

**MASTER SCIENCES et Technologie de
l'Agriculture, de l'Alimentation et de
l'Environnement**

**Sciences et Durabilité des Productions
Végétales
2^{ème} année**

Winkler, Camille

**Etude de l'impact des plantes de services sur
la dynamique de population du puceron
cendré et son contrôle par ses ennemis
naturels sur un jeune verger de pommier**



INRAE
Avignon
Mars 2025-
Aout 2025

Maître de Stage (en entreprise) : Louna Rizzi, Hélène Gautier

Remerciements

Je remercie l'INRAE pour son accueil.

Merci à Louna Rizzi et Hélène Gautier pour leur accompagnement.

Merci au GIS fruits pour le financement de mon stage.

Merci à tous ceux qui ont bien voulu relire ce mémoire.

Table des abréviations

IFT= Indicateur de fréquence de traitement

PPP= Produit phytopharmaceutique

COV= Composés organiques volatiles

PdS= Plante de services

EN= Ennemis naturels

GC-MS = Chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse

Table des matières

Table des abréviations.....	- 3 -
I. Introduction.....	- 7 -
II. Matériel et méthode.....	- 19 -
1. Le verger.....	- 19 -
a. La parcelle expérimentale.....	- 19 -
b. Mise en place de l'expérimentation.....	- 19 -
c. Les plantes de service et implantation des placettes.....	- 21 -
d. Infestation artificielle.....	- 21 -
2. Relevés réalisés.....	- 23 -
a. Suivi des PdS et des EN associés.....	- 23 -
b. Prélèvement des COVS.....	- 23 -
c. Analyse des COV.....	- 23 -
d. Suivi des EN et des pucerons sur les colonies naturelles et artificielle.....	- 25 -
3. Analyses statistiques.....	- 27 -
III. Résultats.....	- 29 -
1. Abondance et diversité des EN selon les PdS.....	- 29 -
2. Composition en COV des PdS et attraction des ennemis naturels au cours de la saison.....	- 31 -
3. EN observés dans les colonies de pucerons.....	- 33 -
a. Dans les colonies infestation naturelle.....	- 33 -
b. Dans les colonies infestation artificielle.....	- 33 -
4. Présence des colonies de pucerons.....	- 35 -
a. Infestation à l'échelle du verger.....	- 35 -
b. Infestation à l'échelle des placettes.....	- 35 -
IV. Discussion.....	- 39 -
1. Le choix de la PdS impact sur l'abondance et la diversité des EN qu'elles vont attirer.....	- 39 -
2. Au cours de la saison, le stade phénologique et les conditions environnementales modifient l'émission de COV et les EN.....	- 41 -
3. Ce que l'on retrouve comme EN dans les PdS se retrouvera aussi dans les colonies de pucerons..	- 43 -
4. L'introduction de PdS augmente le nombre d'EN dans les colonies et réduit la dynamique des pucerons.....	- 45 -
V. Conclusion.....	- 51 -
VI. Résumé.....	- 53 -
VII. Bibliographie et Référence.....	- 55 -
VIII. Liste des figures.....	- 63 -
IX. Annexe.....	- 67 -

I. Introduction

De manière générale, l'ensemble des filières agricoles est confronté à de nombreux défis. Les risques qui menacent l'activité agricole sont multiples et variés, touchant aussi bien les agriculteurs eux-mêmes (maladie, accident) que leur revenu (fluctuation des rendements, variation des prix, taux bancaires) ou des tiers (problèmes d'approvisionnement, pollution). Ces risques peuvent être classés en deux grandes catégories : les risques de production et les risques de marché. Concernant les cultures végétales, les menaces sont principalement climatiques (sécheresse, inondations, tempêtes, gel, grêle) et sanitaires (attaques de ravageurs tels que les insectes et les micro-organismes). Ces facteurs, souvent interdépendants, peuvent entraîner des pertes considérables en termes de quantité et de qualité des récoltes (Puel et Grimonprez 2022).

Depuis les années 1950, dans un souci de productivité et de maîtrise des risques liés aux ravageurs, l'utilisation des produits phytosanitaires demeure une pratique privilégiée en agriculture. Les pesticides de synthèse, apparus dans les années 50, ont connu un essor considérable. Entre 1990 et 2017, leur usage mondial a augmenté de 80 % (Groupe Caisse des Dépôts 2023). La France figure régulièrement parmi les premiers consommateurs mondiaux (Jouzel 2019).

La filière pomme illustre particulièrement cette intensification. En 1997, les vergers de pommiers recevaient en moyenne 17,6 traitements fongicides et 10,5 traitements insecticides/acaricides par an (Expertise Scientifique Collective 2011). Vingt ans plus tard, en 2018, l'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT) total de 29,5 et un nombre total de traitements de 35,9, plaçant la pomme au premier rang des filières arboricoles (Enquête Pratiques phytosanitaires en arboriculture en 2018,2021)

Cependant, l'utilisation des produits phytosanitaires entraîne de nombreux impacts, notamment environnementaux. Les données scientifiques montrent une contamination généralisée des milieux terrestres, aquatiques, ainsi que de l'atmosphère. Toutes les familles de pesticides organiques (herbicides, fongicides, insecticides) sont détectées dans l'air (Leenhardt et al. 2023), souvent sous forme de mélanges complexes (y compris certaines interdites mais persistantes). L'agriculture représente la source principale de cette contamination, avec 95 à 98 % des usages totaux. Les espaces agricoles, leurs cours d'eau et les masses d'air qui les surplombent sont donc les plus touchés.

Les effets des pesticides peuvent être : directs attendus, liés à leur mode d'action (ex. : destruction ciblée d'un ravageur) ; directs non attendus, touchant d'autres systèmes biologiques (système nerveux, immunitaire, endocrinien, microbiotes) ; indirects, via la réduction des ressources alimentaires (herbicides pour les granivores et phytophages, insecticides/fongicides pour les insectivores), la perte d'habitats (impact des herbicides sur la végétation), ou la modification des équilibres écologiques (variation de la prédation et de la compétition pour les ressources). Pour ce qui est des services écosystémiques, quatre d'entre eux sont particulièrement impactés : la production alimentaire, la lutte biologique, la pollinisation et la régulation de la qualité de l'eau.

L'environnement n'est pas le seul domaine touché puisque la santé humaine l'est aussi. Cependant, les recherches et la connaissance des effets des pesticides sur la santé des populations exposées ne sont que très récente en France car les dispositifs de surveillance des intoxications de la main-d'œuvre exposée n'ont été conçu que dans les années 1990. Aux Etats-Unis, ces types de dispositif existe depuis les années 70 (Jouzel 2019). Les pesticides constituent un risque pour l'Homme mais surtout, en premier lieu les utilisateurs de pesticides dans un contexte d'usage professionnel. C'est ainsi que l'emploi de ces produits peut entraîner à très court terme des troubles de la santé. Les manifestations peuvent se limiter à des signes locaux comme des irritations cutané-muqueuses ou réactions allergiques cutanées . Mais aussi des effets sur le long terme : les études épidémiologiques ont mis en évidence des liens entre l'exposition aux pesticides et le risque d'apparition de pathologies cancéreuses, neurologiques ou encore de troubles de la reproduction.(ministère du travail de la santé des solidarités et des familles 2019) ; (« Pesticides : Effets sur la santé » 2013).

La prise de conscience des problèmes liées à l'utilisation des pesticides amène à revoir leurs utilisations et la réglementation joue un rôle prépondérant.

La France est soumise à la réglementation Européenne. La directive 2009/128/CE prévoit que chaque état membre mette en place un plan d'actions visant à réduire les risques et les effets de l'utilisation des pesticides sur l'homme et l'environnement. En France, il s'agit du plan Ecophyto II, II+ (2018–2023) et depuis mai 2024, le plan Ecophyto 2030 dont l'enjeu est de réduire de 50 % l'usage et le risque des produits phytopharmaceutiques d'ici 2030 par rapport à la période de référence 2011–2013.(Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire 2024)

Au-delà du cadre réglementaire, de nouvelles alternatives et système agricole à la production agricole intensive émergent progressivement. Parmi elles, l'agriculture biologique constitue un exemple emblématique. Le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire la définit comme « [...] une gestion agricole durable qui préserve la qualité des sols, de l'air, de l'eau et des écosystèmes naturels. Elle a recours à des pratiques de culture et d'élevage soucieuses du respect des équilibres naturels et ayant un impact limité sur l'environnement. Elle restreint strictement l'utilisation des produits chimiques de synthèse et limite le recours aux intrants »(Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire 2023).

Dans la même dynamique, d'autres modèles agricoles se développent, comme les systèmes agroforestiers. Ceux-ci sont définis comme « un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques, qui intègrent des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural, et permettent ainsi de diversifier et de maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre » (Balny et Domallain 2015).

Ainsi, l'agriculture a profondément façonné les paysages et les écosystèmes de notre planète. Aujourd'hui, elle occupe environ 4,2 milliards d'hectares à travers le monde, dont près des trois quarts sont

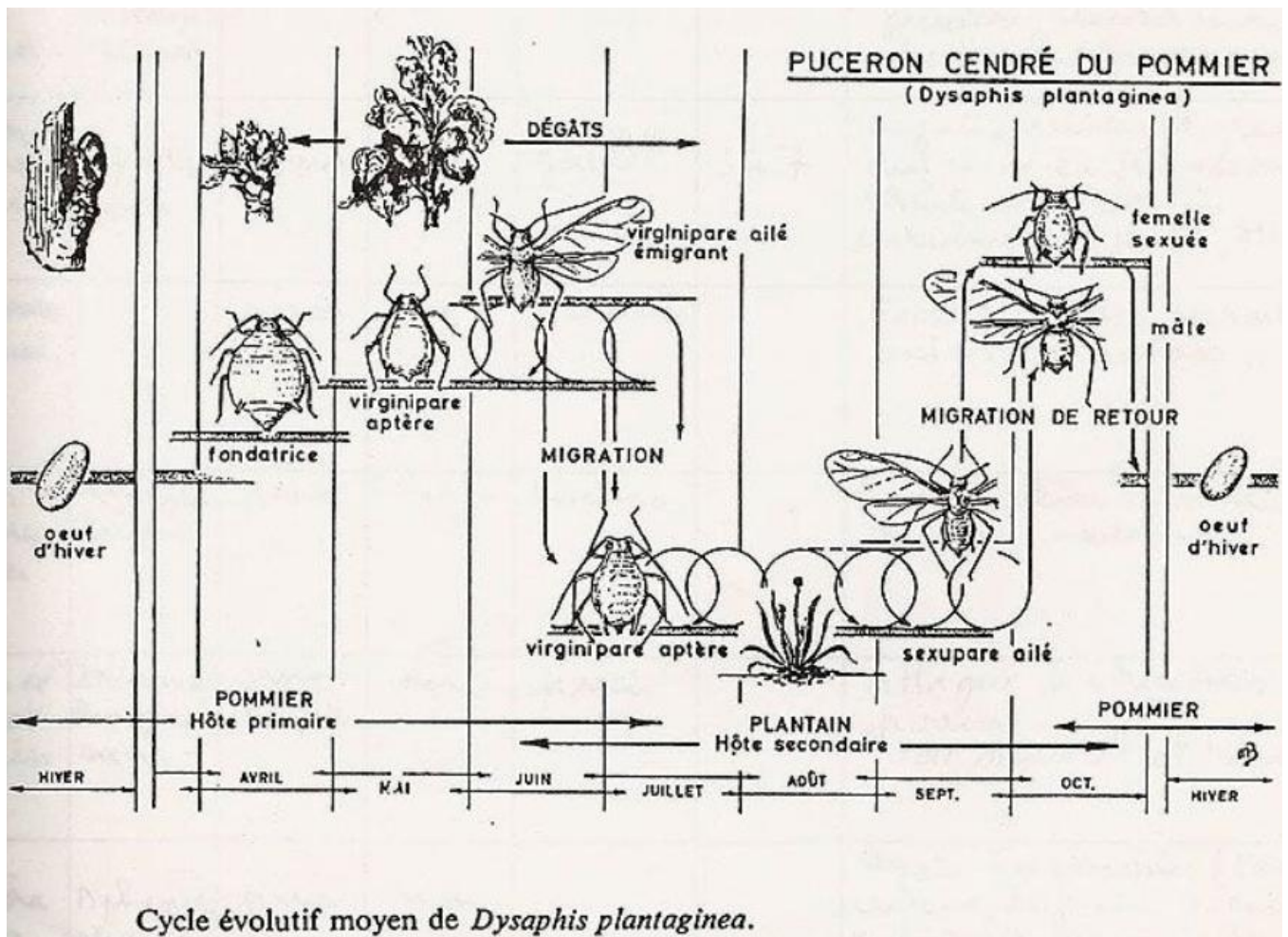


Figure 1. Schéma représentant le cycle de vie du puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*), référence : INRA (Ephytia)
<https://ephytia.inra.fr/fr/C/21823/Pomme-Biologie-epidemiologie>

dédiés au pâturage du bétail, tandis que 1,2 milliard d'hectares sont consacrés aux cultures végétales. (Rapport Planète Vivante 2024 - WWF France).

Au sein de ce paysage agricole mondial, l'Union européenne se distingue comme l'une des principales puissances, avec une production estimée à 537 milliards d'euros en 2023 (L'Europe 2025). En tête de cette production, la France occupe la première place en Europe grâce à son climat diversifié. Cependant, dans le secteur arboricole, elle se classe au quatrième rang avec une production annuelle de 2,4 millions de tonnes, derrière l'Espagne (11,2 millions de tonnes), l'Italie (8,7 millions de tonnes) et la Pologne (3,4 millions de tonnes) (Cerfrance 2024).

Parmi les productions fruitières françaises, la pomme domine largement, représentant environ 60 % du volume total, suivie par la pêche/nectarine, la poire et l'abricot. Sa culture est principalement concentrée dans trois grandes régions : le Sud-Est (33 %), le Sud-Ouest (34 %) et le Val de Loire (23 %). Environ 10 % de la récolte est destinée à l'industrie de transformation, tandis que la consommation en frais s'élève à environ 12 kg par personne et par an, 90 % des ménages en achète au moins une fois par an (« CTIFL_Memento_pomme.pdf », 2024).

Dans les vergers de pommiers, les principaux nuisibles sont les insectes et les acariens. On retrouve notamment la cochenille, le carpocapse, les acariens rouges et jaunes du pommier, ainsi que le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*), considéré comme le plus redoutable en raison de sa forte fécondité au printemps, de sa salive toxique déformant les organes végétaux en croissance et de la production de miellat favorisant le développement de la fumagine. Les attaques massives entraînent l'enroulement et la déformation des feuilles et des rameaux, bloquant la croissance des jeunes pousses (Chaubet 2024; Morel 2024; « Le puceron cendré du pommier » 2022).

De plus, les jeunes fruits affectés restent déformés et de petite taille, altérant ainsi leur valeur marchande (« Pomme - Principaux symptômes » 2016). Ainsi, les branches touchées produisent moins de fleurs, voire aucune, l'année suivante.

Le puceron cendré suit un cycle biologique complexe (Figure 1). Il est une espèce holocyclique (il réalise un cycle complet) et diécique, ce qui signifie qu'il alterne entre deux hôtes, son hôte primaire, le pommier, où il effectue sa reproduction sexuée en hiver, et un hôte secondaire, le plantain, en été. Il hiverne sur le pommier sous forme d'œuf, et les fondatrices donnent naissance à plusieurs générations d'individus aptères par parthénogénèse. Entre la mi-juin et la mi-juillet, les femelles ailées migrent vers le plantain, où elles engendrent plusieurs nouvelles générations (« Pomme - Biologie, épidémiologie », 2016).

À la fin de l'été, les individus sexués retournent sur le pommier pour s'accoupler et pondre les œufs d'hiver qui éclosent au printemps suivant.



Figure 3. Représentation des symptômes de l'infestation de Dysaphis. Ici les feuilles sont enroulées (Camille Winkler)



Figure 2. Colonie de Dysaphis sur une jeune feuille de pommier (Camille Winkler)

Pour lutter contre *D. plantaginea* la stratégie phytosanitaire en conventionnel repose sur l'application d'huile minérale à la fin de l'hiver qui va venir asphyxier les œufs et sur l'utilisation de quatre traitements chimiques avec des insecticides durant la préfloraison et la floraison (Karaté Zéon, Suprême et/ou le Teppeki). En post-floraison un traitement, généralement avec un Movento (insecticide systémique à action acaricide et insecticide), se fait à l'apparition des premiers foyers. Au final, ce programme phytosanitaire correspond à l'application de 7 IFT chimiques et 2 IFT de biocontrôle.(Colomb 2017)

Cependant, l'efficacité de ces traitements est limitée, ce qui rend nécessaire la recherche de solutions alternatives permettant de produire de manière plus durable et de renforcer la régulation biologique. Parmi les pistes explorées figure l'utilisation des plantes de service (PdS).

Celles-ci sont définies dans le dictionnaire d'Agroécologie de l'INRAE comme « 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 » (Jouhet et al. 2022)

L'utilisation de PdS s'inscrit dans de la lutte biologique par conservation avec modification du milieu pour favoriser la présence d'ennemis naturel (EN) et ainsi, bénéficier de leurs effets positifs contre des ravageurs de culture (Nicolas et al. 2013 ; « Guide Eco-Fruits - Lutte biologique »,2015)

Les PdS étudiées et utilisés dans ce cadre-là sont principalement des plantes aromatiques et/ou à fleurs. Leur efficacité repose sur deux mécanismes principaux : leur capacité à attirer les EN grâce à la couleur, au nectar ou au pollen, et leur émission de composés organiques volatils (COV) qui peuvent avoir un effet direct de répulsion sur les ravageurs ou, à l'inverse, favoriser l'attraction des EN(Ben-Issa et al., 2017 ; Dardouri et al. 2019).

