés plus largement au niveau du territoire. Cela a pour conséquence d'augmenter le risque de résistance des bioagresseurs aux substances actives utilisées (Centre national d'Expertise sur les Vecteurs, 2014).

Nous arrivons donc à un point où notre modèle agricole est fragilisé et où nos moyens de luttés contre les bioagresseurs deviennent inefficaces. C'est pourquoi il faut se tourner vers d'autres systèmes si l'on veut réussir à sortir de cette dépendance aux produits phytopharmaceutiques.

Une première étape est tout d'abord d'opérer un changement de paradigme quant à la place des bioagresseurs dans notre agriculture. En acceptant leur présence de manière modérée et en évitant ainsi les traitements systématiques, on peut déjà réduire fortement l'utilisation de pesticides. Des essais menés dans la Zone Atelier Plaine et Val de Sèvre, ont montré qu'il est possible de réduire l'utilisation de pesticides d'au minimum 25% avec une baisse de rendement ne dépassant pas les 15% (Vincent Bretagnolles au micro de Vidard, 2024 [6]). L'analyse réalisée par Lechenet et al. en 2017, sur les données issues du réseau Dephy Ferme, montre qu'il a été possible de réduire de 42% l'utilisation de pesticides dans la majorité des 946 fermes en conventionnel étudiées, sans impact sur la rentabilité et la productivité de l'exploitation. Les fermes qui ont servi de support d'étude sont, dans les deux cas, majoritairement des fermes en polyculture élevage ou uniquement en grande culture. Ces cultures ne sont pas celles qui nécessitent le plus de pesticides parmi toutes les filières agricoles confondues (animales et végétales) (Butault et al., 2011) mais, à l'échelle nationale, elles représentent 40% des exploitations en France métropolitaine (Agreste, 2022).

Concernant la filière arboricole qui est la plus utilisatrice de pesticides en France (Butault et al., 2011), des modèles mis en place ont permis d'arriver à une baisse de l'utilisation de pesticides. Le projet BioREco mené sur 10 ans sur neuf vergers de pommier dans la Drôme a mis en avant la possibilité de

réduire de 45% l'utilisation de pesticides tout en conservant le rendement et la qualité des fruits attendus par la filière. La réussite de cette réduction demande cependant beaucoup d'efforts et les moyens utilisés ne peuvent être mis en place dans toutes les exploitations. De plus amples recherches doivent être faites. Le choix de la variété est également un facteur très influent pour atteindre cette baisse. Cela remet en question les variétés qui sont actuellement vendues sur le marché, qui sont, bien souvent, sensibles aux nombreux bioagresseurs du pommier, en réponse aux besoins du marché [7].

Ainsi, une réduction globale des pesticides est possible à l'échelle de l'exploitation même si l'intensité de cette réduction est variable en fonction des filières agricoles et des exploitations. Cependant, pour réduire de 50% leur utilisation et même, arrêter de les utiliser, c'est une autre solution qu'il va falloir mettre en place et qui implique de réfléchir leur utilisation non seulement à l'échelle de la parcelle, mais également à l'échelle du territoire, mobilisant toutes les actrices de la filière agricole.

Des solutions pour atteindre cet objectif ambitieux ont été présentées dans une expertise scientifique collective (Esco) menée par l'INRAE depuis 2019 à la demande des ministères en charge de l'Agriculture, de l'Environnement et de la Recherche issue d'une synthèse de la littérature internationale sur les alternatives aux pesticides (Vialatte et al., 2022). Il s'agit par exemple de réintégrer de la diversité végétale au sein de nos exploitations et, surtout, au sein de nos paysages agricoles. Cela englobe diverses pratiques. On peut citer, à l'échelle de la parcelle, le mélange d'espèces, la diversification des variétés, l'association des cultures, l'agroforesterie, les rotations et, à l'échelle du paysage, la diversification de la mosaïque des cultures (Aude Vialatte au micro de Vidard, 2024 [6]). Si les rotations des cultures sont plutôt largement déployées et désormais obligatoires d'après les Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales 7 (BCAE 7) de la PAC 2023-2027 [8], ainsi que le mélange d'espèces dont la pratique ne fait qu'augmenter depuis ces 10 dernières années (Montazeaud et al., 2022), d'autres pratiques sont en régression comme la mise en place de haies (De Menthière et al., 2023).

Dans cette démarche de diversification végétale, au service d'une protection des cultures plus durable, une pratique se démocratise de plus en plus : l'utilisation de Plantes de Service (PdS). Les PdS ont été définies par des étudiantes de l'école d'ingénieur·e·s de Purpan et un chercheur de l'INRAE dans le dictionnaire d'Agroécologie comme suit :

« Les plantes de service sont un ensemble d'espèces végétales cultivées, ayant pour objectif d'améliorer des fonctions de l'agroécosystème, sans vocation à être récoltées ou pâturées. Ce terme renvoie communément à des espèces herbacées semées, mais peut être étendu aux haies et aux arbres. Il rejoint alors la notion d'infrastructures agroécologiques. [...] » [9]

Les PdS qui sont étudiées dans le cadre de la lutte biologique contre les ravageurs sont principalement des plantes aromatiques et/ou à fleurs. L'usage de ces PdS s'appuie sur leur capacité, d'une part, à attirer les ennemis naturels (EN) des ravageurs grâce à leurs couleurs, leur production de nectar ou de pollen ou encore leur odeur et, d'autre part, à émettre des Composés Organiques Volatils (COV) qui peuvent avoir un effet direct sur les ravageurs (Ben-Issa et al., 2017). Les COV des plantes sont définis par Piasentin et Bergoend, 2023 d'après l'article de Pachersky et al. (2006) comme étant « typiquement des molécules lipophiles ayant une pression de vapeur élevée [qui] ont la capacité de traverser les membranes sous forme libre et [qui] peuvent être relâché[e]s dans l'atmosphère ou dans le sol en l'absence d'élément entravant leur diffusion ». Les COV sont produits par toutes les parties de la plante, de la racine aux fleurs en passant par les organes végétatifs (Mofikoya et al., 2019). Leur émission dans l'air dépend fortement des conditions météorologiques comme le vent, l'humidité ou encore la température (Piasentin et Bergoend, 2023).

Les PdS, par leur attractivité pour les EN, sont un levier dans la lutte biologique par conservation, méthode de lutte alternative aux pesticides, qui consiste à protéger et à favoriser la présence d'EN dans un milieu donné [10]. L'utilisation des PdS en agriculture s'appuie ainsi sur une stratégie de contrôle



Figure 1. *Dysaphis plantaginea*, le puceron cendré du pommier (Marc Bertolini)



Figure 2. Enroulement des feuilles de pommier dû à la présence de *D. plantaginea* (Victorine Kienlen)

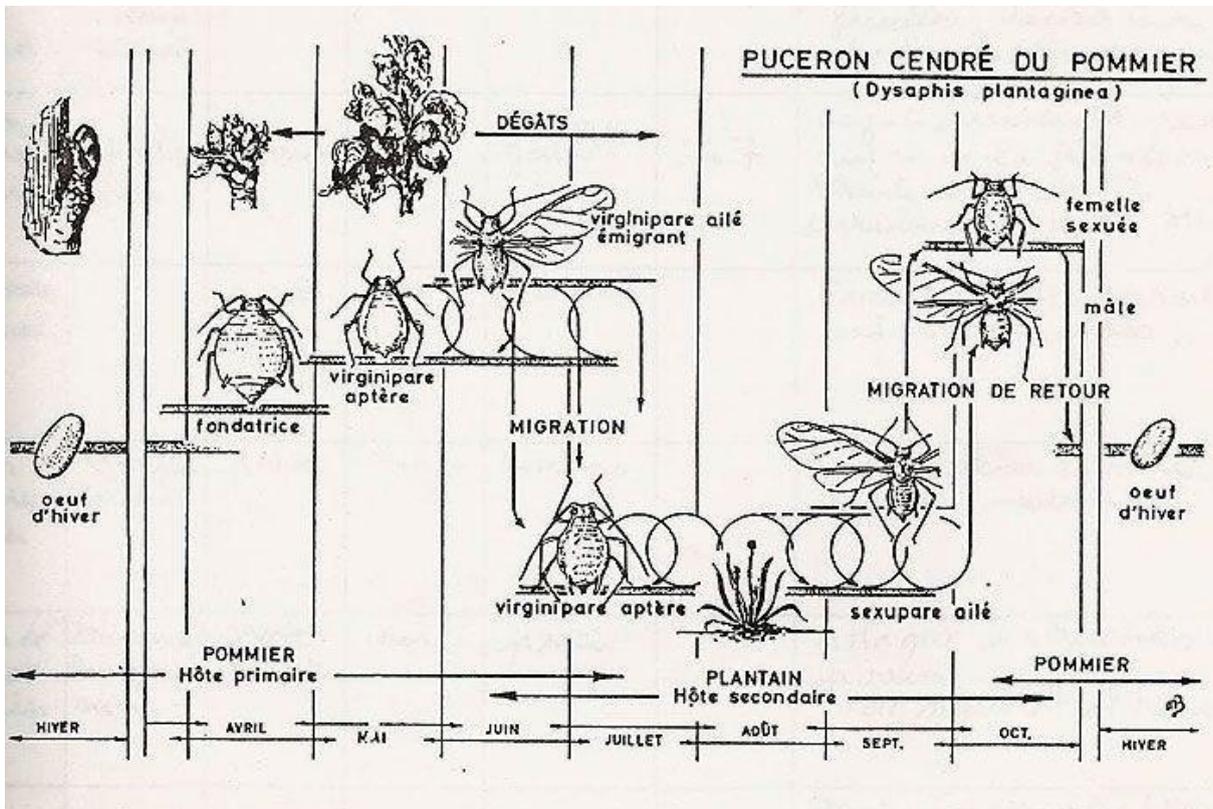


Figure 3. Cycle de développement de *D. plantaginea* [12]

top-down des ravageurs créant une « cascade trophique » [11] avec pour objectif d'avoir un impact positif sur la plante cultivée, alors libérée de ses ravageurs. Toutefois, il arrive que la mise en place d'infrastructures agroécologiques comme les PdS ne permette pas toujours un meilleur contrôle des ravageurs malgré une augmentation de la présence EN sur la parcelle (Laffon, 2024 ; De Pierrepont et al., 2018). La complexité de la relation proie/prédateur ne permet pas toujours d'anticiper le contrôle biologique qui va être opéré *en champ*.

Les cultures arboricoles sont un terrain d'expérimentation intéressant dans le cadre de la lutte biologique via l'utilisation de PdS. D'un côté, c'est un système, qui, de par sa pérennité, ne permet pas de mettre en place une rotation des cultures (Simon et al., 2009). Les arbres fruitiers doivent donc faire face d'une année sur l'autre aux bioagresseurs. Mais d'un autre côté, la pérennité et la structure d'un verger est une force dans la lutte biologique. Un verger est constitué d'au minimum deux strates, une strate herbacée (souvent de la flore spontanée) et une strate arborée, ce qui permet de favoriser la présence EN des ravageurs en leur offrant un refuge tout au long de l'année (Simon et al., 2017), pour peu qu'il n'y ait pas de traitements. Cependant, comme il a été mentionné précédemment, une augmentation de la biodiversité n'est pas toujours synonyme d'un meilleur contrôle des ravageurs.

Dans les vergers de pommier, le puceron est l'un des ravageurs qui nécessite une attention particulière du fait d'un niveau de risque sur les rendements et la qualité des fruits important. *Dysaphis plantaginea*, Passerini, 1860 (Hemiptera : *Aphididae*), le puceron cendré du pommier (Figure 1), est le puceron le plus problématique. Il entraîne la déformation des organes végétaux poussants et des jeunes fruits, l'enroulement et la déformation des feuilles (Figure 2) et le miellat produit en abondance par les pucerons est source de développement de la fumagine [12]. La précocité de développement des fondatrices (émergence dès 4,5°C (Duval-Chaboussou et al., 2022)) est un réel souci car, à cette période, aucun prédateur n'est en activité ([12], Minarro et al., 2005). Les populations de pucerons et les dégâts sur pommier sont déjà présents lorsque les EN arrivent. Le seuil de nuisibilité est très faible : trois bouquets infestés sur 1000 (avant floraison) [13] et, souvent, le traitement insecticide est déclenché dès la présence d'une seule fondatrice (Dib, 2010 ; Blommers, 1994).

Avec le retrait des néonicotinoïdes, la régulation des pucerons se fait plus difficilement car il y a moins d'alternatives chimiques ([14] ; Longpre et al., 2018). Actuellement, les traitements chimiques utilisés sont le Karate Zeon ou le Tepeki en production fruitière intégrée ou le Neemazal en agriculture biologique, ainsi qu'une huile minérale en hiver pour détruire les œufs (Androuin, 2021). Cependant, dans un objectif de réduction des pesticides, on ne cherche plus à éradiquer mais à maîtriser les infestations pour limiter les dégâts économiques. De nouvelles stratégies se mettent donc en place, en se basant sur le cycle de *D. plantaginea*.

D. plantaginea a un cycle holocyclique diœcique ¹ (Figure 3). Sa reproduction sexuée s'effectue en hiver sur son hôte primaire, le pommier, où les œufs sont pondus sur le bois de 2 ans [12] à la base des bourgeons ou sous les écorces (Drouzy et al., 2020). A partir de mi-février, les fondatrices émergent et se reproduisent par parthénogénèse formant ainsi plusieurs générations à l'origine des principaux dégâts sur pommier (Androuin, 2021). La population croît de manière exponentielle entre avril et juin (Duval-Chaboussou et al., 2022) avant de migrer vers l'hôte secondaire, le plantain ou encore le rumex ou le cerfeuil (Drouzy et al., 2020). Les pucerons sexués mâles et femelles quitteront l'hôte secondaire fin septembre pour retourner sur le pommier [12].

Ainsi, une régulation physique des pucerons est possible lors du vol retour. Plusieurs techniques ont été développées avec pour principe d'intervenir directement sur le pommier. De la kaolinite blanche aspergée sur les arbres avant le vol retour permet de perturber les repères des pucerons, qui ne détecte plus le feuillage vert devenu blanc. Cette technique a déjà fait ses preuves mais a ses limites lorsqu'il y a beaucoup de pluie. Une deuxième technique est la défoliation précoce des pommiers avec du chélate

¹ Ce sont des sexupares ailées qui assurent à l'automne la migration depuis les hôtes secondaires vers les hôtes primaires. A leur arrivée sur les hôtes primaires, elles donnent naissance aux morphes sexués, femelles ovipares et mâles. (INRAE, 2023)



Figure 4. *Philodromus sp* (André Bon)



Figure 5. **Forficulidae dans une colonie de pucerons** (Victorine Kienlen)

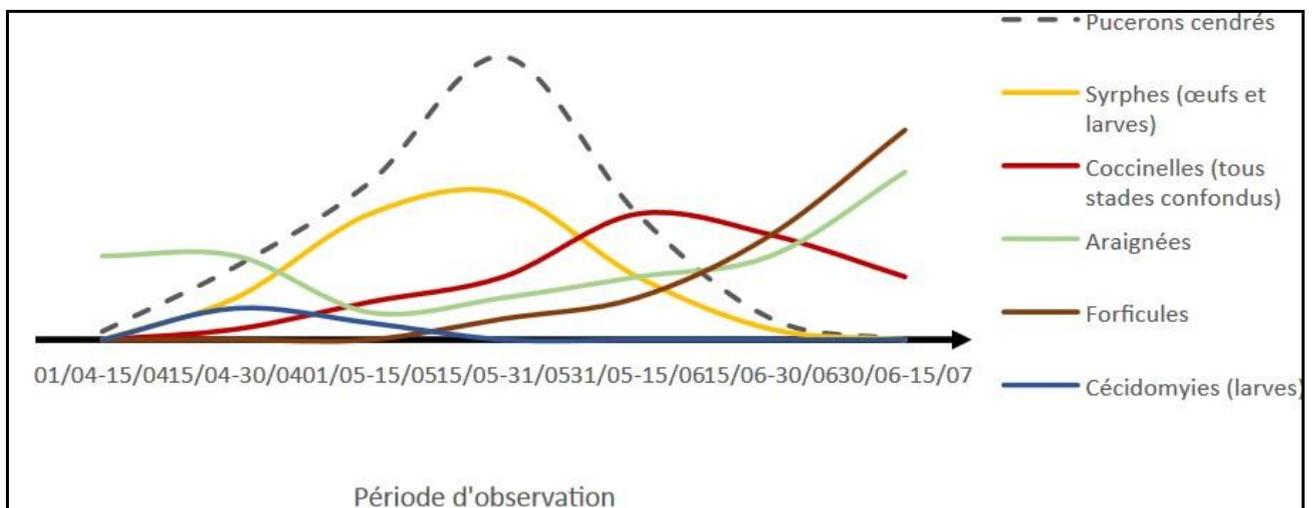


Figure 6. **Dynamique de la présence des EN dans les colonies de *D. plantaginea*** (Albert et al., 2016)



Figure 7. **Cantharidae sur *F. vulgare*** (Victorine Kienlen)



Figure 8 : **Miridae sur *M. x piperita*** (Victorine Kienlen)

de cuivre ou du sulfate de zinc. L'absence de feuille crée, d'une part, une perturbation visuelle pour les pucerons, comme pour la technique précédente, et, d'autre part, une absence de nourriture. Cette technique ne peut toutefois être appliquée qu'aux pommiers dont la récolte des pommes se finit avant le vol retour des pucerons. Ces deux techniques ont pour objectif de réduire la reproduction des pucerons sexués à l'automne pour réduire le nombre de fondatrices émergentes au printemps [14]. Ces méthodes de lutte, malgré leur efficacité, ne permettent pas de créer un environnement qui favorise la présence d'EN et sont très demandeuses en main d'œuvre.

C'est pourquoi la piste des PdS, en tant que cultures associées aux pommiers, est intéressante car elles peuvent permettre de réguler le puceron cendré tout en participant à l'intégration de biodiversité. Au printemps, les PdS représentent un potentiel d'action lors de l'émergence des fondatrices avec la régulation de population via les COV émis et la présence augmentée d'EN et, à l'automne, elles peuvent potentiellement perturber et limiter le vol retour via leurs COV également.

L'objectif maintenant est d'améliorer la compréhension des services rendus par ces plantes dans un agrosystème et sur le contrôle top-down.

Parmi les EN du puceron cendré qui peuvent être attirés par les PdS, on distingue deux groupes fonctionnels : les prédateurs et les parasitoïdes.

Le premier groupe peut être divisé en deux catégories à savoir les prédateurs généralistes et les prédateurs aphidiphages qui sont spécialistes d'une ou plusieurs espèces de pucerons.

La première catégorie englobe une grande diversité d'arthropodes. Elle concerne les araignées (Araneae), les forficules (Dermaptera : Forficulidae), les punaises prédatrices (Hemiptera) ou encore les cantharides (Coleoptera : Cantharidae). Ces insectes se nourrissent de ce qu'ils trouvent à l'endroit où ils sont. Ils ne mangent donc pas exclusivement les pucerons mais participent tout de même à leur régulation, chacun à leur échelle (Boreau de Roince et al., 2010).

Les araignées de la frondaison, qui vivent dans les arbres, sont surtout actives en hiver. Elles permettent une régulation des pucerons dès l'éclosion des premières fondatrices. C'est le cas notamment des araignées du genre *Philodromus sp* (Figure 4) (Lefebvre, 2016). Par la suite, lors de la croissance exponentielle des pucerons au printemps, leur impact dans la régulation diminue (Lefebvre, 2016).

Les forficules, dont les deux espèces majoritaires en France sont *Forficula auricularia* (Linnaeus, 1758) (Figure 5) et *Forficula pubescens* (Gene, 1837) [15], se nourrissent de pucerons et de psylles en verger (Dib, 2010). Ce sont des EN utiles, même s'ils arrivent un peu trop tardivement pour jouer un rôle majeur dans la régulation du puceron cendré (Longpre et al., 2018) (Figure 6).

Dans la famille des Cantharidae, certains peuvent être des ravageurs, mais d'autres sont d'excellents auxiliaires, comme *Rhagonycha fulva* (Scopoli, 1763), le téléphore fauve (Figure 7). Mais les cantharides se nourrissent également de pollen et apprécient particulièrement les plantes de la famille des apiacées comme le fenouil [16].

La famille des punaises Miridae comprend plus de 1000 espèces, des ravageuses des cultures mais également des prédatrices d'insectes (Figure 8). Ces dernières se nourrissent de pucerons mais également d'acariens, de psylles et de thrips [17].

La deuxième catégorie d'EN, les prédateurs aphidiphages, sont moins nombreux.

Les syrphes (Diptera ; Syrphidae), dont seules les larves (Figure 9) sont prédatrices, participent à la régulation des pucerons dès leur émergence (Laffon et al., 2023 ; Projet SEBIOREF, 2017, Minarro et al., 2005). Certains syrphes sont spécialistes d'une espèce de pucerons et d'autres sont plus polyphages, c'est le cas d'*Episyrphus balteatus* (De Geere, 1176) (Projet SEBIOREF, 2017). Cette diversité implique que tous les syrphes ne participent pas avec la même intensité à la régulation de *D.plantaginea*. Les adultes (Figure 10) étant floricoles, la présence de fleurs sur le verger est indispensable pour observer une régulation (Laffon et al., 2023). La famille des Apiaceae est particulièrement attractive pour les syrphes de par leurs organes nectarifères exposés (Kopta et al., 2012).



Figure 9 : Larve de Syrphidae (Julie Laparre)



Figure 10 : Syrphidae adulte sur *F. vulgare* (Victorine Kienlen)



Figure 11. Coccinellidae adulte sur pommier (Victorine Kienlen)



Figure 12. Larves de Coccinellidae sur un rameau infesté par *D. plantaginea* (Victorine Kienlen)



Figure 13. *Aphidius matricariae* parasitant un puceron (Bernard Chaubet)

Les coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) sont des actrices majeures dans la régulation des pucerons. Les adultes (Figure 11), comme les larves (Figure 12), consomment des pucerons, mais les adultes peuvent également se nourrir de pollen ou de nectar (Longpre et al., 2019). Cependant, dans le cas du puceron cendré, les coccinelles arrivent également tard dans la saison (Figure 6), une fois les dégâts déjà occasionnés.

Les parasitoïdes, et plus précisément les hyménoptères parasitoïdes des pucerons, sont également des spécialistes des pucerons et peuvent ainsi être impliqués dans la régulation de *D. plantaginea* [17]. Plusieurs espèces de la famille des Braconidae sont des parasitoïdes du puceron cendré comme *Aphidius martricariae* Haliday, 1834 [18] (Figure 13), *Aphidius spp.* et *Ephedrus spp.* (Hymenoptera : Braconidae) (Rodríguez-Gasol et al., 2019 ; Dib, 2010). Les hyménoptères parasitoïdes se nourrissant grâce aux fleurs, des ressources florales doivent donc être présentes sur les parcelles pour favoriser leur développement et ainsi augmenter le parasitisme dans les colonies de pucerons (Laffon, 2024).

Si les COV émis, surtout par les fleurs, jouent un rôle dans l'attractivité pour les pollinisateurs (Laothawornkitkul et al., 2009 ; Pichersky et al., 2006), ils jouent également un rôle sur les pucerons. Les COV peuvent être répulsifs, c'est le phénomène d'antixénose, ou avoir un impact sur le taux de reproduction et l'alimentation des pucerons, c'est le phénomène d'antibiose (Dardouri, 2018).

C'est en effet ce qui a été démontré en laboratoire par l'équipe Plante et Systèmes de cultures Horticoles (PSH) de l'INRAE d'Avignon. Trois plantes aromatiques, la menthe poivrée (*Mentha x piperita*), le lavandin (*Lavendula x intermedia* cv. Emeric) et le romarin (*Salvia rosmarinus* cv. Schleid), ont démontré un effet répulsif contre *D. plantaginea* (Dieudonné et al., 2022)². Le basilic (*Ocimum basilicum* cv. Marseillais) et la tagète naine (*Tagetes patula* cv. Nana) ont, eux, eu un effet sur le comportement alimentaire et la reproduction du puceron vert du pêcher, *Myzus persicae* (Sulzer, 1776) (Dardouri et al., 2021).

