LAURENT
Camille

RAPPORT DE STAGE

ETUDES DES MÉTHODES ALTERNATIVES DE LUTTE CONTRE LE PUCERON CENDRÉ DU POMMIER

Source : Personnelle

Stage réalisé du 2 avril au 19 juillet 2024

Maître de stage : Julia Crombez

Enseignant référent : Ludovic Delabarre

Université Clermont Auvergne

Institut Universitaire de Technologie Clermont Auvergne

Campus universitaire Simone Veil, Aurillac

Département Génie Biologique

BUT Génie Biologique parcours agronomie

Année universitaire 2023-2024

SOMMAIRE

Remerciements
Résumé
Abstract
Introduction 1
I) Présentation de l'organisme d'accueil 2
1.1. Chambre interdépartementale d'Agriculture Charente-Maritime Deux-Sèvres (CMDS) 2
1.2. Groupe DEPHY 3
1.2.1. Présentation des groupes DEPHY et fonctionnement national 3
1.2.2. Présentation du groupe DEPHY Pommes des Charentes 3
II) Contexte bibliographique 4
2.1. Le pommier 4
2.2. Le puceron cendré 5
a) Caractéristiques 5
b) Cycle biologique 6
c) Méthodes de luttes 7
III) Méthodes alternatives dans la lutte contre le puceron cendré du pommier 9
3.1. Contexte expérimental 9
3.2. Matériels et méthodes 10
3.2.1. Conditions expérimentales 10
3.2.2. Dispositif expérimental 11
3.2.3. Traitements des données 33
3.2.3.1. Effet parcelle 12
3.2.3.2. Nombre de foyers par arbre 12
3.2.3.3. Fréquence de foyers par pousse 13
3.2.4. Descriptif des essais 13
a) Lutte à l'automne 13
b) Lutte au printemps 14
3.3. Résultats 16
a) Lutte à l'automne 16
b) Lutte au printemps 18
3.4. Discussion 20
a) Lutte à l'automne 20
b) Lutte au printemps 22
Conclusion 24
Bibliographie
Table des sigles
Glossaire
Table des tableaux et des figures
Table des annexes et annexes

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier grandement Julia Crombez, conseillère en arboriculture à la Chambre d'Agriculture Charente-Maritime Deux-Sèvres et maître de stage. Julia m'a accueillie chaleureusement au sein de la Chambre et du groupe DEPHY, et n'a pas hésité à partager généreusement ses connaissances tout en répondant à mes questions et me faisant pleinement confiance.

Je remercie également l'ensemble des producteurs du groupe, et plus particulièrement Issam et Soufyane Hachmi, Jean-François et Théo Glemet ainsi qu'Isabelle et Victoria Sauvaitre, pour leur participation aux essais, ainsi que le temps qu'ils m'ont accordé en me transmettant leur savoir-faire.

Enfin, un grand merci à M. Michel Girard, responsable du pôle VITAL, pour la supervision et le bon déroulement du stage, mais aussi pour sa disponibilité en cas de besoin.

RÉSUMÉ

En **arboriculture**, la gestion des **maladies** et des **ravageurs** repose sur l'utilisation de **produits phytosanitaires**. Cependant, depuis le retrait des néonicotinoïdes en 2018 et la mise en œuvre du **plan Ecophyto II+**, il est devenu indispensable de **réduire l'usage de ces produits**. Ainsi les producteurs doivent désormais repenser leurs pratiques en adoptant des **méthodes alternatives**.

Le **puceron cendré**, l'un des ravageurs les plus nuisibles du **pommier**, est actuellement maîtrisé grâce à ces intrants chimiques. Néanmoins, la pression exercée par ce ravageur augmente chaque année tandis que les substances actives efficaces disparaissent. Par conséquent, des **essais** sont menés dans les **centres d'expérimentation** et chez les **producteurs** afin d'étudier les méthodes alternatives et ainsi évaluer leur **efficacité** contre le puceron cendré.

Dans cette étude, plusieurs essais ont été conduits au sein du groupe **DEPHY Pommes des Charentes**. Ces dispositifs incluent l'utilisation de **produits de biocontrôle**, de **barrières physiques** et l'**introduction d'auxiliaires naturels**. Des **suivis** réguliers ont permis d'évaluer le développement des pucerons selon différentes modalités. Les résultats obtenus sont comparés et **analysés statistiquement** pour déterminer l'efficacité de chaque modalité.

Les **résultats** observés sont **variables**, compliquant ainsi d'émettre des hypothèses sur leur réelle efficacité. Ce **travail préliminaire** constitue une base pour des essais plus approfondis à réaliser sur plusieurs années, contribuant progressivement à la réduction des produits phytosanitaires en arboriculture.

ABSTRACT

In **arboriculture**, **disease** and **pest** management relies on the use of plant protection products. However, since the withdrawal of neonicotinoids in 2018 and the implementation of the **Ecophyto II+ plan**, it has become essential to **reduce the use of these products**. As a result, growers must now rethink their practices by adopting **alternative methods**.

The aphid, one of the most harmful pests of the **apple tree**, is currently controlled thanks to these chemical inputs. Nevertheless, the pressure exerted by this pest increases every year while most efficient active substances disappear. As a result, **trials** are being carried out in the **experimental centers** and among producers to study alternative methods and thus evaluate their **effectiveness** against the aphid.

In this study, several trials were conducted within the **DEPHY group "Pommes des Charentes".** These tests include the use of **biocontrol products, physical barriers** and the **introduction of natural auxiliaries**. Regular **monitoring** made it possible to assess the development of aphids in different ways. The results obtained are compared and **statistically analyzed** to determine the effectiveness of each modality.

The observed **results** are **variable**, making it difficult to hypothesize their real effectiveness. This **preliminary work** provides a basis for more in-depth trials over several years, gradually contributing to the reduction of phytosanitary products in arboriculture.

INTRODUCTION

En France, le marché de la pomme occupe une place essentielle. Étant le premier fruit consommé, la production française de pommes a été estimée à 1,39 million de tonnes en octobre 2023 [1]. À l'échelle européenne, la France se classe au troisième rang des pays producteurs de pommes, derrière la Pologne et l'Italie. Les principales régions productrices comprennent l'Occitanie, suivie de la région PACA, et de la Nouvelle Aquitaine, contribuant ainsi à la diversité de la production nationale [2]. La pomme fait partie de la filière fruits et légumes, et plus précisément des fruits à pépins comprenant notamment les poires [3]. La Nouvelle-Aquitaine se distingue comme la deuxième région française la plus importante dans la production de fruits à pépins, notamment grâce à son climat océanique propice. La culture de la pomme y est particulièrement remarquable, notamment en Charente-Maritime, qui met en avant la variété locale phare, la Belchard [4].

Dans le secteur de l'arboriculture, les produits phytosanitaires sont largement utilisés pour contrôler les maladies fongiques et maintenir les ravageurs à des niveaux acceptables, garantissant ainsi un rendement optimal répondant à la demande du marché et assurant la pérennité des cultures. Cependant, la rémanence* de ces produits peut avoir des répercussions néfastes sur l'environnement et la santé, et favoriser le développement de résistances chez certaines espèces. Pour atténuer ces effets indésirables et encourager l'adoption de méthodes alternatives à la lutte chimique, des initiatives nationales telles que les plans Ecophyto II (2015) et II+ (2018) ont été lancées, visant à réduire de moitié l'utilisation de ces produits d'ici 2025. Une des actions majeures de ce plan est le dispositif DEPHY, qui vise à tester, valoriser et mettre en œuvre des pratiques agricoles réduisant l'utilisation des produits phytosanitaires, tout en favorisant des approches économiquement, environnementalement et socialement durables [5].

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce stage, où l'objectif est d'étudier des méthodes alternatives dans la lutte contre le puceron cendré du pommier. Après une brève présentation de l'organisme d'accueil et d'une veille bibliographique, l'étude portera sur différents essais menés au sein du groupe DEPHY Pommes des Charentes, dans le but de répondre à la problématique suivante : « Quelle est l'efficacité des méthodes alternatives dans la lutte contre les pucerons cendrés du pommier ? ».

I) Présentation de l'organisme d'accueil

1.1. Chambre interdépartementale d'Agriculture Charente-Maritime Deux-Sèvres (CMDS 17/79)

Créées en 1924, les Chambres d'Agriculture sont des établissements publics administratifs pilotés par des élus. Ce sont des organismes dits consulaires chargés de représenter les intérêts des agriculteurs. Les Chambres d'Agriculture jouent un rôle crucial dans l'accompagnement, le conseil, et la formation des agriculteurs, tout en contribuant au développement économique et en valorisant les ressources naturelles, la lutte contre le changement climatique et la réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires. Elles sont présentes sur l'ensemble du territoire à l'échelle départementale, régionale, nationale et également en Outre-Mer [6].

La Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime et Deux-Sèvres est une organisation interdépartementale qui coordonne les actions et les services destinés aux agriculteurs de ces deux départements. Avec ses bureaux principaux situés à Niort, elle dispose également, entres autres, de bureaux à La Rochelle, Saintes, Jonzac, et Bressuire, offrant ainsi une dispersion et des services de proximité pour les agriculteurs.

La Chambre 17/79 propose une variété de services structurés en différents pôles :

- Territoire
- Eau et Environnement
- Entreprise
- Production

Dans le service Production, il est possible de retrouver notamment le pôle Élevage, le pôle Agronomie Grandes Cultures, et le pôle Viticulture, Arboriculture, et Légumes (VITAL) [7].

C'est dans le pôle Arboriculture du service VITAL que se déroule ce stage, et plus précisément dans le cadre du groupe DEPHY Pommes des Charentes. Le groupe DEPHY est animé et suivi par l'ingénieur réseau Julia Crombez. Celui-ci a pour objectif de développer des solutions techniques pour produire des pommes de qualité tout en réduisant l'impact environnemental du verger [8]. Celui-ci a pour objectif de développer des solutions techniques pour produire des pommes de qualité tout en réduisant l'impact environnemental du verger [8].

Figure 1 : Carte des Fermes DEPHY Arboriculture (2022)

Source : Ecophytopic

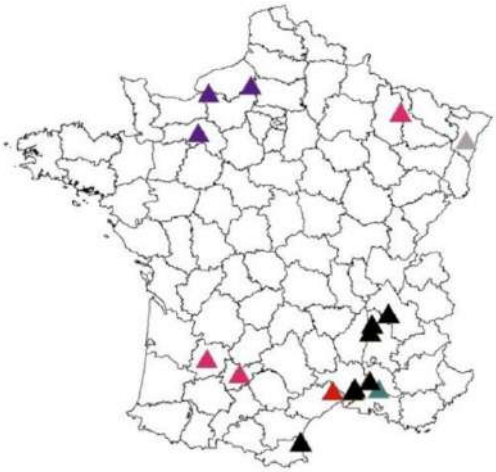


Figure 2 : Carte des sites DEPHY Expe Arboriculture (2022)

Source : Ecophytopic

1.2. Groupe DEPHY

1.2.1. Présentation des groupes DEPHY et fonctionnement national

Les groupes DEPHY (Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes de cultures économes en produits PHYtosanitaires) ont été créés en 2008 dans le cadre du plan Ecophyto, initié par le ministère de l'Agriculture en France. Leur objectif est de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires et de promouvoir des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement. À l'échelle nationale, ces groupes rassemblent des agriculteurs engagés dans l'expérimentation et l'évaluation de techniques innovantes et durables. En travaillant en réseau, ils partagent des connaissances et développent des solutions techniques pour produire de manière plus économe en produits chimiques, tout en maintenant des rendements répondant à la sécurité alimentaire et la qualité des productions agricoles [9].

Les groupes DEPHY sont organisés en deux réseaux distincts : DEPHY Ferme et DEPHY Expé.

Le réseau DEPHY Ferme se concentre particulièrement sur la démonstration et les échanges autour de projets techniques dans des exploitations agricoles. Le dispositif permet notamment d'acquérir des références sur des pratiques alternatives. Celui-ci organise également des rencontres pour suivre l'évolution des exploitations et permet l'échange technique avec d'autres groupes d'agriculteurs [8].