Ainsi, les COV qu'émettent les plantes sont des molécules lipophiles de faible poids moléculaire et de forte pression de vapeur à température ambiante, ce qui leur permet de traverser facilement les membranes cellulaires et d'être diffusés dans l'environnement (Dudareva et al. 2013). Toutes les différentes parties de la plante émettent des COV que ce soient les racines, les tiges mais principalement les feuilles et les fleurs. Leur émissions dépend des conditions climatiques, que ce soit la température de l'air, le vent ou encore l'humidité relative (Vallat et al. 2005). De plus, en conditions de stress biotique ou abiotique (exemple : forte température), un plus grand nombre et une plus grande variété de COV peuvent être synthétisés (« COV des plantes_ABA PIC_iteipmai.pdf », 2023).

Les COV de manière générale remplissent plusieurs fonctions : l'attraction des pollinisateurs, la défense contre les herbivores et la communication inter plantes. De plus on estime que certains COV peuvent exercer un effet répulsif et impacter le comportement alimentaire ou le taux de reproduction de certains ravageurs (Dardouri et al. 2019).



Figure 4. *Cantharidae*, un EN du puceron.
(Camille Winkler)



Figure 5. *Araneae* prédatant un puceron cendré
(Camille Winkler)



6. *Forficulidae* observé dans les replis foliaires de *F. vulgare*
(Camille Winkler)

Parmi les EN du puceron cendré susceptibles d'être attirés par les PdS, on retrouve différents groupes de prédateurs et de parasitoïdes.

Chez les prédateurs, les Coccinellidae (Coleoptera) jouent un rôle important. Une étude a montré que des lâchers d'œufs et de larves réalisés en début de saison (avril) entraînaient une réduction significative des populations de *D. plantaginea* (Wyss et al. 1999). Les Forficulidae (Dermaptera) (Figure 6) contribuent également à cette régulation : plusieurs travaux ont démontré qu'une forte abondance de Forficulidae dans une parcelle pouvait significativement réduire les populations de pucerons, notamment celles du puceron lanigère (*Eriosoma lanigerum*) (Mueller et al. 1988 ; Alins et al. 2023).

Les Syrphidae (Diptera) constituent un autre groupe de prédateurs : la présence de leurs œufs et larves, favorisée par l'attraction des fleurs, est corrélée à une diminution des populations de pucerons dans les cultures. (Hogg et al. 2011) . Les Miridae (Hémiptera) sont aussi considérés comme prédateurs des pucerons (Pérez-Hedo et Urbaneja 2015) tout comme les Cantharidae (Figure 4) (Landis et Van der Werf 1997).

Les Araneae (Figure 5), considérés comme des prédateurs généralistes, peuvent aussi contribuer à la régulation des pucerons. Contrairement aux groupes précédents qui agissent principalement au printemps (avril-juin), les Araneae exercent une pression plus marquée à l'automne, réduisant ainsi le nombre de pucerons présents l'année suivante (Wyss et al. 1995 ; Bumroongsook et al. 1992).

Outre les prédateurs, certains parasitoïdes jouent un rôle clé dans le contrôle des pucerons. Les Hyménoptères (Braconidés et Aphelinidés) et, plus rarement, les Diptères (Cécidomyidés) parasitent directement les pucerons. Le développement du parasitoïde se déroule intégralement dans l'hôte : après la ponte, la larve tue le puceron à son dernier stade, dont la cuticule durcie forme une « momie » d'où l'adulte émerge en perforant la paroi (Boivin et al. 2012)

Une étude montre que l'association des deux (prédation et parasitisme) sont complémentaire et améliore le déclin des population de puceron (Gontijo et al. 2015).

L'équipe Plante et Systèmes Horticoles (PSH) de l'INRAE Avignon a notamment démontré en laboratoire que *Mentha x piperita* avait un effet répulsif contre *D. plantaginea* (Dieudonné et al., 2022). *Ocimum basilicum* et *Tagetes patula* peuvent avoir un effet sur le comportement alimentaire et la reproduction de *Myzus persicae* (Dardouri et al. 2021).

Plus largement d'autres études traitent le sujet de l'utilisation de PdS au sein de parcelle agricole. Par exemple, une étude indique que l'utilisation de plantes aromatiques dans une plantation de thé amenaient des ennemis naturels (comme par exemple des Coleoptera, Araneae ou Chrysopa) et réduisaient les ravageurs de culture de thé (Pokharel et al. 2023). Un autre, parle de l'utilisation du fenouil et notamment de ces fleurs pour attirer des Syrphidae et ainsi utiliser cette plante comme culture-barrière contre les ravageurs (Udayakumar et al. 2023).

Malgré ces résultats encourageants, il reste nécessaire de mieux comprendre comment l'utilisation de PdS, appliquée au sein d'un verger de pommiers, peut contribuer à renforcer la lutte biologique par conservation.

C'est la raison pour laquelle une thèse (titre : Effets l'introduction et de la gestion de plantes de services sur le paysage olfactif et la régulation de pucerons en arboriculture fruitière ») est en cours sur ce projet pour étudier l'impact des PdS dans un verger de pommier sur *D. Plantaginea*. Dans cette expérimentation l'utilisation de quatre PdS différentes a été choisie.

Ainsi a été choisi d'étudié respectivement : *O. basilicium* et *T. patula* pour leurs COV qui peuvent avoir un effet sur le comportement alimentaire et la reproduction du puceron vert du pêcher (Dardouri et al. 2021a), *F. vulgare* et enfin, *M. x piperita* dont un effet répulsif contre *D. plantaginea* a été observé (Dieudonné et al. 2022). Ces espèces ont également été retenues en raison de leur potentiel à favoriser la présence d'ennemis naturels de *D. plantaginea*, par leur floraison ou par l'émission de composés volatils attractifs

Ainsi, le stage s'inscrit dans cette thèse et la problématique est la suivante :

L'introduction de PdS dans un verger de pommier peut-elle contribuer à limiter l'infestation de *D. Plantaginea* et renforcer son contrôle par les EN ?

Pour répondre à cette problématique, quatre hypothèses seront testées :

1. Le choix des Pds influence l'abondance et la diversité des EN attirés.
2. Le stade phénologique des PdS et l'émission de COV associés modifient l'attraction des EN au cours de la saison.
3. Les EN observés sur les PdS se retrouvent également dans les colonies de pucerons.
4. L'introduction de PdS favorise la présence d'EN dans les colonies et contribue à réduire la dynamique des populations de pucerons.

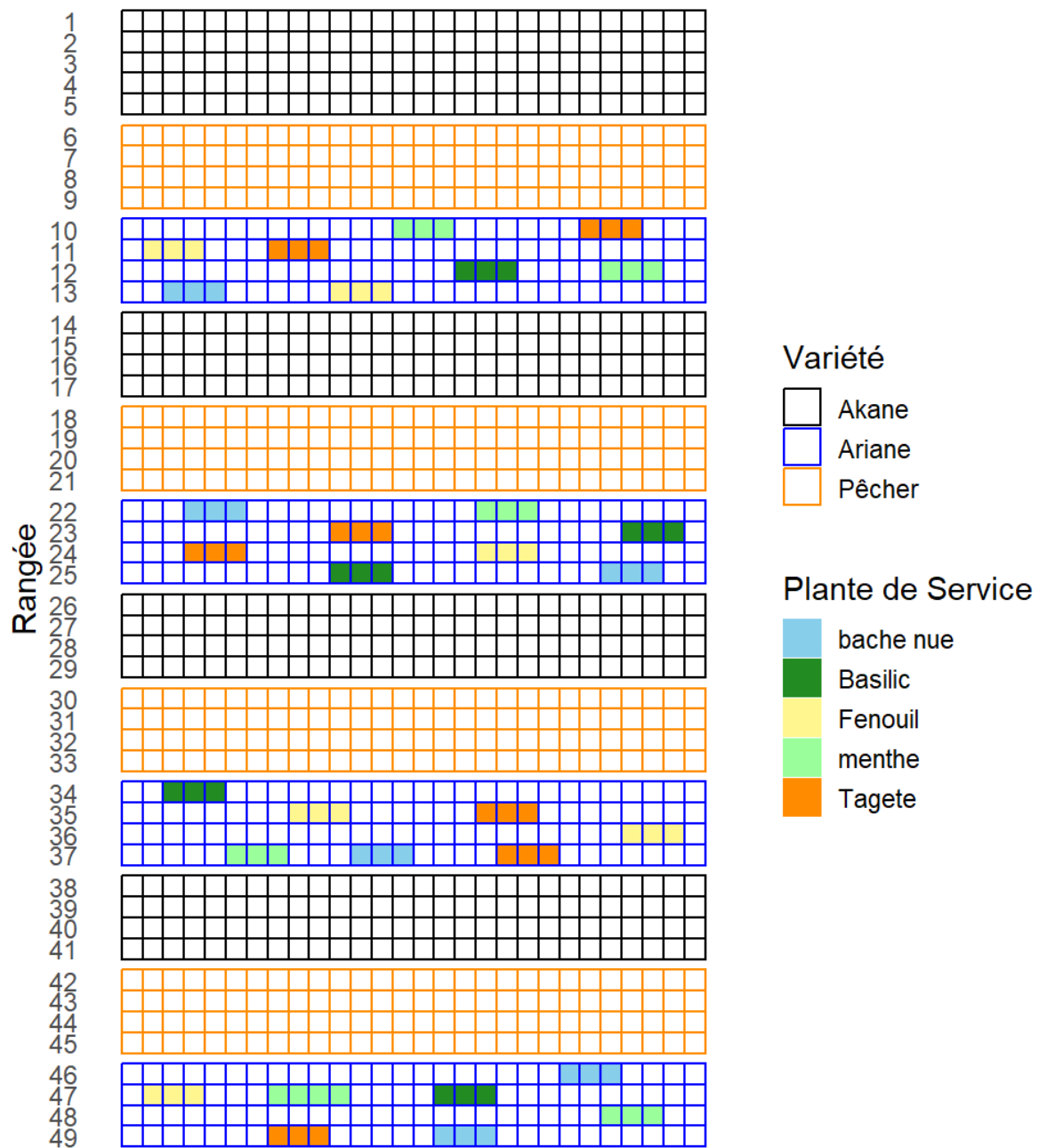


Figure 8. Schéma représentatif du verger plurispécifique.

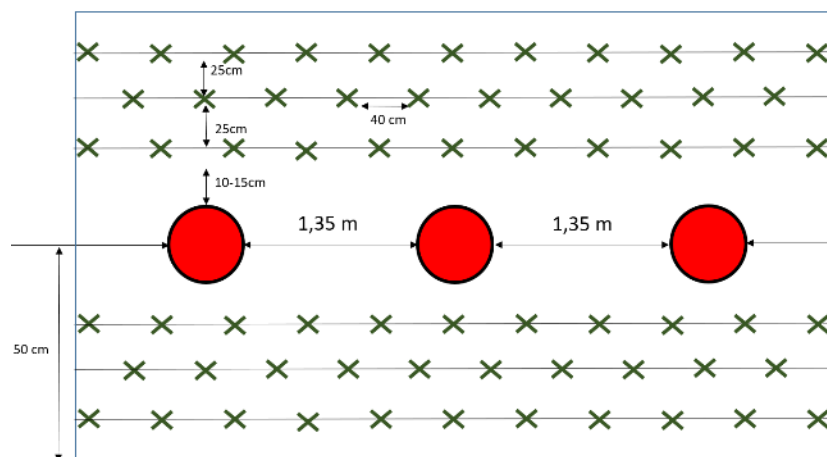


Figure 7. Schéma représentant la plantation des PdS

II. Matériel et méthode

1. Le verger

a. La parcelle expérimentale

L'expérimentation a été conduite sur le site du domaine Saint-Paul, géré par l'INRAE à Avignon. Dans le cadre du projet *CapZéroPhyto*¹, un verger a été mis en place en février 2023, par l'unité PSH et l'Unité Expérimentale (A2M). Il s'agit d'un verger plurispécifique combinant des pêchers et des pommiers, couvrant une surface de 1,2 hectare. Il est orienté Est/Ouest, encadré au Nord et au Sud par des haies de cyprès.

L'implantation suit une alternance répétée quatre fois de quatre rangs de pommiers Akane, quatre rangs de pêchers Nectarlove, puis quatre rangs de pommiers Ariane. Chaque rangée de pommiers comprend 28 arbres espacés de 1,35 m, avec un inter-rang de 4 m. Les arbres sont conduits en bi-axe. Un système de goutte-à-goutte a été installé sur l'ensemble de la parcelle. La gestion phytosanitaire est similaire à celle d'un verger en agriculture biologique. Une application d'huile minérale a été réalisée à la mi-mars pour lutter contre les pucerons.

b. Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation, reconduite suite à l'année précédente en 2024, a été installée sur les 16 rangées de pommiers de variété Ariane, normalement plus sensible à *D. Plantaginea*. Ces rangées forment quatre blocs distincts, séparés par des rangées de pêchers et de pommiers Akane. L'installation des PdS ayant déjà été fait l'année dernière, a été repris cette année. Le choix des emplacements de leurs mise en place s'est faite l'année dernière avec la méthode décrite ci-après.

Pour sélectionner les arbres qui feront partie de l'expérimentation, un état sanitaire des arbres mort a été fait et la circonférence de chaque axe a été mesurée juste au-dessus du point de greffe, afin d'identifier les sujets bi-axes de vigueur équivalente. Cela a permis de définir les placettes : groupes de trois arbres bi-axes consécutifs, en bon état sanitaire, accompagnés d'une espèce de PdS, chacun représentant une répétition d'une modalité. Les placettes ont été sélectionnées de manière à être les plus éloignées possible les unes des autres, avec un minimum de 5 mètres entre chaque, sur la base des mesures réalisées sur l'ensemble des rangs Ariane. Trente placettes ont ainsi été déterminées.

Les PdS ont ensuite été réparties de manière aléatoire par tirage au sort sans remise, afin d'assigner successivement les placettes proches des pêchers, de la haie Nord, puis de la haie Sud. Les PdS restantes ont été réparties de manière à assurer la présence d'au moins une modalité par bloc.

¹ <https://www.cultiver-protéger-autrement.fr/les-projets/cap-zero-phyto>



Figure 9. Placette. A= Bache nue; B=*T. patula*; C=*O. basilicum*; D= *M. x piperita*; E= *F. vulgare*. (Camille Winkler)

c. Les plantes de service et implantation des placettes

Les espèces végétales utilisées comme PdS sont les suivantes : fenouils sauvage (*Foeniculum vulgare*), basilic pistou (*Ocimum basilicum* cv. Pistou), tagète Ground Control (*Tagete patula* cv. Ground Control) et menthe poivrée (*Mentha x piperita* Digne 38) (Figure 9). Le témoin se fait avec des placettes bâche nue donc sans PdS assigné parmi les trente placettes. Tous les plants ont été produits en pépinières sauf les *F. vulgare* : les *T. patula* et les *O. basilicum* proviennent d'une pépinière Nimaplant situé à Caissargues, tandis que les *M. piperita* ont été fournies par la pépinière S.A.R.L. du Tilleul à Châteaurenard, sous forme de mini-mottes. Les *F.vulgare*, quant-à-eux, ont été produits à INRAE PHS. Toutes les PdS étaient au stade végétatif au moment de la plantation sauf *T. patula* qui était au stade des boutons floraux.

Avant plantation, un passage d'intercept rotatif a permis de décompacter le sol. Les PdS ont été plantées à des dates différentes : *F. vulgare* a été mis en terre le 8 avril, tandis que *M. x piperita*, *O.basilicum* et *T.patula* ont été plantés le 9 avril. Les densités de plantation ont varié en fonction du développement attendu des plantes. Les bâches de l'année précédente ont été réutilisées, permettant de conserver les nombres de plants par placette suivant : environ 64 plants par placette pour *T. patula*, pour une densité de plantation de 15 plant/m² ; 76 pour *O. basilicum* (densité de plantation de 18 plants/m²) ; 52 pour *M. x piperita* avec une densité de plantation de 13 plants/m². *F. vulgare* ayant été en quantité insuffisante, seule la moitié des plants prévus a pu être mise en place soit environ 25 plants par placette pour une densité de plantation de 6 plants/m². La plantation s'est faite de chaque côtés des 3 arbres de pommiers sélectionnés sur 3 lignes, en quiconque, et les placettes avaient une taille identique : 4 mètres de long pour 1 mètre de large. Une seconde plantation a été effectuée le 7 mai afin de remplacer les plants morts.

d. Infestation artificielle

Aux vues du peu de pucerons présents naturellement dans le verger, il a été réalisé une infestation artificielle de puceron cendré. Pour ce faire, des colonies de pucerons cendrés ont été prélevés dans un verger de pommier, à côté du verger où se passe l'expérimentation ; le verger de pommier cv Ariane du site INRAE St Paul. Des colonies ont été choisies avec de nombreux pucerons et l'infestation s'est faite le jour même.

Pour protéger les pucerons inoculés, chacun était mis sous clip-cage (Figure 10. Inoculation d'un puceron par Clip Cage.) (Dardouri 2018). Ainsi, on déposait une femelle puceron adulte sur une jeune feuille choisie au préalable puis on a placé la clip-cage (Figure 10. Inoculation d'un puceron par Clip Cage.) dessus. L'opération s'est répétée sur toutes les placettes à raison de deux clip-cages par axe donc 4 par arbres. Cette infestation a été réalisée le 6 mai. Les clip-cages ont été enlevé une semaine après, soit le 13 mai pendant le premier relevé. Un deuxième a été fait deux jours après. Puis, un relevé hebdomadaire a été réalisé.



Figure 10. Inoculation d'un puceron par Clip Cage.(Camille Winkler)



Figure 11. Captation de COV avec cloches (Victorine Kienlen, stagiaire en 2024)

2. Relevés réalisés

a. Suivi des PdS et des EN associés

Un suivi hebdomadaire des EN présents sur les PdS a été fait à partir du 15 avril jusqu'au 30 juin 2025. Les observations étaient réalisées uniquement dans des conditions météorologiques favorables : soleil, vent nul ou très faible, et absence de pluie.

Deux observateurs prenaient place de part et d'autre de chaque placette (Est/Ouest). Pendant 2 min, chacun observait une moitié de placette, en repérant les EN ainsi que les ravageurs éventuels sur les PdS.

Lors de ces relevés, un suivi phénologique a également été réalisé sur 10 plantes par placette (5 à l'est, 5 à l'ouest) sauf pour *F. vulgare* où ce suivi s'est concentré sur 6 plantes par placette (soit 3 de chaque côté).