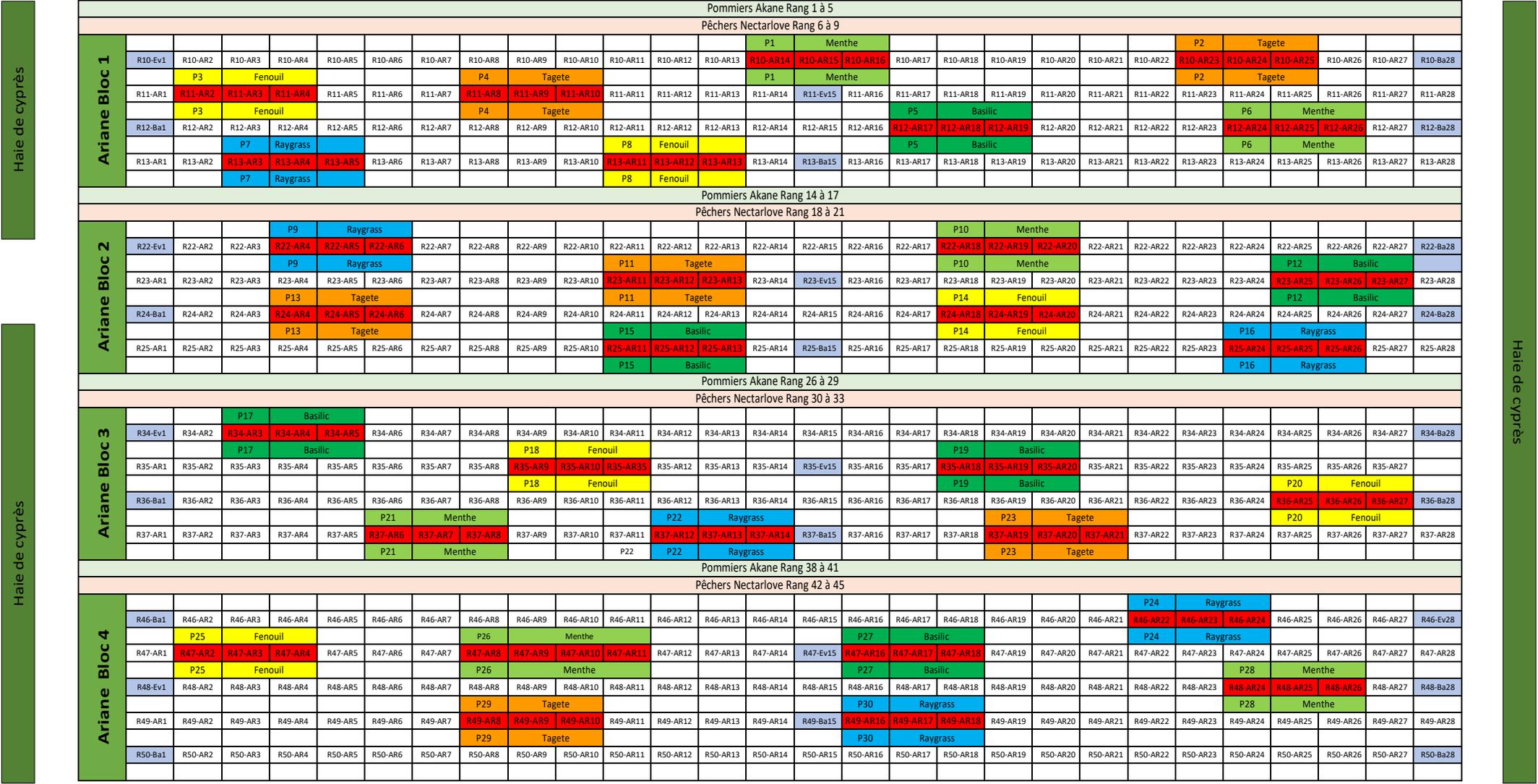
Cependant, si des résultats prometteurs ont été obtenus en laboratoire pour ces PdS, leur utilisation en verger est encore peu répandue. De nombreux paramètres peuvent influencer leur efficacité en verger. En effet, l'effet répulsif d'un bouquet olfactif dépend de la composition des COV, de la proportion des COV dans le mélange (Webster et al., 2010) mais aussi de leur concentration qui peut changer l'effet de neutre ou attractif à un effet répulsif (Sun et al., 2015). De plus, les conditions climatiques ont un impact direct sur la production de COV ; plus il fait chaud, plus la diffusion est importante (Laothawornkitkul et al., 2019), ce qui peut affecter en cela la présence ou non d'EN et la dynamique de développement des populations de pucerons.

Le passage du laboratoire au verger a été étudié dans différents projets qui ont permis d'avoir des premières données sur une application *au champ* de différentes PdS :

- Le projet SIMPA (dire d'expert, B. Alison) a observé que l'introduction de *Tagete patula* cv Ground Control (Asteraceae) sur le rang réduisait autant les infestations de puceron qu'un traitement AB ;
- Le projet APITREE (publication en cours) a montré que *Ocimum basilicum* cv Pistou (Lamiaceae) introduit en pot au pied des arbres réduisait significativement les populations de pucerons ;
- *Foeniculum vulgare* (Apiaceae), implanté au sein d'un mélange en inter-rang a permis de remplacer totalement les produits phytosanitaires chez un producteur cidricole en Normandie (dire d'expert, J. Villenave-Chasset).
- *Mentha x piperita* (Lamiaceae) a montré des résultats encourageant lors d'une introduction en verger de pommier (Anne DUVAL, projet SIMPA, La Morinière)

² Les pucerons ont été élevés sur plantain dans cette expérience et non sur pommier.

OUEST



EST

Légende : R10-AR2 Identification de la rangée (R) et du numéro de chaque arbre (AR)

P1 Identification du numéro de la placette

R10-Ev1 Pommier pollinisateur Everest

P1 Pommier Ariane sur la placette

Menthe PdS associée à la placette

P1 Menthe
R10-AR14 R10-AR15 R10-AR16 Représentation d'une placette

Figure 14. Schéma simplifié du verger plurispécifique

Mais tous ces résultats sont disparates, réalisés dans des environnements différents, avec des protocoles de notations différents. Ils sont donc difficilement comparables entre eux. Il n'existe pas de preuve concrète comparant l'efficacité de ces quatre PdS, aux caractéristiques différentes, adaptées au Sud de la France.

C'est pourquoi la problématique du stage est la suivante :

Existe-t-il des PdS efficaces à introduire dans un verger de pommier pour limiter les niveaux d'infestation par *Dysaphis plantaginea*, le puceron cendré du pommier, ou pour augmenter sa régulation par les ennemis naturels ?

L'expérimentation s'est focalisée uniquement sur la compréhension des services que peuvent rendre les PdS lors de l'émergence des pucerons fondatrices et s'insère dans la thèse de Louna Rizzi portant sur les effets de l'introduction et de la gestion de plantes de services sur le paysage olfactif et la régulation de pucerons en arboriculture fruitière. L'expérimentation se passe dans un jeune verger de pommier de la variété Ariane³ planté en janvier 2023 dans le Sud-Est de la France. L'objectif est d'étudier le rôle que jouent individuellement quatre plantes aromatiques, *Mentha x piperita* Digne 38 *Foeniculum vulgare*, *Ocimum basilicum* cv Pistou et *Tagetes patula* cv Ground Control dans les interactions PdS/EN/ravageur.

Nous allons suivre l'implantation de ces plantes en verger afin de comprendre, 1) les effets des PdS sur les populations de pucerons, 2) leurs effets sur l'attraction des ENs et les conséquences sur les dynamiques des pucerons et enfin, 3) les traits phénologiques (composition des COVs, stade (floraison ou végétatif), hauteur) et agronomiques qui permettent le mieux la régulation des populations de pucerons.

Les hypothèses testées sont :

- *O. basilicum* va réduire l'acceptabilité des pucerons pour le pommier.
- *T. patula* et *F. vulgare* ont un rôle attractif pour les EN.
- Une plante avec une floraison précoce attirera plus tôt les ennemis naturels du puceron impactant alors leur développement.
- Plus une plante sera grande et proche des colonies, plus cela impactera le développement des colonies.

³ La variété Ariane est une variété sensible à *D. plantaginea*. [19]



Figure 15. *Lolium multiflorum* (Louna Rizzi)



Figure 16. *Foeniculum vulgare* (Victorine Kienlen)



Figure 17. *Ocimum basilicum* cv **Pistou** (Victorine Kienlen)



Figure 18. *Tagetes patula* cv **Ground Control** (Victorine Kienlen)



Figure 19. *Mentha x piperita* **Digne 38** (Louna Rizzi)

II. Matériel et méthode

A. Le verger

L'expérimentation a été menée sur le domaine St Paul de l'INRAE d'Avignon. Le verger a été planté en février 2023 par l'équipe PSH et l'Unité Expérimentale (UE) de l'INRAE d'Avignon dans le cadre du projet CapZéroPhyto. C'est un verger plurispécifique pêche et pommier qui s'étend sur 1,2 ha avec une orientation Est/Ouest, entre deux haies de cyprès au Nord et au Sud. Il a été planté de manière à alterner 4 rangées de pommier Akane, 4 rangées de pêcheurs Nectarlove et 4 rangées de pommiers Ariane et ce schéma se répète 4 fois (Figure 14). Il y a 28 arbres sur une rangée de pommiers, espacés de 1,35m. L'inter-rang mesure 4m. Les arbres sont conduits en bi axe. Du goutte à goutte a été mis en place sur tout le verger avec ferti-irrigation.

La gestion phytosanitaire du verger est classique d'un verger biologique sauf pour les traitements aphicides à cause de la contrainte des expérimentations. Il y a eu trois huiles de paraffine (aphicides) en hiver 2024 pour éviter une infestation trop importante de *D. plantaginea* : de l'Oviphyt le 21 février (20L/ha) et le 03 mars (10L/ha) et du Catane le 26 février (10L/ha), mais aucun traitement aphicide n'a été réalisé à l'automne. Les autres traitements réalisés sont contre la tavelure du pommier et l'oïdium.

Dysaphis plantaginea, le puceron cendré du pommier

Aucun puceron n'a été introduit par nos soins dans le verger. La population qui s'est développée au printemps est le résultat de la migration des pucerons effectuée à l'automne et de la survie des œufs aux traitements aphicides en hiver.

B. Les Plantes de Service

Le ray-grass (*Lolium multiflorum*) (Figure 15), le fenouil sauvage (*Foeniculum vulgare*) (Figure 16), le basilic pistou (*Ocimum basilicum* cv Pistou) (Figure 17) et la tagète Ground Control (*Tagetes patula* cv Ground Control) (Figure 18) ont été produits par la pépinière Nimaplant dans des mottes de 7cm. Les plantes faisaient environ une quinzaine de cm à leur réception, toutes au stade végétatif. La menthe poivrée (*Mentha x piperita* Digne 38) (Figure 19) a été produite par la pépinière S.A.R.L. du tilleul en mini-motte. Les plants mesuraient une dizaine de cm à leur réception, également au stade végétatif.

L. multiflorum est utilisé dans l'expérimentation comme une plante témoin.

C. Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation est mise en place sur les 16 rangées de pommier Ariane, constituant ainsi 4 blocs distincts séparés par 8 rangées de pêcheurs et de pommiers Akane (Figure 14).

1. Modalité de distribution des plantes au sein des 4 blocs

Sur le verger, les arbres ne se sont pas tous développés de la même manière, certains arbres ou axes étaient morts et d'autres étaient peu vigoureux. Les mesures des circonférences de chaque axe juste au-dessus des points de greffe a permis d'identifier les arbres bi-axes de circonférence équivalente. Ceci a permis la sélection des placettes (3 arbres bi-axes d'affilés qui semblaient être en bonne santé avec une PdS associée et correspondant à une répétition d'une modalité (Figure 14), et les plus éloignées les unes des autres à partir des mesures réalisées sur toutes les rangées de la variété Ariane. Nous avons identifié ainsi les 30 placettes sur lesquelles nous avons planté les PdS. Une fois les arbres sélectionnés, les PdS ont été réparties de manière aléatoire avec tirage au sort sans remise afin de choisir celles qui seront proches des pêcheurs, puis celles proches de la haie Nord et enfin celles proches de la haie Sud. Les autres PdS ont été réparties de manière à avoir au moins une modalité par bloc.

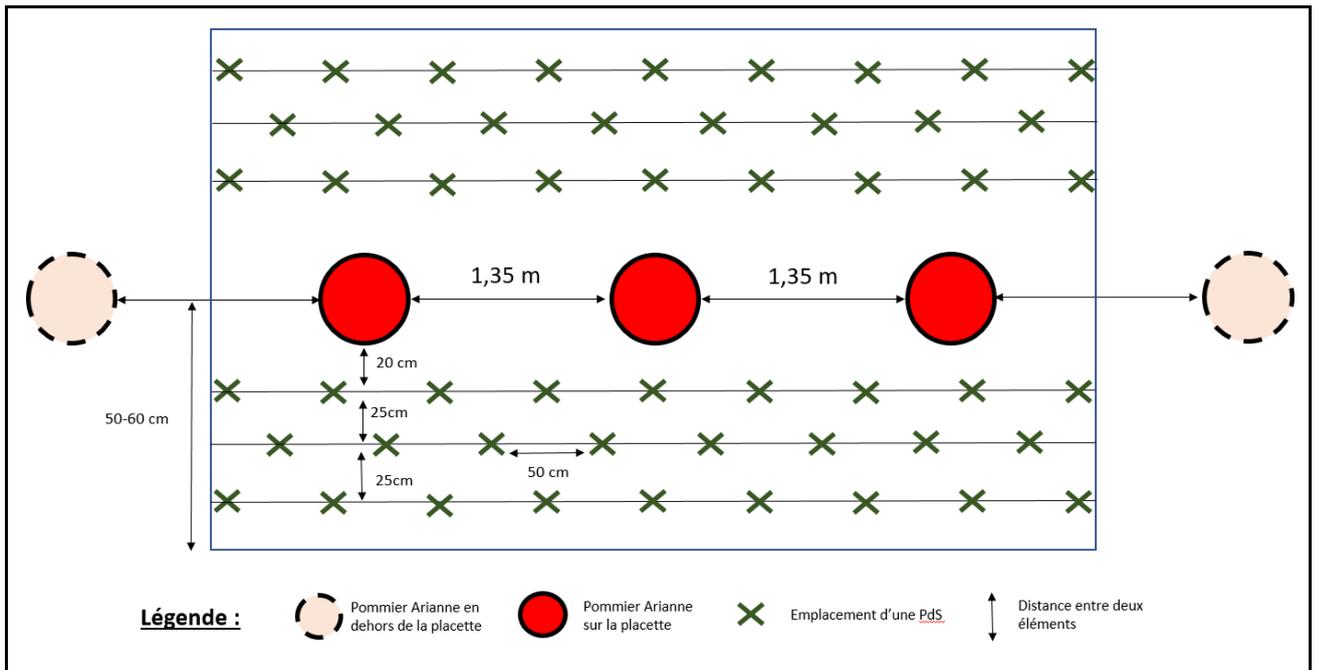


Figure 20. Schéma d'une placette avec l'espacement des PdS correspondant aux placettes de *F. vulgare*, *M. x piperita* ou *L. multiflorum*



Figure 21. Rameau long de pommier (Victorine Kienlen)



Figure 22. Rameau court de pommier (Victorine Kienlen)

2. Plantation des PdS

Les PdS ont été plantées sur bâche le 02 avril 2024, après un passage de l'intercep rotatif afin de décompacter la terre. Elles ont été plantées à des densités différentes en fonction de leur développement présumé pour obtenir, au final, une même densité par placette. 64 plants par placette ont été plantés pour *T. patula* (10 ou 11 plants par ligne), 76 pour *O. basilicum* (12 ou 13 plants par ligne) et 52 pour *F. vulgare*, *M. x piperita* et *L. multiflorum* (8 ou 9 plants par ligne) (Figure 20).

Après la plantation, toutes les plantes n'ont pas survécu, notamment les basilics, des replantations ont donc été réalisées (Annexe 1).

3. Irrigation

Une irrigation par micro-aspersion a été mis en place avec 3 micro-asperseurs accroché à 1,20m du sol pour chaque placette.

D. Suivi des populations de pucerons et des EN présents dans les colonies

Le suivi des pucerons a été réalisé de façon hebdomadaire, sur les 30 placettes, du 12 avril au 10 juin 2024 (10 semaines). Le suivi s'est arrêté lorsqu'il n'y avait presque plus de pucerons.

1. Définitions d'un rameau et d'une colonie

Le rameau a été défini comme un organe poussant de l'année. Cela peut être un rameau long (Figure 21) ou un rameau court (Figure 22)

Une colonie a été définie comme la présence d'au moins une fondatrice avec descendance sur le rameau (Figure 23). Si, en se développant, la colonie est alors présente sur un autre rameau, on considère que c'est une autre colonie.

2. Suivi des populations de pucerons

Deux rameaux par axe sur lesquels il y a une colonie ont été choisis pour faire un suivi de population d'une semaine à l'autre. Lors des premières observations, il n'y avait souvent pas plus de deux rameaux infestés, et c'est donc ceux-là qui ont été choisis. Lorsqu'il y a eu plus de deux colonies par axe, il a été noté le nombre de rameaux infestés total, mais le suivi s'est bien fait uniquement sur deux colonies. Lorsqu'une colonie est morte et qu'une nouvelle est apparue sur un autre rameau, alors la colonie suivie a été modifiée.

Le suivi des colonies s'est fait uniquement sur les colonies accessibles par les observateurices, à savoir les colonies se situant entre 0,70 et 2m du sol⁴. Lorsque des colonies sont apparues au-dessus de cette limite, elles ont seulement été comptabilisées dans le nombre de rameaux total infestés, même s'il n'y avait pas de colonies suivies en-dessous des 2m.

Les observations suivantes ont été faites par axe sur chaque arbre de chaque placette :

- Le nombre de rameaux infestés par une colonie
- Pour chaque colonie suivie, le nombre de pucerons aptères, tous stades confondus, et ailés a été compté. Lorsqu'il était impossible de compter les pucerons 1 à 1, une estimation a été réalisée selon la méthode de comptage par portion proposée par la LPO [20].
- Sur le rameau où se fait le suivi des colonies, le nombre de feuilles total est compté ainsi que le nombre de feuilles infestées, à savoir une feuille sur laquelle on observe un ou des pucerons, tous stades confondus.
- La hauteur à laquelle se trouve la colonie suivie est mesurée à partir du sol.

⁴ Il n'y avait pas de colonies en dessous de 0,70m car les pommiers ont été effeuillés



Figure 23. Colonie de *D. plantaginea*
(Victorine Kienlen)

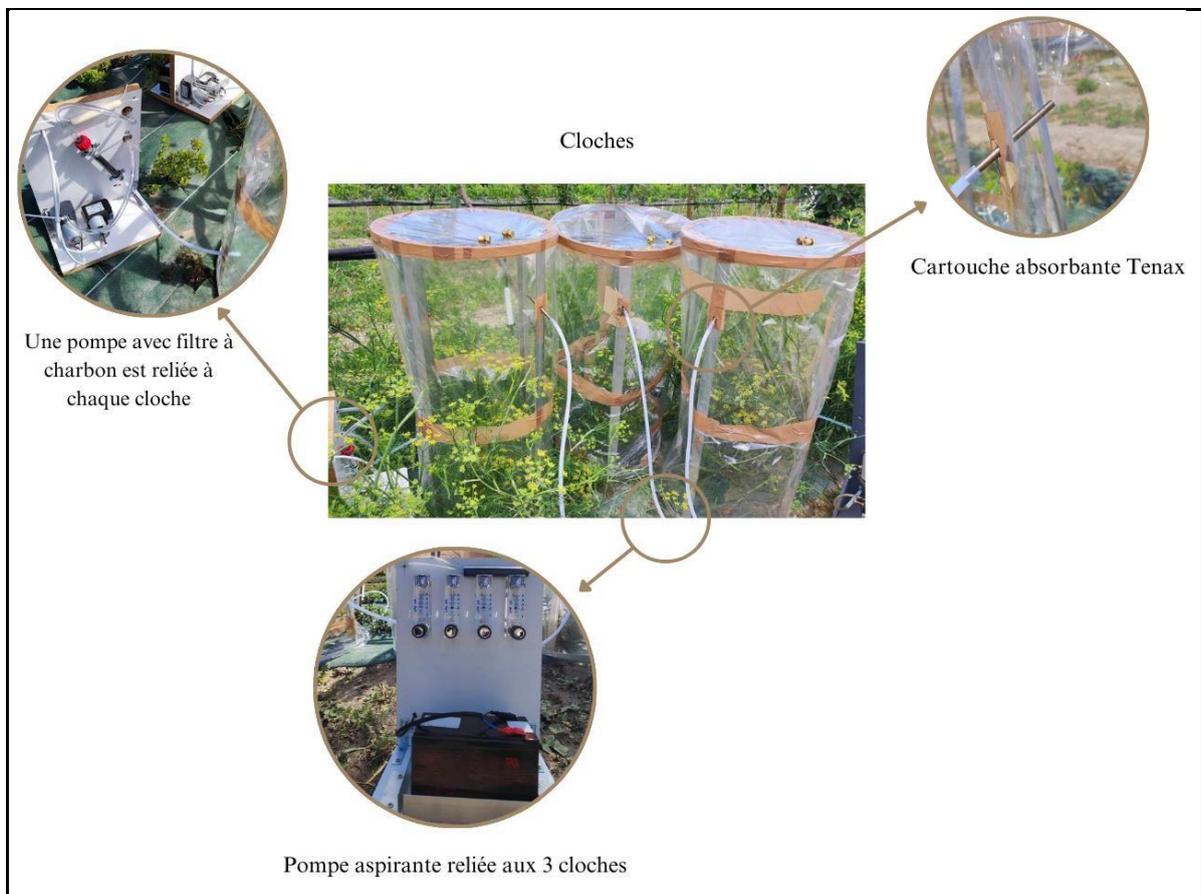


Figure 24. Dispositif de prélèvement des COV avec cloches (Victorine Kienlen)

3. Suivi des EN et autre faune présente dans les colonies
 - Sur le rameau où se trouve la colonie suivie, les EN du puceron cendré ont été dénombrés et identifiés à l'ordre ou à la famille, ainsi que les autres insectes rencontrés.
 - Le nombre de pucerons momifiés a été comptabilisé lorsque les momies n'étaient pas encore ouvertes.
 - La présence de fourmis dans la colonie a été notée.
4. Classification des arbres à l'échelle du verger : estimation de la présence de *D. plantaginea* sur les deux variétés de pommier Akane et Ariane

En juillet, l'infestation par *D. plantaginea* à l'échelle du verger entier sur les deux variétés de pommiers Akane et Ariane a été observée en classant les arbres en fonction du pourcentage de rameaux présentant des symptômes causés par les pucerons (enroulement des feuilles). 5 classes d'infestation sont utilisées suivant le protocole mis en place par S. Simon : 0 : 0% ; 1 : 1 à 10% ; 2 : 11 à 25% ; 3 : 26 à 50% ; 4 : plus de 50 % de rameaux avec symptômes.

E. Suivi des PdS

1. Suivi des EN du puceron et autre faune présents sur les PdS

Le suivi des EN sur les PdS a été réalisé de façon hebdomadaire du 12 avril au 11 juin 2024. Les conditions suivantes devaient être réunies pour faire les observations afin de maximiser les chances d'observer les EN : journée ensoleillée, absence de vent ou vent très faible et absence de pluie. A cause des conditions météorologiques du mois d'avril très changeantes, il n'y avait pas toujours la possibilité de faire les relevés le même jour chaque semaine. Il n'y a donc pas toujours une semaine entre chaque relevé.

Modalités d'observation

Une observateurice est placée de chaque côté de la placette, une à l'ouest, l'autre à l'est. Pendant 1min30, chaque observateurice observe sa moitié de placette afin de repérer les EN volants et non volants présents sur toute la surface de la placette ainsi que les ravageurs du pommier et/ou de la PdS. Les EN sont identifiés à l'ordre ou à la famille.

2. Suivi phénologique des PdS

Lors des relevés entomologiques sur les PdS, un suivi phénologique est également réalisé.

Lors du premier relevé, 10 plantes de la placette (5 à l'ouest et 5 à l'est) réparties aléatoirement ont été choisies. Le choix s'est porté sur les plantes qui ont le mieux résisté à la plantation. Cela a surtout été important pour les basilics où beaucoup de plants sont morts, même encore des semaines après leur plantation. Les comptages et mesures suivantes ont été réalisés sur chaque placette :

- La hauteur des 10 plantes préalablement sélectionnées.
- Le nombre de plantes en fleur sur toute la placette
- Le nombre de plantes mortes

F. Prélèvement et analyse des COV

1. Prélèvements des COV par cloche

Le 25 avril, le 17 mai et le 05 juin, des prélèvements de COV ont été réalisés, lors d'une journée ensoleillée avec pas ou peu de vent ni de pluie. En raison du vent et de la pluie qui sont survenus fréquemment durant les mois d'avril et de mai, nous n'avons pas pu réaliser les prélèvements toutes les deux semaines, comme prévu initialement.