Le réseau DEPHY Expé, quant à lui, a pour mission de concevoir, tester et évaluer des systèmes de culture visant une forte réduction de l'usage des pesticides. C'est un réseau d'expérimentations (200 sites expérimentaux) et de porteurs de projets pour une durée comprise en 4 et 6 ans. En arboriculture, on compte 15 groupes DEPHY Ferme et 9 projets DEPHY Expé (cf. figures 1 et 2) [10].

1.2.2. Présentation du groupe DEPHY Pommes des Charentes

Le groupe DEPHY Pommes des Charentes, créé en 2017, réunit 14 exploitations de fruits à pépins, aussi bien en agriculture conventionnelle qu'en agriculture biologique.

Principalement composé d'exploitations familiales, ce groupe travaille sur un projet collectif visant à réduire le niveau de résidus sur les pommes produites, grâce à un raisonnement des traitements et à la substitution de certains produits phytosanitaires [11].

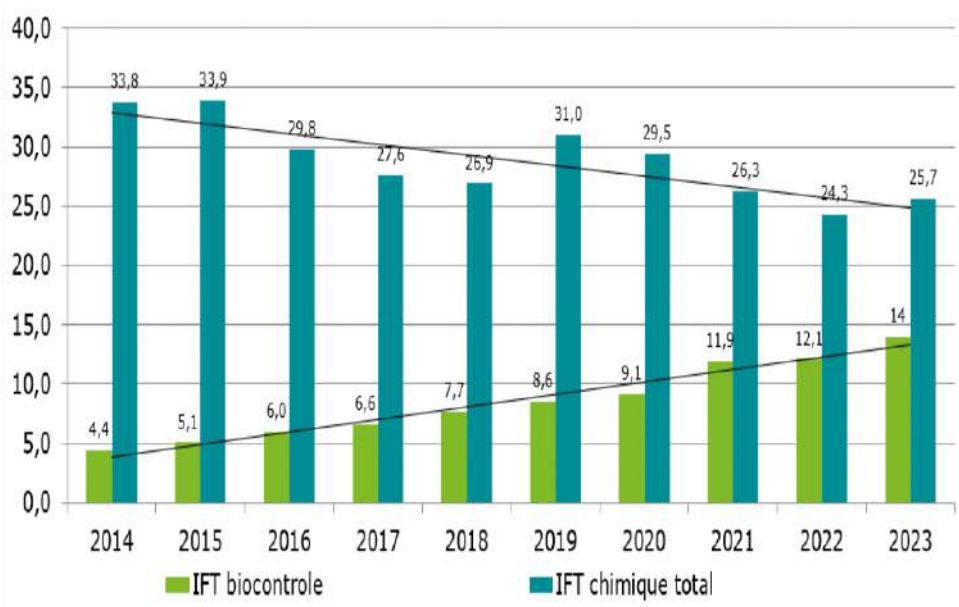


Figure 3 : Évolution des IFT chimiques et biocontrôles entre 2014 et 2023

Source : Groupe DEPHY Pommes des Charentes

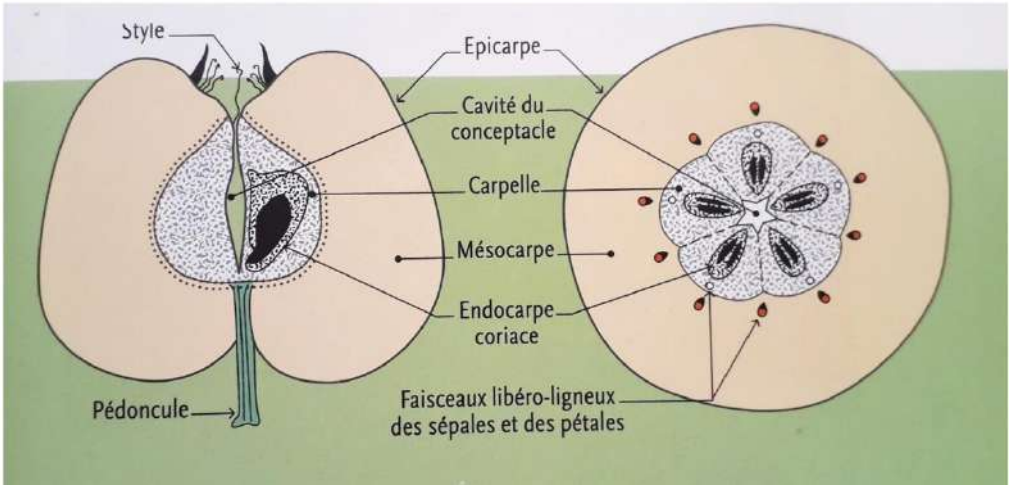


Figure 4 : Schéma d'une coupe longitudinale d'une pomme

Source : Trillot et al., 2002

Dans le cas de ce groupe, des résultats montrent depuis 2017, une réduction des Indicateurs de Fréquence de Traitements phytosanitaires (IFT) chimiques et une augmentation des IFT de biocontrôles (cf. figure 3) [11].

Cependant, en fonction de l'année et des conditions météorologiques, la pression des ravageurs, et notamment des pucerons, peut varier, ce qui peut nécessiter l'utilisation importante de traitements phytosanitaires. Il est donc crucial de rechercher et de tester des méthodes alternatives aux insecticides, surtout aujourd'hui où certaines substances voient leur Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) retirée ou soumise à des dérogations.

II) Contexte bibliographique

2.1. Le pommier

Le pommier cultivé, ou *Malus domestica* (Borkh), est une espèce pérenne* originaire d'Asie, appartenant à la famille des Rosaceae, et comprenant entre 25 à 30 espèces différentes de genre *Malus* [12]. Plusieurs milliers de variétés sont répertoriées, et parmi lesquelles les plus populaires telles que Golden, Pink Lady et Gala sont largement cultivées en France.

Le pommier est un arbre à feuilles caduques*, dentées et alternes. C'est une espèce allogame*, l'auto-fertilisation est impossible, il est donc nécessaire d'utiliser une autre variété comme pollinisateur [13]. Sa floraison, survenant entre avril et mai, présente des fleurs blanches ou roses, composées de 5 pétales et 5 sépales. Le fruit charnu du pommier se développe à partir de l'ovaire et du réceptacle*, avec une zone interne formée par un carpelle* entouré d'un mésocarpe* épais (cf. figure 4). Sa hauteur peut varier de 2 à 15 mètres selon la variété et les pratiques culturales adoptées [13].

Le cycle de vie du pommier débute en automne, après la récolte, lorsque les feuilles chutent et que l'arbre entre en repos hivernal. Au printemps suivant, les bourgeons hivernaux gonflent et débourrent. Les bourgeons floraux se développent en fleurs, puis, les pétales tombent et la nouaison* des fruits débute. La nouaison est favorisée par la pollinisation réalisée par les abeilles domestiques, puis les fruits se développent jusqu'à leur maturité. Pendant l'été, les méristèmes donnent naissance à des bourgeons apicaux ou latéraux, entrant en dormance* pendant l'hiver [14].

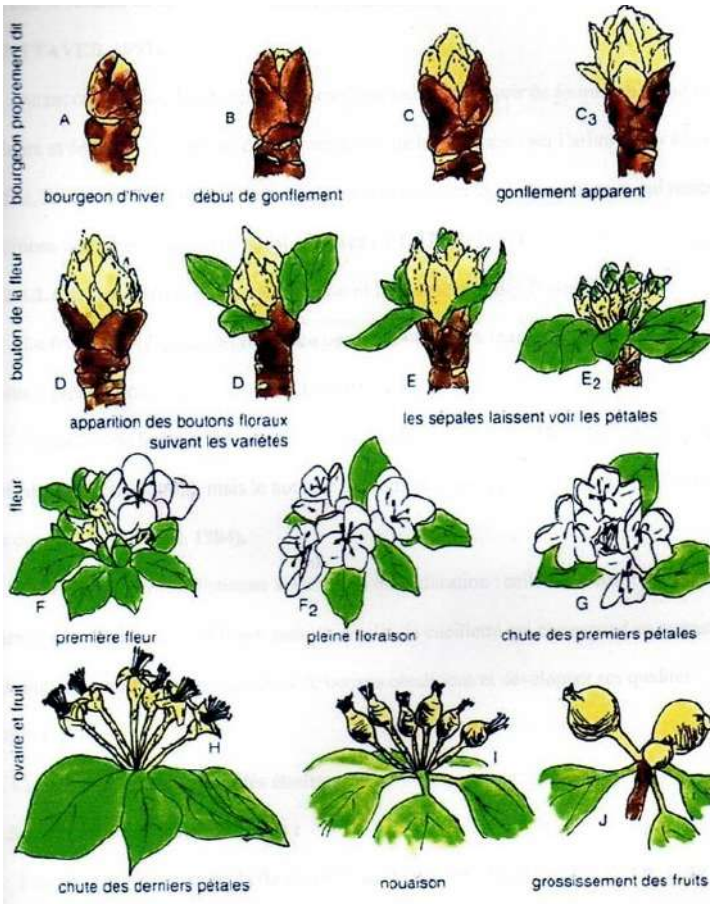


Figure 5 : Les différents stades phénologiques du pommier

Source : INRA, Fleckinger

Figure 6 : Photographies de foyers de pucerons de gauche à droite : (1) verts du pommier (*Rhopalosi phuminsertum*), (2) lanigères (*Eriosoma lanigerum*) et (3) cendrés (*Dysaphis plantaginea*)

Sources : Ephytia, INRA (1), *personnelles (2 et 3)*

Le développement du pommier se découpe en plusieurs stades phénologiques en fonction de l'échelle utilisée [13]. L'échelle de *Baggiolini-Fleckinger* est la plus couramment employée. Celle-ci subdivise les stades selon les principaux stades repères de l'arbre tels que le gonflement des bourgeons ou la nouaison, illustrés à la figure 5. Ces échelles facilitent la description précise de la croissance de l'arbre et son suivi, permettant ainsi une gestion optimale de la culture.

Le pommier est confronté à divers bioagresseurs, notamment les maladies fongiques importantes telles que l'oïdium, la tavelure et le chancre, ainsi que les maladies bactériennes et de conservation. Parmi les ravageurs du pommier, on trouve les acariens, les pucerons, ainsi que certains lépidoptères* (le carpocapse et la tordeuse orientale du pêcher notamment). Les pucerons sont un des ravageurs les plus fréquents et redoutables des pommiers car ils sont responsables d'énormes pertes de production [15]. Dans les vergers, les trois espèces de pucerons les plus présentes sont le puceron vert migrant du pommier (*Rhopalosi phuminsertum*), le puceron lanigère (*Eriosoma lanigerum*) et le puceron cendré (*Dysaphis plantaginea*) (cf. figure 6). Certaines variétés de pommes, comme Granny, Pink Lady et Belchard, sont particulièrement sensibles aux attaques de pucerons, tandis que d'autres, telles que Golden, Goldrush, Swing et Canada, montrent une plus grande tolérance.

Ainsi, la sélection de variétés tolérantes et l'adoption de pratiques culturales appropriées sont essentielles pour assurer la santé et la productivité des vergers. En effet, pour assurer la pérennité de la culture, une bonne conduite agronomique est essentielle, impliquant des pratiques d'irrigation, d'éclaircissage et de protection contre ces bioagresseurs. Cependant, les aléas climatiques tels que le gel au printemps, une forte pluviométrie et la grêle constituent également des problématiques majeurs pour les arboriculteurs.

2.2. Le puceron cendré

a) Caractéristiques

Appartenant à l'ordre des Hémiptères, il existe plusieurs milliers d'espèces de pucerons. Cependant, seulement une dizaine d'entre elles sont potentiellement nuisibles pour le pommier, provoquant des dégâts significatifs dans les vergers.