Les plantes suivies ont été choisies parmi les plus vigoureuses lors du premier relevé et sont restées les mêmes tout au long de la saison. Ainsi, les suivis de croissance et suivi phénologique se sont concentrés sur les mesures de hauteur des 10 plantes sélectionnées, le nombre total de plantes en fleurs sur la placette et le nombre de plant morts.

b. Prélèvement des COVS

Pour caractériser les COVs émis une capture par la méthode de la cloche a été réalisé à deux reprises ; le 28 avril 2025 et le 5 juin 2025.

Le principe de cette méthode repose sur l'isolation de la plante à l'aide d'une cloche inodore constituée d'armure métallique et recouvert d'un film de polytétrafluoroéthylène (PTFE). Un flux d'air est injecté à la base de la cloche via un filtre à charbon actif, à un débit de 8 L/min. L'air chargé en COV est ensuite aspiré au sommet de la cloche à travers une cartouche absorbante Tenax. Le prélèvement dure 20 minutes. Cette méthode nécessite des conditions météorologiques optimales (journée ensoleillée, peu ou pas de vent, absence de pluie).

Pour chaque modalité de PdS, deux placettes ont été choisi dans le bloc un et deux. Ensuite sur un côté de la placette choisis, trois cloches étaient installées sur trois plantes sélectionnées aléatoirement. Pour ces trois cloches, le prélèvement était de 20 minutes en simultanées (Figure 11. Captation de COV avec cloches (Victorine Kienlen, stagiaire en 2024).

c. Analyse des COV

Les cartouches Teenax ont ensuite été désorbés puis analysés avec un chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GC-MS). Le GC-MS est une technique analytique qui permet de séparer et d'identifier les composés présents dans un mélange complexe, ici les COV. Il existe deux étapes principales qui sont : la chromatographie en phase gazeuse (GC) et la spectrométrie de masse (MS).

Pour le GC, Les COV sont injectés dans l'appareil dans une colonne chromatographique où les composés sont séparés dû à leur interaction avec la paroi interne de la colonne. Ainsi, les molécules sortent à des temps différents ; c'est le temps de rétention.

Lors de la seconde étape (MS), ces molécules sont ionisées, elles auront donc une charge. Ainsi, les ions peuvent être triés selon leur rapport masse/charges.

A partir de cela on obtient un chromatogramme représentant le profil des COV émis dont les aires de pic sont calculées par le logiciel AMDIS puis les données sont exportées sous le logiciel Excel pour analyse. Ça se passe de cette manière : on couple une analyse non ciblée à partir de la banque de données (NIST) à une analyse ciblée, en créant une banque de données personnalisées des COV émis par chaque plante étudiée.

d. Suivi des EN et des pucerons sur les colonies naturelles et artificielle

À l'échelle du verger, l'infestation par *D. plantaginea* sur les pommiers Akane et Ariane a été évaluée selon un protocole basé sur le pourcentage de rameaux présentant des symptômes (feuilles enroulées). Les arbres ont été classés dans l'une des cinq catégories d'infestation suivantes (selon S. Simon) : 0 = 0 % ; 1 = 1 à 10 % ; 2 = 11 à 25 % ; 3 = 26 à 50 % ; 4 = 50 %. Ces évaluations ont été menées les 11 avril et 13 mai.

Un suivi hebdomadaire des colonies de pucerons a été effectué sur les 30 placettes. Deux rameaux infestés ; porteurs de colonies ont été choisis par axe. Pour l'infestation artificielle, nous avons sélectionné les rameaux à infester, en plaçant la clip-cage contenant le puceron sur une jeune feuille préalablement choisie.

Ainsi, par arbre bi-axe, 4 colonies étaient suivies. Un rameau est défini ici comme une pousse de l'année. Une colonie est caractérisée par la présence d'au moins deux pucerons cendrés. Si une colonie s'étend à un rameau voisin, elle est considérée comme une colonie distincte.

Ainsi, pour chaque arbre de chaque placette, les observations suivantes ont été réalisées : hauteur et orientation de la colonie ; nombre de pucerons aptères et ailés, comptés ou estimés ; nombre de feuilles totales et nombre de feuilles infestées sur le rameau suivi ; présence et identification des EN observés sur les feuilles infestées ; nombre de rameaux infestés au total.

Pour les deux types d'infestation, un relevé hebdomadaire a été réalisé. Pour l'infestation naturelle le suivis s'est fait du 10 avril au 3 juin 2025. Pour l'infestation artificielle, le premier relevé a été réalisé lorsque les clip-cages ont été enlevées soit le 13 mai puis un deuxième relevé deux jours plus tard, le 15 mai 2025. La période de relevé s'étend donc du 13 mai au 11 juin. Pour les deux types d'infestation (naturelle et artificielle), les relevés sont arrêtés quand il n'y a plus de colonie ni de pucerons.

3. Analyses statistiques

Toutes les analyses et les graphiques ont été réalisées avec la version 2023.12.1 Build 402 de RStudio.

Les graphiques ont été fait avec le package ggplot2.

Les différences entre le nombre moyen de colonies par axe par PdS ont été testé avec le test non paramétrique Kruskal-Wallis avec un niveau de confiance de 5% pour chaque date de relevé. Idem pour le nombre moyen de pucerons.

Un test post-hoc de Dunn a permis de différencier les catégories entre elles lorsque $p\text{-value} < 0,05$.

Toutes les Analyses en Composantes Principales (ACP) ont été réalisées avec le package FactoMiner sur Rstudio sur les 15 COV émis les plus importants de chaque PdS à deux dates de prélèvement (avril et juin). Des variables supplémentaires ont été ajoutées, qui représentent la présence des EN. De plus, un test Permanova a été effectué pour voir s'il existait des différences significatives entre les deux dates pour chaque PdS.

Les tableaux présentés ont été faits sur Excel. L'indice de Shannon, l'équitabilité et la richesse spécifique ont été calculés en sommant tous les EN retrouvés sur toutes les placettes de PdS par mois.

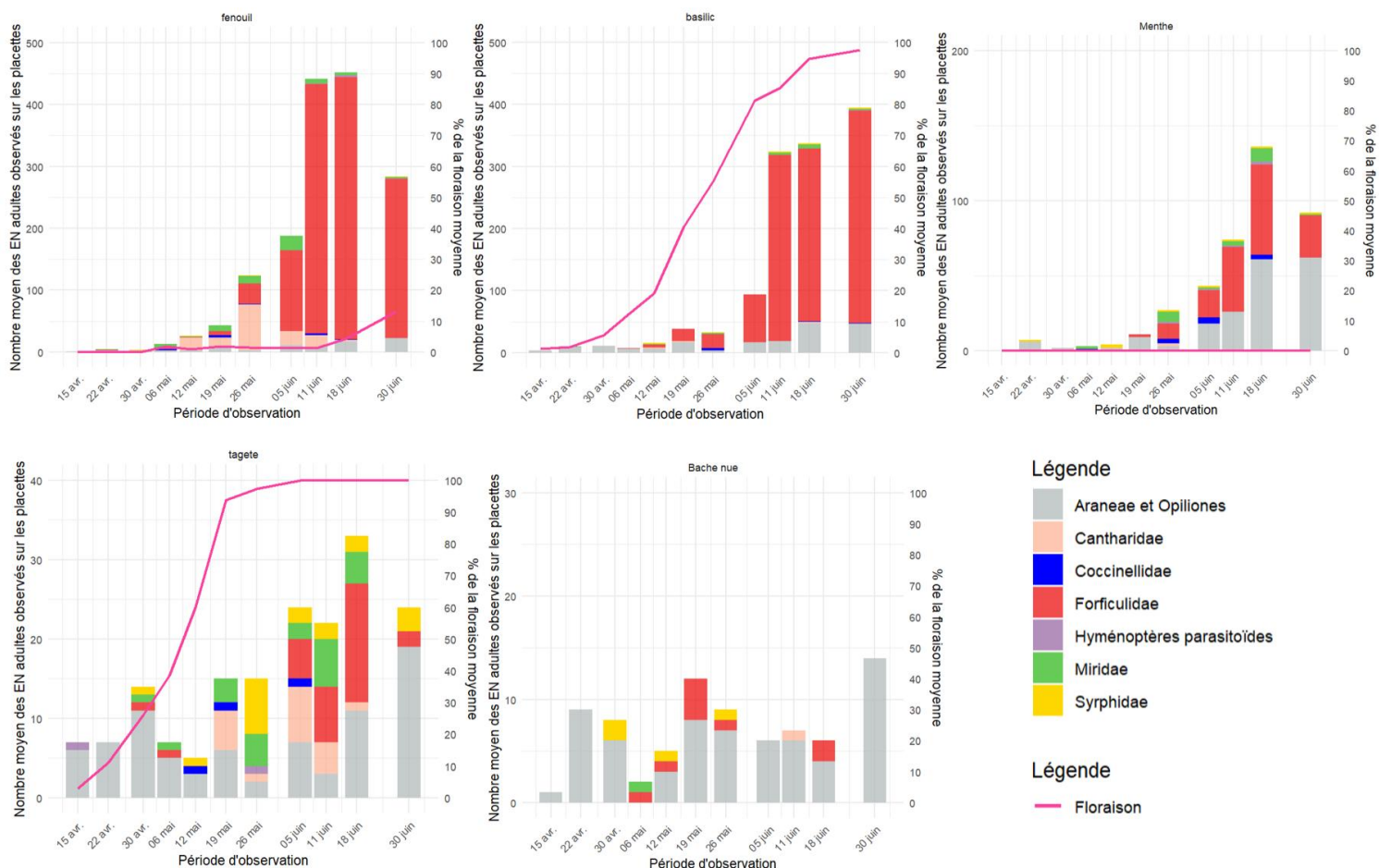


Figure 12. Abondance d'EN au niveau des PdS avec la dynamique de floraison (courbe rose) pour la période d'observation

Tableau 1. Tableau avec les résultats de l'indice de Shannon et de l'équitabilité calculé sur l'addition de tous les individus retrouvés par mois pour toutes les placettes de chaque PdS

	PdS	Shannon	Richesse	Equitabilité
Avril	Bâche nue	1,05	5	0,65
	Basilic	0,7	4	0,51
	Fenouil	1,4	6	0,79
	Tagete	0,88	8	0,42
	Menthe	0,84	4	0,61
Mai	Bâche nue	0,94	5	0,58
	Basilic	1,4	8	0,67
	Fenouil	1,38	9	0,62
	Tagete	1,81	10	0,79
	Menthe	1,84	9	0,84
Juin	Bâche nue	0,66	5	0,4
	Basilic	0,53	9	0,24
	Fenouil	0,54	10	0,23
	Tagete	1,65	8	0,79
	Menthe	1,37	9	0,62

III. Résultats

1. Abondance et diversité des EN selon les PdS

La Figure 16 présente le nombre moyen d'EN retrouvés au sein des placettes de PdS. De plus, un indice de Shannon a été calculé par mois pour chaque PdS ainsi qu'un indice d'équitabilité, dont les résultats sont présentés dans le Tableau 1. Ce tableau reprend les résultats obtenus à partir de l'addition de tous les individus retrouvés par mois pour toutes les placettes de chaque PdS.

T. patula est l'espèce présentant la floraison la plus précoce parmi l'ensemble des modalités, avec 100 % de floraison observée dès le 5 juin. Cette modalité est accompagnée d'une grande diversité de familles d'EN, mais c'est également celle où le nombre total d'individus observés est le plus faible. Une augmentation du nombre d'EN est constatée à partir d'une floraison dépassant les 90 %, vers le relevé du 19 mai. Tout au long de la saison, des Araneae et des opilions ont été retrouvés. Les EN les plus fréquents sont les Cantharidae (pic de 7 individus le 11 juin), les Forficulidae (jusqu'à 15 individus le 18 juin), les Miridae (6 individus le 11 juin) et les Syrphidae (7 individus le 26 juin). L'indice de Shannon augmente entre avril (1,81) et mai, puis diminue légèrement en juin (1,65). La richesse reste relativement stable, avec une légère augmentation en mai (8 en avril, 10 en mai et 8 en juin). L'équitabilité passe de 0,42 en avril à 0,79 en mai et reste stable en juin. Ainsi, *T. patula* se caractérise par une diversité relativement élevée mais une abondance totale limitée.

F. vulgare présente une floraison plus tardive que *T. patula*. Quelques individus en fleurs sont observés dès le 6 mai, avec une floraison atteignant environ 1,5 % jusqu'au 11 juin. Le pourcentage passe à 4 % le 18 juin, puis à 11 % le 30 juin. Une augmentation progressive du nombre d'EN est observée tout au long de la saison, jusqu'au 18 juin. Très peu d'EN sont relevés en avril. En mai, les groupes dominants sont les Cantharidae, les Miridae et les Coccinellidae. Dès début juin, une forte présence de Forficulidae est constatée. Entre les relevés du 26 mai, 5 juin, 11 juin et 18 juin, le nombre d'individus passe respectivement de 33 à 130, puis 403 et enfin 423. Le 18 juin correspond au maximum observé. Les Miridae, Cantharidae, Coccinellidae et Araneae sont également présents mais en effectifs moindres. L'indice de Shannon reste proche entre avril (1,4) et mai, puis diminue en juin (0,54). La richesse augmente progressivement de 6 à 10 espèces. L'équitabilité passe de 0,79 en avril à 0,62 en mai puis chute à 0,23 en juin. On peut donc dire que *F. vulgare* se caractérise par une abondance massive d'EN, dominée par les Forficulidae, au détriment de la diversité.

M. x piperita fleurit tardivement, après le mois de juin. Peu d'EN sont observés avant la mi-mai. À partir du 26 mai, on note la présence de Forficulidae (10), Miridae (7), Araneae (3), Cantharidae (2), Coccinellidae (3), un Syrphidae et un Hyménoptère parasitoïde. L'indice de Shannon augmente entre avril (0,84) et mai (1,84), puis diminue en juin (1,37). La richesse passe de 4 espèces en avril à 9 en mai et juin. L'équitabilité reste sensiblement la même entre avril et juin, avec une augmentation en mai (0,84). Le maximum d'EN est atteint le 18 juin, avec 136 individus, dominés par les Forficulidae (60) et les Araneae (61).

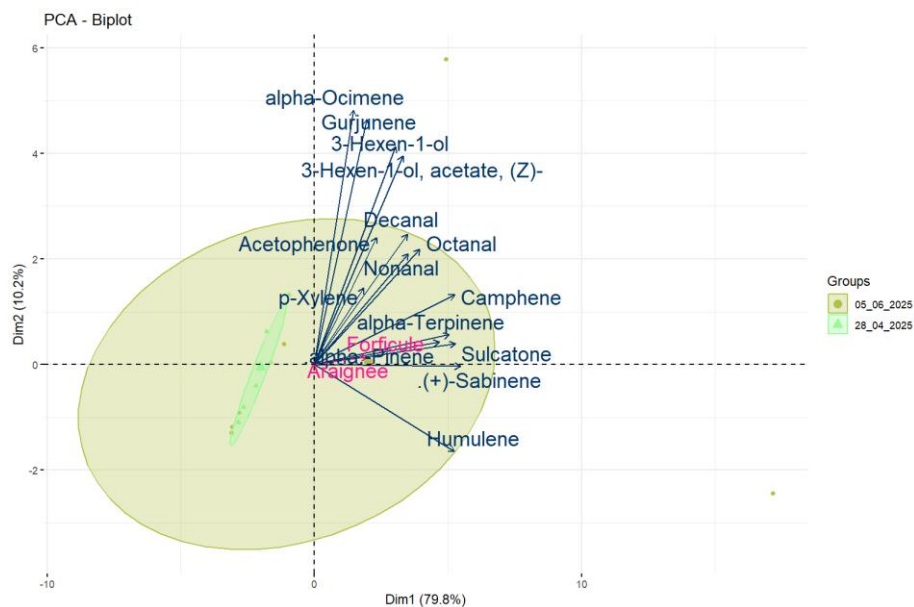


Figure 13. ACP des COV émis par *O. BASILICUM* pour les deux dates de captation. Des variables supplémentaires sont les EN retrouvés lors des observations

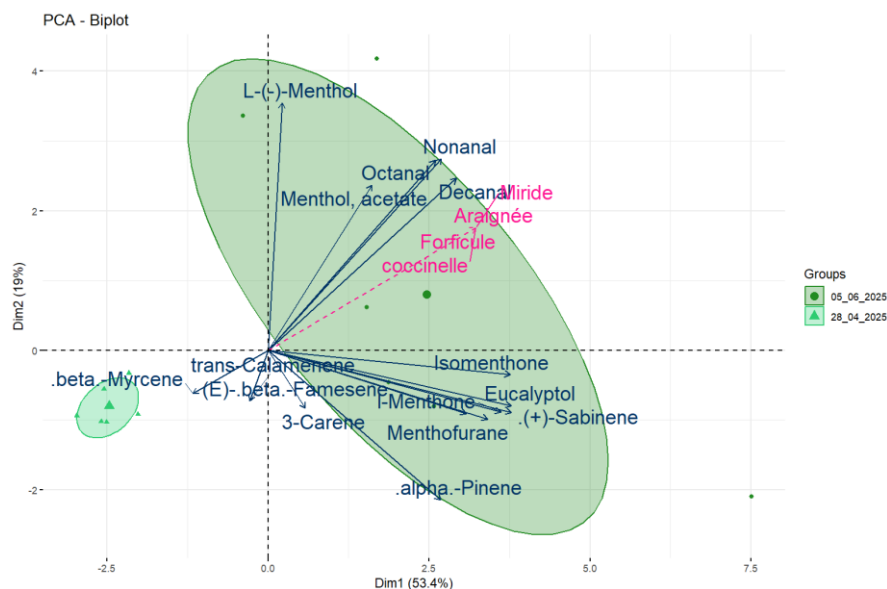


Figure 14. ACP des COV émis par *M. x piperita* pour les deux dates de captation. Des variables supplémentaires sont les EN retrouvés lors des observations

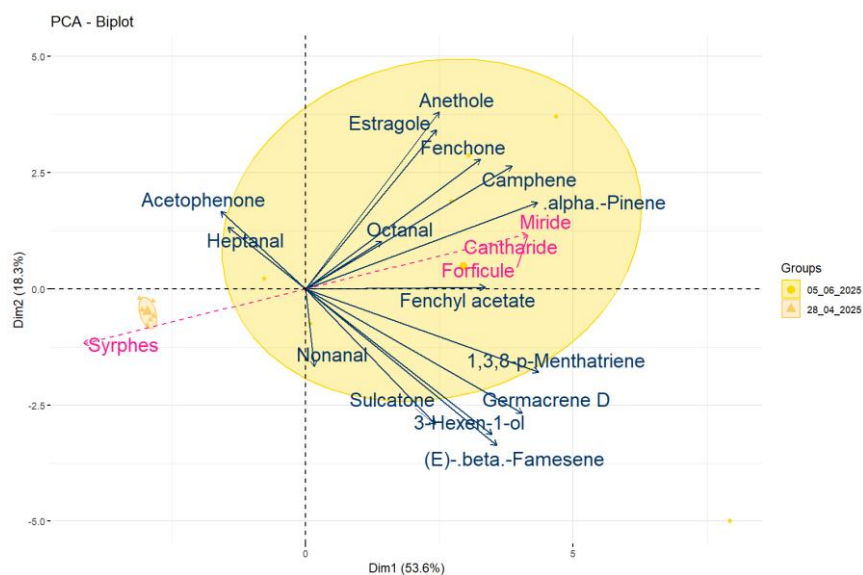


Figure 15. ACP des COV émis par *F. vulgare* pour les deux dates de captation. Des variables supplémentaires sont les EN retrouvés lors des observations

O. basilicum présente peu d'EN en avril et en mai, bien que la floraison commence dès avril (1,34 % le 15 avril, dépassant 50 % le 22 mai). Une nette augmentation des Forficulidae est observée en juin. Le nombre d'individus est de 77 le 5 juin, 299 le 11 juin, 278 le 18 juin et 342 le 30 juin. L'indice de Shannon augmente entre avril (0,7) et mai (1,4), puis diminue en juin (0,53). La richesse augmente régulièrement (5 espèces en avril, 9 en juin). L'équitabilité évolue fortement : elle augmente entre avril et mai puis chute drastiquement en juin. *O. basilicum* se caractérise par une attractivité tardive et massive, dominée par les Forficulidae, entraînant une faible diversité en fin de saison.