Le dispositif de prélèvements comprend 3 cloches, composées d'une armature en aluminium recouverte de film plastique à faible émission de COV de 80cm de haut et 39cm de large chacune est placée sur une PdS. L'air circule dans la cloche par 2 trous. L'air filtré sur un filtre charbon entre par un trou en bas de la cloche à un débit de 8L/min. L'air chargé de COV présent dans la cloche est aspiré dans le haut de la



Figure 25. Dispositif de prélèvement des COV avec Radiello® accroché sur une placette (Victorine Kienlen)

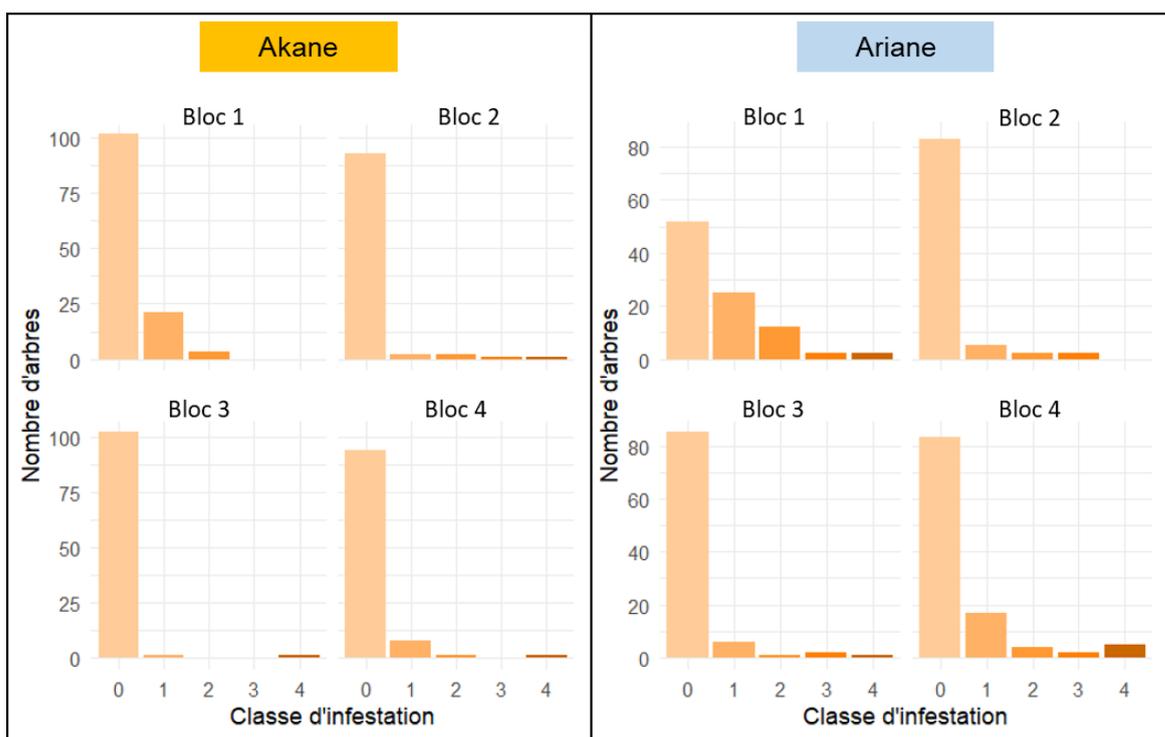


Figure 26. Répartition du nombre d'arbres par classe d'infestation dans les 4 blocs du verger de pommier Akane (à gauche) et du verger de pommier Ariane (à droite).

Les 4 classes d'infestation représentent le pourcentage de rameaux avec symptômes sur un arbre (0 : 0% ; 1 : 1 à 10% ; 2 : 11 à 25% ; 3 : 26 à 50% ; 4 : plus de 50 % de rameaux avec symptômes) (S. Simon).

cloche via une cartouche absorbante Tenax insérée dans la cloche et reliée par un tube téflon à une pompe aspirante (2,5 L d'air/min) (Figure 24). Au bout des 20 min, le dispositif est arrêté et la cartouche récupérée.

3 plantes par placette de chaque espèce sont sélectionnées aléatoirement à chaque prélèvement et cela pour 2 placettes par espèce sur le bloc 1 et 2.

2. Prélèvements des COV par Radiello®

Pour étudier la dispersion des COV au sein du verger à la suite des plantations des PdS, des captations passives de COV à l'aide de Radiello®⁵ ont été réalisées dans le verger le 21 mai et le 24 juin 2024. Il n'a pas été possible de faire les mesures en avril à cause des conditions météorologiques, les Radiellos® nécessitant d'être accrochés 3 jours à l'extérieur dans de bonnes conditions météorologiques (pas de vent pour éviter le mélange des COV et pas de pluie au maximum car cela fait retomber les odeurs au sol et peut endommager les dispositifs).

Pour chaque prélèvement, un capteur Radiello® a été accroché à 1,2m de hauteur, au centre de la placette entre les 2 axes de l'arbre central. Quatre dispositifs ont été accrochés à 2,3m de hauteur dans le bloc 1 pour étudier la diffusion à la verticale des COV au-dessus d'une placette de *M. x piperita*, *F. vulgare*, *O. basilicum* et *T. patula*. Un dernier dispositif témoin a été accroché à 1,2m du sol en bordure de verger sans PdS.

Les dispositifs ont à chaque fois été positionnés avec le corps dispersif orienté vers l'Est.

3. Analyse des COV

Les COV récupérés dans les cartouches Tenax et par les Radiellos sont ensuite désorbés à l'aide d'un thermodésorbueur PerkinElmer® puis analysés par GC-MS avec un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse Thermo scientifique®. De cette analyse en résulte un profil de COV sous forme de chromatogramme qui peut ensuite être interprété avec les logiciels AMDIS Version 2.73 et Thermo Scientific Xcalibur 4.1.31.9, en couplant une analyse non ciblée à partir de la banque de données internationales (NIST Mass Spectrometry Data Center, 1990), à une analyse ciblée, en créant une banque de données personnalisées des COV émis par chaque plante étudiée.

G. Analyses statistiques

Toutes les analyses ont été réalisées avec la version 4.4.0 de RStudio (24-04-2024). Tous les graphiques ont été réalisés avec le package *ggplot*.

Un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM) (R package *lme4*) a été utilisé pour tester l'effet des deux variétés de pommier (Akane et Ariane) sur le taux d'infestation des arbres par *D. plantaginea* à l'échelle du verger. Ce taux a été évalué à l'aide de la fonction « *cbind* » (nombre d'arbres infestés, nombre d'arbres non infestés), en supposant une distribution d'erreur binomiale avec une fonction de lien *logit*. La variété est considérée comme un facteur fixe et le bloc comme un facteur aléatoire.

Des GLMM ont été utilisés pour étudier l'effet des modalités sur le taux de rameaux infestés par arbre et la durée de vie moyenne d'une colonie. La modalité est considérée comme un facteur fixe et le bloc et la date comme des facteurs aléatoires pour le taux de rameaux infestés par arbre. Le bloc est le seul facteur aléatoire pour la durée de vie des colonies. L'interaction entre modalité et bloc a également été testée pour le taux de rameaux infestés ainsi que pour le nombre moyen de pucerons par colonie suivie avec la date en facteur aléatoire. Le taux de rameaux infestés a été évalué à l'aide de la fonction « *cbind* »

⁵ Un Radiello® est un dispositif composé d'un corps blanc diffusif, fait de polyéthylène microporeux de 1,7mm d'épaisseur et d'une porosité moyenne de $25 \pm 5 \mu\text{m}$ dans lequel on peut insérer un cylindre formé à partir d'un filet en acier inoxydable avec une centaine de mailles, d'un diamètre de 4,8mm, rempli de 250mg de Tenax-TA. Le tout s'accroche à l'horizontal sur une plaquette qu'il est possible de suspendre (Figure 25).

(nombre de rameaux infestés par arbre, nombre de rameaux non infestés par arbre), en supposant une distribution d'erreur binomiale avec une fonction de lien *logit*. Une distribution binomiale négative (fonction *log link*) a été utilisée pour le nombre moyen de pucerons par colonie suivie et la durée de vie des colonies.

Des GLMM ont également été utilisés pour traiter l'abondance des EN dans les colonies et en observation aérienne. Les catégories suivantes d'EN dans les colonies ont été étudiées, certaines catégories ayant été regroupées pour avoir suffisamment d'information : Coccinellidae (adultes et larves), autres prédateurs (Araneae, Cantharidae, Forficulidae, Miridae), pucerons momifiés (noirs et dorés) et Syrphidae (larves). Les catégories suivantes d'EN identifiées avec les observations aériennes ont été testées : Araneae et Opiliones, Cantharidae, Coccinellidae (adultes), Miridae et Syrphidae (adultes). Dans les deux cas, il n'y avait pas suffisamment de données pour les hyménoptères parasitoïdes. Pour tous les tests, la modalité est en facteur fixe et le bloc et la date comme des facteurs aléatoires. Les abondances ont été testées en utilisant une distribution de Poisson avec une *fonction log-link*. En cas de sur-dispersion, une distribution binomiale négative (fonction *log link*) a été utilisée. Une comparaison multiple entre les modalités a été réalisée lorsque $p\text{-value} < 0,05$ pour discriminer les modalités entre elles en utilisant la fonction *emmeans* (package *emmeans*). La fonction *cld* (package *multcomp*) a permis d'associer des lettres aux groupes similaires.

Afin de représenter l'effet des EN au sein des colonies, une représentation graphique a été réalisée en se basant sur ce qui a été fait par H. Dib (2010) dans sa thèse. Ainsi, à partir des pucerons qui ont été comptés, une classification post-comptage a été réalisée en utilisant six classes d'infestation (A = pas de pucerons ; B = 1 à 5 ; C = 6 à 25 ; D = 26 à 50 ; E = 51 à 125 ; F = plus de 125 pucerons). Pour chaque observation faite par rameau, une classe a été associée et, entre deux dates pour le même rameau observé, un chiffre a été attribué correspondant au changement de classe. Ce chiffre a été déterminé à partir du travail d'H. Dib (2010). Ainsi, pour exemple, un changement de classe B à C sera remplacé par le chiffre 1, un changement de classe F à D sera remplacé par -2 et l'absence de changement est associée à 0. La présence ou l'absence d'EN dans la colonie est prise en compte par rapport à la première date des deux dates que l'on compare. Il n'y aura ainsi pas de données pour la première date d'observation de l'expérimentation (09 avril). Le graphique représentant l'absence ou la présence d'EN dans les colonies prend en compte les EN suivants : Coccinellidae (adultes et larves), Syrphidae (larves), pucerons momifiés noirs et dorés, Cantharidae, Miridae, hyménoptère parasitoïde et Araneae. La présence d'EN est caractérisée par la présence d'au moins un des EN cité précédemment et l'absence d'EN par l'absence de tous les EN cités précédemment.

La même représentation graphique a été réalisée mais en séparant les colonies avec EN en deux catégories : celles avec présence de larves de Syrphidae mais avec absence de larves et d'adultes de Coccinellidae et celles avec présence de larves ou d'adultes de Coccinellidae mais avec absence de larves de Syrphidae. Dans les deux catégories, d'autres EN que ceux cités peuvent être présents dans les colonies.

L'effet de la présence ou l'absence d'EN dans les changements des classes d'infestation a été comparé pour chaque date en utilisant une comparaison deux à deux de Mann-Whitney (test non paramétrique) avec un niveau de confiance de 5%. Pour la comparaison triple (colonies sans EN, colonies avec Syrphidae et colonies avec Coccinellidae), un test de Kruskal-Wallis avec un niveau de confiance de 5% a été réalisé pour chaque date. Un test post-hoc de Dunn (package *dunn.test*) a permis de discriminer les catégories entre elles lorsque $p\text{-value} < 0,05$.

Toutes les Analyses en Composantes Principales (ACP) ont été réalisées avec le package *FactoMiner*. Une Analyse de Variance Permutationnelle Multivariée (PERMANOVA) a été réalisée pour chaque ACP avec la fonction *adonis2* (package *vegan*) pour tester les différents groupes représentés.

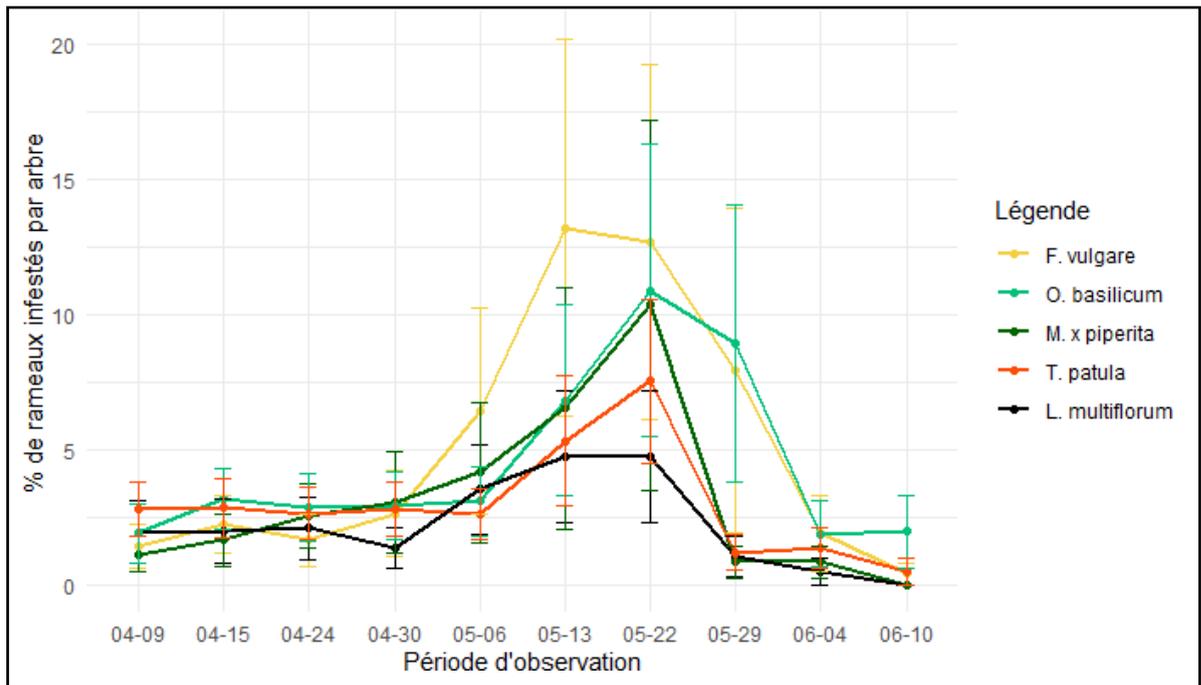


Figure 27. **Dynamique d'évolution du % de rameaux infestés par arbre en fonction de la PdS sur la période de suivi des pucerons.**
 Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne.

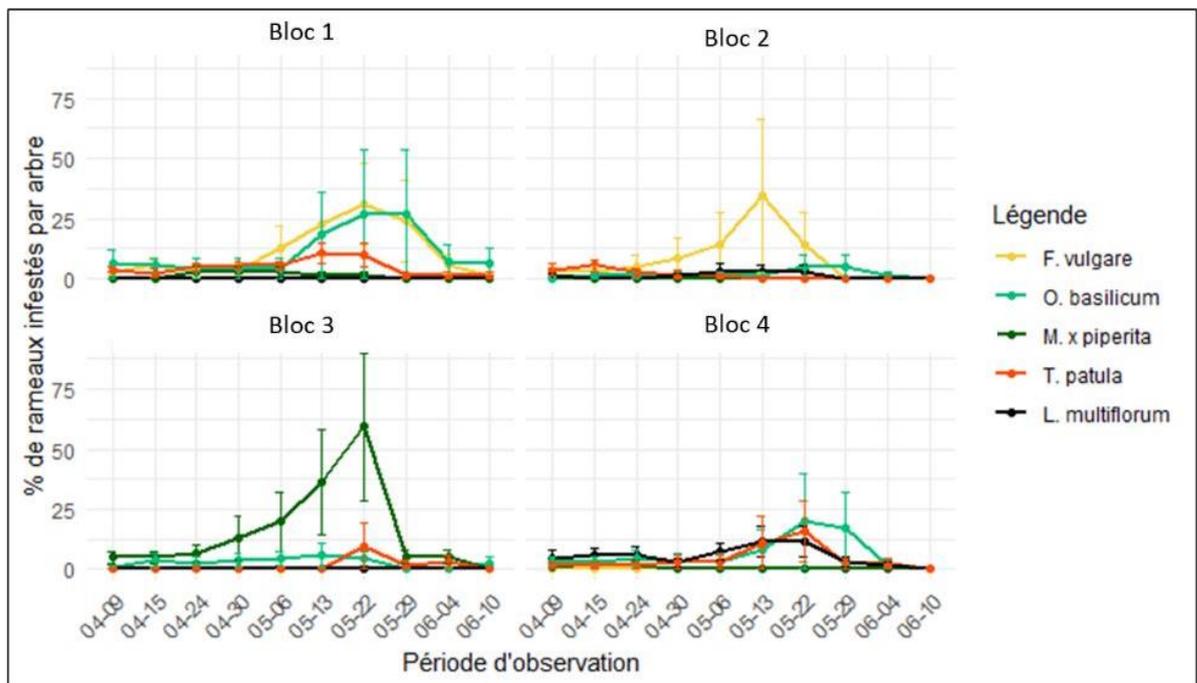


Figure 28 **Dynamique d'évolution du % de rameaux infestés par arbre en fonction du bloc et de la PdS sur la période de suivi des pucerons.**
 Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne.

III. Résultats

A. Evolution de l'infestation par *D. plantaginea*

1. A l'échelle du verger

La classification de l'infestation par *D. plantaginea* à l'échelle du verger sur les deux variétés de pommiers, Akane et Ariane, a permis de montrer qu'il y a globalement eu une très faible infestation de pucerons cette année (Figure 26). Moins de 25% des arbres ont été touchés pour les deux variétés (9,7% pour Akane et 22,5% pour Ariane). L'infestation a été significativement plus importante pour les pommiers Ariane que pour les pommiers Akane (p-value < 0,001).

2. A l'échelle des arbres

La pression moyenne en colonies de pucerons cendrés sur les 90 arbres étudiés est restée en dessous des 4% de rameaux infestés par arbre tout le mois d'avril. Le pic d'infestation a eu lieu courant mai.

L'infestation maximale a été atteinte le 13 mai pour les arbres associés à *F. vulgare* (13,2% ($\pm 6,9$)) et à *L. multiflorum* (4,7% ($\pm 2,4$)) et le 22 mai pour les arbres associés à *M. x piperita* (10,3% ($\pm 6,9$)), à *O. basilicum* (10,9% ($\pm 5,4$)) et à *T. patula* (7,5% ($\pm 3,0$)). Après le pic d'infestation, le pourcentage moyen de rameaux infestés par arbre a chuté jusqu'à atteindre, au 10 juin, 0% pour les modalités *L. multiflorum* et *M. x piperita* et moins de 5% pour les autres modalités (Figure 27).

La dynamique d'évolution de l'infestation semble être la même entre les cinq modalités testées. Cependant, lorsque l'on observe cette évolution au niveau des blocs, on constate qu'il y a une grande hétérogénéité d'infestation (Figure 28). En effet, on remarque tout d'abord que toutes les modalités ne sont pas représentées dans chaque bloc ce qui veut dire qu'il n'y a pas eu d'infestation pour certaines modalités dans certains blocs. De plus, l'intensité de l'infestation n'a pas été similaire pour une même modalité entre les différents blocs. Il y a une interaction significative entre les modalités et les blocs (p-value < 0,001).

Il y a eu une infestation sur les arbres associés à *F. vulgare* seulement dans les blocs 1 et 2. Le pourcentage de rameaux infestés maximal est de 34,2% ($\pm 31,8$) au 13 mai dans le bloc 2 et de 31,1% ($\pm 16,9$) au 22 mai dans le bloc 1. Pour les arbres associés à la *M. x piperita*, le plus haut taux d'infestation par arbre est de 59,3% ($\pm 30,8$) au 22 mai dans le bloc 3 alors qu'il ne dépasse pas les 5% dans le bloc 1 et 4. Il n'y a pas de rameaux infestés dans le bloc 2. Dans le bloc 1, le pourcentage de rameaux infestés maximum par arbre est de 10,4% ($\pm 4,2$) au 13 mai, dans le bloc 2 il est de 5,4% ($\pm 2,6$) au 15 avril, dans le bloc 3 de 9,7% ($\pm 9,7$) au 22 mai et dans le bloc 4 de 16,1% ($\pm 12,7$) au 22 mai pour la modalité *T. patula*. Les arbres associés au *O. basilicum* ont été infestés à hauteur maximale de 26,7% ($\pm 26,7$) dans le bloc 1 au 22 mai, 4,9% ($\pm 4,9$) dans le bloc 2 au 22 mai, 6,0% ($\pm 5,2$) dans le bloc 3 au 13 mai et 20,0% (± 20) dans le bloc 4 au 13 mai. Pour notre plante témoin, *L. multiflorum*, l'infestation la plus importante est de 11,5% ($\pm 6,2$) au 13 mai dans le bloc 2 et de 3,1% ($\pm 3,1$) au 06 mai dans le bloc 4. Il n'y a aucune infestation dans le bloc 1 et 3 (Figure 28).

3. A l'échelle des colonies

Les quatre premières colonies se développant par arbre devaient être suivies faisant un total de 96 colonies suivies par modalité. Cependant, dû à la faible présence de *D. plantaginea* sur le verger, ce nombre n'a pas été atteint. Ainsi, 14, 13, 18, 20 et 9 colonies ont été suivies lors de la période d'observation pour *F. vulgare*, *M. x piperita*, *O. basilicum*, *T. patula* et *L. multiflorum* respectivement. Les colonies suivies se sont développées différemment en fonction des modalités (Figure 29). Il y a une différence marginale entre les PdS (p-value = 0,051). Plusieurs pics d'infestations sont apparus dans la saison. Le pic du nombre moyen de pucerons par colonie le plus important se situe autour du 24 avril pour les colonies associées au *F. vulgare* (89,2 \pm 44,1 pucerons par colonie), le 06 mai pour le basilic (59,9 \pm 24,5), le 13 mai pour le *T. patula* (40,7 \pm 12,7) et le 22 mai pour la *M. x piperita* (107,1 \pm 44,0) et

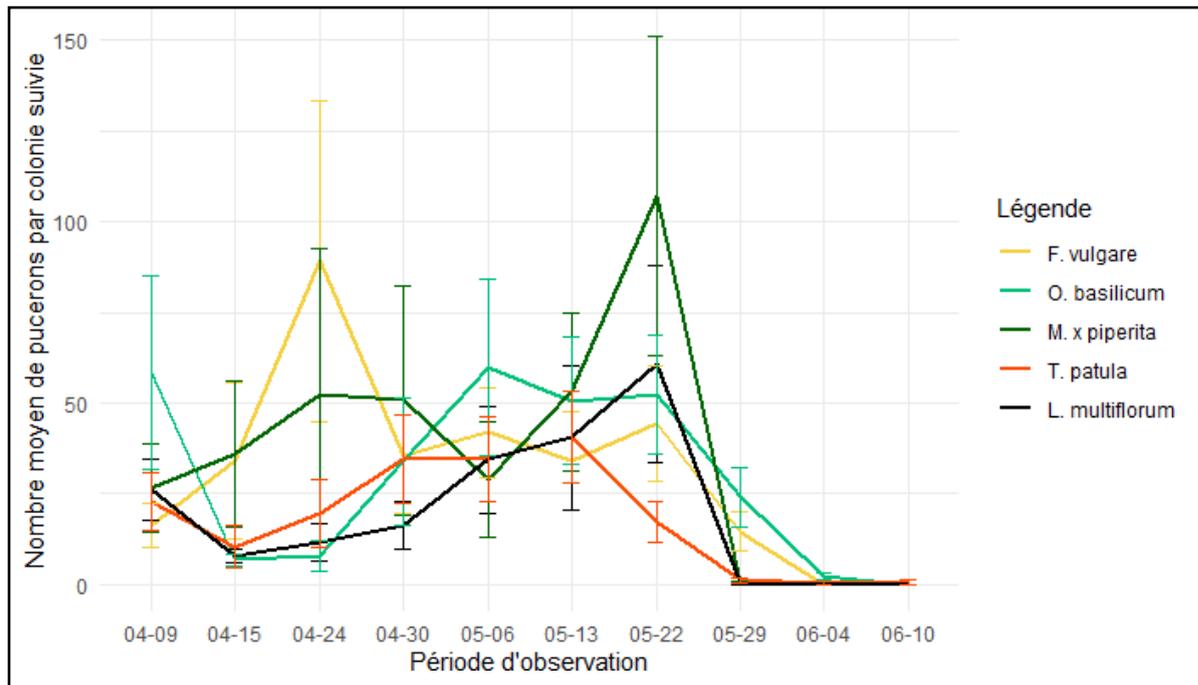


Figure 29. **Dynamique d'évolution du nombre moyen de pucerons par colonie suivie en fonction de la PdS sur la période de suivi des pucerons.**
Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne.

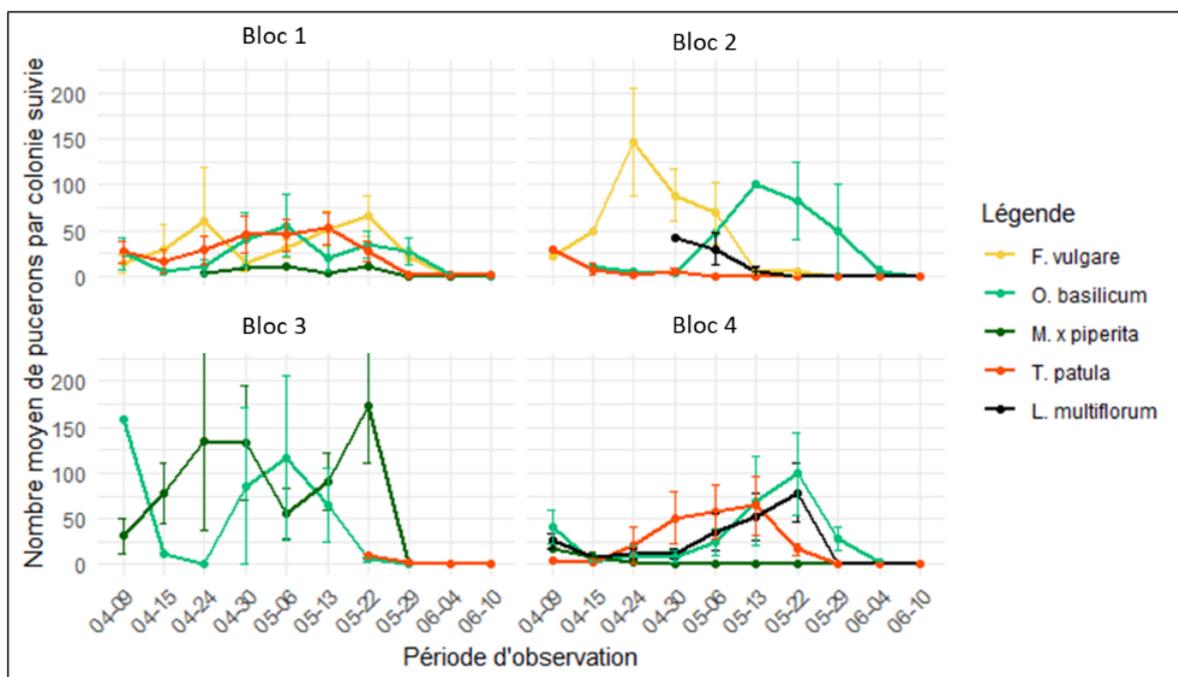


Figure 30. **Dynamique d'évolution du nombre moyen de pucerons par colonie suivie en fonction du bloc et de la PdS sur la période de suivi des pucerons.**
Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la moyenne.