Figure 7 : A gauche (1), enroulement et jaunissement des feuilles, et à droite (2) déformations des fruits

Sources : Personnelles

Figure 8 : À gauche (1) *D. plantaginea* sous forme aptère, et à droite (2) sous forme ailé

Sources : Personnelles

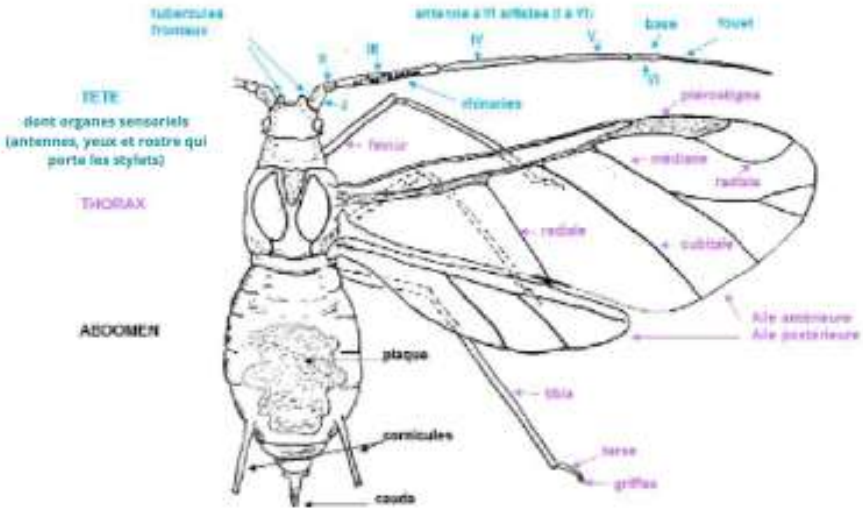


Figure 9 : Schéma de l'anatomie d'un puceron ailé

Source : INRAE

Parmi ces espèces nuisibles, le puceron cendré du pommier, *Dysaphis plantaginea*, est particulièrement dommageable. Cet insecte de type phytophage* peut affecter entre 20 et 30 % des pommiers, et jusqu'à 80 % lorsque les populations ne sont pas contrôlées [16].

Connu pour être l'un des premiers ravageurs du pommier, le puceron cendré peut se développer à des températures basses, comprises entre 4,5 et 4,8°C [16].

Les pucerons cendrés apparaissent donc tôt au printemps, dès le débourrement des bourgeons. Dotés d'un appareil buccal de type suceur-piqueur, ils prélèvent la sève élaborée* des tissus végétaux grâce à leur stylet perforant, ce qui affaiblit le pommier. De plus, l'attaque des pucerons provoque l'enroulement et la dépigmentation des feuilles, ainsi que la déformation des fruits, arrêtant alors leur croissance (cf. figure 7). Ces dommages impactent la photosynthèse et, par conséquent, la production de pommes [13]. De plus, en prélevant la sève, les pucerons sécrètent du miellat, attirant les fourmis qui protègent ces ravageurs en échange. Le miellat favorise également le développement de la fumagine, un champignon noir qui impacte la respiration et l'assimilation chlorophyllienne de l'arbre [17].

b) Cycle biologique

D. plantaginea existe sous deux formes : aptère* et ailée (cf. figure 8). Les aptères adultes mesurent environ 2,5 mm, sont globuleux, de couleur vert olive à brun violacé, et recouverts d'un duvet blanchâtre. Les ailés, quant à eux, sont vert foncé avec une tache brillante au milieu de l'abdomen, et ont des cornicules longues marron foncé ainsi qu'une cauda courte et fortement conique (cf. figure 9). Les œufs, allongés et noirs, passent l'hiver dans les écorces des arbres.

Le cycle de développement du puceron cendré comprend trois stades : œuf, larve, et adulte. Cette espèce est holocyclique*, réalisant un cycle biologique complet avec des reproductions sexuées et asexuées, et diœcique*, nécessitant deux plantes hôtes : le pommier (hôte primaire) et le plantain (hôte secondaire).

Dès le débourrement des bourgeons au printemps, les œufs éclosent, donnant naissance à des larves qui passent par quatre stades avant de devenir des adultes [12].

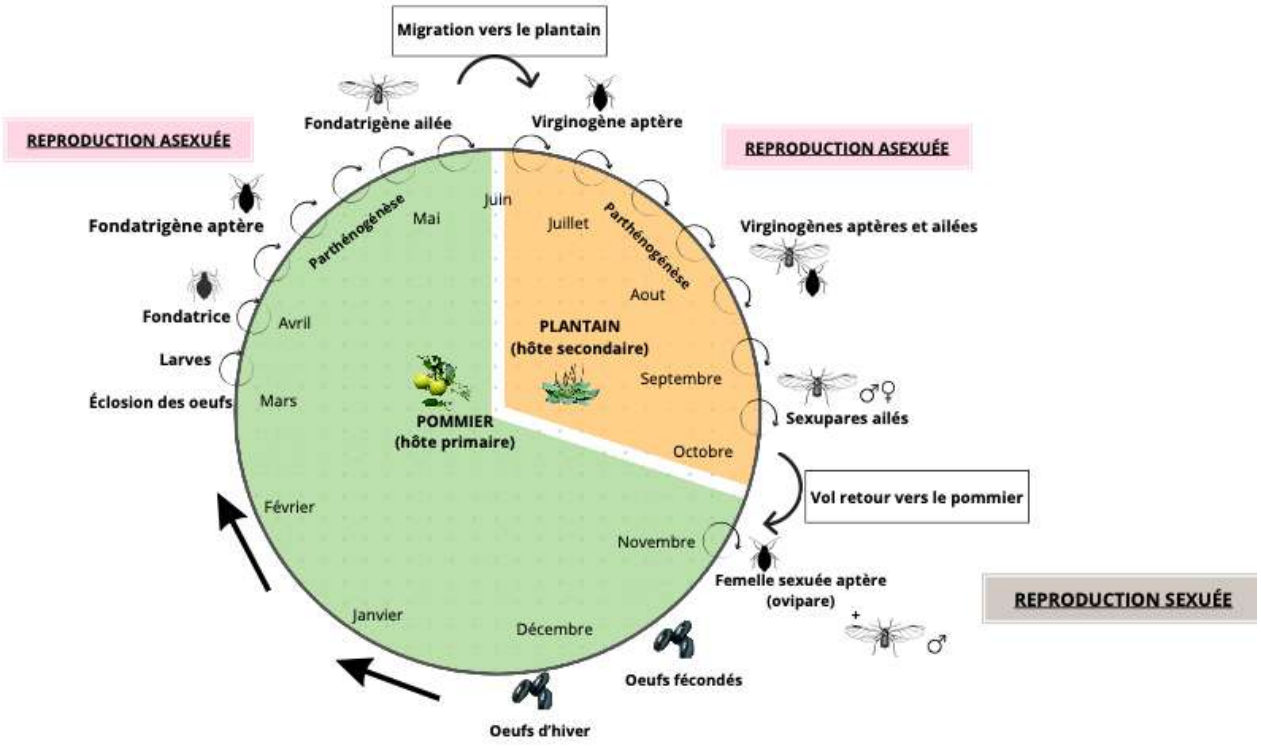


Figure 10 : Cycle biologique de *D. plantaginea*

Source : Personnelle

Les premiers adultes aptères, appelés fondatrices, se reproduisent par parthénogenèse* sur la face intérieure des feuilles. La première génération de fondatrices donne naissance à une première génération (les fondatrigènes), qui se reproduisent par parthénogenèse, produisant 3 à 7 générations de clones [16]. Au fil des générations, des pucerons ailés apparaissent vers fin mai annonçant le début de la migration vers le plantain (vol de migration). Sur le plantain, ces pucerons continuent de se reproduire par parthénogenèse, engendrant 3 à 8 générations de virginogènes* vivipares*. En automne, des sexupares* apparaissent, parmi lesquelles des gynopares* ailées et des andropares* ailés, qui retournent vers le pommier pour une reproduction sexuée, clôturant ainsi le cycle avec la ponte des œufs aptères fécondés (cf. figure 10).

Ainsi, *Dysaphis plantaginea* possède un fort pouvoir de multiplication et une grande capacité de dispersion grâce aux reproductions sexuées et asexuées ainsi qu'aux formes ailées [12].

c) Méthodes de luttes

Pour lutter contre les pucerons, plusieurs méthodes sont employées. Les traitements classiques de type aphicide* incluent l'utilisation d'huiles en début de saison, des pyréthrinoïdes* avec des substances actives comme la lambda-cyhalothrine et l'esfenvalérate (interdites en agriculture biologique) avant la floraison. Mais aussi des produits à base d'azadirachtine tels que le NEEMAZAL ® (interdit pendant la floraison) et le MOVENTO ® (spirotetramate) utilisé après fleur, bien que ce dernier soit prévu d'être retiré du marché en 2025. Ces produits sont utilisés selon un programme bien définit avec des doses maximales et un usage contrôlé [4].

En fonction de la pression pucerons, divers traitements peuvent être employés, tant en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle. Parmi ces traitements, les produits de biocontrôle, composés de micro-organismes, de médiateurs chimiques, de substances d'origine animale, végétale, ou minérale, sont souvent utilisés [18]. Ces produits sont considérés comme alternatifs permettant ainsi de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires de synthèse. Parmi les produits de biocontrôle couramment utilisés, il est possible de trouver :

Tableau I : Principaux traitements utilisés dans la lutte contre le puceron cendré

Source : Personnelle

Produits	Substance active	Famille	Utilisable en AB	Biocontrôles
Huile blanche (Ovipron®, Oviphyt®...)	Huile de paraffine	Aphicide	oui	oui
Pyréthrinoïdes (Karaté K®, Judoka®..)	Lambda-cyhalothrine/ esfenvalérate	Insecticide	non	non
TEPPEKI ®	Flonicamide	Insecticide	non	non
Oikos®/Neemazal TS ®	Azadirachtine	Insecticide	oui	non
MOVENTO®	Spirotétramate	Insecticide	non	non
LIMOCIDE®	Huile essentielle d'orange douce	Insecticide / Fongicide/ Acaricide	oui	oui
FLIPPER ®	Acide gras sels de potassium	Insecticide / Acaricide	oui	oui
STYKAL ®	Polymères	Insecticide	non	non

Figure 11 : Photographie d'une larve de syrphe (*Episyrphus balteatus)*

Source : Personnelle

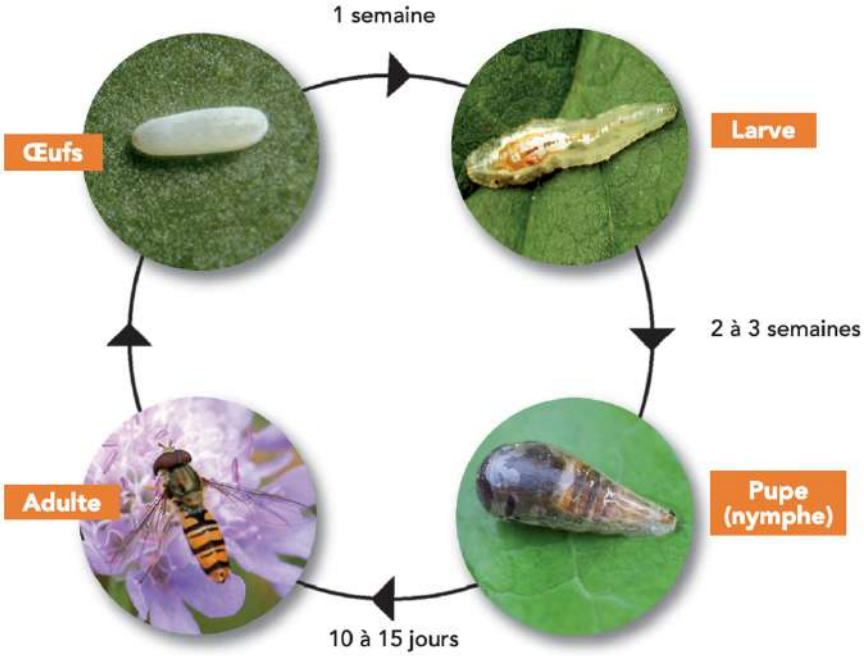


Figure 12 : Cycle de développement de *Episyrphus balteatus*

Source : Ecophytopic

- Les huiles de paraffine (par exemple, Ovipron*, Oviphyt*), appliquées en début de saison sur les œufs et les premiers stades larvaires des pucerons, agissant par asphyxie.
- Le LIMOCIDE®, composé d'extrait d'huile essentielle d'orange douce agit par contact en asséchant les pucerons.
- Le FLiPPER®, principalement constitué d'acides gras, pénètre dans le ravageur, désorganisant ainsi la matrice de lipoprotéines et perturbe le fonctionnement cellulaire.