Enfin pour bêche nue peu d'EN sont recensés, avec une dominance marquée des Araneae. L'indice de Shannon diminue de 1,05 en avril à 0,66 en juin. Le nombre d'espèces reste constant (5). L'équitabilité est relativement stable, entre 0,65 en avril et 0,4 en juin. Ainsi, bêche nue se caractérise par une faible abondance et une diversité limitée, constituant un témoin peu attractif.

2. Composition en COV des PdS et attraction des EN au cours de la saison

Les graphiques ACP ainsi que le tableau 2 montrent qu'au mois d'avril, la composition en COV est globalement moins diversifiée et plus pauvre que celle observée en juin, et ce pour toutes les PdS. Le test de Permanova confirme une différence significative entre les deux dates pour chaque modalité.

Pour *F. vulgare* (Figure 15) les composés tels que l'anéthole, l'estragole, la fenchone, l' α -pinène et le camphène sont corrélés positivement à Dim1, et donc abondants dans les échantillons du 5 juin. En avril, on retrouve principalement de l' α -phellandène (30 %), de l' α -pinène (24 %) et de l' α -terpinéol (14 %). Les Forficulidae et Cantharidae sont fortement corrélés à la présence de fenchyl acetate, α -pinène et estragole. À l'inverse, les Syrphidae ne sont pas corrélés à ces composés : leur densité est plus forte dans des environnements avec peu de volatils aromatiques.

Pour *O. basilicum* (Figure 13), en avril, 24 COV sont émis, dont le p-xylène, l'acétophénone, le décanal et le 3-hexen-1-ol. En juin, on en retrouve près de 39, avec comme composés dominants l'eugénol (31 %), le linalool (17 %) et le méthyl-eugénol (13 %). La présence de Forficulidae et d'Araneae est légèrement corrélée à l'émission de COV de *O. basilicum* en juin.

Pour *M. x piperita* (Figure 14) en avril, la composition est peu diversifiée, dominée par l'isomenthone (37 %), l' α -pinène (27 %) et le L-(-)-menthol (13 %). L'ACP montre une faible dispersion des points pour ce mois. En juin, la diversité et l'abondance des composés augmentent fortement : l'isomenthone passe à 60 % et l'eucalyptol apparaît à 10 %. Les EN associés (Coccinellidae, Forficulidae, Araneae, Miridae) sont positivement corrélés aux COV émis en juin.

Pour *T. patula* (Figure 16) en avril, la composition des COV est peu diversifiée, dominée par le p-xylène (20 %), le nonanal (17 %) et l' α -pinène (16 %). En juin, l'émission devient plus diversifiée et plus importante, avec notamment de l' α -terpinolène (25 %) et du néo-allo-ocimène (10 %).

Pour bêche nue (témoin) on retrouve peu de variation du nombre de COV entre les deux dates, avec environ 16 composés identifiés. Les COV dominants sont le nonanal, le décanal, le p-xylène et l'octanal.

Enfin, certains composés sont retrouvés dans tous les prélèvements et sur toutes les modalités en juin : l' α -pinène, le d-limonène, le nonanal et l'octanal.

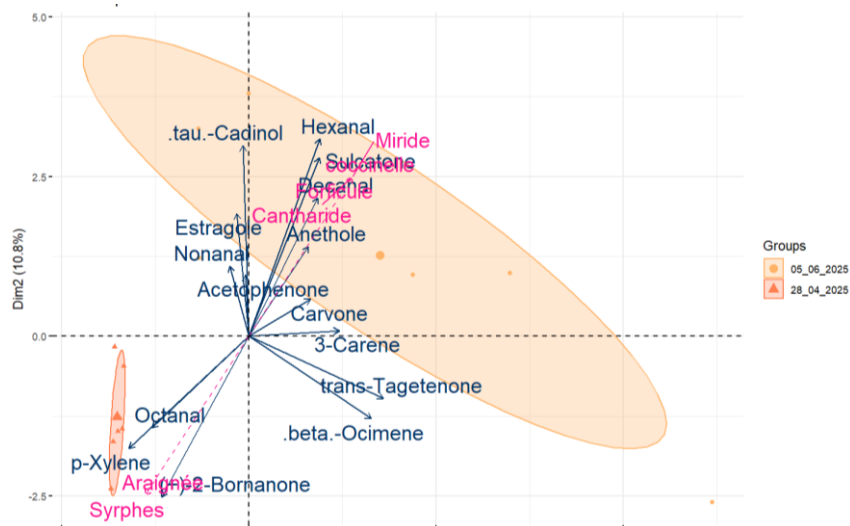


Figure 16. ACP des COV émis par *T. patula* pour les deux dates de captation. Des variables supplémentaires sont les EN retrouvés lors des observations

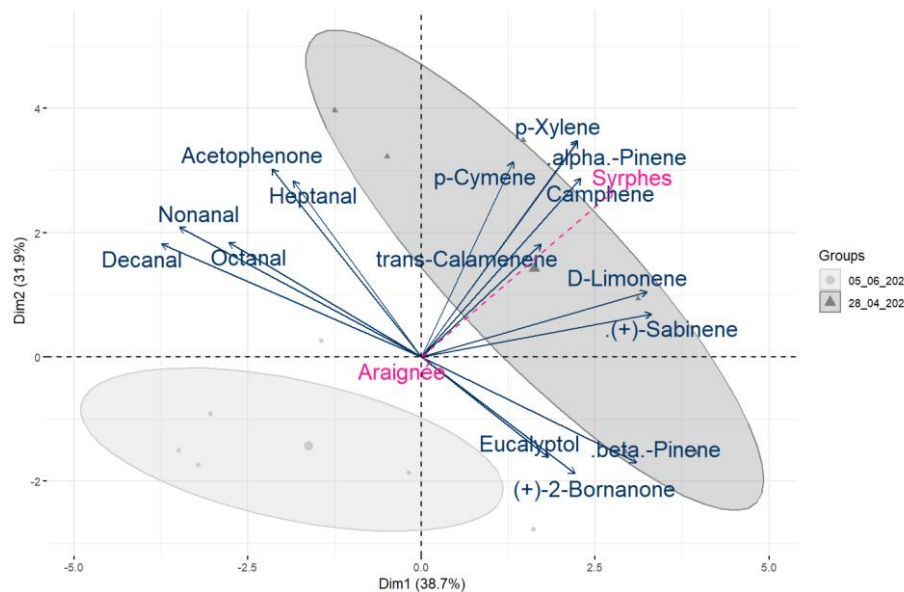


Figure 17. ACP des COV trouvés sur les placettes de bache nue pour les deux dates de captation. Des variables supplémentaires sont les EN retrouvés lors des observations

Tableau 2. Nom des 10 COV les plus représentés par PdS lors des deux dates d'échantillonnage, avec leur pourcentage relatif à la totalité des COV détectés pour chaque captation. »

Tagete				Fenouil				Menthe			
28-avr		05-juin		28-avr		05-juin		28-avr		05-juin	
p-Xylene	20%	alpha-Terpinolene	25%	.alpha.-Phellandrene	30%	Anethole	30%	Isomenthone	37%	Isomenthone	60%
Nonanal	17%	Neo-allo-ocimene	10%	.alpha.-Pinene	24%	.alpha.-Phellandrene	19%	.alpha.-Pinene	27%	Eucalyptol	10%
.alpha.-Pinene	16%	Caryophyllene	9%	.alpha.-Terpineol	14%	.alpha.-Pinene	19%	L-(-)-Menthol	13%	l-Menthone	5%
Decanal	14%	3-Hexen-1-ol, acetate, (Z)-	7%	.beta.-Myrcene	10%	.beta.-Myrcene	11%	D-Limonene	6%	D-Limonene	5%
D-Limonene	9%	D-Limonene	7%	3-Hexen-1-ol	5%	Fenchone	10%	Eucalyptol	4%	Nonanal	3%
Acetophenone	5%	cis-Tagetenone	7%	Acetophenone	4%	D-Limonene	4%	Menthol, acetate	4%	Menthofurane	3%
Octanal	4%	.beta.-Ocimene	7%	alpha-Terpinolene	4%	Estragole	3%	3-Carene	3%	Decanal	3%
.beta.-Myrcene	2%	3-Hexen-1-ol	5%	Anethole	3%	Neo-allo-ocimene	1%	.beta.-Pinene	2%	.beta.-Pinene	2%
3-Hexen-1-ol, acetate, (Z)-	2%	Piperitenone	4%	Camphene	2%	(E)-.beta.-Farnesene	1%	(+)-Sabinene	2%	.alpha.-Pinene	2%
3-Carene	2%	trans-Tagetenone	4%	D-Limonene	1%	alpha-Terpinolene	1%	Menthofurane	1%	L-(-)-Menthol	2%
Total du nombre de COV captés	19	Total du nombre de COV captés	36	Total du nombre de COV captés	18	Total du nombre de COV captés	23	Total du nombre de COV captés	12	Total du nombre de COV captés	16
basilic				Bache nue							
28-avr		05-juin		28-avr		05-juin					
p-Xylene	14%	Eugenol	31%	.alpha.-Pinene	18%	Nonanal	28%				
Nonanal	14%	Linalool	17%	Nonanal	17%	Decanal	26%				
.alpha.-Pinene	13%	Methyleugenol	12%	Decanal	15%	.alpha.-Pinene	8%				
Decanal	13%	Eucalyptol	10%	p-Xylene	15%	Heptanal	8%				
Eucalyptol	10%	(E)-.beta.-Farnesene	4%	Heptanal	7%	Acetophenone	8%				
Methyleugenol	7%	Bornyl acetate	3%	Acetophenone	7%	Octanal	7%				
Acetophenone	5%	trans-alpha.-Bergamotene	2%	Octanal	5%	(+)-2-Bornanone	4%				
Octanal	4%	gamma-Cadinene	2%	(+)-2-Bornanone	3%	p-Xylene	3%				
.beta.-Pinene	3%	delta-Guaiene	2%	Eucalyptol	2%	Eucalyptol	3%				
Bornyl acetate	2%	.alpha.-Terpineol	2%	D-Limonene	2%	p-Cymene	1%				
Total du nombre de COV captés	24	Total du nombre de COV captés	39	Total du nombre de COV captés	16	Total du nombre de COV captés	16				

3. EN observés dans les colonies de pucerons

a. Dans les colonies infestation naturelle

À partir de la Figure 18, qui représente l'abondance des EN dans les colonies de pucerons pour l'infestation naturelle ainsi que la densité moyenne de pucerons (courbe noire) en fonction des PdS, on observe que sur bêche nue, peu de colonies de pucerons se sont développées. Dès le premier jour de relevé, plusieurs EN sont néanmoins présents : 3 larves de Syrphidae, 2 Hyménoptères parasitoïdes, 2 Forficulidae et 1 Coccinellidae au total pour toutes les placettes. Par la suite, une augmentation du nombre de Coccinellidae est notée alors que les colonies déclinent fortement : 11 individus sont recensés le 22 avril 2025 pour une moyenne de seulement 0,3 puceron par colonie.

Au niveau des placettes de *O. basilicium*, le nombre de colonies de pucerons reste trop faible pour permettre une analyse pertinente. En l'absence de colonies, aucun relevé d'EN n'a pu être réalisé.

Sur *M. x piperita*, un pic de colonies est observé le 6 mai, accompagné de l'apparition des Forficulidae puis des Miridae dans d'importantes proportions. Les relevés du 6, 22, 26 mai et 3 juin indiquent respectivement 4, 5, 2 et 7 Forficulidae, et 0, 14, 6 et 0 Miridae. Quelques larves de Syrphidae sont également recensées (1 le 6 mai et 2 le 22 mai), ainsi que des pucerons momifiés (3 le 22 mai et 2 le 26 mai).

Sur *T. patula*, la présence de larves de Syrphidae est constatée dès les premières observations, au sein même des colonies de pucerons : 8 larves sont notées le 15 avril, 4 le 22 avril accompagnées de 2 Araneae, puis 7 Syrphidae le 30 avril 2025.

Pour *F. vulgare*, les EN apparaissent plus tardivement et en plus faible abondance que sur les autres PdS. Le 30 avril, une Araneae est observée, puis le 6 mai une Araneae supplémentaire, un Forficulidae et 2 larves de Syrphidae. Le 22 mai, 1 Forficulidae et 2 Miridae sont notés, et le 26 mai seule une Miridae est recensée.

b. Dans les colonies infestation artificielle

La Figure 23 présente le nombre d'EN retrouvés dans les colonies de pucerons lors de l'infestation artificielle. Le 13 mai, date du premier relevé et du retrait des clip-cages, aucune présence d'EN n'est attendue et effectivement aucun individu n'est observé à cette date.

Sur bêche nue, les premiers EN apparaissent dès le 15 mai, avec 2 Araneae et 3 Coccinellidae. Le 20 mai, 1 Araneae, 1 Forficulidae et 1 Miridae sont recensés, puis le 26 mai 3 Araneae et 2 Forficulidae.

Sur *O. basilicium*, certains EN parviennent à franchir la barrière des clip-cages. On observe ainsi 3 Araneae, 4 Forficulidae et 1 larve de Syrphidae au premier relevé. Par la suite, la présence d'EN diminue : un seul Hyménoptère parasitoïde est noté le 15 mai, et le dernier relevé positif correspond au 26 mai avec 2 Miridae et 2 Forficulidae.

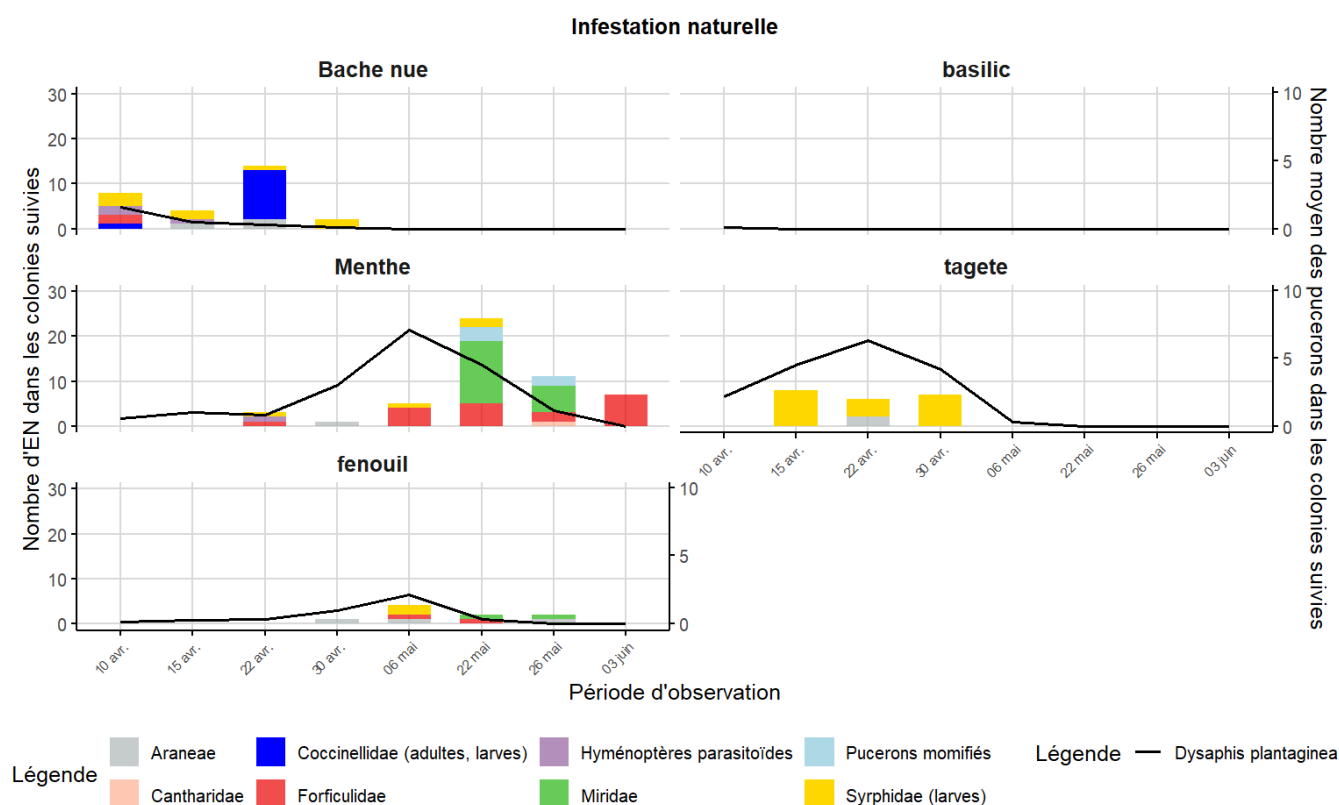


Figure 18. Abondance et familles d'EN observés (somme représentée sous forme de diagramme en bâton) dans les colonies naturelles de pucerons et la densité moyenne de pucerons (courbe noire) entre avril et juin en fonction des PdS.