L. multiflorum (60,7 ±27,1). La population de pucerons est tombée à 0 au 29 mai pour les colonies associées aux placettes de *M. x piperita*, de *T. patula* et de *L. multiflorum*. Elle est tombée à 0 pour les colonies associées aux placettes d'*O. basilicum* et de *F. vulgare* au 04 juin (Figure 29). Aucun puceron ailé n'a été compté dans les colonies avant la disparition des colonies.

Il y a également une interaction significative entre les modalités et les blocs (p-value < 0,001), reflétant une dynamique d'évolution du nombre moyen de pucerons par colonie bien différente entre les blocs au sein des modalités. On retrouve l'hétérogénéité de l'apparition des pucerons constatée dans la partie précédente. Certaines placettes n'ont jamais été infestées (*L. multiflorum* dans le bloc 1 et 3, *M. x piperita* dans le bloc 2 et *F. vulgare* dans le bloc 3 et 4) (Figure 90).

Au total sur la période d'observation, il y a eu 4491, 4350 et 3258 pucerons comptés dans les blocs 1, 3 et 4 respectivement mais seulement 1436 pucerons dans le bloc 2. Dans le bloc 1, 25 colonies ont été suivies, dans le bloc 2, 13, dans le bloc 3, 15 et dans le bloc 4, 21.

a) Arbres associés à *F. vulgare*

Il y a eu des colonies seulement pour les blocs 1 et 2 pour les arbres associés au *F. vulgare*. Dans le bloc 1 il y a eu deux pics d'infestation le 24 avril et le 22 mai atteignant un nombre moyen de pucerons de 60,5 (±58,8) sur 4 colonies et 66,2 (±21,5) sur 9 colonies respectivement. Dans le bloc 2, le pic d'infestation a eu lieu le 24 avril avec en moyenne 146,5 (±58,5) pucerons sur les 3 colonies suivies.

b) Arbres associés à *M. x piperita*

Aucune colonie n'a été suivie dans le bloc 2 pour la modalité *M. x piperita*. Une colonie a été suivie dans le bloc 1. Il y a eu 11 pucerons au maximum dans cette colonie au mois de mai. Dans le bloc 3, il y a eu un premier pic dans la population de pucerons atteignant en moyenne sur les 3 colonies suivies 135,3 (±97,7) pucerons le 24 avril puis un deuxième pic atteignant en moyenne sur 8 colonies suivies 172,6 (±61,5) pucerons le 22 mai. Enfin, dans le bloc 4, le nombre moyen maximum de puceron est de 8,3 (±4,9) dans 3 colonies au 15 mai.

c) Arbres associés à *O. basilicum*

Pour la modalité *O. basilicum*, des colonies ont été suivies dans tous les blocs. Deux pics sont observés dans chaque bloc avec le premier pic qui est à la première date d'observation pour les blocs 1, 3 et 4 et à la deuxième date d'observation pour le bloc 2. Ce pic atteint en moyenne 25,0 (±17), 10,0 (±0), 159,0 (±0) et 141,5 (±18,5) pucerons par colonie suivie dans les blocs 1, 2, 3 et 4 respectivement. Le deuxième pic est atteint le 06 mai dans le bloc 1 (55,8 (± 33,1)) et dans le bloc 3 (117,0 (± 89,7)), le 13 mai dans le bloc 2 (101,0 (±0)) et le 22 mai dans le bloc 4 (99,4 (± 45,0)).

d) Arbres associés à *T. patula*

Il y a également eu des colonies suivies dans tous les blocs pour la modalité *T. patula*. Dans le bloc 3, 3 colonies sont apparues très tardivement à partir du 22 mai et le nombre moyen de pucerons maximum a été de 9,3 (± 3,2). Dans le bloc 2, le nombre moyen de puceron n'a pas dépassé les 29,0 pucerons de la seule colonie observée le 09 avril. 4 colonies au total ont été observées mais le nombre de pucerons est tombé à 0 dès le 13 mai. Dans le bloc 1 et 4, le nombre moyen de pucerons par colonie suivie a été atteint le 13 mai avec respectivement 52,3 (± 17,9) et 64,3 (± 32,3) pucerons.

e) Arbres associés à *L. multiflorum*

Pour la modalité témoin, le nombre maximum moyen de pucerons est de 42,0 (± 0) dans le bloc 2 au 30 mai, date d'observation de la première colonie. Seulement 2 colonies sont apparues dans ce bloc. Ce nombre est de 78,0 (± 32,1) au 22 mai dans le bloc 4 avec 7 colonies suivies.

Il n'y a pas de différence significative entre les PdS concernant la durée de vie des colonies (p-value = 0,57).

Malgré l'hétérogénéité de la présence des pucerons au sein du verger résultant en une forte hétérogénéité entre les placettes et les blocs, il a été décidé que les résultats seraient traités à l'échelle du verger entier, sans distinction entre les blocs. Cela permet d'avoir suffisamment de données pour les traitements

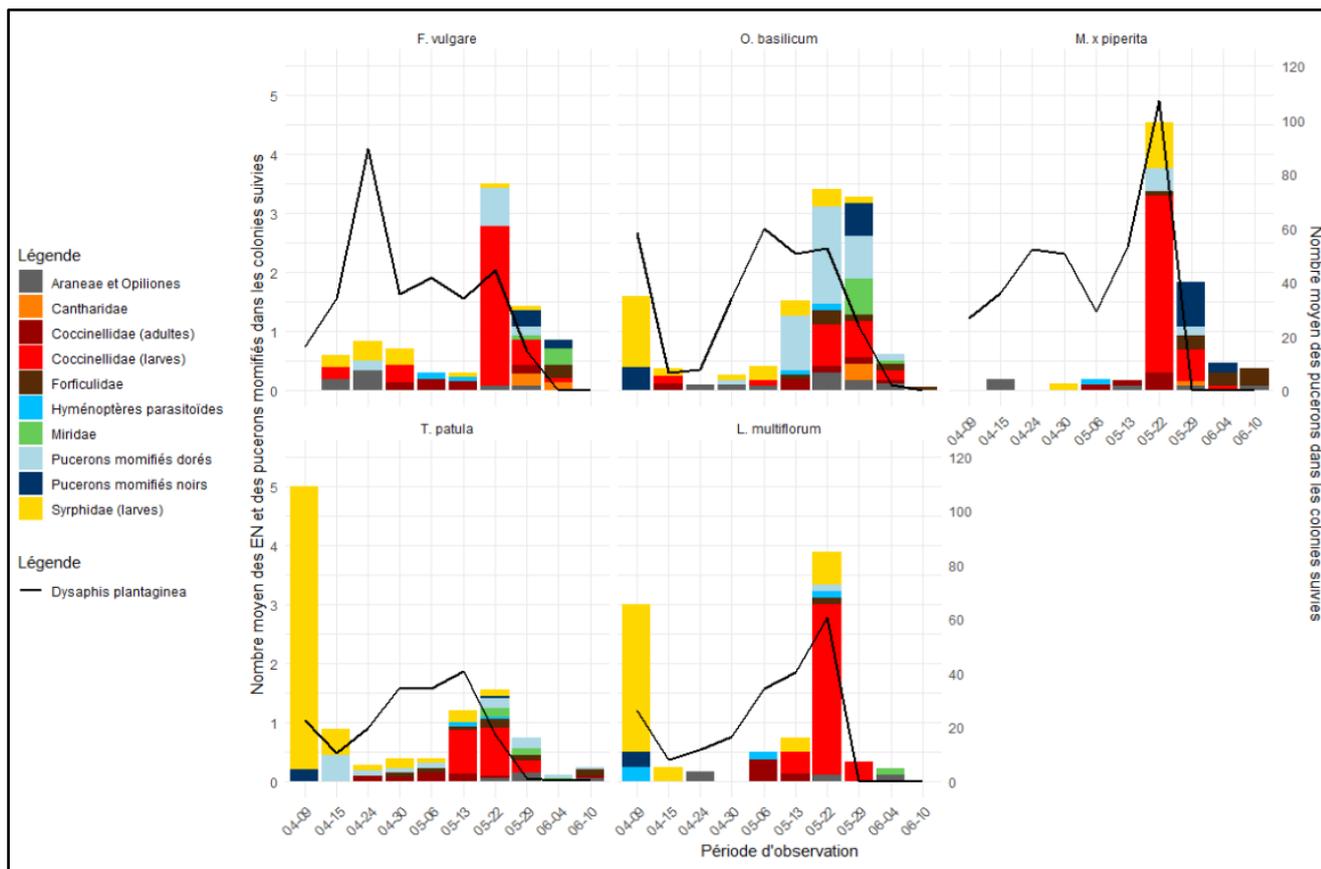


Figure 31. Abondance des EN comptés dans les colonies suivies (histogramme empilé) et dynamique d'évolution du nombre moyen de pucerons par colonie suivie (courbe noire) en fonction de la PdS sur toute la période d'observation.

statistiques. De surcroît, à cause du très faible nombre de colonies suivies pour notre plante témoin (9 colonies suivies), il n'est pas possible d'évaluer l'effet d'une autre modalité par rapport aux résultats obtenus sur le *L. multiflorum*. Le *L. multiflorum* n'est alors plus considéré comme le témoin mais comme une modalité étudiée.

B. Présence et effet des EN et du parasitisme dans les colonies

1. Présence des EN et du parasitisme dans les colonies

Les EN présentés ici dans les résultats sont ceux qui ont été le plus observés dans les colonies et seuls les stades prédateurs sont pris en compte. Les pucerons momifiés sont également considérés pour estimer indirectement les hyménoptères parasitoïdes qui ont visité la colonie. Parmi les EN recensés dans les colonies suivies, 39,8% étaient des larves et adultes de Coccinellidae, 23% des pucerons momifiés, 17,4% des larves de Syrphidae, 6,3% des Forficulidae, 5,2% des Araneae, 4,3% des Miridae, 2,0% des Cantharidae et 2,0% des hyménoptères parasitoïdes.

Les larves de Syrphidae sont les premiers EN à être arrivés dans les colonies de pucerons début avril, dès le début de l'infestation (Figure 31). Leur présence est devenue plus rare passées les deux premières semaines d'observation. Il y a eu significativement plus de larves Syrphidae dans les colonies associées à la modalité *T. patula* que dans les modalités *O. basilicum*, *M. x piperita* et *F. vulgare* (p-value < 0,001) (Tableau 1). La présence de pucerons momifiés noirs et dorés a été constatée dans les colonies de pucerons tout au long de la saison avec une augmentation autour du 22 mai (Figure 31). Il y a eu significativement plus de pucerons momifiés noirs (58) (Figure 32) que dorés (12) (Figure 33) dans les colonies associées à la modalité *O. basilicum* que dans celles associées à la modalité *L. multiflorum* (Tableau 1). Et sur le global de toutes les colonies il y a eu plus de pucerons momifiés noirs que dorés. Les hyménoptères parasitoïdes n'étaient que très peu visibles dans les colonies.

Les adultes et larves de Coccinellidae sont arrivés dans les colonies à partir de début mai. La présence de larves de Coccinellidae a fortement augmenté avec le nombre croissant de pucerons (Figure 31). Il n'y a pas de différence significative entre les PdS de la présence des adultes et larves de Coccinellidae dans les colonies suivies (Tableau 1).

Les Forficulidae, les Miridae et les Cantharidae ne sont arrivés qu'au moment du pic d'infestation et après, lors de la décroissance de la population de pucerons. Il y a très peu d'Araneae dans les colonies (Figure 31). Ces cinq derniers prédateurs ont été significativement plus présents dans les colonies associées à *O. basilicum* que dans celles associées à *T. patula* (Tableau 1).

Il n'y a pas de différence significative entre les modalités par rapport au nombre moyen d'EN total dans les colonies (Tableau 1).

Parmi les autres EN observés mais qui se sont faits rares dans les colonies, 5 larves de cécidomyies (Diptera : Cecidomyiidae) ont été observées dans une colonie le 29 juin (Figure 33) mais pas les semaines suivantes. Quelques Raphidiidae (Raphidioptera) ou encore des punaises prédatrices de la famille des Reduviidae (Hemiptera) qui sont d'autres prédateurs généralistes ([17] ; [21]), ont également été observés dans les colonies mais leur nombre ne dépasse pas cinq au total.

Aucun Chrysopidae ou Hemerobiidae et Opiliones n'a été dénombré dans les colonies, tout stade confondu. Aucune colonie de fourmi n'a également été observée.

2. Effet des EN dans les colonies

La Figure 34 montre que la présence d'EN a permis une décroissance plus importante des pucerons qu'en absence d'EN le 29 mai, le 04 juin et le 10 juin. Dans la Figure 35, on observe qu'il y a une différence marginale entre les colonies avec présence de larves de Syrphidae mais sans Coccinellidae et celles sans EN au 15 avril (p-value = 0,061). Il y a un effet de la présence de ces larves sur la diminution du nombre de *D. plantaginea* dans les colonies entre les deux premières dates d'observation. La force

Tableau 1. **Abondance des EN et des pucerons momifiés dans les colonies sur toute la période d'observation en fonction des PdS.**

Les données sont le résultat statistique de la GLMM (p-value), la somme de chaque catégorie d'EN et du nombre de pucerons momifiés et la moyenne de chaque catégorie avec l'erreur standard à la moyenne (ESM).

Les lettres entre parenthèse représentent les différences statistiques entre les modalités lorsque p-value < 0,05. Deux modalités ayant une lettre en commun ne sont pas significativement différentes l'une de l'autre.

EN et pucerons momifiés	PdS	<i>F. vulgare</i>		<i>O. basilicum</i>		<i>T. patula</i>		<i>M. x piperita</i>		<i>L. multiflorum</i>	
	p-value	Somme	\bar{x} /colonie suivie \pm ESM	Somme	\bar{x} /colonie suivie \pm ESM	Somme	\bar{x} /colonie suivie \pm ESM	Somme	\bar{x} /colonie suivie \pm ESM	Somme	\bar{x} /colonie suivie \pm ESM
Coccinellidae (adultes et larves)	0,55	55	0,55 \pm 0,16	37	0,28 \pm 0,08	39	0,27 \pm 0,09	53	0,54 \pm 0,21	36	0,49 \pm 0,20
Hyménoptères parasitoïdes	données insuffisantes	2	0,02 \pm 0,01	3	0,023 \pm 0,01	2	0,01 \pm 0,01	1	0,01 \pm 0,01	3	0,04 \pm 0,02
Autres prédateurs (Aranea, Cantharidae, Forficulidae et Miridae)	0,024	18	0,18 \pm 0,09 (ab)	40	0,30 \pm 0,07 (b)	21	0,14 \pm 0,04 (a)	16	0,16 \pm 0,05 (ab)	5	0,07 \pm 0,03 (ab)
Pucerons momifiés (dorés et noirs)	0,0035	18	0,18 \pm 0,07 (ab)	70	0,53 \pm 0,18 (b)	18	0,12 \pm 0,04(ab)	19	0,03 \pm 0,1 (ab)	2	0,03 \pm 0,02 (a)
Syrphidae (larves)	0,00021	8	0,08 \pm 0,03 (a)	22	0,17 \pm 0,04(a)	37	0,26 \pm 0,11 (b)	11	0,11 \pm 0,05 (a)	18	0,25 \pm 0,09 (ab)
TOTAL	0,17	101	1,01 \pm 0,24	172	1,3 \pm 0,24	117	0,81 \pm 0,15	100	1,02 \pm 0,27	64	0,88 \pm 0,27



Figure 32. **Puceron momifié noir** (Victorine Kienlen)



Figure 33. **Puceron momifié doré au milieu de pucerons sains et de larves de Cecidomyiidae** (Victorine Kienlen)

de diminution du nombre de pucerons dans les colonies est également plus importante dans les colonies avec présence de larves de Syrphidae ou celles avec présence de Coccinellidae (larves et adultes) comparées à celles sans EN (p-value < 0,001 au 29 mai et 04 juin et p-value = 0,017 au 10 juin). Il n'y a, en revanche, pas de différence significative entre les colonies avec présence de larves de Syrphidae ou celles avec présence de Coccinellidae.

C. Attraction des EN par les PdS

Les résultats obtenus avec les observations aériennes effectuées sur chaque placette montrent qu'il n'y a que très peu d'EN adultes (moins de 5 par placette) en début de saison sur les plantes et qu'ils sont très peu diversifiés. Jusqu'à mi-mai, on ne retrouve que quelques Syrphidae, Coccinellidae, Araneae et Opiliones. Il y a par la suite une augmentation du nombre d'individus des EN cités. Les Cantharidae et Miridae ne sont présents qu'à partir de fin mai et sont surtout présents sur *F. vulgare* (Figure 36).

Plus de 125 arthropodes sont observés en moyenne fin mai et début juin sur les placettes de *F. vulgare* contre moins de 12 arthropodes en moyenne pour les autres modalités. Parmi ces arthropodes, 63,2% étaient des Cantharidae, 19% des Syrphidae, 7,7% des Miridae, 5% des Coccinellidae, 4,3% des Araneae, 0,5% des Opiliones et 0,3% des hyménoptères parasitoïdes.

Il y a une explosion rapide du nombre de Cantharidae sur le *F. vulgare* qui suit la progression de la floraison. Une augmentation du nombre de Syrphidae et Miridae est également constatée. Il n'y a presque pas d'Araneae et d'Opiliones sur les placettes de *F. vulgare*. Le nombre de Syrphidae augmente également avec la floraison des plants de *T. patula* ainsi qu'avec la floraison de *L. multiflorum*. On constate une chute du nombre de Syrphidae sur les placettes de *L. multiflorum* à la suite de la coupe des fleurs. Malgré l'absence de floraison de *M. x piperita*, il y a une augmentation des EN au cours de la saison. Il y a une augmentation du nombre de Miridae sur les placettes de *M. x piperita* en fin de période d'observation. Le nombre d'EN sur les placettes d'*O. basilicum* n'augmente pas avec la floraison et reste assez bas sur la période de suivi (Figure 36).

Il y a significativement plus de Cantharidae, de Coccinellidae, de Miridae et de Syrphidae, (p-value < 0,001 pour les quatre tests) sur *F. vulgare* que pour les autres modalités. Concernant les Syrphidae, *O. basilicum* et *M. x piperita* sont les modalités avec significativement le moins de Syrphidae observés par rapport aux autres modalités. *L. perenne* et *T. patula* sont significativement différents des autres modalités. *O. basilicum* est la modalité où il a été dénombré le plus grand nombre d'Araneae et d'Opiliones. Les modalités *O. basilicum* et *M. x piperita* sont significativement différentes de *F. vulgare* (p-value < 0,001) concernant le nombre d'Araneae et d'Opiliones. Très peu d'hyménoptères parasitoïdes ayant été observés, une comparaison entre les modalités n'est pas possible.

D. Emission des COV par les PdS

1. Profils des COV

25, 36, 40, 26 et 13 composés ont été produits respectivement par *F. vulgare*, *T. patula*, *O. basilicum*, *M. x piperita* et *L. multiflorum* (Annexe 2). Il y a un changement de composition de COV significatif pour chaque PdS entre le premier prélèvement et les suivants (Figures 37, 38, 39, 40 et 41). On retrouve de l' α -pinène, du limonène, de l'acétophénone, du β -myrcène, de l'heptanal et de l'octanal, dans chaque profil de COV (Annexe 2). Toutes les PdS, sauf *L. multiflorum*, ont produit du E- β -farnésène.

Les composés spécifiques à chaque plante sont retrouvés dans les profils de COV. On retrouve de l'anéthol et du fenchone dans le profil de *F. vulgare* (Benddine et al., 2022), du (E)- et (Z)-tagetone et du (E)-tagetenone dans le profil de *T. patula* (Tomova et al., 2005), du I-Menthol, du I-Menthone, du Pipéritone et du Menthyl acetate dans le profil de *M. x piperita* (Gabetti et al., 2021), du d-Limonène, de l'Eugénole et du Linalool dans le profil de *O. basilicum* (Klimankova et al., 2008) et du (Z)-3-hexen-1-ol, acétate dans le profil de *L. multiflorum* (Fiorenza et al., 2021). Ces composés ne sont pas toujours retrouvés à chaque date (Annexe 2).

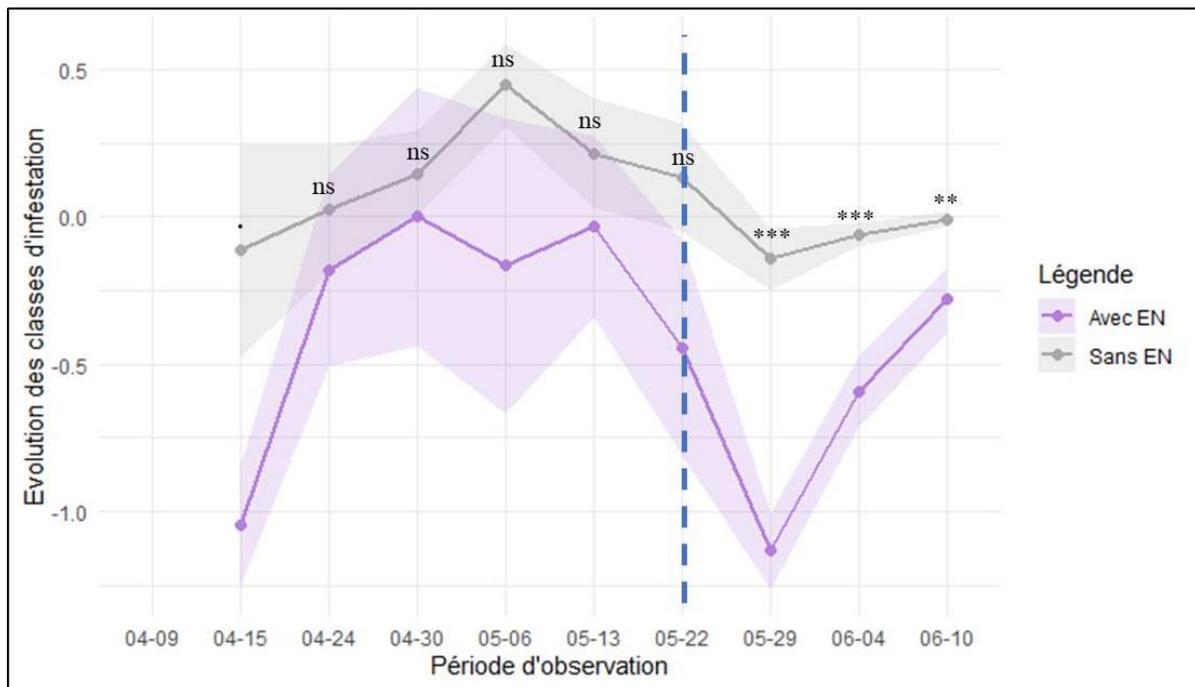


Figure 34. Valeur moyenne (avec l'erreur standard à la moyenne en ombrage) des changements des classes d'infestation de pucerons avec (166 données) et sans EN (308 données) dans les colonies suivies sur la période d'observation.

Une valeur égale à 0 correspond à une absence de changement de classe entre deux dates tandis qu'une valeur supérieure ou inférieure à 0 indique un changement de classe positif (il y a plus de pucerons) ou négatif (il y a moins de pucerons) entre les deux dates. La présence ou l'absence d'EN a toujours été prise en compte par rapport à la première des deux dates étudiées (t-1). Les astérisques indiquent les différences significatives entre les deux traitements pour chaque date selon le test non paramétrique de Mann-Whitney [(ns): p-value > 0,1, (.) : 0,1 < p-value < 0,05, (*) : p-value < 0,05, (**) : p-value < 0,01, (***) : p-value < 0,001]. Le trait bleu en pointillé représente le pic d'infestation de *D. plantaginea*, moment où le plus de pucerons ont été comptés dans toutes les colonies suivies.

2. Profil des Radiellos®

22 composés ont été retrouvés dans les analyses des Radiellos® à 1,2m pour le prélèvement du 21 mai (Figure 42). On retrouve certains des composés associés à chaque PdS que l'on retrouve également avec le prélèvement des COV par cloche (Annexe 2) mais ce ne sont pas les composés les plus spécifiques à chaque plante sauf pour *O. basilicum* avec le d-Limonène. A 2,3m de hauteur, on retrouve toujours 15 de ces composés, qui sont bien distincts entre les PdS.

17 composés ont été retrouvés dans les analyses des Radiellos® pour le prélèvement du 24 juin. Il n'y a pas de distinction significative entre les PdS et on ne retrouve pas l'association de la première ACP (Figure 42) entre les composés spécifiques associés à chaque PdS. A noter que, les corps diffusifs n'ayant pas été nettoyés entre les deux prélèvements, il y a un biais pour ce second résultat.