En outre, d'autres produits alternatifs contre le puceron cendré existent, tels que le STYKAL® (ou NORI PRO®), qui, bien qu'il ne soit pas classé comme produit de biocontrôle, agit comme une barrière physique en immobilisant les pucerons lors de son application.

Au-delà de ces traitements aphicides résumés dans le tableau I ci-contre, des méthodes indirectes sont également employées, telles que la régulation naturelle par des auxiliaires (hyménoptères parasitoïdes*, syrphes, coccinelles et forficules) ou des interventions automnales comme la perturbation du vol retour avec des argiles blanches ou la défoliation totale de l'arbre.

Parmi les auxiliaires, on trouve le syrphe, *Episyrphus balteatus*, un diptère de la famille des Syrphidés. Ressemblant à la guêpe, l'adulte pond ses œufs dans les colonies de pucerons, attiré par le miellat qu'ils sécrètent. Les larves blanches-transparentes avec des rayures noires (cf. figure 11), sont aphidiphages*, c'est-à-dire qu'elles se nourrissent de diverses espèces de pucerons en aspirant leur contenu. Très présent naturellement, ce syrphe peut également être introduit artificiellement.

Le cycle de développement de *Episyrphus balteatus* se divise en 4 stades : stade larvaire, pupe, adulte, œuf (cf. figure 12). Une humidité élevée favoriserait l'émergence des larves, qui se nourrissent principalement la nuit, consommant jusqu'à 500 pucerons au cours de leur vie. En fin de développement larvaire, elles laissent une tâche noire d'excréments caractéristiques, appelé méconium, sur les feuilles [19].

Dans les vergers soumis à une forte pression de pucerons, des lâchers de pupes de syrphes peuvent être réalisés pour favoriser une régulation naturelle des ravageurs. Par ailleurs, l'utilisation de bandes fleuries ainsi que l'aménagement d'agrosystèmes avec des haies, zones humides ou couverts végétaux sont des stratégies efficaces pour attirer les auxiliaires et renforcer leur présence.

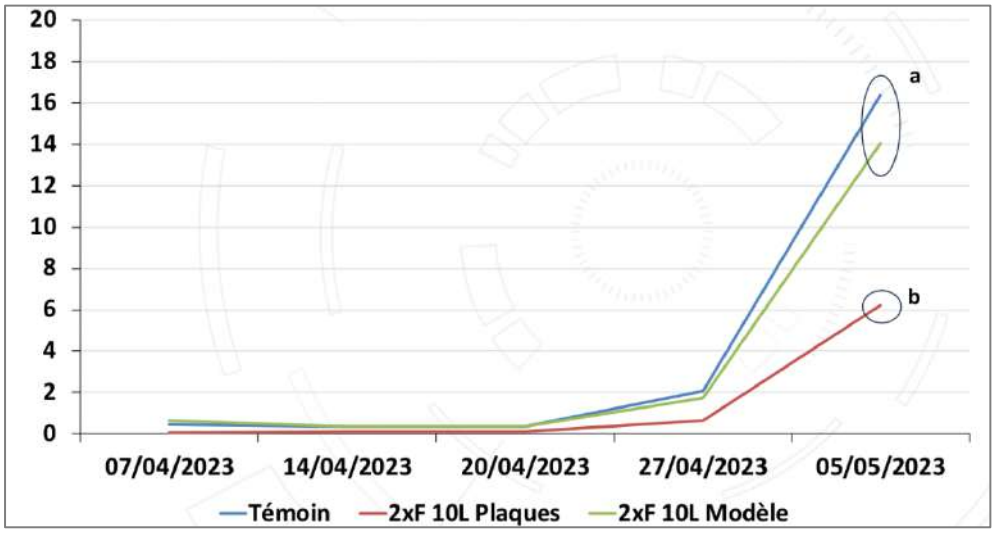


Figure 13 : Évolution du nombre moyen de foyer actif de puceron par arbre selon les modalités témoin, FLiPPER ® (suivi piégeage) et FLiPPER® (suivi RIMPRO) un essai à La Morinière (CTIFL)

Sources : CTIFL, La Pugère

Ces méthodes indirectes permettent ainsi de réduire le recours aux intrants chimiques tout en employant des moyens naturels, bénéfiques pour l'environnement et pour la santé [5].

Néanmoins, peu d'études démontrent l'efficacité de ces méthodes par rapport aux traitements phytosanitaires traditionnels. Cependant, grâce au dispositif DEPHY et à l'engagement des producteurs cherchant à adopter des pratiques respectueuses de l'environnement tout en maintenant la qualité de leurs fruits, l'efficacité de ces méthodes alternatives peut être expérimentée et évaluée.

Dans le cadre de ce travail, différentes méthodes ont été testées, notamment la perturbation du vol retour à l'automne avec des produits de biocontrôle, des lâchers d'auxiliaires et l'utilisation de produits de biocontrôle au printemps.

III) Méthodes alternatives dans la lutte contre le puceron cendré du pommier

3.1. Contexte expérimental

Dans le cadre du projet SIMPA CASDAR, mené par les centres d'expérimentations comme le CTIFL, SudExpe et La Pugère, plusieurs axes de recherche ont été déployé pour étudier des méthodes alternatives contre le puceron cendré du pommier. L'un des axes consiste à mettre en place une lutte automnale avec l'application de pyréthrinoïdes ou de biocontrôles. Ces applications sont positionnées en fonction du suivi de la modélisation et du suivi réel du vol retour du puceron (piégeage). Les centres d'essais ont constaté que l'utilisation du modèle RIMPRO présentait des écarts significatifs par rapport à la migration réelle des pucerons à l'automne. Ainsi, selon si l'on se base sur le modèle ou sur les observations réelles, le positionnement des traitements diffère. À l'automne 2022, deux stratégies ont été évaluées : un positionnement du FLiPPER® d'après le piégeage sur plaques engluées ou un positionnement d'après le modèle RIMPRO. Le suivi basé sur RIMPRO plus précoce, n'a pas été efficace (cf. figure 13).

D'autres produits, tels que le NORI PRO® (polymères), le LIMOCIDE® (terpènes d'orange) et le Karaté Zéon® (pyréthrinoïdes), ont été évalués et ont montré des résultats plutôt encourageants. Parmi ces trois produits, le LIMOCIDE® s'est révélé être le plus efficace en maintenant une pression inférieure par rapport aux autres et au témoin lorsqu'il est appliqué successivement 3 ou 4 fois à l'automne.

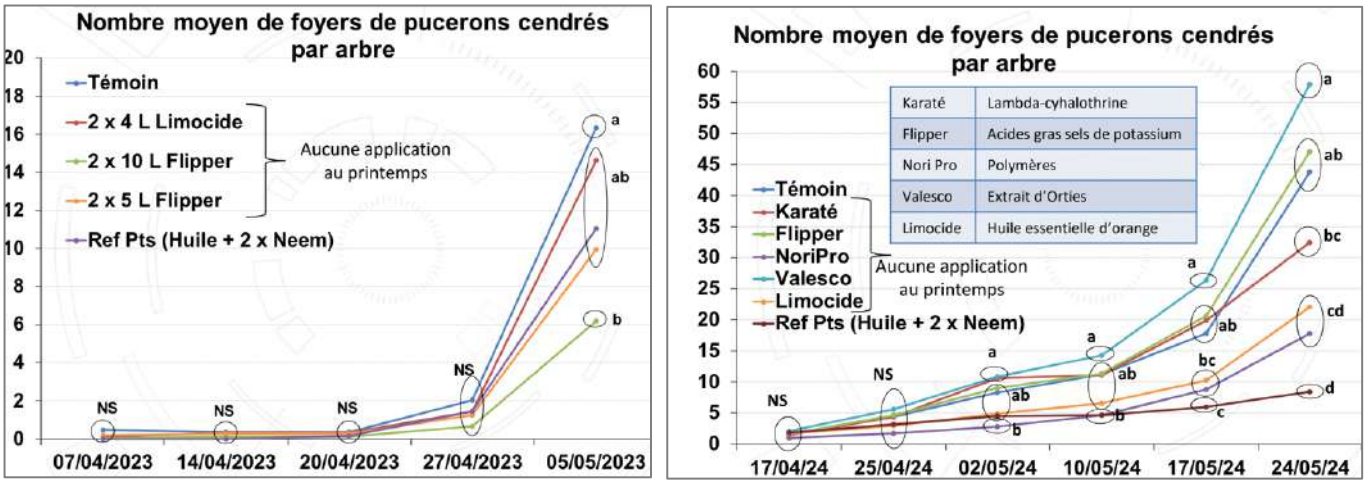


Figure 14 : Essais sur 2 années à la Morinière CTIFL (Indre et Loire) (1) Évolution du nombre de foyers de pucerons par arbre au printemps 2023 selon les modalités de traitement à l'automne 2022, (2) Évolution du nombre de foyers de pucerons par arbre au printemps 2024 selon les modalités de traitement à l'automne 2023

Sources : CTIFL, La Pugère

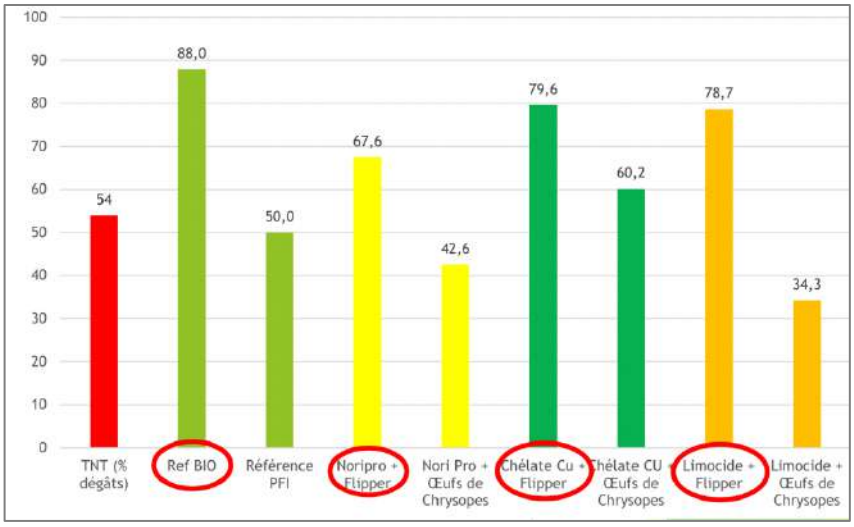


Figure 15 : Essais à la station SudExpé (34) - Efficacités du FLiPPER œufs de chrysopes combinés à d'autres produit, positionnement sur fleur

Sources : SudExpé

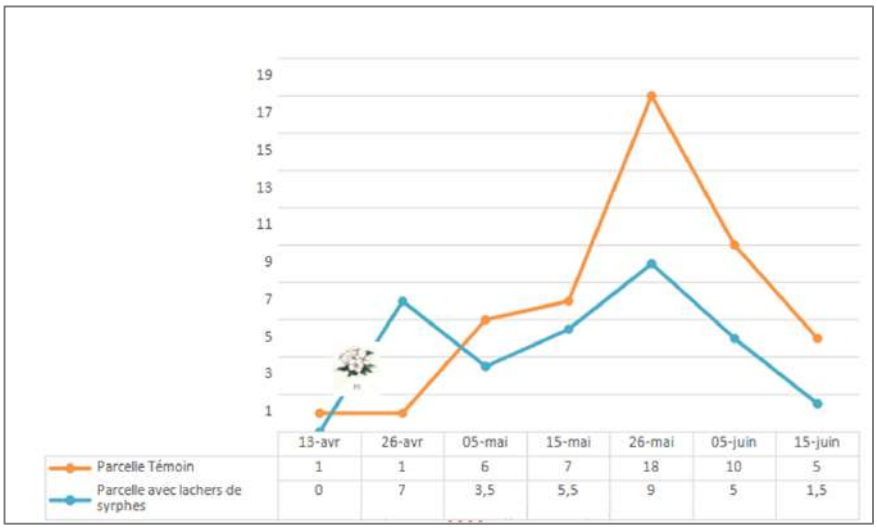


Figure 16 : Évolution du nombre de foyers actifs sur 20 arbres selon la modalité témoin et lâchers de syrphes en 2023

Sources : Julia Crombez

En 2022, les 2 applications de 10L de FLiPPER® ont montré des résultats positifs. Mais en 2023 avec une pression pucerons importante et des positionnements de traitements compliqués à cause de la pluie à l'automne (Centre Val de Loire), ce dernier avec 3 applications n'a pas été efficace et a eu des résultats proches du témoin (cf. figure 14). Au centre d'essai La Pugère (13), l'application des produits FLiPPER® et NORI PRO® à l'automne ont été évalué sur trois ans en condition « forte pression pucerons » et ont montré des effets positifs comparé au témoin non-traité. En parallèle, le centre SudExpé (34) a également mis en place des essais de lutte automnale avec les produits FLiPPER®, LIMOCIDE®, KARATÉ K® ainsi que NORI PRO®. Les résultats au printemps sont plutôt satisfaisants : le FLiPPER®, LIMOCIDE® et NORI PRO® présentent des taux d'efficacité supérieurs au témoin et au KARATE K®, avec un taux maximal de 56% pour le NORI PRO®.