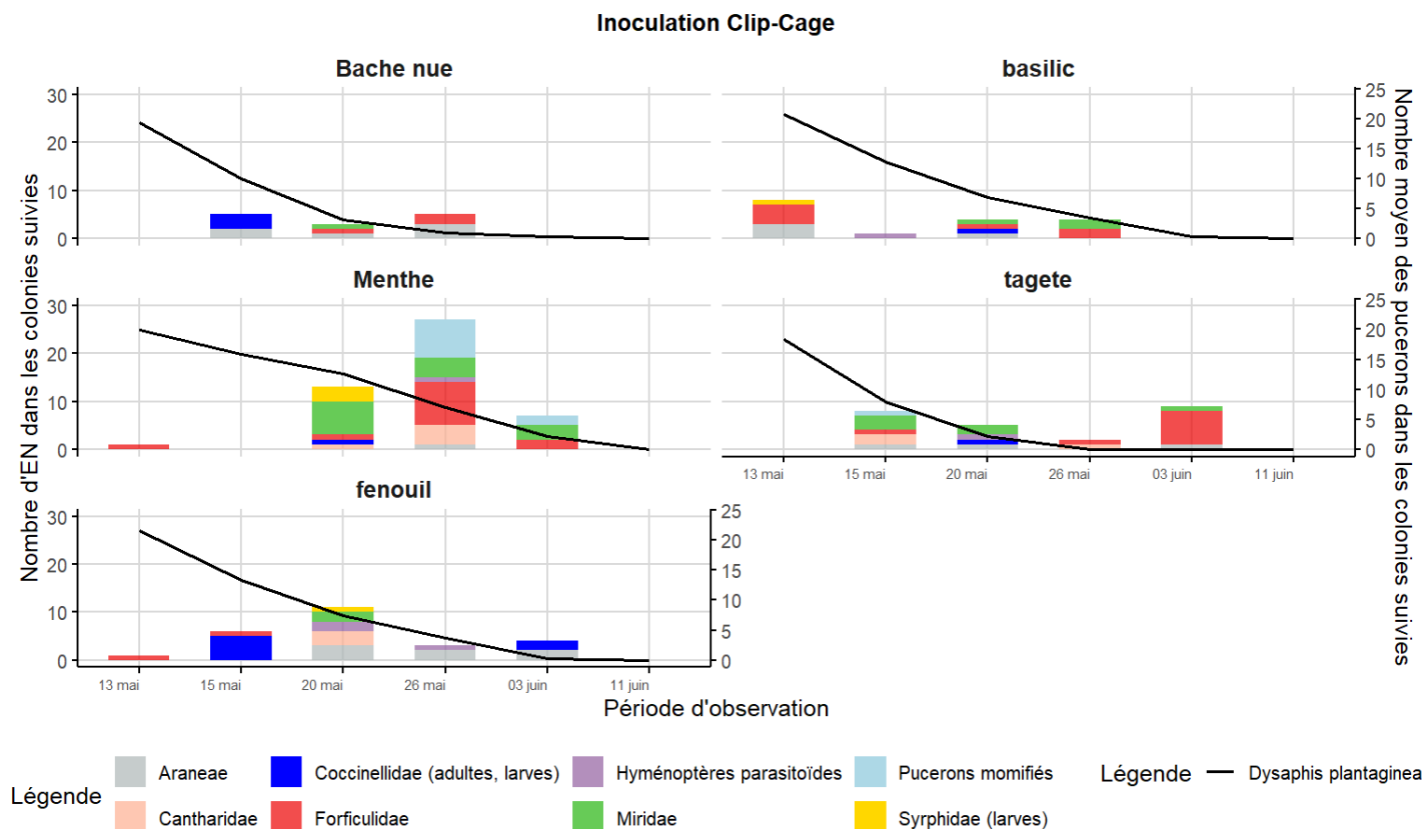


Figure 19. Abondance et familles d'EN observés (somme représentée sous forme de diagramme en bâton) dans les colonies d'infestation artificielle de pucerons et la densité moyenne de pucerons (courbe noire) entre avril et juin en fonction des PdS.

Sur *M. x piperita*, un nombre important d'EN est observé à la fin du mois de mai. Le 20 mai, 7 Miridae et 3 Syrphidae sont présents. Le 26 mai, 8 pucerons parasités et momifiés, 9 Forficulidae, 4 Miridae et 4 Cantharidae sont recensés. Début juin, lors de l'avant-dernier relevé, des Forficulidae, des Miridae et des pucerons momifiés sont encore observés mais en plus faible nombre.

Sur *T. patula*, peu d'EN sont retrouvés au sein des colonies pendant la période de suivi. Le 15 mai marque la première date avec des EN, suivie d'une diminution jusqu'au 26 mai. Toutefois, début juin, un effectif plus important de Forficulidae est noté, avec un total de 7 individus.

Enfin pour *F. vulgare*, 5 Coccinellidae et 1 Forficulidae sont observés le 15 mai. Le relevé du 20 mai présente une plus grande diversité, avec 3 Araneae, 3 Cantharidae, 2 Hyménoptères parasitoïdes, 2 Miridae et 1 Syrphidae. Le 26 mai et le 3 juin, moins d'EN sont retrouvés, principalement des Araneae (2 pour chaque relevé).

4. Présence des colonies de pucerons

a. Infestation à l'échelle du verger

Les Figure 20 et Figure 21 montrent qu'une faible infestation était déjà présente dès le 11 avril : plus de la moitié des arbres n'étaient pas infestés, et parmi les arbres touchés, la majorité présentait un taux d'infestation compris entre 1 et 10 %. Un mois plus tard, cette catégorie avait chuté d'environ 85 %. Pour les arbres infestés entre 11 et 25 %, leur nombre est passé de 4 à 2 entre le 11 avril et le 13 mai, soit une réduction de 50 %. À noter qu'au 13 mai, un arbre présentait une infestation plus élevée, comprise entre 26 et 50 %.

b. Infestation à l'échelle des placettes

La Figure 26 illustre la moyenne des colonies de pucerons par axe selon les modalités, pour huit relevés effectués entre le 10 avril et le 3 juin. *T. patula* se distingue par un nombre de colonies supérieur à toutes les autres modalités, avec un maximum atteint le 30 avril ($0,27 \pm 0,12$ colonies par axe en moyenne), et une forte variabilité observée au cours de la période. Sur *M. x piperita*, aucune nouvelle colonie n'est observée après les premières installations, traduisant une stabilité des colonies initiales ($0,06 \pm 0,04$ colonies par axe le 10 avril, puis $0,09 \pm 0,05$ les 22 et 26 avril, et $0,09 \pm 0,07$ le 30 avril). Sur *F. vulgare*, le nombre de colonies reste très faible tout au long de la période ($0,028 \pm 0,028$), sans nouvelle colonisation, indiquant une stabilité des colonies déjà présentes. Sur bêche nue, une diminution rapide est observée dès le début de la saison, avec une moyenne passant de $0,21 \pm 0,07$ colonies le 10 avril à $0,06 \pm 0,04$ colonies le 15 avril. Enfin, sur *O. basilicum*, des colonies sont observées lors du premier relevé ($0,06 \pm 0,04$) mais disparaissent dès le second, ne permettant pas une analyse fiable des dynamiques. Le test de Kruskal-Wallis ($p = 0,05$), suivi d'un post-hoc, indique qu'il y a significativement plus de colonies sur *T. patula* que sur bêche nue et *O. basilicum*.

La Figure 27 montre l'évolution du nombre de pucerons par colonie selon les modalités. Sur *T. patula*, une forte augmentation est observée dès le début, avec un maximum le 22 avril ($34,55 \pm 21,33$),

Carte d'infestation des pucerons sur le verger au 11 avril 2025

Carte d'infestation des pucerons sur le verger au 13 mai 2025

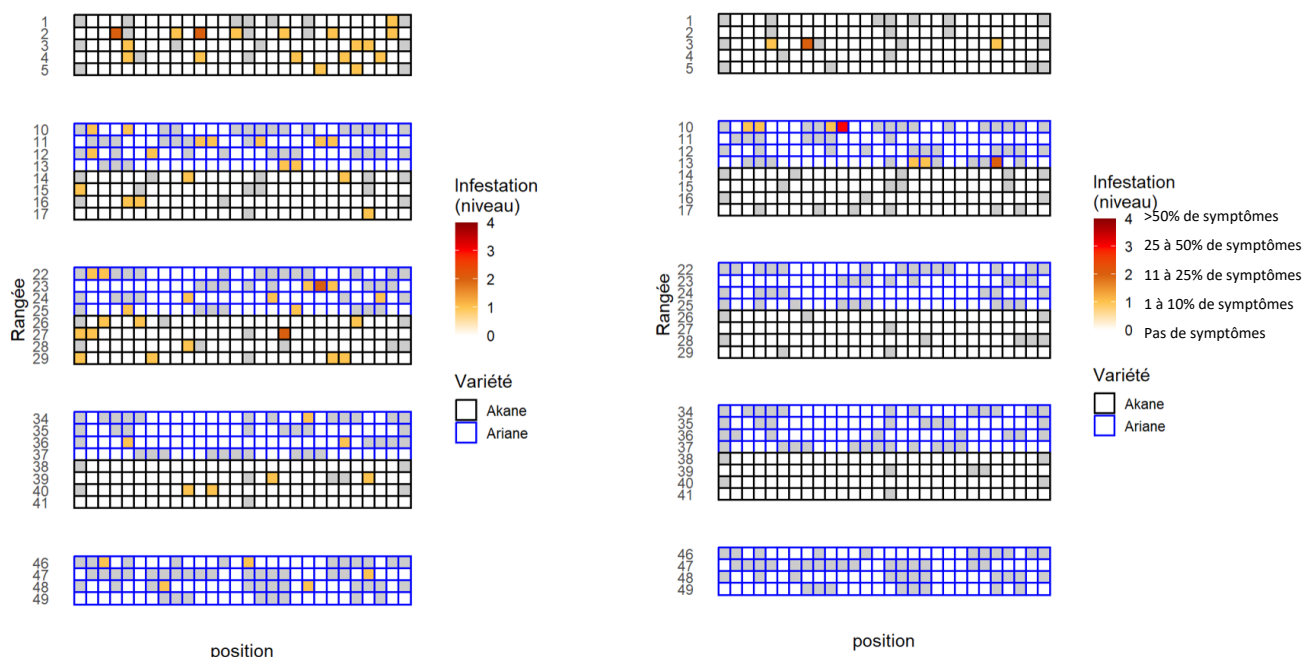


Figure 20. Ces deux Heatmaps représentent l'infestation à l'échelle du verger pour les deux variétés de pomme (Akane et Ariane). Chaque case correspond à un arbre et les espaces corresponde à 4 rangées de pêchers. Les cases grises correspondent aux arbres où aucun relevé n'a été fait pour plusieurs raisons : soit l'arbre était mort, soit ce n'est pas un pommier mais un arbre pour la pollinisation soit c'était l'emplacement d'une placette. Les placettes n'ont pas été prises en compte car une inoculation de puceron a été faite le 6 mai et cela aurait pu

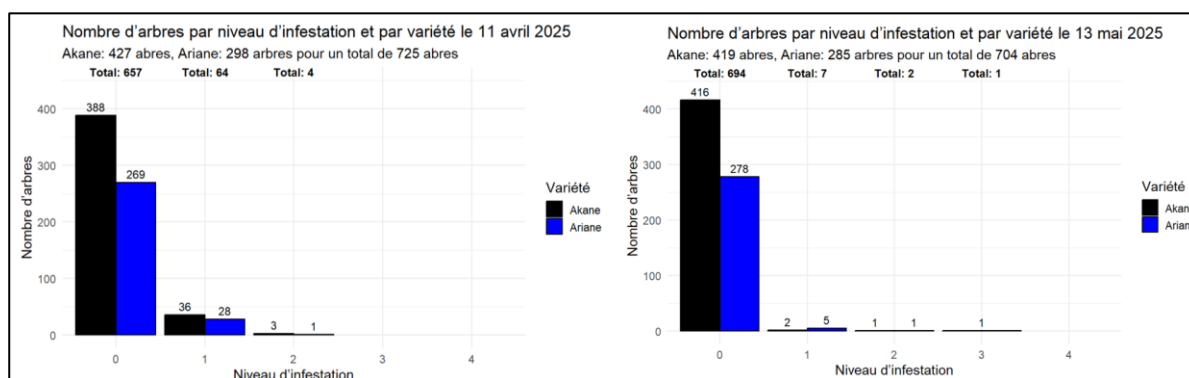


Figure 21. Barplots représentant le nombre d'arbres par niveau d'infestation

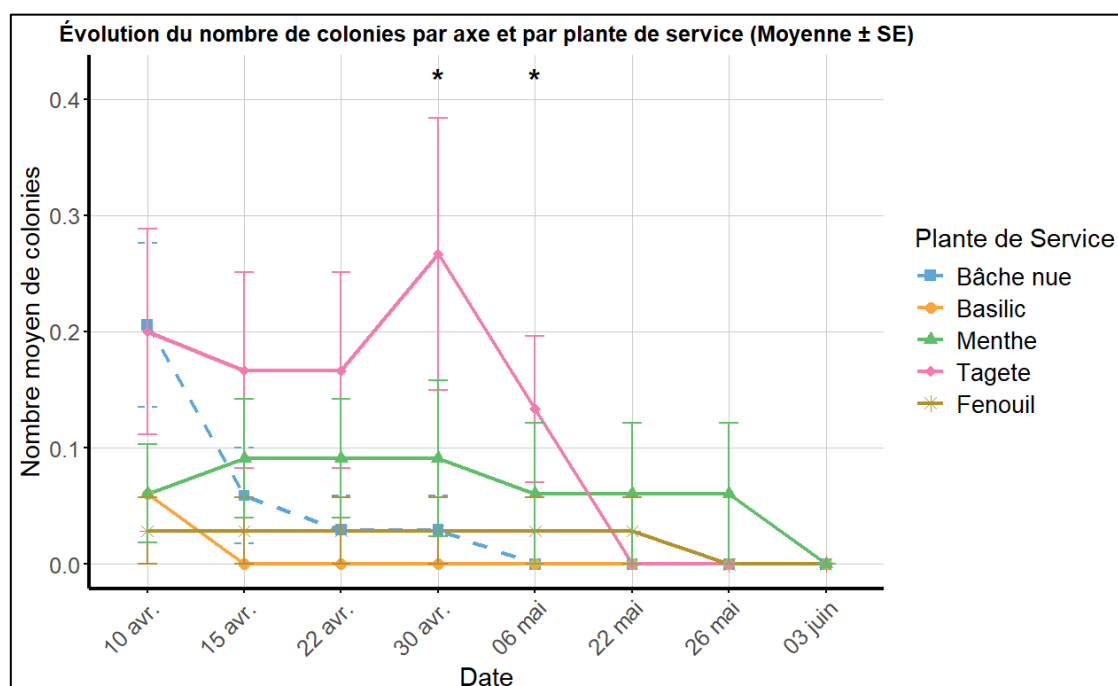


Figure 22. Evolution du nombre de colonies suivies par axe et par plante de service (Moyenne)

suivie d'une disparition complète des pucerons après le 6 mai ($1,73 \pm 0,89$ le 6 mai). En *M. x piperita*, le développement des colonies est plus progressif, avec un maximum autour du 6 mai ($93,6 \pm 84,89$) et une forte variabilité, suivi d'une diminution continue jusqu'au 3 juin. Le 26 mai, *M. x piperita* se distingue significativement de *T. patula* et de bêche nue (Kruskal-Wallis, $p = 0,05$). Sur *F. vulgare*, les effectifs culminent également autour du 6 mai (50 ± 50), puis diminuent progressivement jusqu'au 26 mai. Sur bêche nue, une diminution rapide est observée dès le début de la période, avec disparition totale des pucerons après le 6 mai. Enfin, sur *O. basilicum*, la densité de pucerons reste très faible et aucun individu n'est observé après le 15 avril. Ainsi, *M. x piperita* et *F. vulgare* présentent les colonies les plus stables dans le temps, avec les densités les plus fortes et une persistance prolongée. Ce sont également les deux seules modalités sur lesquelles des fourmis ont été observées dans les colonies (Figure 28).

Les résultats issus de l'inoculation artificielle (Figure 29) montrent qu'au premier relevé, le 13 mai, le nombre de colonies est similaire entre modalités, autour de 1,89. Une diminution rapide est ensuite observée sur l'ensemble des placettes. La disparition des colonies est cependant plus marquée à proximité de *T. patula*, avec des effectifs significativement plus faibles que sur *O. basilicum*, *F. vulgare* et *M. x piperita* dès le 20 mai (Kruskal-Wallis, $p = 0,05$).

En ce qui concerne le nombre de pucerons par colonie (Figure 30), une même tendance de diminution est observée pour toutes les modalités, mais avec des différences d'intensité. Sur *T. patula*, la baisse est plus forte que pour les autres espèces, avec des différences significatives le 15 et le 20 mai ($p < 0,005$). Le post-hoc montre des écarts entre *T. patula* et *O. basilicum*, *F. vulgare*, *M. x piperita* le 15 mai, puis entre *T. patula* et *M. x piperita*, *F. vulgare* le 20 mai. *M. x piperita* présente une densité plus élevée de pucerons sur l'ensemble de la période et une diminution plus progressive entre le 13 et le 20 mai ($12,9 \pm 5,3$ pucerons par colonie le 20 mai). Malgré cette tendance, les différences ne sont pas significatives en raison d'une forte variabilité des données.