3. Effet des COV sur l'attraction des EN

Il semble y avoir des corrélations propres à chaque PdS entre les EN et les COV. Les composés (Z)-Hex-3-en-1-ol et (Z)-Hex-3-enyl acetate semblent être corrélés avec les Coccinellidae, les Syrphidae et les Miridae pour *L. multiflorum* (Figure 41) et avec les Araneae et Opiliones, les Coccinellidae, les Miridae et les Cantharidae pour *O. basilicum* (Figure 39).

Pour *M. x piperita*, il y a une corrélation entre les Coccinellidae et les Miridae avec l' α -pinène et le I-Menthone (Figure 40). L'estragole est corrélée aux Araneae et Opiliones et aux Syrphidae pour *T. patula* (Figure 38). Enfin, l'anéthole semble être corrélée aux Syrphidae, aux Coccinellidae, aux Cantharidae et aux Miridae pour *F. vulgare* (Figure 37).

E. Suivi des PdS

1. *F. vulgare*

Les plants de *F. vulgare* se sont bien développés à partir de leur plantation. Leur taille maximale est de 76,7 cm ($\pm 1,3$). La floraison a commencé mi-mai assez discrètement avant d'augmenter rapidement. Les 50% de floraison ont été atteints le 22 mai et les 100% à la fin de la période d'observation. Toutes les ombelles ne sont pas en fleur en même temps sur un même pied.

A cause du vent, lorsque les plants grandissaient, ils avaient tendance à s'affaisser. A partir de juillet, les plants ont commencé à dépérir à cause de la rouille qui s'est développée sur toutes les placettes (Figure 43) (peut être liée à un excès d'arrosage des placettes et au mode d'irrigation par aspersion). Pour que les fenouils reprennent, ils ont été coupés et des feuilles commencent à repartir à certains endroits à la base des plants.

2. *M. x piperita*

Les plants de *M. x piperita* ont mis beaucoup de temps à s'implanter. Ils sont restés longtemps très petits et peu ramifiés. Les plants ont souffert de la chaleur et du vent au début, les feuilles sont devenues très rapidement anthocyanées. Ce n'est qu'à partir de fin mai qu'ils se sont étoffés. La hauteur maximale atteinte par les plantes est de 26,9 cm ($\pm 0,38$). Il n'y a pas eu de floraison lors de la période de suivi des colonies de puceron. Elle a commencé seulement courant juillet.

Avec les fortes chaleurs du mois d'août, les plantes ont commencé à sécher (Figure 44).

3. *O. basilicum*

O. basilicum a été la plante la plus compliquée à maintenir en vie sur le verger. Il a fallu remplacer deux fois une partie des plants en début de saison. La mort précoce de certains plants de basilics (Figure 45) était liée à une mauvaise transplantation : la plupart des mottes n'était pas suffisamment enfoncée dans le sol pour que les racines s'y développent. Comme l'arrosage n'a pas été mis en place dès le départ, un déficit en eau d'apport manuel de l'irrigation n'a pas aidé au bon développement de ces plants. Cependant, les basilics ont aussi mal réagi aux conditions météorologiques du mois d'avril puisque les

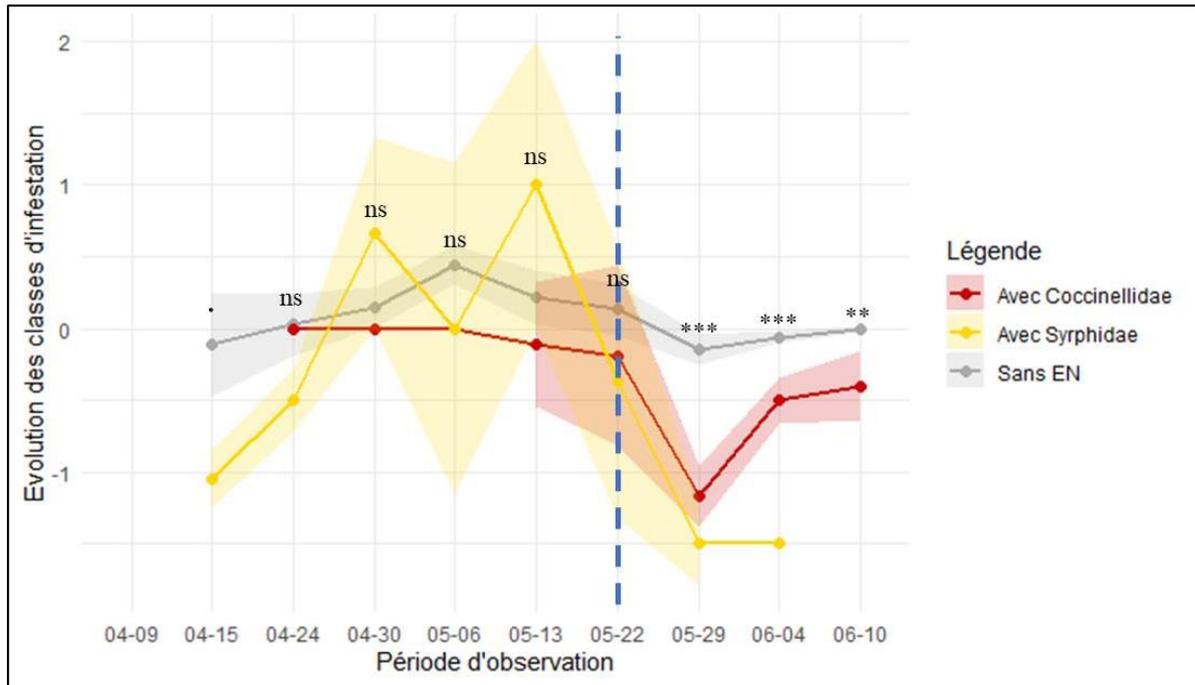


Figure 35. Valeur moyenne (avec l'erreur standard à la moyenne en ombrage) des changements des classes d'infestation de pucerons avec Syrphidae (larves et autres EN autres que Coccinellidae, 35 données) ou avec Coccinellidae (larves et adultes et autres EN autres que Syrphidae, 67 données) et sans EN (308 données) dans les colonies suivies sur la période d'observation.

Une valeur égale à 0 correspond à une absence de changement de classe entre deux dates tandis qu'une valeur supérieure ou inférieure à 0 indique un changement de classe positif (il y a plus de pucerons) ou négatif (il y a moins de pucerons) entre les deux dates. La présence ou l'absence d'EN a toujours été prise en compte par rapport à la première des deux dates étudiées (t-1). Il en est de même pour la présence de *Coccinellidae* et celle de *Syrphidae*. Les astérisques indiquent les différences significatives entre les deux traitements pour chaque date selon le test de Mann-Whitney pour les comparaisons deux à deux (15 avril et 06 juin) et selon le test de Kruskal-Wallis pour trois comparaisons (les autres dates) [(ns): p-value > 0,1, (ns(·)), 0,1 < p-value < 0,05, (*) : p-value < 0,05, (**): p-value < 0,01, (***) : p-value < 0,001]. Le trait bleu en pointillé représente le pic d'infestation de *D. plantaginea*, moment où le plus de pucerons ont été comptés dans toutes les colonies suivies.

nouveaux plants qui ont été bien plantés et bien arrosés n'ont pas survécu. Toutefois, passé cet épisode compliqué, tous les plants qui avaient auparavant survécu jusque-là et les derniers plants replantés se sont bien développés tout au long de la saison, à partir de mai. Passé mai, les plantes ont commencé à grandir atteignant la hauteur moyenne par placette de 21,9 cm ($\pm 0,36$). La floraison est très discrète avec seulement quelques fleurs par plant. Les 50% de floraison ont été atteints le 06 juin. Les plants de basilic sont toujours en bonne santé à la mi-août.

4. *T. patula*

Au moment de la plantation, les feuilles des plants de *T. patula* ont pris une couleur anthocyane, mais, avec la croissance de la plante, les feuilles ont repris une couleur verte assez rapidement. Les plants de *T. patula* se sont développés le plus rapidement. La floraison est arrivée tôt dans la saison avec 50% de floraison en moyenne sur les placettes dès fin avril. La floraison est très uniforme entre les plants. La hauteur moyenne en fin de période d'observation est de 69,8 cm ($\pm 1,13$) par placette. Cette hauteur a encore augmenté courant juillet avec les plants qui mesuraient environ 120 cm et atteignaient ainsi les feuilles de pommier.

Les plantes étaient en bonne santé jusqu'à début août avant de se dessécher totalement (Figure 46). Il y a toujours des feuilles vertes, la plante peut reprendre vie avec un bon arrosage.

5. *L. multiflorum*

L. multiflorum s'est très bien développé au cours de la saison. Les plants ont rapidement recouvert les placettes et ils sont devenus très grands avec une hauteur moyenne de 92,3 cm ($\pm 1,03$) en fin de période d'observation. La floraison a commencé à partir du 22 mai. *L. multiflorum* devant nous servir de plante témoin, il a été décidé de couper les fleurs. Cependant, la floraison a été telle que, même après le taillage, d'autres fleurs sont de suite apparues la semaine suivante.

Fin mai, les plantes ont commencé à développer de la rouille (Figure 47).

De manière générale, aucune modalité n'a subi l'impact de ravageurs autre que les escargots et les limaces qui ont pu être gérés grâce au Ferramol®.

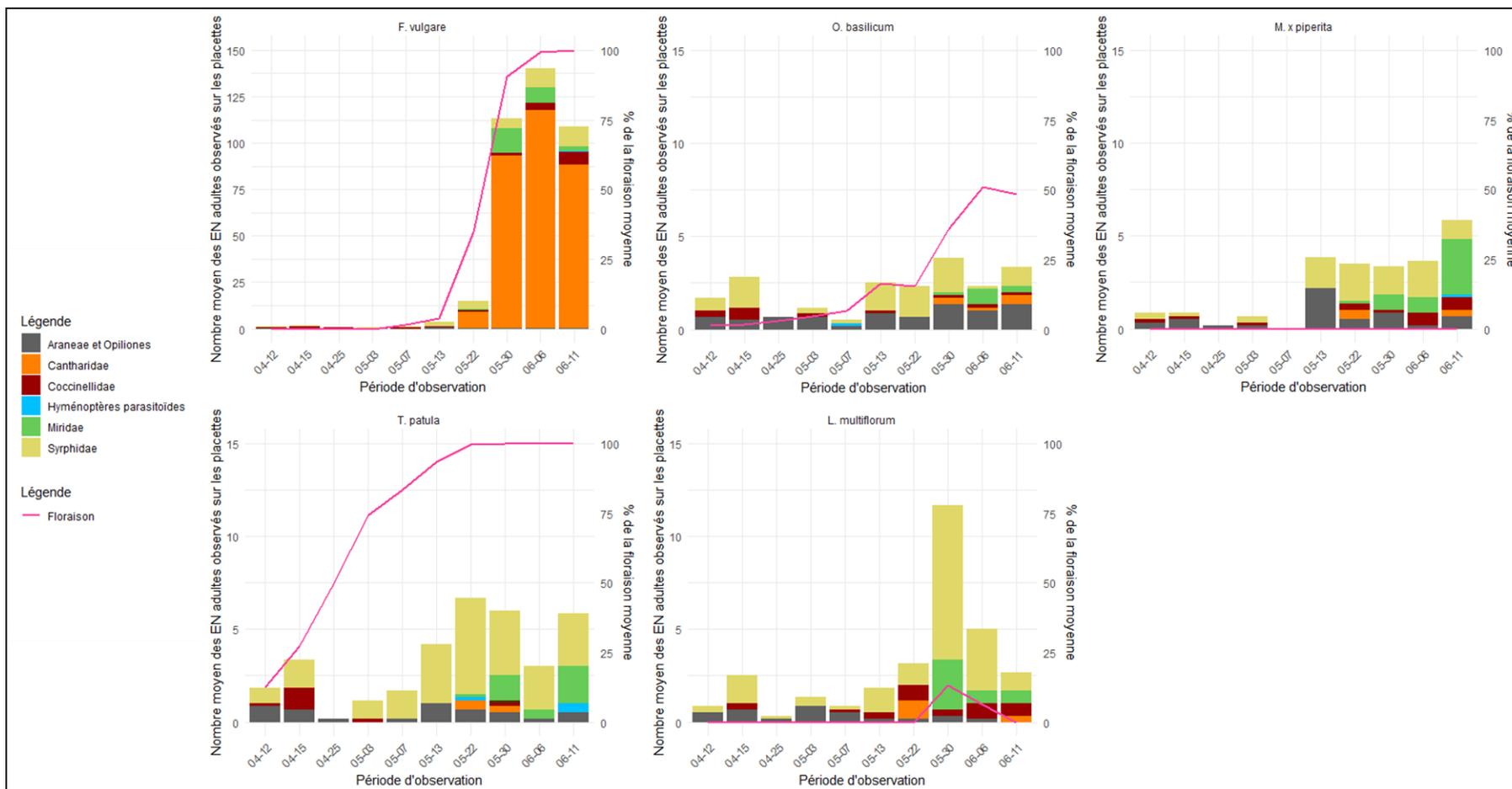


Figure 36. Abondance des EN adultes comptés sur les PdS (3min d'observation aérienne) (histogramme empilé) et dynamique d'évolution de la floraison moyenne par placette (courbe rose) en fonction de la PdS sur toute la période d'observation.

Il y a un facteur 10 entre l'échelle du nombre moyen des EN adultes observés sur les placettes de *F. vulgare* par rapport aux autres modalités dû à la forte présence de Cantharidae.

IV. Discussion

A. Effet de l'introduction de PdS en verger sur les infestations de pucerons

Un des objectifs de cette expérimentation était de déterminer s'il y avait un impact de la présence des PdS sur l'infestation par *D. plantaginea* de pommiers Ariane. Les résultats montrent qu'il n'est pas possible de conclure sur un impact plus important d'une PdS par rapport à une autre sur l'infestation. Cette conclusion ne peut pas être faite notamment car il y a eu très peu d'infestations de pucerons et une trop grande disparité entre chaque bloc pour chaque modalité. Les profils d'évolution du nombre de pucerons sont également bien différents au sein d'une même modalité. De cette forte hétérogénéité en résulte que *L. multiflorum*, qui devait être notre plante témoin, se retrouve être la modalité avec le moins de colonies observées.

Plusieurs hypothèses peuvent être faites pour expliquer ce résultat.

Tout d'abord, Hemptinne et al., 2003, suggèrent que la pullulation des pucerons suit un cycle et qu'il n'y aurait de forte pullulation que tous les 5 à 6 ans. Nous sommes donc peut être dans une année de creux.

Ensuite, plusieurs facteurs propres au verger étudié ont pu avoir un impact sur la présence de *D. plantaginea* au printemps. En effet, comme il s'agit d'un jeune verger, afin de limiter les dégâts causés par les pucerons et favoriser une bonne croissance des arbres, trois traitements aphicides ont été réalisés en hiver ce qui a pu avoir un impact non négligeable sur la présence des fondatrices au printemps. Cependant, il y a eu moins de traitement que ce qui est habituellement réalisé dans les vergers de production (Duval-Chaboussou et al., 2022) : il n'y a eu, ni de traitements à l'automne précédent, lors du vol retour des pucerons, ni de traitements pré-floral ou post floral en 2024.

L'état des arbres à l'automne a pu également impacter le vol retour des pucerons. Sur le verger étudié, nous avons observé une hétérogénéité au niveau du développement des arbres au sein des blocs. Certains arbres n'ont qu'un axe, d'autres sont morts, ou peupoussants dont certains atteints par la zeuzère. Même si le choix des arbres pour les placettes a été fait pour réduire cette hétérogénéité par le choix de placettes de trois arbres biaxes successifs, à l'échelle du verger entier, l'hétérogénéité entre les arbres a pu avoir un impact sur le vol retour des pucerons. Enfin, une troisième hypothèse qui peut être avancée est que la structure globale du verger a influencé la dispersion des pucerons. Le verger étant plurispécifique, la présence de pêchers a pu servir de leurres pour *D. plantaginea*, les pucerons migrants repérant leur plante hôte via les odeurs (Webster, 2012 ; Finch et Collier, 2000) et l'aspect visuel des plantes (Kennedy et al., 1961). De plus, l'alternance de pommier de la variété Akane avec les rangs de pommiers Ariane a pu limiter le vol retour. La présence des haies de cyprès a une influence sur les flux du vent ce qui a indirectement un impact sur la dispersion des pucerons. Comme la haie au nord de la parcelle n'est pas homogène, ceci a pu entraîner des différences de migration de pucerons selon les blocs (si celle-ci a pu laisser passer plus de vent au niveau du bloc 2, ce qui expliquerait qu'il y a eu moins de pucerons dans le bloc 2 par rapport aux autres blocs). Enfin les conditions climatiques ont également joué un rôle aussi bien au niveau du vol d'automne, du développement des colonies et également du développement précoce des EN au printemps ce qui a favorisé le contrôle des pucerons.

Tout cela ne sont que des hypothèses pour le cas de cette expérimentation qui pourront être approfondies en étudiant plus précisément le vol retour des pucerons cet automne, et le développement des colonies au printemps prochain, et en essayant de corréliser le choix des pucerons avec le développement végétatif des arbres ou la présence de PdS dans les placettes. A noter que, malgré des recherches autour de la migration des pucerons, la compréhension des principes écologiques qui régissent ce phénomène restent à être explicités (Döring, 2014).

B. Effet des PdS sur la présence d'EN

La présence d'EN dans les colonies a été relativement la même entre les différentes modalités testées ce

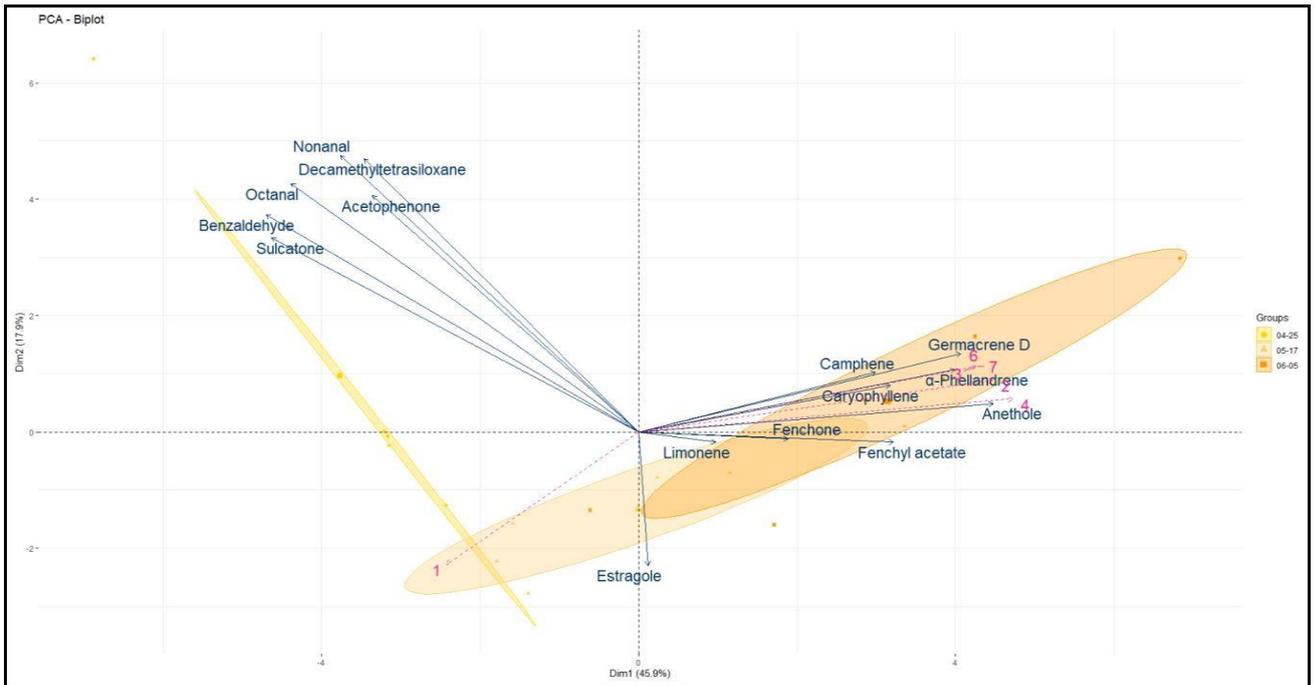


Figure 37. **Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *F. vulgare* à chaque date de prélèvement.** Les 15 molécules qui sont le plus représentées par l'ACP sont représentées (flèches pleines). Les variables supplémentaires (flèches en pointillés) sont les EN retrouvés lors des observations aériennes ((1) *Araneae* et *Opiliones*, (2) *Coccinellidae*, (3) *Forficulidae*, (4) *Syrphidae*, (6) *Miridae*, (7) *Cantharidae*). Les ellipses sont centrées réduites sur la moyenne.
P-value = 0,001

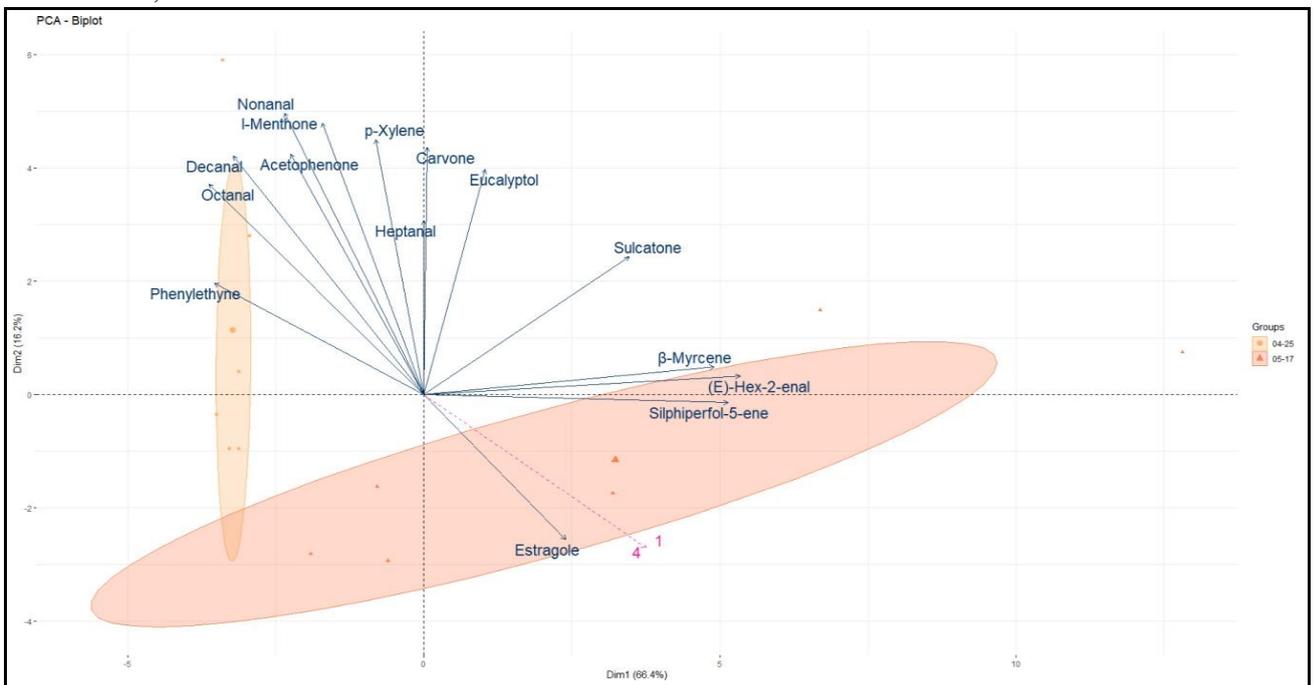


Figure 38. **Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *T. patula* à chaque date de prélèvement.** Les 15 molécules qui sont le plus représentées par l'ACP sont représentées (flèches pleines). Les variables supplémentaires (flèches en pointillés) sont les EN retrouvés lors des observations aériennes ((1) *Araneae* et *Opiliones*, (4) *Syrphidae*). Les ellipses sont centrées réduites sur la moyenne.
P-value = 0,002

qui a engendré une régulation des pucerons similaires. Les larves de Syrphidae sont arrivées les premières dans les colonies, avec deux semaines d'avance sur les Coccinellidae (larves et adultes). Les prédateurs généralistes comme les Miridae et les Cantharidae sont arrivés fin mai et étaient peu nombreux dans les colonies. Les Forficulidae étaient les derniers EN à être observés dans les colonies, lors de la fin de l'infestation par *D. plantaginea* et, eux aussi, ont été très peu présents. Peu d'Araneae ont été retrouvées dans les colonies mais elles ont été présentes pendant toute la saison. La dynamique d'évolution des EN dans les colonies reflète ce qui a déjà été mis en avant dans études (Dib, 2010 ; Minarro et al., 2005). En revanche, si dans la plupart des études il est démontré que la présence des EN ne permettent pas de limiter l'infestation des pucerons (Laffon et al., 2023 ; Dib, 2010), des résultats un peu différents ont été obtenus lors de cette expérimentation. En effet, même si la croissance exponentielle de *D. plantaginea* a bien été observée dans la plupart des colonies, l'absence des pucerons dans les colonies à la fin du mois de mai est le fait des EN. Au début de la saison, il y a eu une baisse de la population de pucerons pour les modalités *L. multiflorum*, *O. basilicum* et *T. patula* qui était liée à la présence de larves de Syrphidae qui étaient plus présentes dans ces modalités au départ que pour les modalités *F. vulgare* et *M. x piperita* où cette diminution n'a pas été observée. La présence des larves de Syrphidae a ainsi ralenti la croissance de la population au départ. De plus, même si les Coccinellidae sont arrivées plus tard, il semblerait que leur présence soit la cause de la décroissance du nombre de pucerons après le pic d'infestation du 22 mai. En une semaine, le nombre de pucerons observés a drastiquement chuté et la plupart des colonies ont disparu et cela fait suite au comptage le plus élevé de larves de Coccinellidae dans les colonies suivies la semaine précédente. Il a été démontré que leur présence a permis une diminution plus importante qu'en absence d'EN (Figure 35).