Un autre axe de recherche porte sur l'efficacité des produits de biocontrôle LIMOCIDE® et FLiPPER® contre le puceron au printemps (cf. figure 15). En laboratoire et en plein champ, le LIMOCIDE® a montré une efficacité importante lorsqu'il est appliqué en début de saison (stade G1). L'efficacité du FLiPPER® se rapproche des 80%, lorsqu'il est combiné à du LIMOCIDE® au printemps. Les résultats de leurs essais sont présentés annuellement aux journées techniques. Grâce à cela, des essais similaires ont pu être menés chez des producteurs volontaires de Charente-Maritime.

Par ailleurs, au printemps 2023, Julia Crombez, ingénieure réseau du groupe DEPHY, a réalisé des essais de lâchers de syrphes avec deux modalités : une parcelle « témoin » éloignée du lâcher et une parcelle avec lâchers successifs combinés au programme de lutte de référence. Quatre lâchers successifs ont eu lieu pendant la floraison. Les résultats sont encourageants, montrant un nombre de foyers actifs par arbre inférieur dans la parcelle avec lâchers par rapport au témoin, ainsi qu'un nombre d'œufs supérieur (cf. figure 16). Ces résultats prometteurs justifient la reconduction de l'essai en 2024.

3.2. Matériels et méthodes

3.2.1. Conditions expérimentales

Les essais ont été menés dans des vergers en production situés en Charente-Maritime, un département caractérisé par un climat océanique.

Durant l'automne 2023, la Nouvelle-Aquitaine a enregistré une température moyenne de 16°C. Cette période a été marquée par les tempêtes Ciaran et Domingo, engendrant des rafales importantes qui ont directement impacté les vergers. Les précipitations ont également été significatives, atteignant 466 mm, ce qui a entraîné des inondations et des crues importantes [20]. Le printemps 2024 a également été particulièrement humide avec de nombreuses averses.

Ces essais ont été réalisés sur la variété Belchard Chantecler ®, sensible aux pucerons et donc un bon indicateur de la pression du ravageur. Dans chaque verger, les arbres sont conduits en axes et sur porte-greffe nanisant* (type M9), qui assure une productivité rapide (2- 3 ans après le greffage) et des fruits de gros calibres.

Les essais se déroulent sur des parcelles en production, soumises aux programmes de lutte contre les pucerons définis par les producteurs. Les produits de biocontrôle et les lâchers de syrphes viennent compléter les traitements phytosanitaires. Il est important de noter que les témoins sont également traités selon les programmes établis. Les modalités et traitements sont détaillés dans la sous-partie 3.2.4 Descriptif des essais, sections a) et b).

3.2.2. Dispositif expérimental

Deux types d'essais ont été effectués pour identifier des méthodes alternatives aux produits phytosanitaires :

1. **Lutte automnale :** Cette méthode inclut un suivi du vol de migration des pucerons sur le pommier et l'utilisation de produits de biocontrôle à cette période. Le suivi du vol permet de positionner au mieux les biocontrôles qui visent à perturber la reproduction sexuée des pucerons sur le pommier et donc à réduire le nombre d'œufs d'hiver.
2. **Lutte au printemps :** D'une part des lâchers successifs de pupes de syrphes ont été réalisés pour évaluer l'impact de la régulation naturelle des foyers de pucerons au printemps. De l'autre, des produits de biocontrôle ont été appliqués sur des parcelles dans le but de cibler les premières générations de pucerons cendrés et d'interrompre leur reproduction clonale.

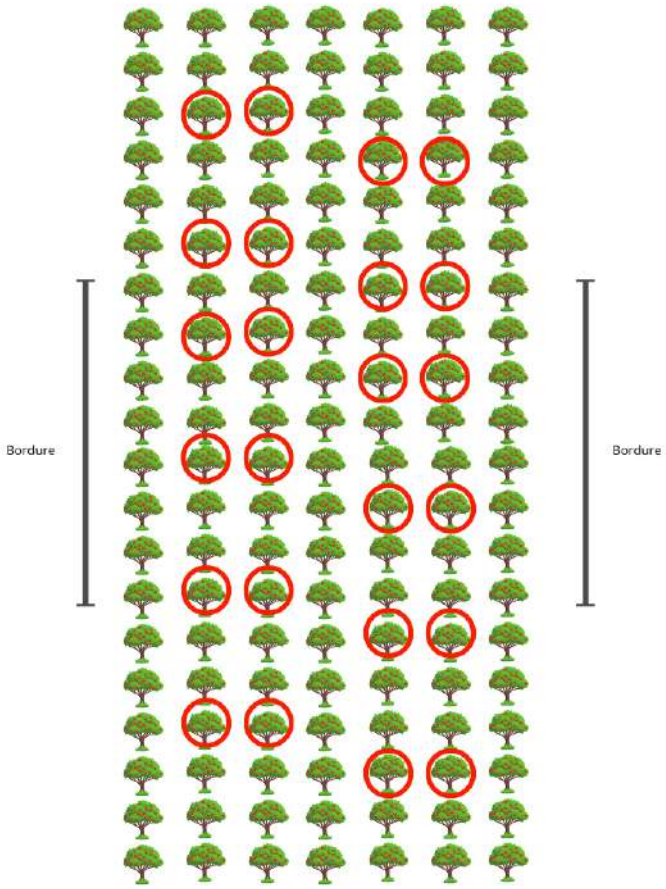


Figure 17 : Schématisation spatiale du dispositif expérimental

Source : Personnelle

Pour ces essais, le protocole utilisé est celui qui a été testé dans les centres d'expérimentation tels que le CTIFL, cité précédemment. Les notations ont donc débuté en avril lors de l'éclosion des œufs d'hiver et ont été réalisés tous les 7 à 10 jours selon un protocole rigoureux pour garantir la représentativité et la significativité des résultats.

Comme l'illustre le schéma de la figure 17, les arbres (n=24) sont choisis aléatoirement dans les rangs correspondant à la modalité étudiée, en évitant les rangs de bordure et ceux séparant différentes modalités pour ne pas fausser les résultats. Parmi les 24 arbres, 5 pousses sont choisies de manière aléatoire sur l'arbre. La fréquence des pucerons sur ces pousses est notée par leur présence ou leur absence (1 ou 0). Le nombre de foyers actifs par arbres est également relevé.

3.2.3. Traitements des données

Deux paramètres vont être évalués :

- **Le nombre de foyers actifs par arbre (24 arbres par modalité)**
- **La fréquence de foyers (sur 120 pousses par modalité)**

Les données recueillies sont ensuite analysées à l'aide de différents tests statistiques pour évaluer l'efficacité des différentes méthodes alternatives étudiées. L'ensemble de ces tests ont été réalisés sur le logiciel JAMOVI.

3.2.3.1. Effet parcelle

Étant donné que les essais se situent sur des sites différents, il est essentiel de comparer les différentes parcelles au préalable. Pour cela, un test ANOVA* (ANalysis Of VAriance) est utilisé à partir du nombre moyen de foyers actifs par arbre pour les modalités "témoin" de chaque essai à l'automne (1, 2 et 3). Ce test indique si les modalités peuvent être comparées entre elles sans tenir compte de la différence de localisation des parcelles, ou si cette différence influence les résultats.

3.2.3.2. Nombre de foyers par arbre

Le test utilisé est une ANOVA si les conditions de normalité sont respectées, dans le cas contraire le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est appliqué.

Les facteurs "modalités biocontrôle" et "dates d'observations", avec la variable « nombre de foyers actifs par arbre » sont étudiés. Pour déterminer s'il y a des différences significatives du nombre de foyers par arbre entre les différentes modalités, les hypothèses H0 et H1 sont posées comme suit :

- H (0) : Les modalités n'influencent pas les moyennes, il n'y a pas d'écart statistiquement significatif.
- H (1) : Les modalités influencent les moyennes, il y a des écarts statistiquement significatifs.

Remarque : Si la p-value est inférieure à 0,05, H (0) est rejetée avec un risque alpha de 5% de se tromper. Si elle est supérieure à 0,05, H (0) est acceptée.

3.2.3.3. Fréquence de foyers par pousse

Pour étudier la fréquence des foyers de pucerons sur chaque pousse selon les différentes modalités, le test du chi² est appliqué. Les fréquences sont comparées en fonction des dates et des modalités.

3.2.4. Descriptif des essais

a) Lutte à l'automne

Pour étudier l'évolution du vol de migration des pucerons, un suivi à l'automne a été réalisé sur deux sites différents ; à St Sigismond de Clermont et à Romegoux (17). Deux plaques jaunes engluées ont été placées sur chaque site et ont été relevées d'octobre à décembre 2023 lors du vol retour des pucerons ailés vers le pommier. Les pucerons collés sur la plaque sont dénombrés et identifiés à la loupe binoculaire.

Ce suivi précis et régulier a permis de suivre l'évolution du vol retour des pucerons et d'appliquer les produits (sur les trois sites mentionnés ci-dessous) autour du pic pour avoir un effet optimal.