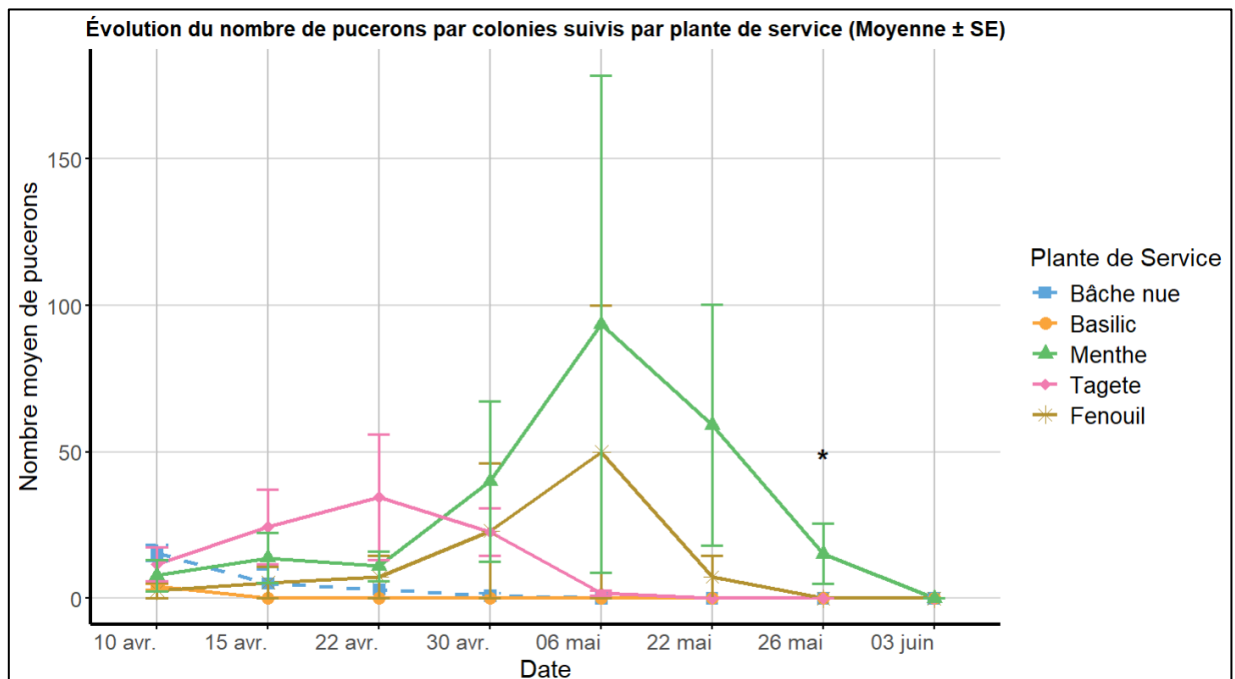


Figure 23. Evolution du nombre de pucerons par colonies suivis par plante de service

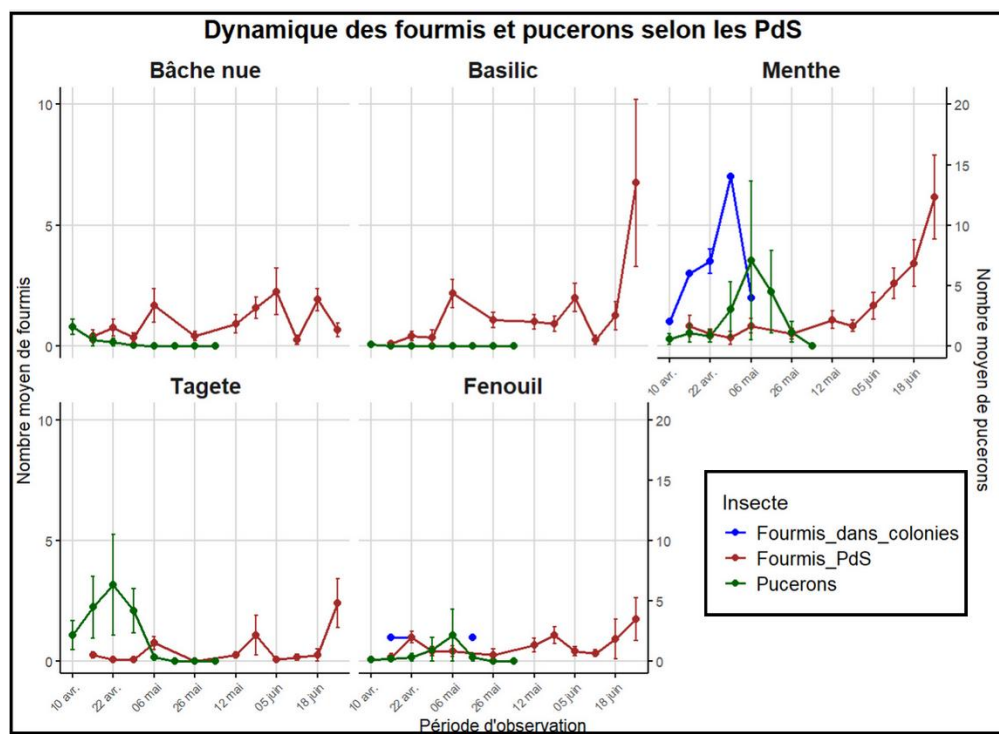


Figure 24. Dynamique des fourmis et pucerons selon les PdS

IV. Discussion

1. Le choix de la PdS impact sur l'abondance et la diversité des EN qu'elles vont attirer

L'hypothèse posée était que le choix des PdS influence directement la diversité et l'abondance des ennemis naturels. En particulier, *T. patula*, avec sa floraison précoce, devait attirer des EN plus tôt dans la saison.

L'analyse de l'attractivité des PdS montre des différences nettes entre modalités. Les placettes en bâche nue présentent systématiquement un nombre plus faible d'EN que les PdS. Cela est confirmé par la richesse spécifique, qui reste stable sur bâche nue alors qu'elle augmente au cours de la saison sur les PdS. Cela confirme le rôle attractif des PdS.

Cependant, toutes les PdS n'ont pas la même attractivité. *F. vulgare* et *O. basilicium* ont accueilli un grand nombre d'individus, notamment des Forficulidae, mais avec une diversité spécifique plus faible que pour les autres PdS. Cette abondance peut en partie s'expliquer par le comportement thigmotactique de ces insectes, c'est-à-dire leur tendance à rechercher des refuges étroits (Rankin et Palmer 2009). De plus, les Forficulidae présentent des comportements sociaux (par exemple le toilettage collectif), ce qui peut expliquer leur regroupement en colonies importantes (Meunier 2024).

L'analyse des indices de diversité complète cela : en termes d'effectifs totaux, *F. vulgare* et *O. basilicium* présentent les valeurs les plus élevées, notamment en juin, mais leurs indices de Shannon restent faibles, inférieurs à ceux du témoin bâche nue. Cette baisse de diversité est due à la forte dominance des Forficulidae, ce que confirme également l'équitabilité.

À l'inverse, *T. patula* et *M. x piperita*, qui comptent moins d'individus, présentent des indices de Shannon plus élevés et une meilleure équitabilité. On observe toutefois une diminution de ces indices en juin pour toutes les modalités.

Les Araneae ont été retrouvées sur l'ensemble des placettes, avec une abondance relativement stable d'un relevé à l'autre, excepté pour *M. x piperita*. Dans ce cas, leur augmentation en juin pourrait être liée au développement de la plante au sol, créant un microclimat favorable (« Spider-Plant Interactions: An Ecological Approach » 2017).

Pour *T. patula*, la floraison précoce a permis d'attirer une diversité d'EN dès avril, confirmant l'intérêt d'une floraison avancée pour favoriser leur installation. Toutefois, ce résultat est à nuancer car malgré une richesse spécifique élevée, l'abondance reste faible. De plus, les Syrphidae attendus sur cette PdS (comme en 2024) n'ont pas été observés. Ce constat rejoint d'autres travaux montrant que *T. patula* a un pouvoir attractif limité sur les Syrphidae et Coccinellidae, variable selon les années (T. Kopta et al. 2012)

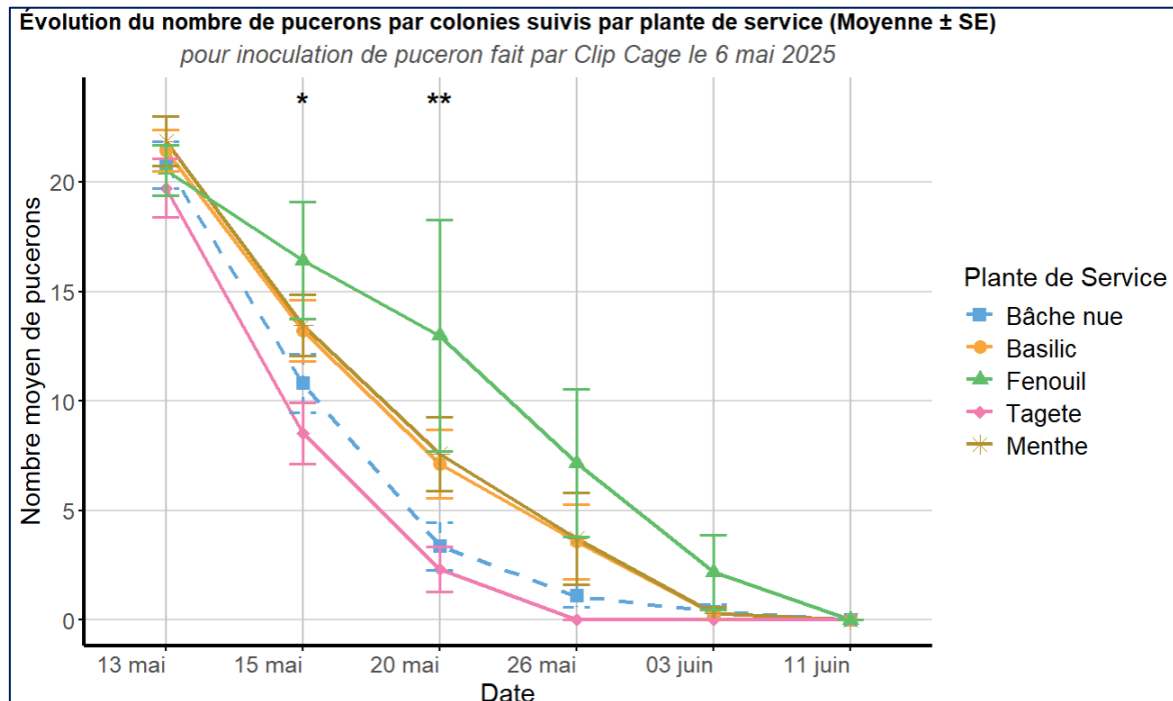


Figure 25. Evolution du nombre de puceron par colonies suivis par PdS pour l'infestation artificielle

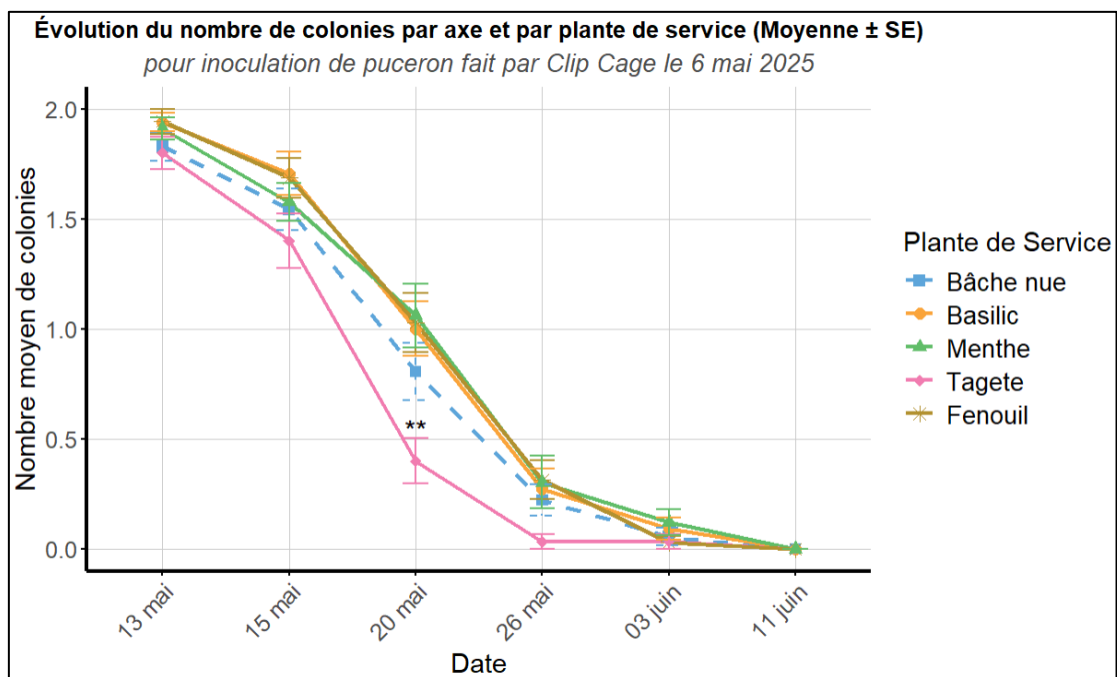


Figure 26. Evolution du nombre de colonies par axe et par PdS pour l'infestation artificielle

Ainsi, le choix des PdS influence bien la dynamique d'installation et la diversité des EN. Cependant, aucune PdS testée ne combine précocité et abondance élevée. Cela suggère qu'une stratégie reposant sur une seule espèce est limitée, et qu'il serait pertinent de combiner plusieurs PdS.

De plus, les résultats montrent une variabilité entre les années : les Syrphidae observés en 2024 sur *T. patula* étaient absents en 2025. Cela indique que d'autres facteurs, comme les conditions climatiques, la conduite agronomique ou la pression de ravageurs, modifie fortement l'efficacité des PdS dans leurs pouvoir attractif des EN.

Enfin, la littérature souligne que la biodiversité accrue d'EN peut améliorer la régulation des ravageurs lorsque ces EN occupent des niches alimentaires différentes et complémentaires. Cependant, ces avantages peuvent être réduits lorsque des interactions négatives entre auxiliaires (prédation intragilde) existe. (« Give Predators a Complement » 2025)

A titre d'exemple, une expérience a été réalisée sur deux EN du puceron du pois (*Acyrtosiphon pisum*), une guêpe parasitoïde spécialiste (*Aphidius ervi*) qui attaque les pucerons, et un prédateur généraliste commun, les carabes (principalement *Pterostichus melanarius*). Lorsque les deux étaient ensemble, il y avait une diminution des populations de pucerons sur le court terme mais sur le long terme, les carabes prédatait aussi les pucerons momifiés de *Aphidius ervi*. (Snyder et Ives 2001)

Il serait donc intéressant d'évaluer les combinaisons de PdS non seulement en termes d'abondance et de diversité, mais aussi en termes de complémentarité fonctionnelle entre auxiliaires, par exemple en associant une PdS avec une floraison précoce comme *T. patula* avec une plante se développant au sol comme *M. x piperita*, susceptible d'offrir un habitat aux prédateurs généralistes.

2. Au cours de la saison, le stade phénologique et les conditions environnementales modifient l'émission de COV et les EN

L'hypothèse posée était que le stade phénologique (floraison) et l'émission de COV associés modifient l'attraction des EN au cours de la saison, en augmentant leur abondance et diversité.

Lorsque *F. vulgare* était en fleur, on observait une attractivité particulière vis-à-vis des Cantharidae. Dans la littérature scientifique, il est rapporté que *F. vulgare*, et notamment ses fleurs, attire tout particulièrement les Coccinellidae et les Syrphidae, ce qui n'a pas été confirmé ici ((T. Kopta et al. 2012; Udayakumar et al. 2023)). En revanche, l'attractivité particulière observée vis-à-vis des Cantharidae est en accord avec la littérature (Udayakumar et al. 2023). Bien que l'attractivité puisse être liée à la couleur des fleurs, elle peut également provenir de l'émission de COV (Adedipe et Park 2010). Dans cette expérimentation, la présence de Cantharidae est associée à l'émission de monoterpènes (α -pinène, camphène, etc.), fréquemment émis par les fleurs (Knudsen et al. 2006), ce qui renforce l'hypothèse d'une attractivité liée aux COV floraux.

Pour *M. x piperita*, très peu d'hyménoptères parasitoïdes ont été observés. Pourtant, une étude mentionne que certains COV produits par cette plante, comme le d-sabinène et l' α -pinène, ont un pouvoir attractif sur ces insectes (Uefune et al. 2013).

La floraison précoce de *T. patula* a apporté une plus grande diversité d'espèces dès le mois d'avril. Toutefois, l'ACP montre que seuls les Syrphidae sont associés aux COV émis à ce moment-là.

L'hypothèse est donc validée, la phénologie et les COV jouent bien un rôle dans l'attractivité des EN, mais cet effet reste multifactoriel, dépendant des espèces et de leurs cycles biologiques, des conditions climatiques et de l'ensemble des composés émis.

Toutefois, les réponses observées varient selon les familles : certains groupes attendus (Syrphidae, Coccinellidae, parasitoïdes) ne sont pas apparus en dépit de la présence de COV décrits comme attractifs dans la littérature, tandis que d'autres (Cantharidae) ont montré une forte réponse. Cela suggère que l'attraction ne dépend pas uniquement de la présence d'un composé, mais aussi de son intensité d'émission, des interactions avec d'autres COV et des conditions climatiques qui modulent fortement leur diffusion en conditions de plein champ.

Afin de mieux comprendre comment sont émis les COV et leur impact sur l'attractivité des EN, il aurait été pertinent de réaliser des captures répétées à différents stades phénologiques et à plusieurs dates de la saison. Des dispositifs de type Radiello ont bien été utilisés pour caractériser les émissions, mais l'analyse n'a pas pu être menée à terme par manque de temps et de contraintes logistiques. Cela limite l'interprétation des corrélations établies entre COV et présence d'EN, qui restent ici essentiellement descriptives. Pour aller plus loin, des expérimentations en conditions contrôlées (par exemple sous serre) permettraient de confirmer le rôle attractif de certains COV et de s'affranchir des biais liés aux conditions de plein champ (vent, pluie, température, etc).