Toutefois, même si l'on a retrouvé des résidus de pucerons dans les colonies vides passées le pic d'infestation qui sont la preuve de la présence des EN, la disparition des colonies a été trop rapide pour être sûr que tous les pucerons ont disparus grâce aux EN. À noter par ailleurs qu'il n'y avait pas d'EN dans toutes les colonies et pourtant, ces colonies ont aussi disparu. Cette disparition peut également être le fait de la migration des pucerons vers leur hôte secondaire. En une semaine, des morphes ailés ont pu apparaître pour migrer sans qu'ils aient été observés lors des relevés hebdomadaires. Une observation supplémentaire dans la semaine lors du pic d'infestation aurait peut-être permis de voir les pucerons ailés avant la migration. Il est fort probable que la migration ait joué un rôle dans la disparition des pucerons dans les colonies suivies d'autant plus que des pucerons ailés ont été observés tout le mois de mai et notamment autour de la période du 22 mai dans les vergers de la basse Durance, vergers de producteurs situés proches d'Avignon [22].

Des disparités entre les PdS sur la présence des EN dans les colonies sont tout de même à notifier avec une présence de parasitisme et de prédateurs généralistes plus importante dans les colonies associées à *O. basilicum* et plus de larves de Syrphidae observées dans les colonies associées à *T. patula*. Cependant, aucun lien n'a été fait entre la présence de ces EN dans les colonies et la plante en elle-même.

Très peu d'hyménoptères parasitoïdes ont été observés sur *O. basilicum*. Pourtant, *O. basilicum* produit des COV qui ont un effet sur les hyménoptères parasitoïdes de la famille des Braconidae comme le (Z)-Hex-3-enyl acetate, le d-Sabinene et l' α -Pinène (Uefune et al., 2013). Ces composés pourraient également attirer d'autres EN ; en effet la figure 39 montre une proximité entre l'émission du (Z)-Hex-3-enyl acetate, et la présence d'Araneae, d'Opiliones, de Coccinellidae ou de Cantharidae.

La présence de différentes formes de pucerons momifiés, noirs et dorés, permet d'estimer qu'il y a au moins deux espèces différentes d'hyménoptères parasitoïdes qui ont joué un rôle dans le parasitisme de *D. plantaginea* (El-Heneidy et Aldy, 2009).

De même, malgré une présence plus forte des Syrphidae sur *F. vulgare*, il n'y avait presque pas de larves de Syrphidae dans les colonies associées à cette PdS. Pareillement, une abondance plus forte de Coccinellidae sur *F. vulgare*, qui présente une forte attractivité pour ces prédateurs du fait de leur couleur jaune (Adedipe et Park, 2010) et que les plantes de la famille des Apiaceae sont attractives pour les Coccinellidae (Losey et al., 2022 ; Kopta et al., 2012), n'a pas permis d'avoir une régulation des pucerons plus importante au sein des colonies. De manière générale, malgré l'abondance d'EN sur *F.*

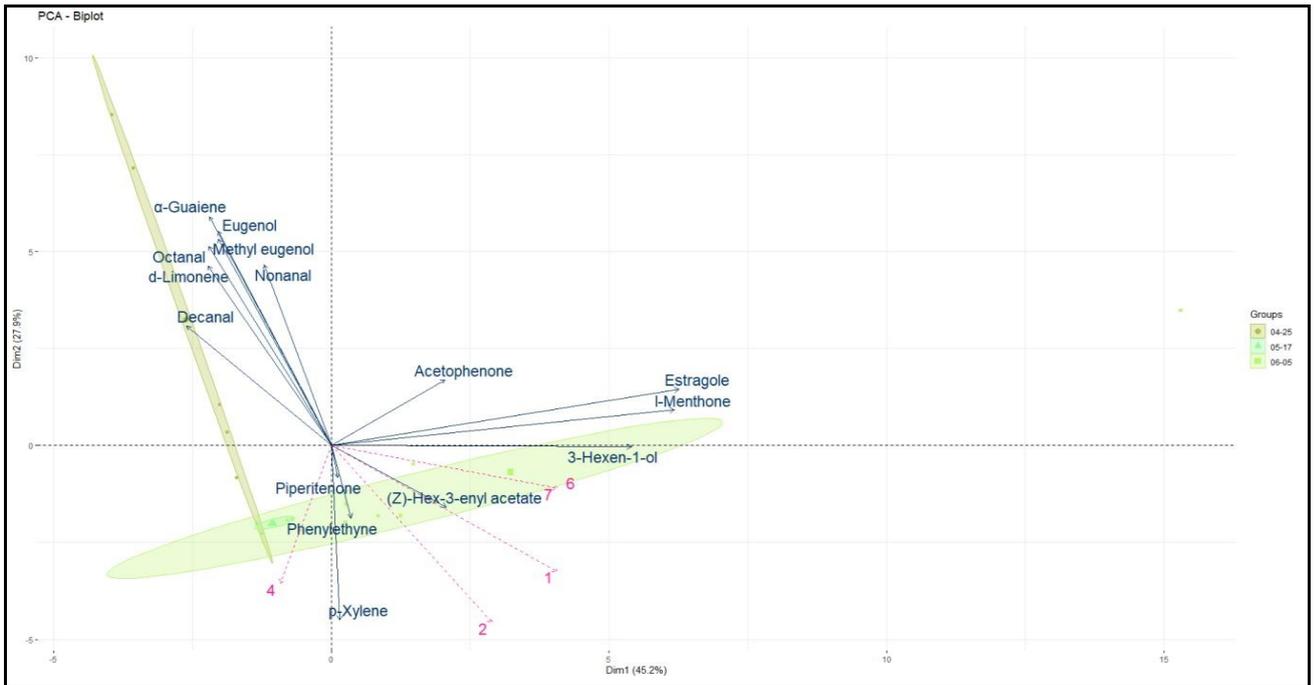


Figure 39. Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV d'*O. basilicum* à chaque date de prélèvement. Les 15 molécules qui sont le plus représentées par l'ACP sont représentées (flèches pleines). Les variables supplémentaires (flèches en pointillés) sont les EN retrouvés lors des observations aériennes ((1) Araneae et Opiliones, (2) Coccinellidae, (4) Syrphidae, (6) Miridae, (7) Cantharidae). Les ellipses sont centrées réduites sur la moyenne. P-value = 0,001

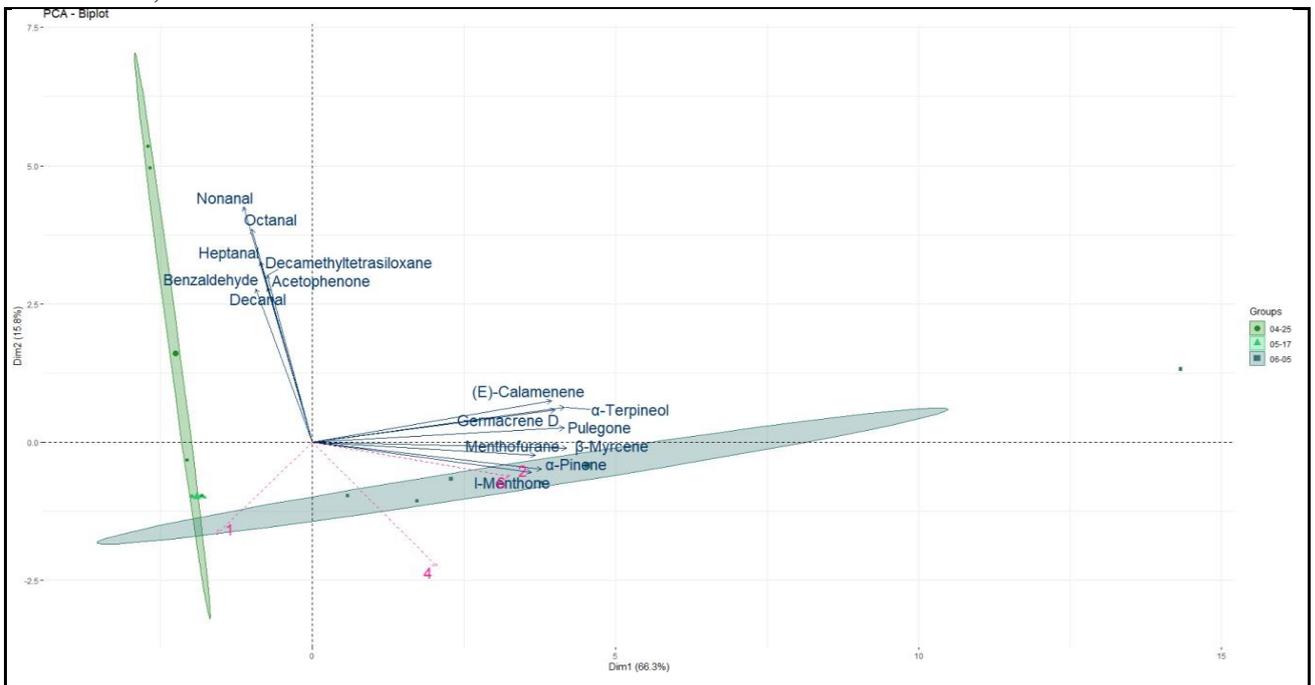


Figure 40. Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *M. x piperita* à chaque date de prélèvement. Les 15 molécules qui sont le plus représentées par l'ACP sont représentées (flèches pleines). Les variables supplémentaires (flèches en pointillés) sont les EN retrouvés lors des observations aériennes ((1) Araneae et Opiliones, (2) Coccinellidae, (4) Syrphidae, (6) Miridae, (7) Cantharidae). Les ellipses sont centrées réduites sur la moyenne. P-value = 0,001

vulgare significativement plus importante que sur toutes les autres PdS, cela n'a pas eu d'effet sur la régulation des pucerons. *F. vulgare* a pu jouer ici un rôle de plante banque en fournissant aux EN à la fois du nectar pour les EN nectarifères (Syrphidae, Cantharidae et hyménoptères parasitoïdes) et d'autres petits insectes pour les EN omnivores comme les Coccinellidae, quelques pucerons ayant été observés sur les plants.

Concernant la présence plus abondante des Syrphidae dans les colonies associées à *T. patula*, cela peut être expliqué par la floraison plus précoce de *T. patula* par rapport à celle de *F. vulgare* qui, de ce fait, a permis une présence précoce des adultes. La faible observation de Syrphidae sur cette PdS peut également être expliquée par l'abondance de pollinisateurs de type *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) qui peuvent faire concurrence aux autres insectes. Une expérimentation a montré que *T. patula* avait un faible pouvoir attractif pour les Syrphidae et Coccinellidae (Kopta et al., 2012). Toutefois, il n'y a pas eu de différence significative entre les modalités *T. patula* et *L. multiflorum* concernant le nombre de Syrphidae dans les colonies, et pourtant, *L. multiflorum* n'était pas en fleur au tout début de la saison. Il y a également eu plus de larves de Syrphidae dans les colonies associées à *M. x piperita* mais cette fois-ci lors du deuxième pic de puceron le 22 mai. Cependant presque aucun Syrphidae n'a été recensé sur les placettes de *M. x piperita* certainement dû à l'absence de floraison.

En revanche, plus de prédateurs généralistes, dont les Araneae, ont été observés dans les colonies associées à *O. basilicum* et il y a eu une abondance plus forte d'Araneae et d'Opiliones sur les plants de cette PdS. Il y a pareillement eu plus d'Araneae et d'Opiliones sur les placettes de *M. x piperita* que sur les placettes de *F. vulgare*, *T. patula* et *L. multiflorum*. La structure plus basse et dense de *O. basilicum* et *M. x piperita*, peut être la raison de ces observations. On peut également avancer l'hypothèse que moins d'Araneae et d'Opiliones ont été observés sur les trois autres PdS, car, de par le volume des plants et leur floraison, il y avait moins de visibilité au sol et l'œil des observateurices était plus attiré par les fleurs lors des observations aériennes, alors que les Araneae et Opiliones se trouvent principalement dans le feuillage ou au sol.

Les observations uniquement visuelles et hebdomadaires ne sont certainement pas suffisantes pour percevoir les différents niveaux de prédation du puceron dans les colonies. Des informations nous échappent certainement notamment sur les transferts qui peuvent être opérés entre les EN observés sur les PdS et la prédation effective dans les colonies ce qui rend la discrimination entre les PdS compliquée. Pour les hyménoptères parasitoïdes dont la présence a été très discrète, il serait nécessaire de mettre en place un protocole différent pour les observer correctement comprendre quelle(s) espèce(s) ont joué un rôle dans le parasitisme de *D. plantaginea* sur le verger. Un prélèvement grâce à un filet au-dessus des PdS serait envisageable (Laffon, 2024). Un autre protocole devrait également être mis en place pour estimer l'impact des Araneae sur la prédation de *D. plantaginea*. Lefebvre (2022) a réussi à évaluer la prédation de différentes Aranea grâce à l'analyse de leur contenu stomacaux par PCR.

C. Effet des COV sur les pucerons

Deux systèmes de captation de COV ont été mis en place lors de cette étude. Un système de captation à l'aide de cloche placée sur une PdS, a permis de suivre l'évolution des COV émis au cours de la saison et les modifications induites lors de la floraison. Le deuxième système, les dispositifs Radiellos®, est encore en développement pour caractériser les COV à différents niveaux dans le verger.

Le premier système a permis de faire des hypothèses entre les COV émis et l'abondance des EN qui devront être confirmés lors d'une deuxième année d'expérimentation. Des problèmes techniques n'ont pas permis de confirmer l'intérêt des Radiellos® pour caractériser le paysage olfactif dans le verger. Nous n'avons pas pu réaliser autant de tests que cela avait été initialement prévu.

Le faible taux d'infestation par les pucerons incite à analyser prudemment les données récoltées. On peut supposer que les COV émis par les PdS n'ont pas eu d'impact sur le développement de *D. plantaginea*. Lors des prélèvements avec les cloches directement sur les plantes, on retrouve des composés dans plusieurs PdS qui ont été précédemment décrits comme ayant un effet sur les pucerons. On retrouve ainsi le E-β-Farnésène (Dardouri et al., 2019), phéromone d'alerte des pucerons, produits

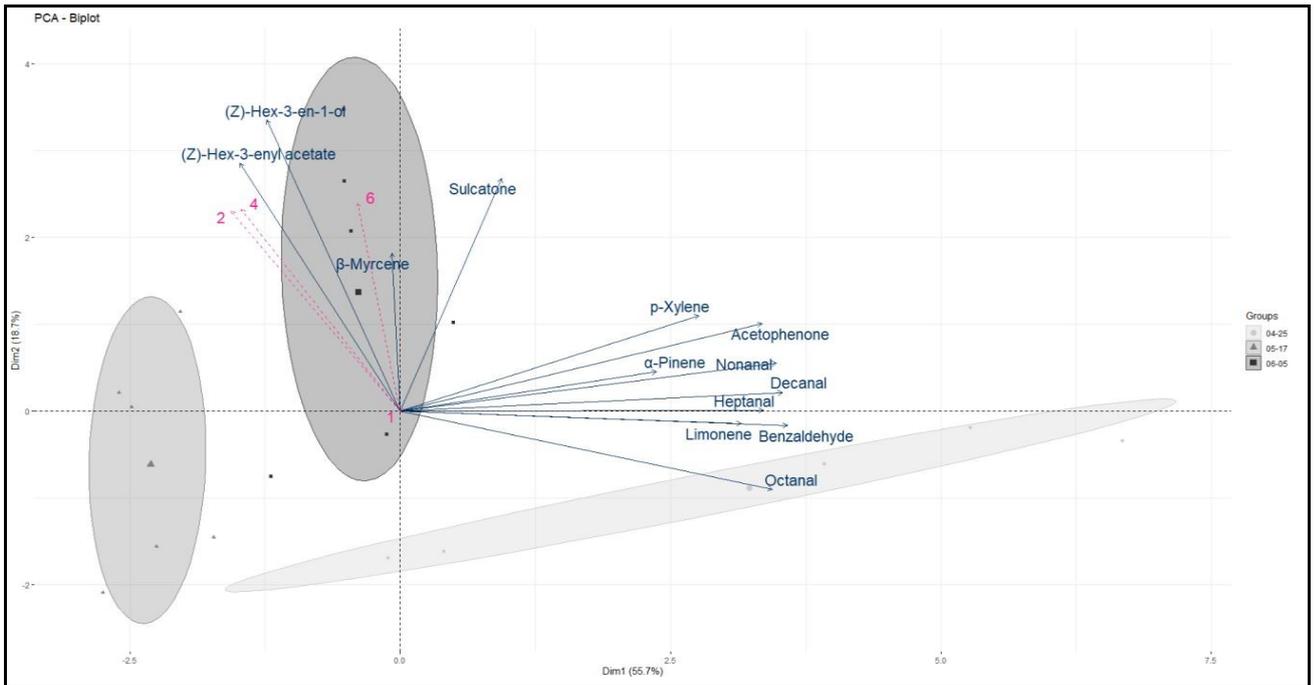


Figure 41. **Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV de *L. multiflorum* à chaque date de prélèvement.** Toutes les molécules sont représentées (flèches pleines). Les variables supplémentaires (flèches en pointillés) sont les EN retrouvés lors des observations aériennes ((2) Coccinellidae, (4) Syrphidae, (6) Miridae). Les ellipses sont centrées réduites sur la moyenne. P-value = 0,01

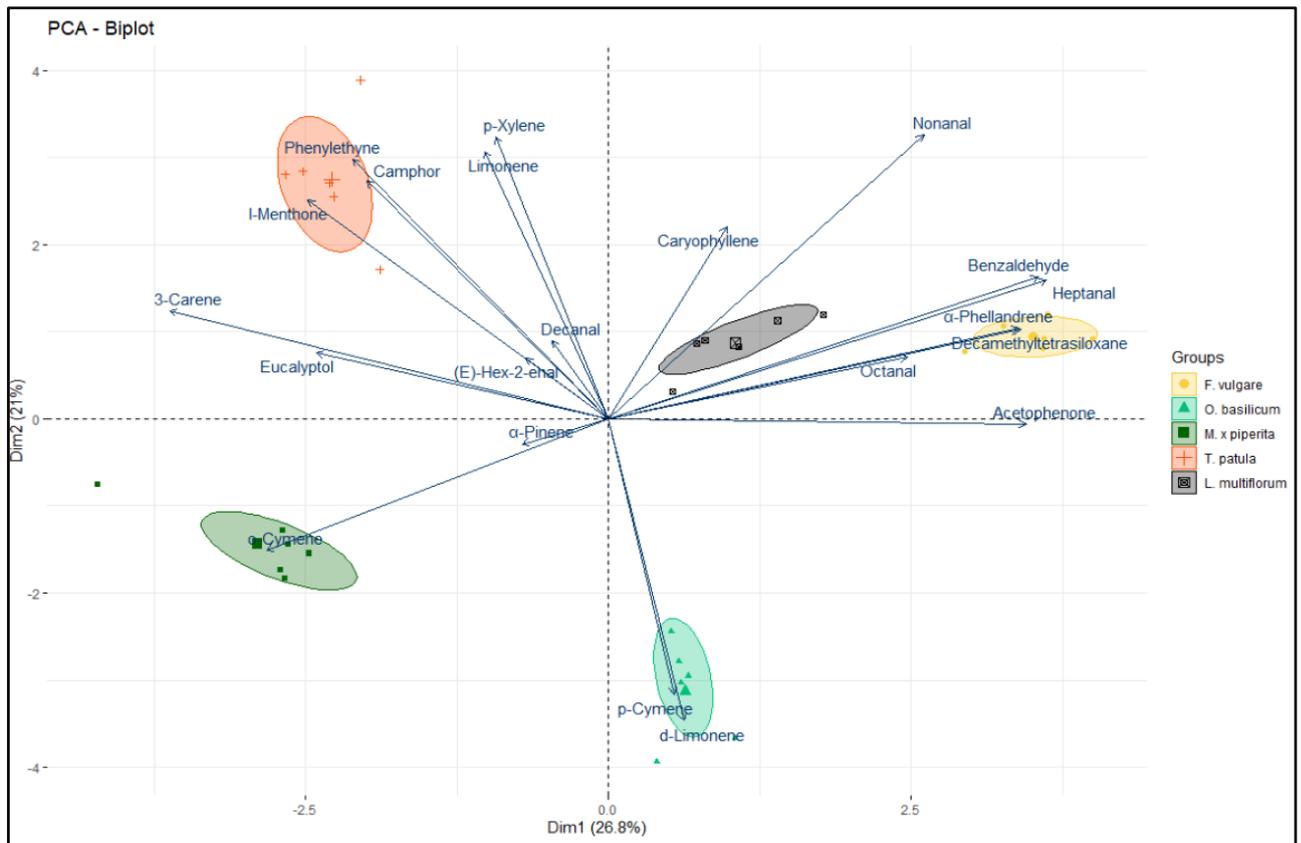


Figure 42. **Analyse en Composantes Principales (ACP) des profils de COV des Radiellos accrochés à 1,20m du sol en fonction des PdS pour le prélèvement du 21 mai.** Les ellipses sont centrées réduites sur la moyenne. P-value = 0,001

par toutes les PdS sauf *L. multiflorum*, l'anéthole (Taglienti et al., 2023) pour *F. vulgare*, l'eugénol chez *O. basilicum* (Dardouri et al., 2019) ou encore le myrcène (Dardouri et al., 2019) produits par toutes les PdS (liste non-exhaustive). Ces composés n'ont pas été retrouvés avec les Radiellos® à 1,20m.

Cette première année de test de Radiellos® en verger de pommier n'a pas été concluante. Avec le premier prélèvement, des composés spécifiques aux PdS ont été retrouvés mais aucun composé ayant un effet sur le développement des pucerons n'a été détecté. Le deuxième relevé avec les Radiellos® aurait pu permettre d'obtenir d'autres résultats grâce à des conditions météorologiques plus favorables avec une absence de Mistral et une chaleur plus importante. De plus, les plants *T. patula* et *F. vulgare* étaient très proches des Radiellos® ce qui aurait pu apporter des informations sur la diffusion des COV d'intérêts dans la lutte contre *D. plantaginea*. Malheureusement, à cause d'une erreur technique, les corps diffusifs n'ont pas été nettoyés, il n'y a pas de résultats exploitables. Une mise au point du protocole de captation est encore nécessaire pour définir les durées d'exposition et il faudra multiplier les prélèvements pour savoir si ce système permet ou non de caractériser le paysage olfactif au niveau des colonies de pucerons. Il faut toutefois rappeler que, même si des COV dont leur effet sur les pucerons a été démontré, avaient été retrouvés à 1,20m de hauteur avec les Radiellos®, cela n'aurait pas signifié que ces composés ont eu un effet sur les pucerons. En effet, les tests permettant de montrer l'efficacité de tel ou tel COV, ont souvent été réalisés à partir d'huile essentielle de la plante ou directement avec le composé pur. Mais il a été démontré que l'effet d'un COV isolé n'est pas le même lorsqu'il est mélangé avec d'autres COV (Webster et al., 2010). De plus, les tests ont souvent été réalisés avec d'autres pucerons que *D. plantaginea*. Il manque donc des informations ciblées pour ce puceron.

Ainsi, cette expérimentation montre que les COV qui ont un impact sur les pucerons n'atteignent pas les colonies ce qui peut être dû à la dégradation plus rapide de ces molécules dans l'air par rapport à d'autres. Pourtant, on ne peut pas non plus conclure sur une absence totale d'effet des COV émis par les PdS. Pour cela, il aurait fallu utiliser des clip-cage, des cages d'exclusions, pour certaines colonies, afin de voir comment ces colonies auraient évolué par rapport aux colonies qui peuvent être exposées à la présence d'EN.

D. Evolution et gestion des PdS

Les cinq plantes testées présentent des caractéristiques bien différentes les unes des autres ce qui permet d'avoir différents critères sur lesquelles se baser afin d'estimer la pertinence du choix des plantes pour cette expérimentation.

Tout d'abord, l'implantation en avril des plants a permis de constater qu'il y a une différence d'adaptabilité des plantes.

Certaines plantes se sont mieux adaptées aux conditions climatiques comme *T. patula*, *F. vulgare* et *L. multiflorum*. *O. basilicum* et *M. x piperita* ont pris beaucoup de temps pour s'installer et se développer proprement. Les feuilles qui sont devenues très vite anthocyanées chez *M. x piperita* représentent bien le stress subi par les plantes (Hatier et Gould, 2008), certainement dû à la forte exposition à la lumière et au manque d'eau. Si le même phénomène a été observé sur les plants de *T. patula*, cela n'a pas semblé impacter son développement, contrairement à *M. x piperita* dont les plants ont mis plusieurs semaines avant de croître.