- **Essai n°1**

Site 1 : Lieu-dit Chez Piaud (Jonzac, 17)

Pratiques : Conventionnelles

Surface de l'essai : 0,5 ha

Figure 18 : Site 1 - Carte satellite de l'essai n°1 avec les modalités– Lutte à l'automne

Source : Personnelle

Tableau II : Site 1 (Jonzac,17) - Programme des traitements aphicides effectués

Source : Producteurs du site 1

Dates	Produits	Dose/ha	Description
18/03/2024	CATANE ®	20L	Huile de paraffine
	KARATE ZEON ®	0.075L	Lambda-Cyhalothrine
18/04/2024	OIKOS®	1.5L/ha	Azadirachtine
30/04/2024	MOVENTO®	1.6L/ha	Spirotétramate
18/05/2024	OIKOS®	1.5L/ha	Azadirachtine

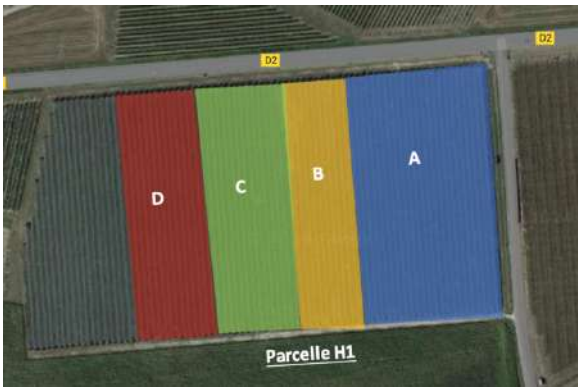


Figure 19 : Site 2-Carte satellite de l'essai n°2 avec les modalités - Lutte à l'automne

Source : Personnelle

Tableau III : Site 2 (Jonzac,17) - Programme des traitements aphicides effectués

Source : Producteur du site 2

Dates	Produits	Dose/ha	Description	Parcelles
07/03/2024	LAMBDASTAR®	0.04L	Lambda-cyhalothrine	H1/D6
12/03/2024	CATANE®	20.0L	Huile de paraffine	H1/D6
	VIVATRINE EW®	0,5L	Deltaméthrine	H1/D6
19/03/2024	KARATE XFLOW®	0.05L	Lambda-cyhalothrine	H1/D6
04/04/2024	OIKOS®	1.5L	Azadirachtine	H1/D6
10/04/2024	STYKAL ®	1.1L	Polymères	D6
	FLiPPER®	5.0L	Acides gras C7-C20 sels de potassium	H1
15/04/2024	STYKAL ®	1.1L	Polymères	D6
16/04/2024	FLiPPER®	5.0L	Acides gras C7-C20 sels de potassium	H1
18/04/2024	OIKOS®	1.5L	Azadirachtine	H1/D6
28/04/2024	KIBERA 500 WG®	0.14L	Flonicamide	H1/D6
29/04/2024	MOVENTO®	1.9L	Spirotétramate	H1/D6
	STYKAL®	1.6L	Polymères	H1/D6
28/05/2024	STYKAL®	1.6L	Polymères	H1/D6
07/06/2024	STYKAL®	1.6L	Polymères	H1/D6

Figure 20 : Site 3 -Carte satellite de l'essai n°3 avec les modalités - Lutte à l'automne

Source : Personnelle

Tableau IV : Site 3 (Sablonceaux,17) - Programme des traitements aphicides effectués

Source : Producteur du site 3

Dates	Produits	Dose/ha	Description
18/03/2024	CATANE ®	20.0L	Huile de paraffine
04/04/2024	OIKOS ®	1.5L	Azadirachtine
19/04/2024	OIKOS ®	1.5L	Azadirachtine

Rangs : 12

Modalités (cf. Figure 18) :

- A = Témoin : Programme aphicide classique (cf. Tableau II) / 6 rangs
- B = Essai de biocontrôles : Programme aphicide classique +STYKAL®/6 rangs

- **<u>Essai n°2</u>**

Site 2 : Chailleret, (Jonzac,17)

Pratiques : Conventionnelles

Surface de l'essai : 5 ha

Rangs : 24

Modalités (cf. figure 19) :

- A = Témoin : Programme aphicide classique (cf. Tableau III) /6 rangs
- B = Essai de biocontrôles 1 : Programme aphicide classique + LIMOCIDE® /6 rangs
- C = Essai de biocontrôles 2 : Programme classique aphicide + STYKAL®/6 rangs
- D = Essai de biocontrôles 3 : Programme aphicide classique + FLIPPER®/6 rangs

- **<u>Essai n°3</u>**

Site 3 : Biguenet, (Sablonceaux, 17)

Pratiques : AB

Surface de l'essai : 1,5 ha

Rangs : 12

Modalités (cf. figure 20) **:**

- Abis = Témoin : Programme aphicide classique (cf. Tableau IV) /6 rangs
- Bbis= Essai de biocontrôles : Programme aphicide classique + LIMOCIDE®/6 rangs

b) Lutte au printemps

Les essais de lutte au printemps reposent sur deux approches : l'introduction d'auxiliaires et l'utilisation de biocontrôles, réalisées sur deux sites. Étant donné les bons résultats obtenus l'année précédente avec l'introduction des syrphes, les essais ont été renouvelés cette année. À partir du 4 avril 2024, trois lâchers successifs de boîtes contenant des pupes de syrphes, fournies par KOPPERT, ont été effectués.

Figure 21 : Site 4 -Carte satellite de l'essai n°4 avec les modalités - Lutte au printemps

Source : Personnelle

Tableau V : Site 4 (Reignac ,16) - Programme des traitements aphicides effectués

Source : Producteur du site 4

Dates	Produits	Dose/ha	Description	Parcelles
07/03/2024	KARATE XFLOW	0.04L	Lambda-cyhalothrine	R1/R7
12/03/2024	CATANE	20.0L	Huile de paraffine	R1/R7
	KARATE XFLOW	0.04L	Lambda-cyhalothrine	R1/R7
19/03/2024	VIVATRINE EW	0.5L	Deltaméthrine	R1/R7
04/04/2024	OIKOS	1.5L	Azadirachtine	R1/R7
10/04/2024	STYKAL	1.1L	Polymères	R7
	FLiPPER	5.0L	Acides gras C7-C20 sels de potassium	R1/R7
15/04/2024	STYKAL	1.1L	Polymères	R7
	FLiPPER	5.0L	Acides gras C7-C20 sels de potassium	R1/R7
16/04/2024	STYKAL	1.1L	Polymères	R1
19/04/2024	OIKOS	1.5L	Azadirachtine	R1/R7
28/04/2024	KIBERA 500 WG	0.14L	Flonicamide	R1/R7
29/04/2024	MOVENTO	1.9L	Spirotétramate	R1/R7
	STYKAL	1.6L	Polymères	R1/R7
22/05/2024	STYKAL	1.6L	Polymères	R1/R7

Figure 22 : Site 2 - Carte satellite de l'essai n°5 avec les modalités - Lutte au printemps

Source : Personnelle

L'espèce introduite, *Episyrphus balteatus*, est naturellement présente dans notre secteur géographique. Chaque boîte contient 50 pupes, réparties un rang sur deux dans les parcelles d'essai. Selon les conditions de température (10-23°C), les syrphes adultes émergent des pupes, et se nourrissent du nectar et du pollen des fleurs. Les adultes pondent ensuite leurs œufs dans les foyers de pucerons, et les larves, une fois écloses, s'attaquent aux pucerons présents sur les feuilles.

- **Essai n°4**

Site 4 : La Novette, (Reignac, 16)

Pratiques : Conventionnelles

S**urface de l'essai** : 3,3 ha

Modalités (cf. figure 21) :

- A et Abis = Témoin : Programme aphicide classique (cf. Tableau V) /2 parcelles
- B et C = Programme aphicide classique + essais lâchers d'auxiliaire : Introduction de pupes de syrphes /2 parcelles

Sur ce même site, les deux produits STYKAL® et FLiPPER® ont été appliqués le 10 avril 2024 :

Modalités (cf. figure 20) :

- A = Programme aphicide classique (cf. Tableau V) + FLiPPER® ®
- Abis = Programme aphicide classique + STYKAL®
- B = Programme aphicide classique + FLiPPER® + pupes de syrphes
- C = Programme aphicide classique + STYKAL® + pupes de syrphes

Ces deux mêmes produits ont également été appliqué sur un autre site :

- **Essai n°5**

Site 2 : Chailleret, (Jonzac,17)

Surface de l'essai : 1 ha

Modalités (cf. figure 22) :

- Parcelle H1 : Programme aphicide classique (cf. Tableau III) + FLIPPER®
- Parcelle D6 : Programme aphicide classique + STYKAL®

Tableau VI : Test ANOVA montrant un effet « inter-parcellaire » entre les différents sites (p-value<0,001)

Sources : Personnelle, JAMOVI

ANOVA - NB.FOYERS.ACTIFS

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
Parcelle	26.3	2	13.16	8.39	< .001
Résidus	522.5	333	1.57		

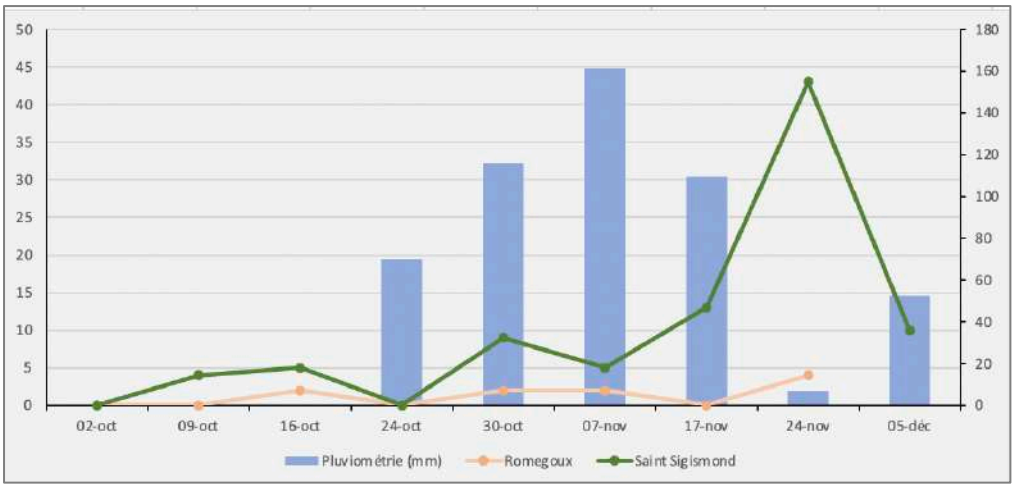


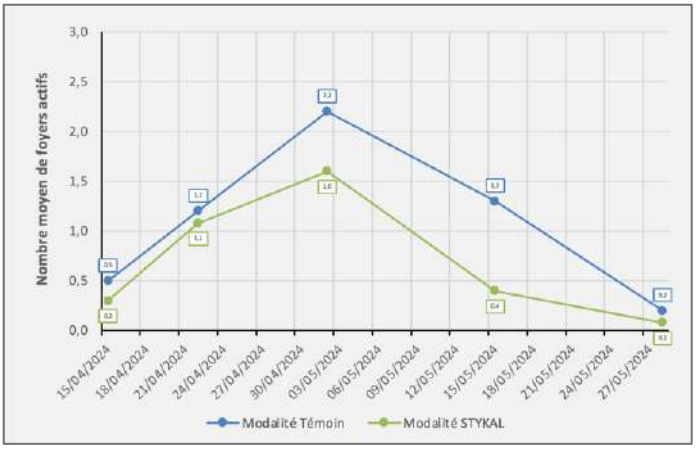
Figure 23 : Suivi du vol retour 2023 et pluviométrie sur deux sites en Charente-Maritime (17)

Source : Julia Crombez

Tableau VII : Dates d'applications à l'automne des produits essais selon chaque site

Source : Julia Crombez

Site	Modalités	Application des biocontrôles
1	Témoin (programme classique) Programme classique + **STYKAL ®**	28/11/2023
2	Témoin (programme classique) Programme classique + **LIMOCIDE®** Programme classique + **STYKAL ®** Programme classique + **FLiPPER®**	23/11/2023
3	Témoin (programme classique) Programme classique + **LIMOCIDE®**	08/11/2023; 15/11/2023; 24/11/2023



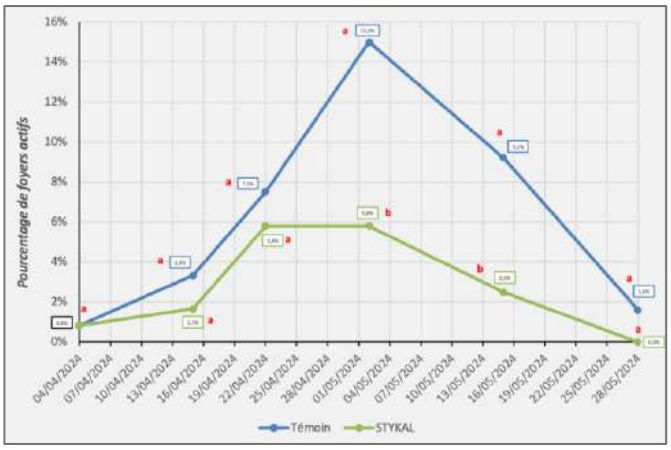


Figure 24 : Essai 1 Lutte automnale - Site 1 – (1) Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités témoin et STYKAL®, (2) Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités témoin et STYKAL®

Source : Personnelle

3.3. Résultats

Le tableau VI montre des différences significatives entre les sites (p-value<0,001), indiquant un effet parcelle. Par conséquent, les comparaisons statistiques entre les essais et le témoin seront effectuées indépendamment pour chaque site. Négliger l'effet parcelle pourrait fausser les résultats.

a) Lutte à l'automne

Le suivi du vol retour des pucerons vers le pommier a permis d'identifier le pic de migration maximale, comme illustré dans la figure 23 vers le 24 novembre 2023. Ainsi les produits de biocontrôles ont pu être appliqué pour perturber la reproduction et espérer réduire la quantité d'œufs au printemps suivant. Les traitements des essais ont été appliqués aux dates décrites dans le tableau VII.