Il est important de souligner qu'un seul COV est probablement peu déterminant, alors qu'un bouquet olfactif est plus pertinent. Ces résultats invitent donc à réfléchir à l'utilisation des PdS non pas uniquement sur une espèce donnée mais sur la complémentarité de leurs émissions volatiles et de leur phénologie. Dans cette logique, l'association de plusieurs PdS offrant des phénologies complémentaires et des bouquets de COV diversifiés pourrait renforcer la continuité et la robustesse de l'attraction des EN dans le temps.

3. Ce que l'on retrouve comme EN dans les PdS se retrouvera aussi dans les colonies de pucerons

L'hypothèse était que les EN attirés par les PdS se retrouvent ensuite dans les colonies de pucerons, contribuant à leur régulation.

Malgré le faible nombre de pucerons observés, des EN étaient tout de même présents au sein des colonies. Il est particulièrement intéressant de constater une certaine continuité avec les observations de

l'année précédente : dans les colonies issues de l'infestation naturelle des placettes de *T. patula*, on retrouvait presque exclusivement des larves de Syrphidae, déjà majoritairement observées sur cette même PdS en 2024. On peut supposer que la diminution du nombre de pucerons et de colonies dans ces placettes est fortement liée à la présence de ces larves en début de saison. En effet, une étude indique que la température a un impact sur la prédation des Syrphidae, avec une efficacité optimale à 15 °C, température correspondant à celle du mois d'avril 2025 dans le verger (15,1 °C) (Dib et al. 2011).

Cependant, à l'exception des placettes de *T. patula* qui attirent spécifiquement les larves de Syrphidae, aucune autre PdS ne semble avoir favorisé un groupe particulier d'EN de manière significative dans les colonies. Il est également notable que des EN ont été retrouvés dans les colonies situées sur les placettes témoins. Cela peut être lié à la présence de bandes enherbées autour du verger, qui auraient pu favoriser leur installation. Il faut aussi souligner que les pucerons émettent eux-mêmes des COV susceptibles d'attirer des EN.

Début avril, lors des premières observations de l'infestation naturelle, peu d'EN étaient présents sur l'ensemble des placettes et des colonies observées. Toutefois, les premières colonies détectées sur bâche nue et sur *T. patula* ont rapidement été accompagnées par un plus grand nombre d'EN comparativement aux autres modalités.

L'hypothèse est donc partiellement validée : certains EN présents sur les PdS se retrouvent bien dans les colonies (par exemple les Syrphidae sur *T. patula*), mais ce n'est pas systématique. Parfois, les colonies abritent même des EN non observés sur la PdS (par exemple les Coccinellidae sur bâche nue). D'autres facteurs doivent donc être pris en compte pour expliquer l'installation des auxiliaires au sein des colonies. La plante infestée par les pucerons peut, par exemple, modifier son bouquet volatil induit par herbivorie (HIVP). Ces COV ne sont pas émis uniquement par la partie attaquée mais par toute la plante, qui devient alors entièrement attractive pour les EN (Turlings et Erb 2018).

Pour mieux comprendre les interactions entre les EN observés sur les PdS et ceux présents dans les colonies, il aurait été pertinent de compléter l'approche descriptive par des méthodes spécifiques de suivi des déplacements. Par exemple, le marquage-recapture permet d'estimer les distances de dispersion des auxiliaires depuis les PdS. Moerkens et al. (2010) ont ainsi montré qu'en verger, 95 % des *Forficula auricularia* restaient dans un rayon compris entre 7 et 29 m autour de leur point de marquage. L'application d'une telle méthode aurait permis de mieux appréhender si les auxiliaires observés au pied des PdS rejoignaient effectivement les colonies, et donc de confirmer le lien direct entre attractivité des PdS et dynamique des pucerons.

4. L'introduction de PdS augmente le nombre d'EN dans les colonies et réduit la dynamique des pucerons

L'hypothèse était que l'introduction de PdS favorise la présence d'EN dans les colonies et contribue ainsi à réduire la dynamique des populations de pucerons.

Globalement, l'infestation naturelle de *D. plantaginea* est restée faible au cours de la saison. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette tendance : la jeunesse du verger, certaines pratiques culturales (tailles estivale et automnale, traitement à l'huile minérale en début de saison) ainsi que la composition plurispécifique du verger, alternant deux variétés de pommier et la présence de pêcher. Face à ce faible niveau d'infestation, une infestation artificielle a été mise en place.

Le suivi a confirmé la réussite de cette inoculation : lors du premier relevé, après retrait des clip-cages, le nombre de colonies observées restait stable, autour de deux colonies par axe, ce qui correspond au développement attendu à partir d'une fondatrice. Cependant, une diminution progressive du nombre de pucerons et des colonies a ensuite été constatée sur l'ensemble des placettes. Cela suggère que des pressions extérieures ont limité le développement des colonies, mais cela pose aussi l'hypothèse d'une inoculation réalisée trop tardivement dans la saison.

Certaines différences apparaissent néanmoins entre PdS. Sur *T. patula*, l'infestation intervient plus tôt que dans les autres modalités, aussi bien en termes de colonies que d'effectifs de pucerons. Lors de l'inoculation, les placettes de cette espèce se distinguent par une diminution plus rapide des pucerons et des colonies. Comme cela ne s'accompagnait pas d'une plus forte diversité d'EN, d'autres facteurs, tels que le non-enroulement des feuilles ou l'émission de COV, pourraient avoir joué un rôle dans cette dynamique.

À l'inverse, *M. x piperita* et *F. vulgare* présentent des colonies plus persistantes, avec une augmentation progressive du nombre de pucerons. Ce phénomène est particulièrement marqué sur *M. x piperita*, où une placette a été entièrement infestée (notée 100 % en comparant le nombre de rameaux infestés/ le nombre de rameaux totaux). La présence de fourmis pourrait expliquer ces dynamiques. En effet, plusieurs travaux ont montré que les fourmis favorisent la pérennisation, voire l'augmentation des colonies de pucerons, tout en réduisant la présence d'EN (Miñarro et al. 2010). Cela pourrait expliquer le faible nombre d'EN observés dans les colonies sur *F. vulgare* et *M. x piperita*.

Les cycles biologiques des EN doivent également être pris en compte. Pour les Forficulidae, par exemple, la température optimale de développement larvaire est de 25 °C (Perrin et al. 2025). Cette valeur correspond à la période fin avril-début mai dans notre dispositif, ce qui pourrait expliquer leur présence accrue à ce moment. Concernant les colonies inoculées, deux hypothèses peuvent aussi expliquer la dynamique observée : une densité initiale plus élevée de pucerons et une infestation effectuée plus tardivement dans la saison.

Enfin, cette expérimentation visait également à tester un possible rôle répulsif des COV sur les pucerons. Toutefois, aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la présence de COV et l'absence de développement des colonies. L'installation des clip-cages a montré que, sans la pression exercée par les EN, les pucerons pouvaient se développer de manière similaire sur toutes les modalités. Lorsque des colonies étaient absentes au moment du retrait des cages, c'était principalement dû à la présence d'EN ayant réussi à pénétrer la cage. Une étude de Cantó-Tejero et al (2022) a pourtant montré que certains COV,

comme le (E)-anethole, le géraniol ou le (Z)-jasmone, sont répulsifs pour certains pucerons (*M. mizus* et *M. persicae*). Dans notre cas, si le géraniol et le (Z)-jasmone n'ont pas été retrouvés, le (E)-anethole émis par *F. vulgare* n'a pas semblé avoir le même effet. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer : la quantité émise, les conditions climatiques (vent, pluie) modifiant l'émission, les interactions entre COV, ou encore le fait que nos observations aient été menées en plein champ, et non en conditions contrôlées (serre) comme dans l'étude de référence.

L'hypothèse 4 est donc validée mais avec nuances. Les PdS peuvent favoriser l'installation d'EN dans les colonies et participer à la régulation des pucerons, comme cela a été observé pour *T. patula*. Toutefois, leur efficacité dépend fortement de l'environnement, de la présence de fourmis et du moment de l'inoculation.

Ainsi, la faiblesse des infestations naturelles constitue une limite importante : elle rend difficile la compréhension de l'impact réel des EN sur la dynamique des populations de *D. plantaginea*. Le traitement à l'huile minérale appliqué en mars, au moment du débourrement des pommiers, a probablement joué un rôle important dans cette faible infestation.

De plus, l'inoculation artificielle a sans doute été réalisée trop tardivement pour permettre une dynamique complète des colonies et une régulation mesurable par les auxiliaires. Pour aller plus loin, il serait pertinent de reconduire l'expérimentation sur plusieurs saisons, sans traitement préventif au printemps, et avec, éventuellement, une infestation artificielle plus précoce.

Enfin, pour confirmer si les COV émis par ces PdS peuvent exercer un effet répulsif sur *D. plantaginea*, des analyses complémentaires seraient nécessaires. Des expérimentations en conditions contrôlées permettraient, par exemple, d'évaluer l'impact de ces composés sur le comportement alimentaire des pucerons à l'aide de la méthode EPG, ou encore de mesurer leurs effets sur la fécondité par des tests dédiés (Dardouri et al. 2021).

V. Conclusion

Ce stage avait pour objectif d'évaluer l'impact de l'utilisation de PdS sur la régulation des populations de puceron cendré dans un jeune verger de pommier. Les suivis réalisés au verger ont montré que les PdS impactent de manière positive la présence et la diversité des auxiliaires, mais avec des effets variables selon le type de plante utilisée et la saisonnalité. *T. patula* a permis d'attirer plus tôt une diversité d'EN, notamment des Syrphidae au sein des colonies de pucerons, alors que *M. x piperita* et *F. vulgare* ont favorisé une plus grande abondance mais avec une dominance marquée de certains groupes comme les Forficulidae. Néanmoins, l'efficacité réelle des PdS sur la dynamique de population de *D. plantaginea* reste difficile à établir. Le faible niveau d'infestation naturelle ainsi que la présence d'interactions comme le mutualisme entre fourmis et pucerons ont limité l'analyse des résultats. De plus, si les corrélations observées entre COV floraux et présence d'EN suggèrent un rôle de ces COV, ces effets apparaissent multifactoriels et nécessitent des approches plus ciblées, par exemple en conditions contrôlées.

Ce travail confirme donc que les PdS permettent de favoriser la biodiversité fonctionnelle au verger, mais présente aussi des limites. Une PdS seule serait moins pertinente que plusieurs. Ainsi, des combinaisons d'espèces, intégrant différentes phénologies et bouquets volatils, pourraient offrir une attractivité plus continue et robuste. Et au-delà de ça, son intégration au sein d'un système agricole regroupant plusieurs leviers agroécologiques pourraient pérenniser le système, le rendant plus durable et donc permettant une réduction de l'utilisation de traitements phytosanitaires.

VI. Résumé

Le monde agricole repose encore largement sur l'utilisation de produits phytosanitaires pour limiter les maladies et ravageurs. Or, ces pesticides représentent un risque majeur pour l'environnement et la santé humaine, ce qui rend nécessaire le développement d'alternatives. La filière pomme, première en importance et parmi les plus consommatrices de pesticides, constitue un secteur prioritaire pour ces innovations. Dans ce contexte, ce travail avait pour objectif d'évaluer l'impact des plantes de service (PdS) sur la régulation du puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*) dans un jeune verger de pommier. Les suivis réalisés montrent que la présence d'ennemis naturels (EN) au sein des colonies contribue à limiter l'abondance des pucerons. Toutefois, les EN observées dans les PdS ne reflètent pas nécessairement celles présentes dans les colonies. L'attractivité des PdS semble multifactorielle, influencée à la fois par la phénologie et l'émission de composés organiques volatils (COV), dont l'effet reste complexe à caractériser. Ces résultats soulignent l'intérêt des PdS pour favoriser la biodiversité fonctionnelle au verger, tout en mettant en évidence la nécessité de recherches complémentaires afin de mieux comprendre leurs interactions avec les ravageurs et d'optimiser leur utilisation comme levier de lutte biologique dans les systèmes arboricoles.

Mots clés : Plantes de service, Puceron cendré, *Dysaphis plantaginea*, Verger de pommier, Ennemis naturels, Lutte biologique, Composés organiques volatils, Agroécologie

Agriculture still relies heavily on the use of pesticides to control diseases and pests. However, these chemicals pose major risks to both the environment and human health, making the development of alternatives essential. The apple sector, one of the largest and most pesticide-intensive, is a priority for such innovations. In this context, the aim of this study was to assess the impact of companion plants on the regulation of the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea*) in a young apple orchard. Field monitoring showed that the presence of natural enemies within aphid colonies contributed to reducing aphid abundance. However, the natural enemies observed on companion plants did not necessarily reflect those found within the colonies. The attractiveness of companion plants appeared to be multifactorial, influenced both by plant phenology and the emission of volatile organic compounds (VOC), whose effects remain complex to characterize. These results highlight the potential of companion plants to promote functional biodiversity in orchards, while also underlining the need for further research to better understand their interactions with pests and to optimize their use as a lever for biological control in arboricultural systems.

Keys Word : Companion plants, Rosy apple aphid, *Dysaphis plantaginea*, Apple orchard, Natural enemies, Biological control, Volatile organic compounds, Agroecology

VII. Bibliographie et Référence

- Adedipe, et Park. 2010. « Visual and Olfactory Preference of Harmonia Axyridis (Coleoptera: Coccinellidae) Adults to Various Companion Plants ». *ResearchGate*, publication en ligne anticipée. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2010.07.004>.
- Alins, Georgina, Jaume Lordan, Neus Rodríguez-Gasol, Judit Arnó, et Ainara Peñalver-Cruz. 2023. « Earwig Releases Provide Accumulative Biological Control of the Woolly Apple Aphid over the Years ». *Insects* 14 (11): 890. <https://doi.org/10.3390/insects14110890>.
- Balny, Philippe, et Denis Domallain. 2015. *Propositions pour un plan d'actions en faveur de l'arbre et de la haie associés aux productions agricoles*.
- Boivin, Guy, Thierry Hance, et Jacques Brodeur. 2012. « Aphid parasitoids in biological control ». *Canadian Journal of Plant Science* 92 (1): 1-12. <https://doi.org/10.4141/cjps2011-045>.
- Bumroongsook, Suvarin, Marvin K. Harris, et David A. Dean. 1992. « Predation on blackmargined aphids (Homoptera: Aphididae) by spiders on pecan ». *Biological Control* 2 (1): 15-18. [https://doi.org/10.1016/1049-9644\(92\)90070-T](https://doi.org/10.1016/1049-9644(92)90070-T).
- Cantó-Tejero, Manuel, José Luis Casas, María Ángeles Marcos-García, María Jesús Pascual-Villalobos, Victoria Florencio-Ortiz, et Pedro Guirao. 2022. « Essential Oils-Based Repellents for the Management of Myzus Persicae and Macrosiphum Euphorbiae ». *Journal of Pest Science* 95 (1): 365-79. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01380-5>.
- Cerfrance. 2024. « La filière arboricole : les chiffres clés 2024 ». Cerfrance. <https://www.cerfrance.fr/actualites/la-filiere-arboricole>.
- Chaubet, Evelyne Turpeau, Maurice Hullé, Bernard. 2024. « D. plantaginea ». <https://encyclopedia-pucerons.hub.inrae.fr/fiche-especes/pucerons/dysaphis/d.-plantaginea>.
- Colomb. 2017. *Les méthodes de lutte alternatives contre le puceron cendré (Dysaphis plantaginea) chez le pommier*.
- « COV des plantes_ABA PIC_iteipmai.pdf ». s. d. Consulté le 21 mars 2025. https://ecophytopic.fr/sites/default/files/2024-01/COV%20des%20plantes_ABA%20PIC_iteipmai.pdf.
- « CTIFL_Memento_pomme.pdf ». s. d.
- Dardouri, Tarek. 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 ». Phdthesis, Université d'Avignon. <https://theses.hal.science/tel-02178970>.
- Dardouri, Tarek, Hélène Gautier, Refka Ben Issa, Guy Costagliola, et Laurent Gomez. 2019. « Repellence of Myzus Persicae (Sulzer): Evidence of Two Modes of Action of Volatiles from Selected Living Aromatic Plants ». *Pest Management Science* 75 (6): 1571-84. <https://doi.org/10.1002/ps.5271>.
- Dardouri, Tarek, Laurent Gomez, Arnaud Ameline, Guy Costagliola, Alexandra Schoeny, et Hélène Gautier. 2021a. « Non-host Volatiles Disturb the Feeding Behavior and Reduce the Fecundity of the Green Peach Aphid, MYZUS PERSICAE ». *Pest Management Science* 77 (4): 1705-13. <https://doi.org/10.1002/ps.6190>.
- Dardouri, Tarek, Laurent Gomez, Arnaud Ameline, Guy Costagliola, Alexandra Schoeny, et Hélène Gautier. 2021b. « Non-Host Volatiles Disturb the Feeding Behavior and Reduce the Fecundity of the Green Peach Aphid, Myzus Persicae ». *Pest Management Science* 77 (4): 1705-13. <https://doi.org/10.1002/ps.6190>.