Il est connu que les plants de *O. basilicum* sont sensibles aux températures froides (Akbari et al., 2018). Les changements de températures durant le mois d'avril et de mai, couplés à une mauvaise implantation et un défaut d'arrosage pour certains plants, peuvent alors expliquer la mort successive de nombreux plants en début de saison.

Ensuite, le type de floraison et le moment de la floraison ne sont pas les mêmes entre les différentes PdS. Rappelons que *T. patula* a une floraison précoce et très importante jusqu'en août, *F. vulgare* fleurit plus tardivement mais sa floraison devient vite exponentielle, *L. multiflorum* fleurit fin mai et sa floraison est très forte, *O. basilicum* a une floraison très peu voyante à partir de mai et tout au long de la saison et *M.*



Figure 43. **Rouille sur *F. vulgare*** (Victorine Kienlen)



Figure 44. ***M. x piperita* desséchée** (Victorine Kienlen)



Figure 45. **Plants de *O. basilicum* après la plantation d'avril** (Victorine Kienlen)



Figure 46. **Plants de *T. patula* desséchés** (Victorine Kienlen)



Figure 47. **Rouille sur *L. multiflorum*** (Victorine Kienlen)

x piperita ne fleurit qu'à partir de juillet.

De par leur floraison, ces différentes PdS ont un potentiel attractif d'EN du puceron différent. *F. vulgare* attire ainsi beaucoup d'EN de par ses ombelles et sa couleur jaune tandis que *T. patula* va plutôt attirer des pollinisateurs qui ne participent pas à la régulation des pucerons. L'espèce de *Lolium* choisie pour être le témoin de cette expérimentation n'est finalement pas neutre par rapport aux EN car sa floraison est également attractive. En effet, au début de leur floraison, le nombre de Syrphidae a augmenté et ce nombre a diminué lorsque les fleurs ont été coupées. Ceci pourrait être lié à l'émission du (Z)-Hex-3-en-1-ol qui semble assez corrélé avec l'abondance de Syrphidae (Figure 14). La floraison blanche de *O. basilicum* très discrète et la forme des fleurs plus renfermées ne permettent pas d'attirer les EN volants ciblés. Enfin, l'absence de floraison jusqu'à juillet de *M. x piperita* ne rend pas cette plante très attractive pour les EN du puceron.

Concernant la durabilité des plantes dans le temps, force est de constater que la survie des PdS tout au long de la saison a été fortement impactée par des problèmes de mauvaise gestion lors de l'implantation et du suivi de l'irrigation des plantes qui avaient été confiées à l'UE. Les consignes de durée et fréquence d'arrosage qui avaient été données n'ont pas été respectées.

Deux plantes ont souffert de la rouille : *L. multiflorum* et *F. vulgare*. Cela est dû à des excès d'arrosage. En grandissant les plantes sont devenues hautes et touffues, laissant ainsi peu de place entre chaque plant. De plus la bâche n'étant pas assez tendue et suivant les aspérités du sol, l'eau a pu stagner. La bâche n'étant trouée qu'aux endroits où les plants ont été disposés, il y a peu d'ouvertures pour que l'eau s'infilte dans le sol. Le problème de la rouille sur *L. multiflorum* a pu être réglé en coupant les feuilles qui trempaient dans l'eau et fin août, les plants sont en train de repartir. Les plants de *F. vulgare* ont été coupés totalement pour permettre la repousse des plants à partir de la base.

Ensuite, toujours à cause de l'irrigation, les plants de *M. x piperita* ont commencé à se dessécher avec la chaleur. L'apport d'eau qui devait initialement être réalisé au pied des plantes par goutte à goutte a été finalement réalisé à l'aide d'asperseurs qui ne distribuaient pas l'eau de façon homogène, lorsqu'ils étaient coincés dans la végétation ou bouchés, ce qui a entraîné une mauvaise répartition de l'eau sur les placettes. Pour *T. patula*, sa densité a été telle, que l'aspersion se trouvait au niveau des tiges et des feuilles et il y avait donc une très mauvaise dispersion de l'eau sur la placette entière ce qui a entraîné leur dessèchement début août. Il y a également eu un problème lors de l'entretien du verger par l'UE qui, en passant l'intercept rotatif, ont arrachés en août certains plants de *T. patula*. Des feuilles vertes sont toujours observées montrant qu'une meilleure irrigation aurait sans doute permis leur survie sur un plus long terme.

Malgré une implantation compliquée, les plants de *O. basilicum* sont les seuls à ne pas avoir présenté de problème jusqu'à fin août. Un léger dessèchement est observé pour certains plants. Cette étude a montré la nécessité d'assurer un bon suivi de l'implantation et de la gestion des PdS pour permettre leur développement et leur maintien dans le verger, au moment du développement des colonies au printemps mais également pour perturber le vol retour des pucerons à l'automne.

E. Choix des PdS

En l'état des résultats autour des COV, il est difficile de discriminer une plante par rapport à une autre sur ce critère. Toutes les PdS mis à part *L. multiflorum* produisent du E- β -Farnésène ainsi que d'autres composés répulsifs pour les pucerons. De plus, de plus amples recherches doivent être menées pour établir un lien les COV émis et l'attractivité pour les EN. Il faudrait renouveler cette étude pour confirmer les hypothèses sur le rôle de certains COV. *L. multiflorum* semble être moins intéressant en termes d'émission de COV, ce qui est normal, car la plante a été choisie justement pour cette caractéristique afin de servir de témoin. Les travaux de Laffon (2024) ont montré par ailleurs, l'importance des caractéristiques physiques tels que la couleur ou la taille des plantes et leur période de floraison dans le choix des PdS qui pourront attirer les EN.

Au printemps, au vu de leur développement, les PdS les plus prometteuses sont alors *F. vulgare* et *T. patula*. De plus, avec une irrigation bien maîtrisée qui permettrait leur survie jusqu'à l'automne, ces deux plantes présentent des traits avantageux également pour le vol retour des pucerons. Leur taille qui les font arriver à hauteur des premières colonies de pucerons peuvent participer à une confusion visuelle dans le paysage.

Malgré son potentiel attractif pour les EN et sa résilience, *L. multiflorum* ne produit pas de COV intéressants directement dans la lutte contre les pucerons. De plus, c'est une plante qui a tendance à être un peu invasive ce qui n'est pas l'idéal dans un verger. Une autre plante telle que *Festuca* qui pousse moins vite mais résiste bien à des irrigations irrégulières (Huang et Gao, 1999) pourraient être intéressante à tester comme témoin. Elle est souvent utilisée comme plante pour couvrir les inter rangs en verger et a montré un effet intéressant dans la compétition avec les autres adventices (Linczar-Malanczuk, 2015).

O. basilicum et la *M. x piperita* ne se sont pas développées suffisamment vite au printemps pour pouvoir avoir un effet notable sur les pucerons. En revanche, les plants ayant survécu tout l'été (une irrigation renforcée pour *M. x piperita* peut permettre le maintien des plants actuels en vie), il est possible d'étudier leurs effets à l'automne, lors du vol retour des pucerons.

F. Perspectives de cette expérimentation : que faut-il améliorer ?

Tout d'abord, un changement au niveau du choix des plantes testées peut être réalisé.

O. basilicum et *M. x piperita* sont trop sensibles sur la période printanière pour obtenir des résultats intéressants. Cependant, concernant *O. basilicum* il pourrait tout de même être pertinent de reconduire le test sur cette plante. La mort prématurée de beaucoup de plants est surtout due à une mauvaise plantation et une mauvaise irrigation qui sont des facteurs humains qui peuvent être corrigés. Les plants qui ne sont pas morts au départ et qui étaient les mieux plantés ont très bien résisté pendant toute la saison et jusqu'en août. De plus, il y a peut-être une piste intéressante à suivre sur le parasitisme lié à la présence d'*O. basilicum*.

Se focaliser sur *T. patula* et *F. vulgare* semble intéressant. Pour *F. vulgare*, une plantation à une densité plus importante, comme celle de *T. patula*, pourrait permettre un développement plus rectiligne des plants et qu'ils soient moins impactés par le vent.

Même si *L. multiflorum* présente certains traits intéressants, il ne produit presque pas de COV qui ont un impact direct sur les pucerons, dont notamment le E- β -Farnésène, ce qui est un critère d'intérêt dans cette expérimentation. Ainsi, en guise de témoin, *L. multiflorum* peut être remplacé par un terrain nu ou une autre plante couvre sol moins poussante.

Ensuite, il faudrait enlever les bâches sur les placettes. L'objectif était d'éviter la forte présence des adventices au milieu des PdS mais les bâches n'ont pas empêché leur développement car les plantes adventices réussissaient à passer au travers des trous faits pour planter. La mise en place de bâche représente donc un travail colossal pour une efficacité très réduite. De plus, la présence des bâches entraîne la stagnation de l'eau sur les placettes car il n'est pas possible d'avoir des bâches entièrement plates et donc favorise la présence des maladies fongiques. Leur présence a également un impact sur la dynamique entre la faune dans le sol et les PdS et pommiers.

Concernant l'irrigation, du goutte à goutte serait l'optimal pour favoriser le bon développement des plants.

Une exclusion des pucerons face aux EN avec les clips cages sur certaines placettes pourrait être intéressant. En enlevant la modalité *M. x piperita* (et peut-être aussi *O. basilicum*), cela laisse de la place pour faire plus de répétition pour *T. patula* et *F. vulgare* en prenant la moitié des placettes avec présence d'EN et sur les autres placettes faire des suivis avec clip cage aussi sur 4 colonies par arbre. Cela peut demander beaucoup de temps mais permettrait d'avoir une information plus fiable sur l'effet des COV. Concernant le prélèvement des COV, surtout avec le dispositif des Radiellos®, il faudrait réussir à les

mettre en place plus souvent. La crainte que la présence du Mistral fausse les données, en plus du mauvais temps, nous a empêché de mettre en place le dispositif plus souvent. Cependant, des résultats exploitables et intéressants ont été récoltés lors de la première session malgré la présence de Mistral. Récolter plus de données sur la période d'expérimentation permettrait d'affiner l'analyse de la présence de COV dans l'air.

Il faut augmenter le nombre de suivi dans les colonies courant mai pour savoir avec plus de précision ce qui se passe dans les colonies, notamment pour réussir à observer les morphes de pucerons ailés. L'ajout de nouveaux protocoles pour étudier avec plus de précision les hyménoptères parasitoïdes et les Aranea permettrait de préciser leur rôle dans la régulation de *D. plantaginea* mais cela demanderait trop de travail. De plus, la méthode de filet pour récupérer les hyménoptères est destructive et ce n'est pas ce qui est souhaité.

Il serait également intéressant d'étudier l'impact des PdS sur le développement des pommiers. Des mesures de la circonférence des arbres sont réalisés chaque année, ce qui permet d'estimer la vigueur des arbres. Un suivi phénologique est également réalisé sur le verger. Un suivi du développement des arbres entre les arbres où il y a des PdS et là où il n'y en pas pour la prochaine session de l'expérimentation pourrait être intéressant Ceci sera réalisé à l'avenir par l'analyse de la croissance annuelle en bois de chaque arbre à partir de photographies réalisées en début et fin de saison à l'aide d'une phéno-mobile qui permettra à l'avenir de déterminer la croissance de chaque arbre en fonction de son association ou non avec une PdS.

Enfin, l'effet des PdS sur les colonies de pucerons n'a été testé que sur la période printanière. Il reste à tester si ces plantes ne peuvent avoir également un effet à l'automne, lors du vol retour des pucerons. Des résultats différents pourraient être observés et cela améliorerait la compréhension que l'on peut avoir des PdS étudiées. C'est ce qui va être testé cet automne dans le cadre de la thèse de Louna Rizzi.

V. Conclusion

Deux aspects des PdS ont été étudiés dans cette étude. D'une part l'effet des COV sur le développement de *D. plantaginea* et, d'une autre part l'effet des PdS sur l'attraction des EN qui permettent la régulation du puceron cendré dans un jeune verger de pommier. Ces deux aspects devaient permettre de comparer des PdS entre elles.

En raison de l'absence d'une forte infestation de pucerons cette année, il n'a pas été possible de conclure sur l'effet des PdS sur *D. plantaginea* en jeune verger de pommier et de retrouver les mêmes résultats que dans de précédentes expérimentations. De plus, une régulation naturelle par les Syrphidae et les Coccinellidae s'est faite dans tout le verger. Cependant, les résultats liés à l'attractivité de chaque plante pour les EN nous ont permis de conclure sur le potentiel des PdS testées. Ainsi, *F. vulgare* a un fort pouvoir attractif sur les EN naturels du puceron comme les Cantharidae, les Coccinellidae ou encore les Syrphidae. *O. basilicum* a pu avoir une influence sur le taux de parasitisme dans les colonies tandis que *T. patula* a pu permettre une présence plus importante des Syrphidae dans les colonies au début de l'infestation. *L. multiflorum* s'est finalement révélé attractif pour les EN alors que *M. x piperita* n'a pas révélé un potentiel attractif fort. Ces résultats devront être complétés à l'avenir par des suivis de pucerons lors du vol retour à l'automne et au printemps prochain.

Concernant les COV, la complexité de l'analyse de leur effet en champ nous amène à nous poser des questions sur le protocole mis en place. La captation grâce aux cloches nous permet d'avoir une idée précise du potentiel d'émission des COV par les PdS en plein champ. Cependant, cela ne correspond pas forcément aux COV émis par les PdS qui dépendent beaucoup des conditions climatiques. La première utilisation des dispositifs Radiellos® est prometteuse par sa captation passive, plus représentative de la réalité. Il faudra confirmer les résultats obtenus cette année au printemps prochain.

Les informations apportées par l'étude sur ces PdS permettront de mener plus précisément les prochaines expérimentations. Chaque plante sera à nouveau étudiée en automne dans le cadre de la thèse de Louna Rizzi afin de tester leur impact sur le vol retour de *D. plantaginea*. Les résultats obtenus permettront de positionner les PdS sur la période sur laquelle elles jouent un plus grand rôle, soit au printemps lors de l'émergence des fondatrices, soit à l'automne lors du vol retour des pucerons. Cela permettra également de voir si la présence prolongée des PdS sur le verger (pendant un cycle complet du puceron) aura une influence sur le niveau d'infestation l'année suivante.

Différents leviers vont être combinés par la suite dans le cadre du projet CapZeroPhyto pour augmenter l'immunité des pommiers. Ceux-ci pourraient également être appliqués sur les placettes de PdS pour augmenter l'émission de COV (Cf tests réalisés en 2023 et 2024 à PSH).

Les PdS sont une grande force dans la lutte biologique par conservation. De nombreuses recherches doivent encore être menées sur le sujet pour comprendre les dynamiques autour des PdS, des EN, de la régulation des ravageurs grâce à ces derniers et du rôle des COV émis par les PdS. C'est un point clé dont nous n'avons pas pu percevoir toutes les subtilités lors de cette expérimentation mais dont les prémices laissent présager un futur sans produits phytosanitaires.

VI. Bibliographie

- ADEDIPE, F. et PARK, Y-L, 2010. Visual and olfactory preference of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) adults to various companion plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. Vol. 13, n° 4, pp. 319-323. DOI [10.1016/j.aspen.2010.07.004](https://doi.org/10.1016/j.aspen.2010.07.004).
- Agreste, 2022. Recensement agricole 2020. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Pri2213/Primeur%202022-13_RA2020_%20VersionD%C3%A9finitive.pdf
- AKBARI, G. A., SOLTANI, E., BINESH, S. et AMINI, F., 2018. Cold tolerance, productivity and phytochemical diversity in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) accessions. *Industrial Crops and Products*. Vol. 124, pp. 677-684. DOI [10.1016/j.indcrop.2018.08.048](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.08.048).
- ALBERT, L., PLANTAGENEST, M. et FRANCK, P., 2016. Régulation naturelle du puceron cendré en verger cidricole : rôle des aménagements fleuris. *Cahier technique de l'IFPC - Pomme à cidre*. N° 41.
- ANDROUIN, M., 2021. *Évaluation des extraits végétaux et de plante de services dans la gestion du puceron cendré du pommier en Agriculture Biologique et en Protection Fruitière Intégrée* [en ligne]. other. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL), La Morinière. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03573331>
- BEN ISSA, R., GAUTIER, H. et GOMEZ, L., 2017. Influence of neighbouring companion plants on the performance of aphid populations on sweet pepper plants under greenhouse conditions. *Agricultural and Forest Entomology*. Vol. 19, n° 2, pp. 181-191. DOI [10.1111/afe.12199](https://doi.org/10.1111/afe.12199).
- BENDDINE, H., ZAID, R., DJAAFAR, B. et DAOUDI-HACINI, S., 2022. Biological activity of essential oils of *Myrtus communis* (Myrtaceae, Family) and *Foeniculum vulgare* (Apiaceae, Family) on open fields conditions against corn aphids *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) in western Algeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Vol. 22. DOI [10.1016/j.jssas.2022.07.001](https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.07.001).
- BLOMMERS, L., 2003. Integrated Pest Management in European Apple Orchards. *Annual Review of Entomology*. Vol. 39, pp. 213-241. DOI [10.1146/annurev.en.39.010194.001241](https://doi.org/10.1146/annurev.en.39.010194.001241).
- BOREAU DE ROINCÉ, C., RICARD, J-M., GARCIN, A., JAY, M., MANDRIN, J-F., LAVIGNE, C. et BOUVIER, J-C., 2010. Fonctionnalité des auxiliaires vertébrés et invertébrés dans le contrôle des ravageurs du pommier. Première étape. *Infos CTIFL*. Pp.10-15. hal-02669189
- BUTAULT, J-P., DELAME, N., JACQUET, F. et ZARDET, G., 2011. L'utilisation des pesticides en France : état des lieux et perspectives de réduction. *Notes et études socio-économiques*. 2011. N° 35, pp. 7-26.
- Centre national d'Expertise sur les Vecteurs, 2014. Utilisation des insecticides et gestion de la résistance. *Anses*. https://www.anses.fr/fr/system/files/CNEV-Ft-Fev2014-Rapport_Utilisation_insecticides_gestion_resistance.pdf
- DARDOURI, T., 2018. Implication des composés organiques volatils dans la capacité des plantes de service à perturber le comportement et les performances de *Myzus persicae* (Sulzer) le puceron vert du verger. *Université d'Avignon*. 2018. DOI [tel-02178970](https://doi.org/10.1016/j.aphis.2018.02.001).

- DARDOURI, T., GAUTIER, H., BEN ISSA, R., COSTAGLIOLA, G. et GOMEZ, L., 2019. Repellence of (Sulzer): evidence of two modes of action of volatiles from selected living aromatic plants. *Pest Management Science*. Vol. 75, n° 6, pp. 1571-1584. DOI [10.1002/ps.5271](https://doi.org/10.1002/ps.5271).
- DARDOURI, T., GOMEZ, L., AMELINE, A., COSTAGLIOLA, G., SCHOENY, A. et GAUTIER, H., 2021. Non-host volatiles disturb the feeding behavior and reduce the fecundity of the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Pest Management Science*. Vol. 77, pp. 1705. DOI [10.1002/ps.6190](https://doi.org/10.1002/ps.6190).
- DE MENTHIÈRE, C., PIVETEAU, V., FALCONE, P. et ORY, X., 2023. La haie, levier de planification écologique. *Conseil Général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux*. <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/136479>
- DIB, H., 2010. Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, *Dysaphis plantaginea* Passerini (Hemiptera aphididae) en vergers de pommiers. *Sciences agricoles. Université d'Avignon*. [tel-00665080](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00665080)
- DIEUDONNÉ, E., GAUTIER, H., DARDOURI, T., STAUDT, M., COSTAGLIOLA, G. et GOMEZ, L., 2022. Establishing repellent effects of aromatic companion plants on *Dysaphis plantaginea*, using a new dynamic tubular olfactometer. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eea.13194>
- DINI, I., MARRA, R., CAVALLO, P., PIRONTI, A., SEPE, I., TROISI, J., SCALA, G., LOMBARI, P. et VINALE, F., 2021. Trichoderma Strains and Metabolites Selectively Increase the Production of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Olive Trees. *Metabolites*. Vol. 11, n° 4, pp. 213. DOI [10.3390/metabo11040213](https://doi.org/10.3390/metabo11040213).
- DÖRING, T. F., 2014. How aphids find their host plants, and how they don't. *Annals of Applied Biology*. Vol. 165, n° 1, pp. 3-26. DOI [10.1111/aab.12142](https://doi.org/10.1111/aab.12142).
- DROUZY, N., REGAL, S. et BOUILLOUX, M., 2020. Protection phytosanitaire. Fruits à pépins 2020. *Chambre d'Agriculture Auvergne-Rhône-Alpes* [en ligne]. https://extranet-rhone.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Auvergne-Rhone-Alpes/AB_Protection-phytosanitaires-fruits-pepins_2020.pdf
- DUVAL-CHABOUSSOU, A., ALISON, B., ZAVAGLI, F. et BERUD, M., 2022. Le puceron cendré du pommier : état des lieux et perspectives. *CTIFL*. <https://www.ctifl.fr/le-puceron-cendre-du-pommier-etat-des-lieux-et-perspectives>
- EL-HENEIDY, A. et ADLY, D., 2009. Discrimination among Aphid Parasitoids Through Characteristics of their Mummies. *Egyptian Journal of Pest Control*.
- FINCH, S. et COLLIER, R.H., 2000. Host-plant selection by insects – a theory based on 'appropriate/inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. Vol. 96, n° 2, pp. 91-102. DOI [10.1046/j.1570-7458.2000.00684.x](https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.2000.00684.x).
- FIORENZA, J. E., FERNÁNDEZ, P. C. et OMACINI, M., 2021. Z-3-Hexenylacetate emissions induced by the endophyte *Epichloë occultans* at different levels of defoliation during the host plant's life cycle. *Fungal Ecology*. Vol. 49, pp. 101015. DOI [10.1016/j.funeco.2020.101015](https://doi.org/10.1016/j.funeco.2020.101015).
- GABETTI, E., SGORBINI, B., STILO, F., BICCHI, C., RUBIOLO, P., CHIALVA, F., REICHENBACH, S. E., BONGIOVANNI, V., CORDERO, C. et CAVALLERO, A., 2021. Chemical fingerprinting strategies based on comprehensive two-dimensional gas chromatography combined with

gas chromatography-olfactometry to capture the unique signature of Piemonte peppermint essential oil (*Mentha x piperita* var Italo-Mitcham). *Journal of Chromatography A*. Vol. 1645, pp. 462101. DOI [10.1016/j.chroma.2021.462101](https://doi.org/10.1016/j.chroma.2021.462101).

GUICHARD, L., DEDIEU, F., JEUFFROY, M-H., MEYNARD, J-M., REAU, R. et SAVINI, I., 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cahiers Agricultures* Vol. 26, n° 1, pp. 14002. DOI [10.1051/cagri/2017004](https://doi.org/10.1051/cagri/2017004).

HATIER, J-H. B. et GOULD, K. S., 2009. Anthocyanin Function in Vegetative Organs. In : WINEFIELD, Chris, DAVIES, Kevin et GOULD, Kevin (éd.), *Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications*. New York, : Springer. pp. 1-19. ISBN 978-0-387-77335-3

HEMPTINNE, J-L, DIXON, A.F.G et WYSS, E., 2003. Biological control of the rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea* (Passerini) (Homoptera: Aphididae): learning from the ecology of ladybird beetles.. 2003. pp. Pp. 33-41 in A.O. SOARES, M.A. VENTURA, V. GARCIA&J.-L. HEMPTINNE (Eds) 2003. Proceedings of the 8th International Symposium on Ecology of Aphidophaga: Biology, Ecology and Behaviour of Aphidophagous Insects. Arquipélago. *Life and Marine Sciences*.

HUANG, B. et GAO, H., 1999. Physiological Responses of Diverse Tall Fescue Cultivars to Drought Stress. *HortScience*. Vol. 34, n° 5, pp. 897-901. DOI [10.21273/HORTSCI.34.5.897](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.5.897).

KENNEDY, J. S., BOOTH, C. O. et KERSHAW, W. J. S., 1961. Host finding by aphids in the field. *Annals of Applied Biology*. Vol. 49, n° 1, pp. 1-21. DOI [10.1111/j.1744-7348.1961.tb03587.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1961.tb03587.x).

KLIMÁNKOVÁ, E., HOLADOVÁ, K., HAJŠLOVÁ, J., ČAJKA, T., POUSTKA, J. et KOUDELA, M., 2008. Aroma profiles of five basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars grown under conventional and organic conditions. *Food Chemistry*. Vol. 107, n° 1, pp. 464-472. DOI [10.1016/j.foodchem.2007.07.062](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.062).

KÖHLER, H.-R. et TRIEBSKORN, R., 2013. Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Population Level and Beyond? *Science*. Vol. 341, n° 6147, pp. 759-765. DOI [10.1126/science.1237591](https://doi.org/10.1126/science.1237591).

KOPTA, T., POKLUDA, R. et PSOTA, V., 2012. Attractiveness of flowering plants for natural enemies. *Horticultural Science*. Vol. 39, n° 2, pp. 89-96. DOI [10.17221/26/2011-HORTSCI](https://doi.org/10.17221/26/2011-HORTSCI).

LAFFON, L., 2024. Caractérisation des relations trophiques des communautés de parasitoïdes et de syrphes avec les plantes et les insectes ravageurs en vergers de pommiers. *Sciences agricoles. Université d'Avignon*. tel-04565965

LAFFON, L., BISCHOFF, A., BLAYA, R., LESCOURRET, F. et FRANCK, P., 2024. Spontaneous flowering vegetation favours hoverflies and parasitoid wasps in apple orchards but has low cascading effects on biological pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 359, pp. 108766. DOI [10.1016/j.agee.2023.108766](https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108766).