Essai n°1 : Témoin / STYKAL® : Dans le cas de cet essai, le produit STYKAL® a été appliqué le 28 novembre 2023 (cf. Annexe 1 (a)) peu après le pic de vol retour.

À l'issue des notations printanières sur cette parcelle, l'évolution du nombre de foyers actifs par arbre illustrée dans la figure 24 (1) montre une tendance similaire pour les deux modalités, avec une forte croissance de la pression jusqu'au 2 mai avec 2,2 de foyers actifs par arbres pour la modalité témoin et 1,6 pour la modalité STYKAL®. Par la suite, la pression diminue pour les deux modalités, bien que globalement, la pression dans la modalité STYKAL® reste toujours inférieure à celle du témoin.

Pour déterminer s'il existe des différences statistiquement significatives entre les deux modalités et évaluer l'effet du produit de biocontrôle, un test non-paramétrique a été réalisé (cf. Annexe 1 (c)). D'après le test de Kruskal-Wallis, la différence en termes de nombres de foyers par arbre est significative pour les deux facteurs testés (« dates des observations » p-value= <0,01, et « modalités biocontrôle » p-value=0,014), ce qui rejette l'hypothèse nulle H (0) et indique des écarts significatifs entre les moyennes pour les deux facteurs.

En parallèle, le pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses (cf. figure 23 (2)) montre des différences significatives à deux dates spécifiques : le 2 et le 15 mai (cf. figure 23 (2)). La modalité témoin présente une croissance importante de la pression pucerons avec un pic de pourcentage de foyers actifs de 15%, tandis que celle présente dans la modalité

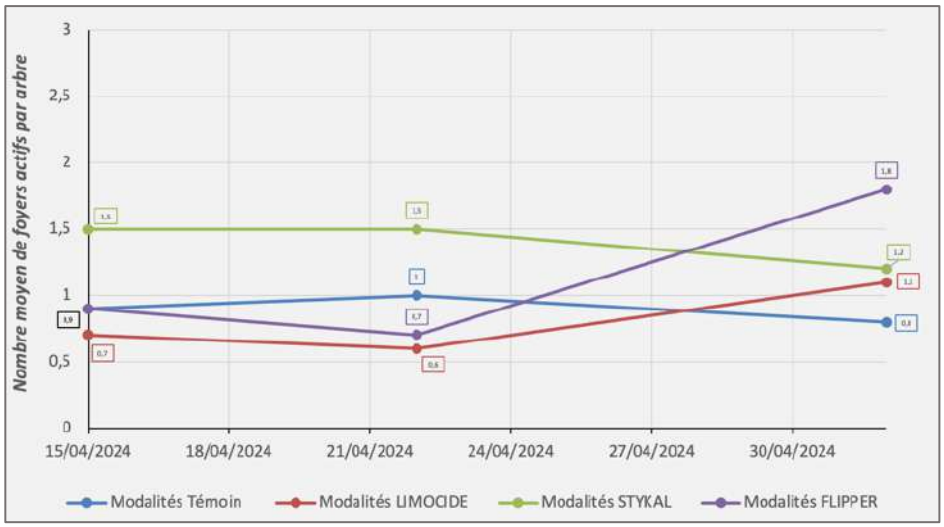


Figure 25 : Essai 2 Lutte automnale- Site 2 – Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités témoin, LIMOCIDE®, STYKAL® et FLiPPER®

Source : Personnelle

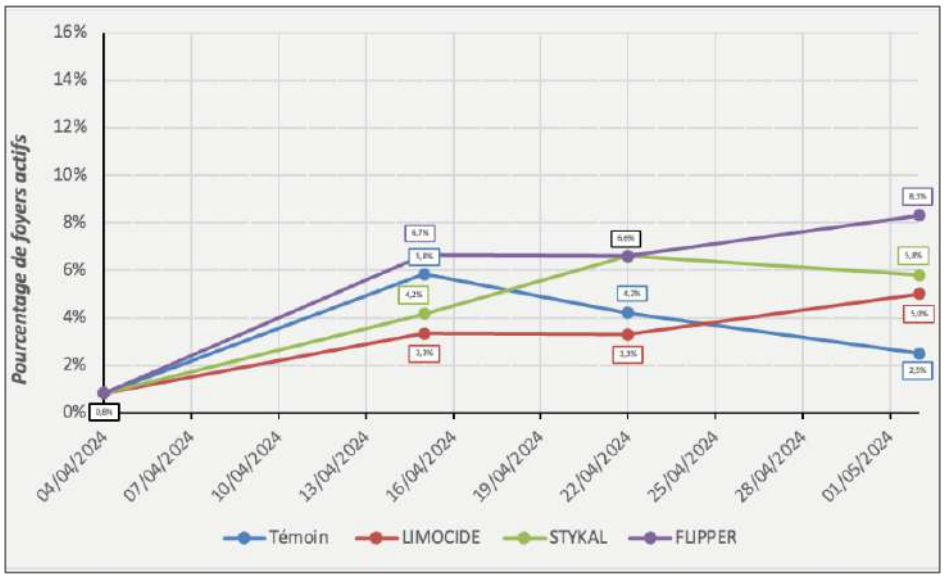


Figure 26 : Essai 2 Lutte automnale- Site 2 – Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités témoin, LIMOCIDE®, STYKAL® et FLiPPER®

Source : Personnelle

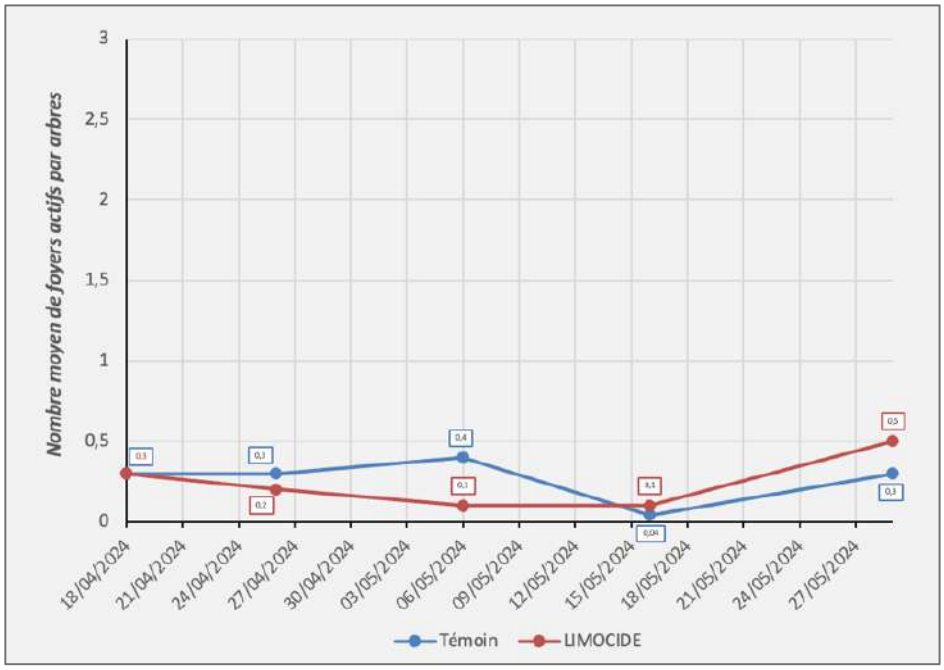


Figure 27 : Essai 3 Lutte automnale- Site 3 – Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités témoin et LIMOCIDE®

Source : Personnelle

STYKAL® se stabilise le 22 avril à 5,8%, puis diminue à partir du 4 mai jusqu'à atteindre 0% de foyers actifs le 28 mai. D'après le test de chi² (cf. Annexe 1(d)), la différence entre les deux modalités témoin et STYKAL® en termes de pourcentage de foyers actifs est statistiquement significative (p-value=0,002).

Essai n°2 : Témoin/ LIMOCIDE® /STYKAL®/FLiPPER® : Sur ce site, les 3 biocontrôles mentionnés ci-dessus ont été appliqués le 23 novembre 2023 (Annexe 2 (a)).

Sur les figures 25 et 26, il est possible de voir que la pression puceron est différente en fonction des modalités. Le FLiPPER semble avoir une pression plus importante que les autres modalités avec un nombre moyen de foyers actifs final de 1,8 par arbre contre 1,1 pour le LIMOCIDE®. La modalité témoin présente une pression intermédiaire entre les différentes modalités ayant reçu un traitement à l'automne.

Statistiquement, la p-value étant inférieure à 0,001 pour les deux facteurs (cf. Annexe 2 (c)), les modalités sont statistiquement différentes. Les comparaisons pair-à-pair entre le témoin et les produits de biocontrôle (cf. Annexe 2 (d)) révèlent des écarts significatifs uniquement pour le STYKAL® (p-value=0,002) ; la pression pucerons est supérieure au témoin dans cette modalité. La modalité LIMOCIDE® semble présenter une pression inférieure au témoin mais la différence n'est pas significative (p-value=0.992).

Pour finir, au point de vue statistique le test de chi² (cf. Annexe 2 (f)) n'a révélé aucune différence significative entre les modalités et entre les dates d'observation (p-value=0,136).

Essai n°3 : Témoin/LIMOCIDE® : Le dernier site ayant réalisé l'essai de lutte automnale contre le puceron cendré a appliqué le produit LIMOCIDE® à trois dates distinctes pendant l'augmentation du vol retour : le 8, le 15, et le 24 novembre 2023 (cf. Annexe 3 (a)). Le graphique de la figure 27 montre un nombre de foyers actifs par arbre initial de 0,3 pour les deux modalités. Au fil du temps, la pression varie : elle diminue avec le LIMOCIDE® appliqué à l'automne jusqu'à 0,1 foyer actif par arbre et augmente pour le témoin jusqu'au pic maximal de foyer actif par arbre de 0,4.

À partir du 6 mai, les tendances s'inversent, montrant une augmentation de la pression sur la modalité essai, atteignant 0,5 foyers par arbre contre 0,3 dans le témoin.