- Dib, Hazem, Marie Jamont, Benoît Sauphanor, et Yvan Capowiez. 2011. « Predation potency and intraguild interactions between generalist (*Forficula auricularia*) and specialist (*Episyrphus balteatus*) predators of the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea*) ». *Biological Control* 59 (2): 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.012>.
- Dieudonné, Emma, Hélène Gautier, Tarek Dardouri, Michael Staudt, Guy Costagliola, et Laurent Gomez. 2022. « Establishing Repellent Effects of Aromatic Companion Plants on *Dysaphis Plantaginea*, Using a New Dynamic Tubular Olfactometer ». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 170 (8): 727-43. <https://doi.org/10.1111/eea.13194>.
- Dudareva, Natalia, Antje Klempien, Joëlle K. Muhlemann, et Ian Kaplan. 2013. « Biosynthesis, Function and Metabolic Engineering of Plant Volatile Organic Compounds ». *New Phytologist* 198 (1): 16-32. <https://doi.org/10.1111/nph.12145>.
- Enquête Pratiques phytosanitaires en arboriculture en 2018IFT et nombre de traitements*. 2021.
- Expertise Scientifique Collective, Inra – Cemagref. 2011. *Pesticides, agriculture et environnement*. Editions Quæ. <https://doi.org/10.3917/quae.exper.2011.01>.
- Gontijo, Lessando M., Elizabeth H. Beers, et William E. Snyder. 2015. « Complementary suppression of aphids by predators and parasitoids ». *Biological Control* 90 (novembre): 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.06.002>.
- Groupe Caisse des Dépôts. 2023. « Etat des lieux de l'usage des pesticides en France ». <https://www.caissedesdepots.fr/blog/article/etat-des-lieux-de-lusage-des-pesticides-en-france>.
- « Guide Eco-Fruits - Lutte biologique ». 2015. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/22177/Guide-Eco-Fruits-Lutte-biologique>.
- Hogg, Brian N., Erik H. Nelson, Nicholas J. Mills, et Kent M. Daane. 2011. « Floral Resources Enhance Aphid Suppression by a Hoverfly ». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 141 (2): 138-44. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01174.x>.
- Jouhet, Eloise, Florine Vincent, Margot Lahens, Laura Blomme, et Simon Giuliano. 2022. *Plantes de service*. <https://doi.org/10.17180/xxv9-mx71>.
- Jouzel, Jean-Noël. 2019. « Chapitre 4. Surveiller à l'œil nu : une brève histoire du contrôle des pesticides en France au XXe siècle ». *Académique*, novembre 13, 131-62.
- Knudsen, Jette T., Roger Eriksson, Jonathan Gershenzon, et Bertil Ståhl. 2006. « Diversity and Distribution of Floral Scent ». *The Botanical Review* 72 (1): 1-120. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2006\)72%255B1:DADOF%255D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2006)72%255B1:DADOF%255D2.0.CO;2).
- Landis, D. A., et W. Van der Werf. 1997. « Early-Season Predation Impacts the Establishment of Aphids and Spread of Beet Yellows Virus in Sugar Beet ». *BioControl* 42 (4): 499-516. <https://doi.org/10.1007/BF02769810>.
- « Le puceron cendré du pommier : état des lieux et perspectives Non définie ». 2022. <https://www.ctifl.fr/le-puceron-cendre-du-pommier-etat-des-lieux-et-perspectives>.
- Leenhardt, Sophie, Laure Mamy, Stéphane Pesce, et Wilfried Sanchez. 2023. *Impacts des produits phytopharmaceutiques sur la biodiversité et les services écosystémiques*. Éditions Quæ. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3657-2>.
- Meunier, Joël. 2024. « The Biology and Social Life of Earwigs (Dermaptera) ». *Annual Review of Entomology* 69 (Volume 69, 2024): 259-76. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-013023-015632>.

- Miñarro, Marcos, Gabriela Fernández-Mata, et Pilar Medina. 2010. « Role of Ants in Structuring the Aphid Community on Apple ». *Ecological Entomology* 35 (2): 206-15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2010.01173.x>.
- Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. 2023. « Dispositifs de décarbonation de l'agriculture : leviers et perspectives - Analyse n°196 ». Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/dispositifs-de-decarbonation-de-lagriculture-leviers-et-perspectives-analyse-ndeg196>.
- Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. 2024. « Stratégie Écophyto 2030 ». Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/strategie-ecophyto-2030>.
- ministère du travail de la santé des solidarités et des familles. 2019. « Effets sur la santé d'une exposition à des pesticides ». Ministère du Travail, de la Santé, des Solidarités et des Familles. <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-microbiologiques-physiques-et-chimiques/pesticides/article/effets-sur-la-sante-d-une-exposition-a-des-pesticides>.
- Moerkens, R., H. Leirs, G. Peusens, et B. Gobin. 2010. « Dispersal of Single- and Double-Brood Populations of the European Earwig, *Forficula Auricularia*: A Mark-Recapture Experiment ». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 137 (1): 19-27. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01031.x>.
- Morel, Karine. 2024. *Le puceron cendré du pommier*.
- Mueller, T. F., L. H. M. Blommers, et P. J. M. Mols. 1988. « Earwig (*Forficula Auricularia*) Predation on the Woolly Apple Aphid, *Eriosoma Lanigerum* ». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 47 (2): 145-52. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1988.tb01129.x>.
- Nicolas, Aurore, Thomas Dagbert, Guillaume Le Goff, et Thierry Hance. 2013. *La Lutte Biologique Contre Le Puceron Cendré Du Pommier Par Des Lâchers d'auxiliaires En Verger*.
- « (PDF) Give Predators a Complement: Conserving Natural Enemy Biodiversity to Improve Biocontrol ». 2025. *ResearchGate*, publication en ligne anticipée, août 6. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.04.017>.
- Pérez-Hedo, Meritxell, et Alberto Urbaneja. 2015. « Prospects for Predatory Mirid Bugs as Biocontrol Agents of Aphids in Sweet Peppers ». *Journal of Pest Science* 88 (1): 65-73. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0587-1>.
- Perrin, Marie, Thomas Delattre, Nicolas Borowiec, et al. 2025. « Influence of high temperatures on the European earwig *Forficula auricularia* s.l. and the parasitoid *Mastrus ridens*, two natural enemies of the codling moth *Cydia pomonella* ». *Biological Control* 206 (juillet): 105802. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2025.105802>.
- « Pesticides : Effets sur la santé ». 2013. <https://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/4819>.
- Pokharel, Sabin Saurav, Han Yu, Wanping Fang, Megha N. Parajulee, et Fajun Chen. 2023. « Intercropping Cover Crops for a Vital Ecosystem Service: A Review of the Biocontrol of Insect Pests in Tea Agroecosystems ». *Plants* 12 (12): 2361. <https://doi.org/10.3390/plants12122361>.
- « Pomme - Biologie, épidémiologie ». s. d. Consulté le 25 août 2025. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/21823/Pomme-Biologie-epidemiologie>.
- « Pomme - Principaux symptômes ». 2016. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/21788/Pomme-Principaux-symptomes>.
- Puel, Louise, et Benoît Grimonprez. 2022. *Gérer les risques inhérents à la sortie des pesticides : état des lieux et perspectives juridiques*. Research Report. Institut de droit rural - Université de Poitiers. <https://hal.science/hal-03701193>.

- Rankin, Susan M., et James O. Palmer. 2009. « Chapter 70 - Dermaptera: (Earwigs) ». In *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*, édité par Vincent H. Resh et Ring T. Cardé. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00079-5>.
- Snyder, William E., et Anthony R. Ives. 2001. « Generalist Predators Disrupt Biological Control by a Specialist Parasitoid ». *Ecology* 82 (3): 705-16. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082%255B0705:GPDBCB%255D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082%255B0705:GPDBCB%255D2.0.CO;2).
- « Spider–Plant Interactions: An Ecological Approach ». 2017. In *ResearchGate*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65717-2_7.
- T. Kopta, R. Pokluda, et V. Psota. 2012. « Attractiveness of Flowering Plants for Natural Enemies ». *ResearchGate*, publication en ligne anticipée. <https://doi.org/10.17221/26/2011-HORTSCI>.
- Turlings, et Erb. 2018. « Tritrophic Interactions Mediated by Herbivore-Induced Plant Volatiles: Mechanisms, Ecological Relevance, and Application Potential ». *ResearchGate*, publication en ligne anticipée. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043507>.
- Udayakumar, Amala, K. G. R. Chandramanu, Sunil Joshi, et Timalapur M. Shivalingaswamy. 2023. « Fennel, *Foeniculum Vulgare* as Banker Crop for Syrphids to Promote Aphidophagy and Myophily ». *Current Science* 124 (12): 1469. <https://doi.org/10.18520/cs/v124/i12/1469-1472>.
- Uefune, Kugimiya, et Ozawa. 2013. « Parasitic Wasp Females Are Attracted to Blends of Host-Induced Plant Volatiles: Do Qualitative and Quantitative Differences in the Blend Matter? ». *ResearchGate*, publication en ligne anticipée. <https://doi.org/10.12688/f1000research.2-57.v1>.
- Vallat, Armelle, Hainan Gu, et Silvia Dorn. 2005. « How Rainfall, Relative Humidity and Temperature Influence Volatile Emissions from Apple Trees in Situ ». *Phytochemistry* 66 (13): 1540-50. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.04.038>.
- Wyss, E., U. Niggli, et W. Nentwig. 1995. « The Impact of Spiders on Aphid Populations in a Strip-Managed Apple Orchard ». *Journal of Applied Entomology* 119 (1-5): 473-78. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1995.tb01320.x>.
- Wyss, Eric, Mathias Villiger, Jean-Louis Hemptinne, et Heinz Müller-schärer. 1999. « Effects of Augmentative Releases of Eggs and Larvae of the Ladybird Beetle, *Adalia Bipunctata*, on the Abundance of the Rosy Apple Aphid, *Dysaphis Plantaginea*, in Organic Apple Orchards ». *Entomologia Experimentalis et Applicata* 90 (2): 167-73. <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1999.00435.x>.

VIII. Liste des figures

FIGURE 1. SCHEMA REPRESENTANT LE CYCLE DE VIE DU PUCERON CENDRE (DYSAPHIS PLANTAGINEA), REFERENCE : INRA (EPHYTIA) HTTPS://EPHYTIA.INRA.FR/FR/C/21823/POMME-BIOLOGIE-EPIDEMIOLOGIE	10 -
FIGURE 2. COLONIE DE DYSAPHIS SUR UNE JEUNE FEUILLE DE POMMIER (CAMILLE WINKLER)	12 -
FIGURE 3. REPRESENTATION DES SYMPTOMES DE L'INFESTATION DE DYSAPHIS. ICI LES FEUILLES SONT ENROULEES (CAMILLE WINKLER)	12 -
FIGURE 4. CANTHARIDAE, UN EN DU PUCERON. (CAMILLE WINKLER).....	14 -
FIGURE 5. ARANEAE PREDATANT UN PUCERON CENDRE (CAMILLE WINKLER).....	14 -
6. FORFICULIDAE OBSERVE DANS LES REPLIS FOLIAIRES DE F. VULGARE (CAMILLE WINKLER).....	14 -
FIGURE 13. SCHEMA REPRESENTANT LA PLANTATION DES PDS	18 -
FIGURE 12. SCHEMA REPRESENTATIF DU VERGER PLURISPECIFIQUE.....	18 -
FIGURE 7. PLACETTE. A= BACHE NUE; B= <i>T. PATULA</i> ; C= <i>O. BASILICUM</i> ; D= <i>M. X PIPERITA</i> ; E= <i>F. VULGARE</i> . (CAMILLE WINKLER).....	20 -
FIGURE 14. INOCULATION D'UN PUCERON PAR CLIP CAGE.(CAMILLE WINKLER)	22 -
FIGURE 15. CAPTATION DE COV AVEC CLOCHES (VICTORINE KIENLEN, STAGIAIRE EN 2024)	22 -
FIGURE 16. ABONDANCE D'EN AU NIVEAU DES PDS AVEC LA DYNAMIQUE DE FLORAISON (COURBE ROSE) POUR LA PERIODE D'OBSERVATION	28 -
FIGURE 17. ACP DES COV EMIS PAR <i>O. BASILICUM</i> POUR LES DEUX DATES DE CAPTATION. DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES SONT LES EN RETROUVES LORS DES OBSERVATIONS	30 -
FIGURE 18. ACP DES COV EMIS PAR <i>M. X PIPERITA</i> POUR LES DEUX DATES DE CAPTATION. DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES SONT LES EN RETROUVES LORS DES OBSERVATIONS	30 -
FIGURE 19. ACP DES COV EMIS PAR <i>F. VULGARE</i> POUR LES DEUX DATES DE CAPTATION. DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES SONT LES EN RETROUVES LORS DES OBSERVATIONS	30 -
FIGURE 20. ACP DES COV EMIS PAR <i>T. PATULA</i> POUR LES DEUX DATES DE CAPTATION. DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES SONT LES EN RETROUVES LORS DES OBSERVATIONS	32 -
FIGURE 21. ACP DES COV TROUVES SUR LES PLACETTES DE BACHE NUE POUR LES DEUX DATES DE CAPTATION. DES VARIABLES SUPPLEMENTAIRES SONT LES EN RETROUVES LORS DES OBSERVATIONS.....	32 -
FIGURE 22. ABONDANCE ET FAMILLES D'EN OBSERVES (SOMME REPRESENTEE SOUS FORME DE DIAGRAMME EN BATON) DANS LES COLONIES NATURELLES DE PUCERONS ET LA DENSITE MOYENNE DE PUCERONS (COURBE NOIRE) ENTRE AVRIL ET JUIN EN FONCTION DES PDS.....	34 -
FIGURE 23. ABONDANCE ET FAMILLES D'EN OBSERVES (SOMME REPRESENTEE SOUS FORME DE DIAGRAMME EN BATON) DANS LES COLONIES D'INFESTATION ARTIFICIELLE DE PUCERONS ET LA DENSITE MOYENNE DE PUCERONS (COURBE NOIRE) ENTRE AVRIL ET JUIN EN FONCTION DES PDS.....	34 -
FIGURE 24. CES DEUX HEATMAPS REPRESENTENT L'INFESTATION A L'ECHELLE DU VERGER POUR LES DEUX VARIETES DE POMME (AKANE ET ARIANE).....	36 -
FIGURE 25. BARPLOTS REPRESENTANT LE NOMBRE D'ARBRES PAR NIVEAU D'INFESTATION	36 -
FIGURE 26. EVOLUTION DU NOMBRE DE COLONIES SUIVIES PAR AXE ET PAR PLANTE DE SERVICE (MOYENNE).....	36 -
FIGURE 27. EVOLUTION DU NOMBRE DE PUCERONS PAR COLONIES SUIVIS PAR PLANTE DE SERVICE	38 -
FIGURE 28. DYNAMIQUE DES FOURMIS ET PUCERONS SELON LES PDS	38 -
FIGURE 29. EVOLUTION DU NOMBRE DE PUCERON PAR COLONIES SUIVIS PAR PDS POUR L'INFESTATION ARTIFICIELLE ..	40 -
FIGURE 30. EVOLUTION DU NOMBRE DE COLONIES PAR AXE ET PAR PDS POUR L'INFESTATION ARTIFICIELLE	40 -

FIGURE 31. TEMPERATURES MOYENNES DETERMINEES PAR UN DES CAPTEURS SUR LE VERGER ENTRE LA PERIODE DU MOIS DE MARS ET DU MOIS DE JUIN. LA CAPTATION S'EST FAITE TOUTES LES 30 MINUTES TOUS LES JOURS - 67 -

FIGURE 32. GRAPHIQUE FAIT PAR VICTORINE KIELEN, LORS DU SUIVIE DE 2024 : ABONDANCE DES EN ADULTES COMPTES SUR LES Pds (3MIN D'OBSERVATION AERIENNE) (HISTOGRAMME EMPILE) ET DYNAMIQUE D'EVOLUTION DE LA FLORAISON MOYENNE PAR PLACETTE (COURBE ROSE) EN FONCTION DE LA Pds SUR TOUTE LA PERIODE D'OBSERVATION. IL Y A UN FACTEUR 10 ENTRE L'ECHELLE DU NOMBRE MOYEN DES EN ADULTES OBSERVES SUR LES PLACETTES DE *F. VULGARE* PAR RAPPORT AUX AUTRES MODALITES DU A LA FORTE PRESENCE DE CANTHARIDAE. - 67 -

IX. Annexe

1. Annexe n°1

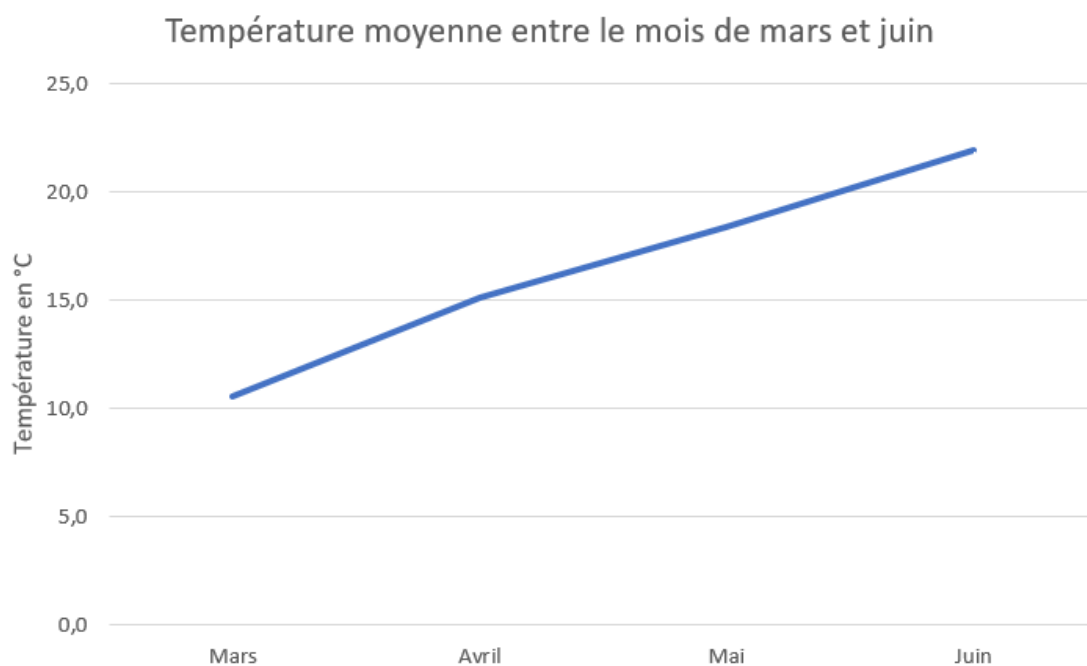


Figure 27. Températures moyennes déterminées par un des capteurs sur le verger entre la période du mois de mars et du mois de juin. La captation s'est faite toutes les 30 minutes tous les jours

2. Annexe n°2