LAOTHAWORNKITKUL, J., TAYLOR, J. E., PAUL, N. D. et HEWITT, C. N., 2009. Biogenic volatile organic compounds in the Earth system. *New Phytologist*. Vol. 183, n° 1, pp. 27-51. DOI [10.1111/j.1469-8137.2009.02859.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02859.x).

LECHENET, M., DESSAINT, F., PY, G., MAKOWSKI, D. et MUNIER-JOLAIN, N., 2017. Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms.

- LEFEBVRE, M., 2016. *Régulation des ravageurs par les araignées en verger V* [en ligne]. phdthesis. Institut National d'Etudes Supérieures Agronomiques de Montpellier. <https://hal.inrae.fr/tel-02798395>
- LINCZAR-MALANCZUK, M., 2015. Suitability of blue fescue (*Festuca ovina* L.) as living mulch in an apple orchard-preliminary evaluation. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus* [en ligne]. Vol. 14, n° 6. <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-0dc732d7-b34c-4564-8a6a-ec9bce85cbd3>
- LONGPRE, B., DEWAILLY, A., MIETTE, M. et RIVIÈRE, N., 2018. La place de la biodiversité dans la régulation des pucerons sur pommier. *Ecophyto*. [https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2020-07/Poster Biodiversit%C3%A9_DEWAILLY_1.pdf](https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2020-07/Poster_Biodiversit%C3%A9_DEWAILLY_1.pdf)
- LOSEY, J., ALLEE, L., GILL, H., MORRIS, S., SMYTH, R., WOLLEMAN, D., WESTBROOK, A. et DITOMMASO, A., 2022. Predicting plant attractiveness to coccinellids with plant trait profiling, citizen science, and common garden surveys. *Biological Control*. Vol. 176, pp. 105063. DOI [10.1016/j.biocontrol.2022.105063](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105063).
- MAMY, L., PESCE, S., SANCHEZ, W., AMICHOT, M., ARTIGAS, J., AVIRON, S., BARTHÉLÉMY, C., BEAUDOUIN, R., BEDOS, C., BÉRARD, A., BERNY, P., BERTRAND, C., BERTRAND, C., BETOULLE, S., BUREAU-POINT, È., CHARLES, S., CHAUMOT, A., CHAUVEL, B., COEURDASSIER, M., CORIO-COSTET, M.-F., COUTELLEC, M-A., CROUZET, O., DOUSSAN, I., DOUZALS, J. P., FABURE, J., FRITSCH, C., GALLAI, N., GONZALEZ, P., GOUY, V., HEDDE, M., LANGLAIS, A., BELLEC, F., LÉBOULANGER, C., MARGOUM, C., MARTIN-LAURENT, F., MONGRUEL, R., MORIN, S., MOUGIN, C., MUNARON, D., NELIEU, S., PÉLOSI, C., RAULT, M., RIS, N., SABATER, S., STACHOWSKI-HABERKORN, S., SUCRÉ, E., THOMAS, M., TOURNEBIZE, J., ACHARD, A L., GALL, M., PERCHEC, S., DELEBARRE, E., LARRAS, F. et LEENHARDT, S., 2022. *Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques. Rapport de l'expertise scientifique collective*. INRAE ; IFREMER.1408p. [hal-03777257](https://hal.inrae.fr/hal-03777257)
- MIÑARRO, M., HEMPTINNE, J-L et DAPENA, E., 2005. Colonization of apple orchards by predators of *Dysaphis plantaginea*: sequential arrival, response to prey abundance and consequences for biological control. *BioControl*. Vol. 50, n° 3, pp. 403-414. DOI [10.1007/s10526-004-5527-1](https://doi.org/10.1007/s10526-004-5527-1).
- MOFIKOYA, A. O., BUI, T. N. T., KIVIMÄENPÄÄ, M., HOLOPAINEN, J. K., HIMANEN, S. J. et BLANDE, J. D., 2019. Foliar behaviour of biogenic semi-volatiles: potential applications in sustainable pest management. *Arthropod-Plant Interactions*. Vol. 13, n° 2, pp. 193-212. DOI [10.1007/s11829-019-09676-1](https://doi.org/10.1007/s11829-019-09676-1).
- MONTAZEAUD, G., FLUTRE, T., BALLINI, E., MOREL, J-B., DAVID, J., GIRODOLLE, J., ROCHER, A., DUCASSE, A., VIOLLE, C., FORT, F. et FRÉVILLE, H., 2022. From cultivar mixtures to allelic mixtures: opposite effects of allelic richness between genotypes and genotype richness in wheat. *New Phytologist*. Vol. 233, n° 6, pp. 2573-2584. DOI [10.1111/nph.17915](https://doi.org/10.1111/nph.17915).
- PIASENTIN, J. et BERGOEND, A., 2023. Composés organiques volatils des plantes. *ITEIPMAI*. https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2024-01/COV%20des%20plantes_ABA%20PIC_iteipmai.pdf
- PICHERSKY, E., NOEL, J.P et DUDAREVA, N., 2006. Biosynthesis of Plant Volatiles: Nature's Diversity and Ingenuity. *Science*. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1118510>

PROJET SEBIOREF, 2017. Connaître la biodiversité utile à l'agriculture pour raisonner ses pratiques - Fiche 5 : Syrphes. 4p. DOI : 10.15454/1.5232663886421606E12

RODRÍGUEZ-GASOL, N., AVILLA, J., APARICIO, Y., ARNÓ, J., GABARRA, R., RIUDAUVETS, J., ALEGRE, S., LORDAN, J. et ALINS, G., 2019. The Contribution of Surrounding Margins in the Promotion of Natural Enemies in Mediterranean Apple Orchards. *Insects*. Vol. 10, n° 5, pp. 148. DOI [10.3390/insects10050148](https://doi.org/10.3390/insects10050148).

SIMON, S., LESUEUR-JANNOYER, M., PLÉNET, D., LAURI, P-E. et LE BELLEC, F. 2017. Methodology to design agroecological orchards: Learnings from on-station and on-farm experiences. *European Journal of Agronomy*. Vol. 82, pp. 320-330. DOI [10.1016/j.eja.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.004).

SIMON, S., SAUPHANOR, B., DEFRANCE, H. et LAURI, P-E., 2009. Manipulating within-orchard and adjacent habitats to provide better pest control in organic orchards. Some elements for modulating "orchard tree-pest-natural enemy" relationships. *Innovations Agronomiques*.

SUN, H., ZHANG, F., CHEN, S., GUAN, Z., JIANG, J., FANG, W. & CHEN, F, 2015. Effects of aphid herbivory on volatile organic compounds of *Artemisia annua* and *Chrysanthemum morifolium*. *Biochemical Systematics and Ecology* 60: 225-233. DOI [10.1016/j.bse.2015.04.023](https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.04.023)

TAGLIENTI, A., DONATI, L., DRAGONE, I., FERRETTI, L., GENTILI, A., ARANITI, F., SAPIENZA, F., ASTOLFI, R., FIORENTINO, S., VECCHIARELLI, V., PAPALINI, C., RAGNO, R. et BERTIN, S., 2023. In Vivo Antiphytoviral and Aphid Repellency Activity of Essential Oils and Hydrosols from *Mentha suaveolens* and *Foeniculum vulgare* to Control Zucchini Yellow Mosaic Virus and Its Vector *Aphis gossypii*. *Plants*. Vol. 12, n° 5, pp. 1078. DOI [10.3390/plants12051078](https://doi.org/10.3390/plants12051078).

TOMOVA, B. S., WATERHOUSE, J. S. et DOBERSKI, J., 2005. The effect of fractionated *Tagetes* oil volatiles on aphid reproduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. Vol. 115, n° 1, pp. 153-159. DOI [10.1111/j.1570-7458.2005.00291.x](https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2005.00291.x).

UEFUNE, M., KUGIMIYA, S., OZAWA, R., & TAKABAYASHI, J., 2013. Parasitic wasp females are attracted to blends of host-induced plant volatiles : Do qualitative and quantitative differences in the blend matter? *F1000Research*. DOI : [10.12688/f1000research.2-57.v2](https://doi.org/10.12688/f1000research.2-57.v2)

VALLAT, A., GU, H. et DORN, S., 2005. How rainfall, relative humidity and temperature influence volatile emissions from apple trees in situ. *Phytochemistry*. 1 juillet 2005. Vol. 66, n° 13, pp. 1540-1550. DOI [10.1016/j.phytochem.2005.04.038](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.04.038).

VIALATTE, A., MARTINET, V., TIBI, A., ALIGNIER, A., ANGEON, V., BEDOUSSAC, L. BOHAN, D., BOUGHERARA, D., CARPENTIER, A., CASTAGNEYROL, B., CORDEAU, S., COURTOIS, P., DEGUINE, J-P., DOELHER, M., ENJALBERT, J., FABRE, F., FEMENIA, F., FRÉVILLE, H., GOULET, F., GRATEAU, R., GRIMONPREZ, B., GROSS, N., HANNACHI, M., JEANNERET, P., LABARTHE, P., LAUNAY, M., LELIEVRE, V., LEMARIÉ, S., MARTEL, G., MASSON, A. L., NAVARRETE, M., PLANTEGENEST, M., RAVIGNÉ, V., RUSCH, A., SUFFERT, F., TAPSOBA, A. et THOYER, S. S., 2023. *Protéger les cultures en augmentant la diversité végétale des espaces agricoles. Rapport scientifique de l'Expertise scientifique collective*. Paris : INRAE. 954p. <https://dx.doi.org/10.17180/q7wm-q442>

WEBSTER, B., 2012. The role of olfaction in aphid host location. *Physiological Entomology*. Vol. 37, pp. 10-18. DOI [10.1111/j.1365-3032.2011.00791.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3032.2011.00791.x).

VII. Sitographie

- [1] IMBACH, R. et MARTINON, L., 2022. En cartes : comment a évolué l'utilisation de pesticides dans les communes françaises depuis 2017 ? [en ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2022/04/17/en-cartes-comment-a-evolue-l-utilisation-de-pesticides-dans-les-communes-francaises-depuis-2017_6122537_4355770.html [Consulté le 23 août 2024].
- [2] Insee, 2024. Nombre d'exploitations – Transformations de l'agriculture et des consommations alimentaires. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728861?sommaire=7728903> [Consulté le 23 août 2024].
- [3] Inserm, 2013. Pesticides : Effets sur la santé. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/4820/Recommandations.html> [Consulté le 23 août 2024].
- [4] Inserm, 2021. Pesticides et effets sur la santé : nouvelles données (Résumé). [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.inserm.fr/wp-content/uploads/2021-06/inserm-expertisecollective-pesticides2021-resume.pdf> [Consulté le 23 août 2024].
- [5] ROGER-PERRIER, L., 2021. Biodiversité et agriculture. *Agence Régionale de la Biodiversité Centre Val de Loire* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.biodiversite-centrevaldeloire.fr/comprendre/dossiers-thematiques/biodiversite-et-agriculture> [Consulté le 23 août 2024].
- [6] VIDARD, Matthieu, (2024, 21 mai). Les alternatives aux pesticides [Emission de radio]. *France Inter* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.radiofrance.fr/franceinter/podcasts/la-terre-au-carre/la-terre-au-carre-du-mardi-21-mai-2024-5551475> [Consulté le 23 août 2024].
- [7] MOLLIER, P., 2018. Un verger pionnier avec moitié moins de pesticides. *INRAE* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/actualites/verger-pionnier-moitie-moins-pesticides> [Consulté le 23 août 2024].
- [8] Plan Stratégique National de la PAC 2023-2027 (France), 2023. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/telecharger/131861> [Consulté le 23 août 2024].
- [9] JOUHET, E., VINCENT, F., LAHENS, M., BLOMME, L. et GIULIANO, S., 2022. Plantes de service : Définition. *Dictionnaire d'agroécologie*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.17180/xxv9-mx71> [Consulté le 23 août 2024].
- [10] ROUSSEAUX, A., SEYCHAL, L. et SARTHOU, J-P., 2018. Lutte biologique par conservation : Définition. *Dictionnaire agroécologie* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.17180/s4kq-dy18> [Consulté le 23 août 2024].
- [11] DE PIERREPONT, A., TEYSSIER, E. et BRIN, A., 2018. Réseau trophique : Définition. *Dictionnaire d'agroécologie*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.17180/fgwm-jr58> [Consulté le 23 août 2024].
- [12] JALOUX, B., 2016. Pomme - Principaux symptômes. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/21788/Pomme-Principaux-symptomes> [Consulté le 23 août 2024].
- [13] Phyteis, 2021. Les pucerons du pommier et du poirier, 2021. Disponible à l'adresse : <https://phyteis.fr/maladie/les-pucerons-du-pommier-et-du-poirier/> [Consulté le 30 août 2024].

- [14] DUVAL-CHABOUSSOU, A. 2023. Évaluation de techniques automnales pour maîtriser le puceron cendré. *Infos CTIFL*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.ctifl.fr/evaluation-de-techniques-automnales-pour-maitriser-le-puceron-cendre-infos-ctifl-389> [Consulté le 30 août 2024].
- [15] PARVEAUD, C-E., 2023. Gérer les forficules en fruits à noyau. *Grab* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.grab.fr/forficule-en-fruits-a-noyaux-comment-limiter-les-degats/> [Consulté le 23 août 2024].
- [16] TURPEAU, E., HULLÉ, M. et CHAUBET, B., 2012. Rhagonycha fulva. *INRAE* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://encyclopedie-pucerons.hub.inrae.fr/fiche-especes/predateurs-insectes/coleoptera-cantharidae/rhagonycha-fulva> [Consulté le 23 août 2024 b].
- [17] TURPEAU, E., HULLÉ, M. et CHAUBET, B., 2011. Parasitoïdes. *INRAE* [en ligne]. 25 octobre 2011. Disponible à l'adresse : <https://encyclopedie-pucerons.hub.inrae.fr/pucerons-et-milieu/antagonistes/parasitoïdes> [Consulté le 23 août 2024].
- [17] CHAMONT, S, 2020. Hypp : encyclopédie en protection des plantes - Punaises prédatrices (Hemiptera). *Ephytia* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/11528/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Punaises-predatrices-Hemiptera> [Consulté le 23 août 2024].
- [18] TURPEAU, E., HULLÉ, M. et CHAUBET, B., 2011. Aphidius matricariae. *INRAE* [en ligne]. 2011. Disponible à l'adresse : <https://encyclopedie-pucerons.hub.inrae.fr/fiche-especes/parasitoïdes/braconidae-aphidiinae/aphidius-matricariae> [Consulté le 30 août 2024].
- [19] Fil d'Ariane : créer de nouvelles variétés de pommes pour une agriculture durable, 2016. *INRAE*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/actualites/fil-dariane-creer-nouvelles-varietes-pommes-agriculture-durable> [Consulté le 23 août 2024].
- [20] Techniques de comptage, 2014. *LPO* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://alsace.lpo.fr/index.php/techniques-de-comptage>
- [21] MARTINEZ, M, 2013. Info-Insectes - RAPHIDIOPTERA. *Ephytia* [en ligne] Disponible à l'adresse : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/7538/Info-Insectes-RAPHIDIOPTERA> [Consulté le 23 août 2024].
- [22] DRAAF PACA, 2024. BSV Arboriculture. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/arboriculture-r272.html> [Consulté le 30 août 2024].

ANNEXE 1 : Calendrier des actions réalisées pour l'expérimentation et le suivi des PdS

Date	Actions	Date	Actions
18/03/2024	Désherbage des placettes à la main	13/05/2024	6è suivi pucerons et EN
18/03/2024	Passage du tracteur avec un intercep rotatif pour travailler le sol des placettes	13/05/2024	6è suivi de PdS et EN
20/03/2024	Mise en place des bâches sur les placettes	16/05/2024	Nouveau remplacement des basilics morts <i>Les basilics ont survécu</i>
02/04/2024	Plantation des PdS sur les placettes	17/05/2024	2è prélèvement de COVs <i>Tout s'est bien passé cette fois-ci, pas de vent.</i>
05/04/2024	Arrosage manuel des plantes en attendant le système d'irrigation <i>Certaines plantes n'ont pas survécu.</i>	21/05/2024	1ère pose des Radiellos® <i>Il y a plus de vent que prévu le premier après-midi.</i>
09/04/2024	1er suivi de pucerons et EN	22/05/2024	7è suivi pucerons et EN
12/04/2024	Le système d'irrigation par micro-aspiration est mis en place	22/05/2024	7è suivi de PdS et EN
12/04/2024	1er suivi PdS et EN	23/05/2024	Récupération des Radiellos®
15/04/2024	2e suivi pucerons et EN	29/05/2024	8è suivi pucerons et EN
15/04/2024	2e relevé PdS et EN <i>Biais sur le bloc 2 car allumage de l'irrigation et passage de la débroussailleuse</i>	30/05/2024	8è suivi de PdS et EN
17/04/2024	Remplacement des PdS mortes <i>Les tagètes ont survécu mais pas les basilics</i>	31/05/2024	Désherbage manuel des placettes de basilic et de menthe
22/04/2024	Effeuilage des pommiers jusqu'à ~70cm <i>Certaines colonies suivies au début ont été supprimées</i>	04/06/2024	9è suivi pucerons et EN
24/04/2024	3e suivi pucerons et EN <i>Mistral fort</i>	04/06/2024	Coupe des fleurs de <i>L. multiflorum</i>
25/04/2024	3è suivi de PdS et EN	05/06/2024	3è prélèvement de COVS
25/04/2024	1er prélèvement de COV <i>A cause du vent, les cloches bougeaient et certaines sont tombées --> 1er prélèvement peu fiable</i>	06/06/2024	9è suivi de PdS et EN
25/04/2024	<i>A cause du mistral et des mauvaises conditions météo, il n'y a toujours pas la possibilité de mettre les Radiellos® en place</i>	10/06/2024	10è et <u>dernier</u> suivi pucerons et EN
30/04/2024	4è suivi pucerons et EN	11/06/2024	10è et <u>dernier</u> suivi de PdS et EN
03/05/2024	4è suivi PdS et EN --> passage de la débroussailleuse le matin	13/06/2024	Coupe des ray-grass très court pour éviter la propagation de la rouille
06/05/2024	5è suivi pucerons et EN	24/06/2024	2ème pose des Radiellos®
07/05/2024	5è suivi de PdS et EN	26/06/2024	Récupération des Radiellos® en fin de journée
07/05/2024	Désherbage manuel des placettes	26/06/2024	Fin des expérimentations pour le stage

ANNEXE 2 : Tableau récapitulatif des COV trouvés dans les profils des PdS avec les cloches

Les croix et les couleurs permettent d'identifier les molécules retrouvées pour chaque PdS.

Molécules	Modalités				
	<i>F. vulgare</i>	<i>M. piperita</i>	<i>O. basilicum</i>	<i>T. patula</i>	<i>L. multiflorum</i>
(E)-Calamenene		x			
(E)-Hex-2-enal				x	
(E)-Tagetenone				x	
(E)-Tagetone				x	
(E)- α -Bergamotene			x		
(E)- β -Farnesene	x	x	x	x	
(Z)-Hex-3-en-1-ol					x
(Z)-Hex-3-enyl acetate			x	x	x
(Z)-Tagetenone				x	
(Z)-Tagetone				x	
3-Carene			x	x	
3-Hexen-1-ol				x	
Acetophenone	x	x	x	x	x
Anethole	x				
Benzaldehyde	x	x			x
Bornyl acetate			x		
Camphene	x		x		
Camphor			x	x	
Carvone				x	
Caryophyllene	x	x	x	x	
Copaene	x				
Decamethyltetrasiloxane	x	x			
Decanal		x	x	x	x
Dihydro tagetone				x	
d-Limonene			x		
d-Sabinene		x	x	x	
Estragole			x	x	
Eucalyptol		x	x	x	
Eugenol			x		
Fenchone	x				
Fenchyl acetate	x				
Filifolone				x	
Germacrene D	x	x	x	x	
Heptanal	x	x	x	x	x
l-Menthol		x			
Limonene	x	x	x	x	x
Linalool			x		

Molécules	Modalités				
	<i>F. vulgare</i>	<i>M. piperita</i>	<i>O. basilicum</i>	<i>T. patula</i>	<i>L. multiflorum</i>
l-Menthone		x	x	x	
Menthofurane		x			
Menthyl acetate		x			
Methyl eugenol			x		
Neo-allo-ocimene	x		x	x	
Octanal	x	x	x	x	x
o-Cymene		x			
p-Cymene			x		
Phenylethyne			x	x	
Piperitenone			x	x	
Piperitone		x			
Pulegone		x			
p-Xylene			x	x	x
Sabinene hydrate		x			
Silphiperfol-5-ene				x	
Sulcatone	x		x	x	x
α -Guaiene			x		
α -Phellandrene	x				
α -Pinene	x	x	x	x	x
α -Terpineol			x		x
α -Terpineol		x			
α -Terpinolene	x		x	x	
β -Bourbonene	x		x	x	
β -Myrcene	x	x	x	x	x
β -Ocimene	x		x	x	
β -Pinene			x		
γ -Terpinene	x	x			

	Diplôme : Ingénieure Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Protection des Plantes et de l'Environnement (PPEH) Enseignant référent : Alexandre Degrave
Auteur : Victorine Kienlen Date de naissance* : 23 mars 2000	Organisme d'accueil : INRAE Adresse : Domaine Saint Paul
Nb pages : 32 Annexe(s) : 2	228 route de l'Aérodrome – Site Agroparc
Année de soutenance : 2024	84914 Avignon Cedex 9 Maître de stage : Louna Rizzi
Titre français : Comparaison de l'efficacité de Plantes de Service introduites dans un verger de pommiers sur les niveaux d'infestation des arbres par <i>Dysaphis plantaginea</i> , le puceron cendré du pommier, et l'abondance de ses ennemis naturels	
Titre anglais : Comparison of the efficacy of Companion Plants introduced into an apples orchard on the levels of infestation of trees by <i>Dysaphis plantaginea</i> , the rosy apple aphid, and the abundance of its natural enemies.	
Résumé : Dans un contexte de réduction des pesticides, les Plantes de Service (PdS) sont utilisées comme structures agroécologiques dans la lutte contre les ravageurs. C'est le cas notamment dans les vergers de pommier afin de lutter contre <i>Dysaphis plantaginea</i> , le puceron cendré du pommier. Ce mémoire se penche sur l'intérêt des plantes aromatiques <i>F. vulgare</i> , <i>O. basilicum</i> , <i>M. x piperita</i> et <i>T. patula</i> dans la lutte contre ce puceron en verger de pommiers dans le Sud-Est de la France lors de l'émergence des fondatrices au printemps. L'effet des Composés Organiques Volatils (COV) sur <i>D. plantaginea</i> a été étudié ainsi que l'attractivité des ennemis naturels (EN) pour ces PdS et leur rôle dans la régulation de ce ravageur. L'étude n'a pas permis de conclure sur l'effet des PdS sur le taux d'infestation de pucerons en verger. Il y avait peu de pucerons. Les Syrphidae et les Coccinellidae ont par contre eu un effet sur la régulation du puceron à l'échelle du verger. L'effet répulsif des COV n'a pu être démontré pour aucune PdS. En revanche, certains COV comme le (Z)-Hex-3-enyl acetate semble être lié à la présence de Syrphidae et Coccinellidae. <i>F. vulgare</i> a été la plante la plus attractive pour de nombreux prédateurs comme les Syrphidae et Cantharidae mais sans augmentation de la prédation dans les colonies. Il y a eu plus de parasitisme dans les colonies de pucerons associées à <i>O. basilicum</i> et il y a eu plus de larves dans les colonies associées à <i>T. patula</i> . <i>M. x piperita</i> était peu attractive pour les EN. D'autres recherches autour des COV et des dynamiques de prédation sont nécessaires.	
Abstract : In a context of pesticide reduction, Companion Plants (CPs) are used as agroecological structures in the fight against pests. This is particularly the case in apple orchards to combat <i>Dysaphis plantaginea</i> , the rosy apple aphid. This thesis looks at the value of the aromatic plants <i>F. vulgare</i> , <i>O. basilicum</i> , <i>M. x piperita</i> and <i>T. patula</i> in controlling this aphid in apple orchards in south-east France during the emergence of the foundresses in spring. The effect of Volatile Organic Compounds (VOCs) on <i>D. plantaginea</i> was studied, as well as the attractiveness of natural enemies (NEs) to these CPs and their role in regulating this pest. The study did not allow any conclusions to be drawn on the effect of CPs on the aphid infestation rate in the orchard. There were few aphids. Syrphidae and Coccinellidae, on the other hand, had an effect on aphid regulation at orchard level. The repellent effect of VOCs could not be demonstrated for any CPs. However, certain VOCs such as (Z)-Hex-3-enyl acetate seemed to be linked to the presence of Syrphidae and Coccinellidae. <i>F. vulgare</i> was the most attractive plant for many predators such as Syrphidae and Cantharidae but without any increase in predation in the colonies. There was more parasitism in aphid colonies associated with <i>O. basilicum</i> and more larvae in colonies associated with <i>T. patula</i> . <i>M. x piperita</i> was not very attractive to EN.. Further research into VOCs and predation dynamics is required.	
Mots-clés : pucerons, plantes de service, ennemis naturels, COV Key Words: aphids, companion plants, natural enemies, VOC	