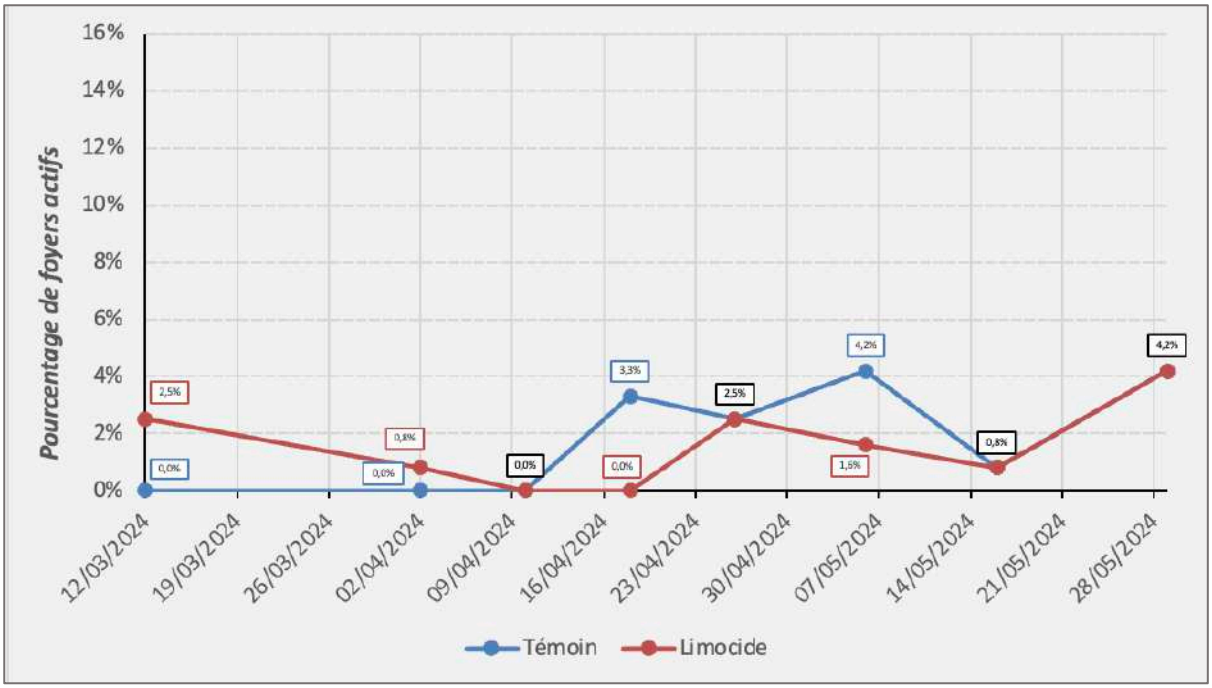


Figure 28 : Essai 3 Lutte automnale- Site 3 – Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités témoin et LIMOCIDE®

Source : Personnelle

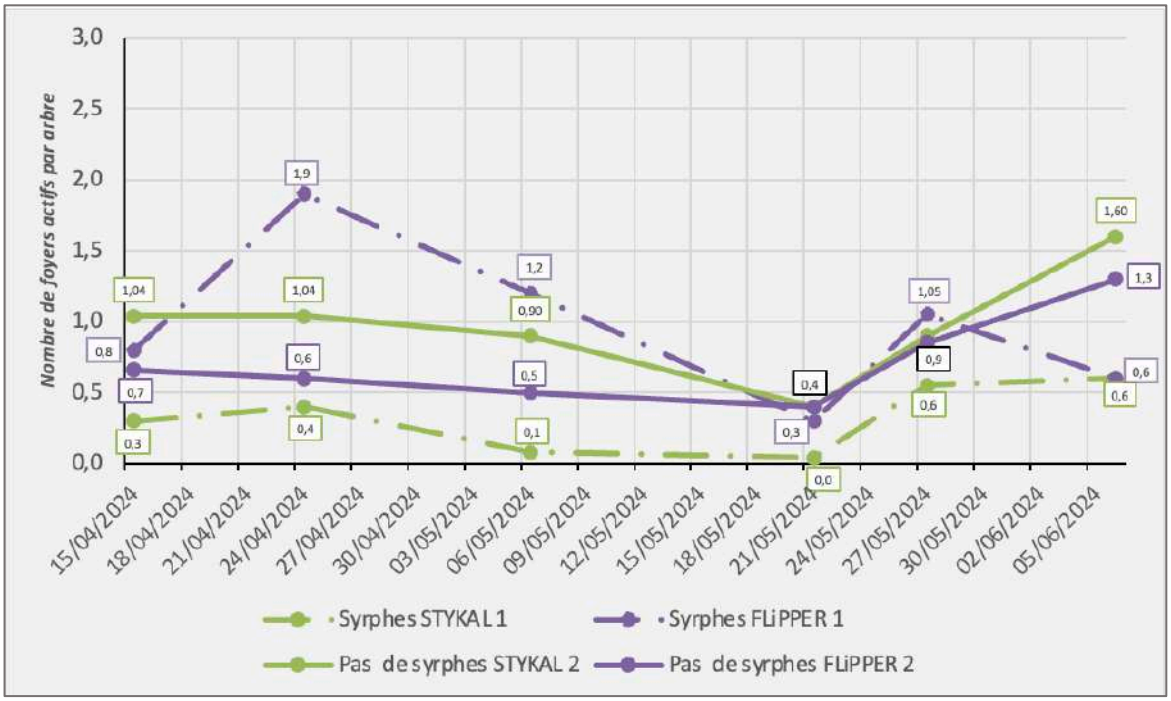


Figure 29 : Essai 4 Lutte au printemps - Site 4 – Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités FLiPPER® et STYKAL® et la présence/absence de syrphes

Source : Personnelle

Cependant, les tests statistiques montrent qu'il n'y a pas de différences significatives pour les deux facteurs (« dates d'observations » p-value=0,284, « modalités biocontrôle » p-value=0,507) (cf. Annexe 3(c)).

L'évolution du pourcentage de foyers actifs (cf. figure 28) présente des courbes variables dans le temps. À la date d'observation du 12 mars, le pourcentage de foyers actifs dans la modalité LIMOCIDE® était supérieur à celui du témoin qui était nul. Il est intéressant de noter que, malgré cette différence de pression initiale, les foyers actifs ont diminué dans la modalité LIMOCIDE® et augmenté dans le témoin. Finalement, le pourcentage est égal entre les deux modalités (4,2 %).

Le test de chi² (cf. Annexe 3 (e)) confirme ces résultats en ne montrant aucune différence significative entre les modalités (p-value=0,501). Exceptés les résultats du 18 avril qui présentent une différence significative avec une p-value de 0,044.

b) Lutte au printemps

Essai n°4 : Témoin/ lâcher de syrphes – Témoin/ FLiPPER®/STYKAL® :

Concernant les essais effectués au printemps, le lâcher des auxiliaires a eu lieu le 4 avril 2024, lors de la croissance des premières générations et pendant la floraison (cf. Annexe 4 (a)).

Le 10 avril 2024, les produits de biocontrôle ont été appliqués. Les premières notations ont commencé le 8 avril sur ces deux modalités. La figure 29 montre que le nombre initial de foyers actifs par arbre diffère dans les parcelles STYKAL® ; dans la parcelle où des syrphes ont été introduits, le nombre de foyers actifs par arbre est de 0,3, comparé à 1,04 dans la parcelle sans introduction. Le 24 avril, dans la modalité FLiPPER®, la parcelle avec introduction de syrphes a une valeur maximale de 1,9 foyers actifs par arbre contre 0,6 pour la parcelle sans introduction. À la fin des observations, le 5 juin, le nombre de foyers actifs par arbre est moins élevé dans les parcelles avec des syrphes introduits. Des tests non-paramétriques ont été réalisés (cf. Annexe 4 (c)) selon les facteurs « dates d'observations », « modalités biocontrôle » et « auxiliaires ». Ces tests montrent des différences significatives seulement au niveau du facteur « dates d'observation » (p-value<0,001). Aucune différence significative n'a été observée entre les modalités STYKAL® et FLiPPER® (p-value= 0,058), ni entre la présence ou l'absence d'auxiliaires (p-value=0,085).

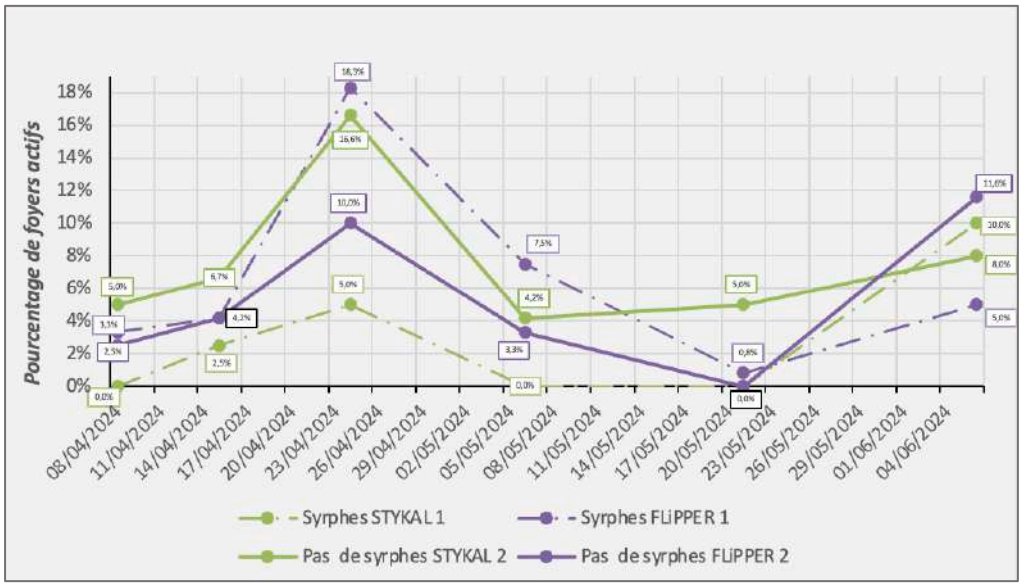


Figure 30 : Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités FLiPPER® et STYKAL® et la présence/absence de syrphes

Source : Personnelle

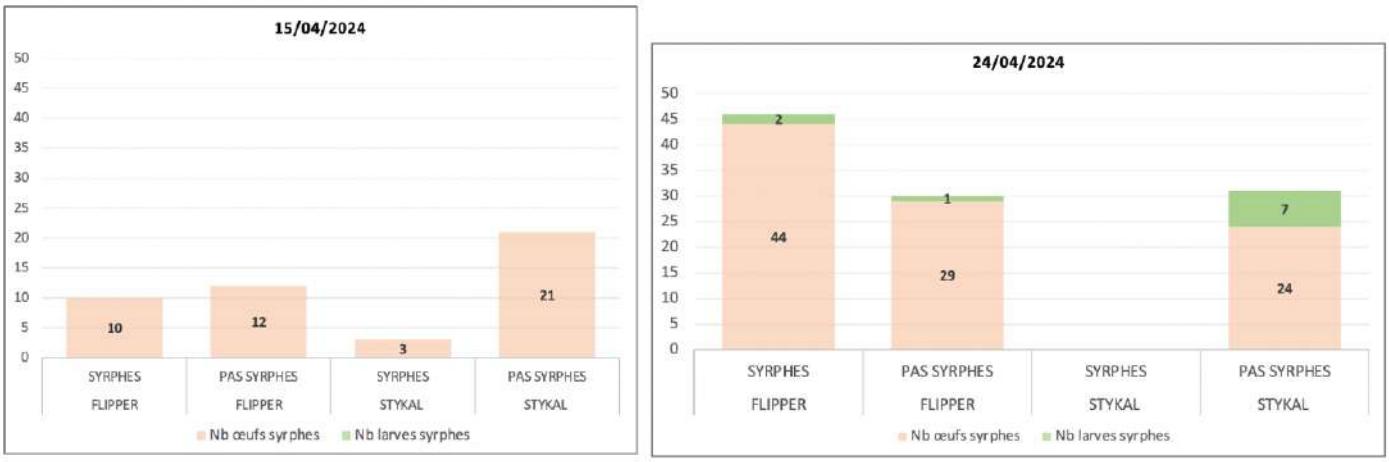


Figure 31 : Évolution du nombre d'œufs et de larves de syrphes comptabilisés au cours du suivi le 15 et 24 avril dans les 120 pousses selon les modalités FLiPPER® et STYKAL®

Source : Personnelle

Figure 32 : Essai 4 Lutte au printemps – Site 2– Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre selon les modalités FLiPPER® et STYKAL®

Source : Personnelle

Concernant l'évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses par modalité (cf. figure 30), les courbes montrent un pic de pression important le 25 avril pour les quatre modalités avec 18,3% de foyers actifs dans la parcelle FLiPPER® avec syrphes et 16,6% pour la parcelle STYKAL® sans syrphes. Ce pic est suivi d'une diminution marquée d'environ 10%. A la dernière date d'observation (le 6 juin), la modalité FLiPPER® sans syrphes atteint un pourcentage de foyers actif de 11,6% tandis que la modalité FLiPPER® avec syrphes a une valeur finale de 5%.

Les tests de chi² (cf. Annexe 4 (e)) montrent des écarts significatifs pour les deux modalités FLiPPER® (p-value=0,030) et STYKAL®(p-value<0,001). En ce qui concerne la présence d'auxiliaires (cf. Annexe 4 (e')), aucune différence significative n'a été observée (p-value=0,074).

La figure 31 présente l'évolution du nombre d'œufs et de larves de syrphes comptabilisés au cours du suivi (à deux dates) dans les 120 pousses par modalités. Il est possible de voir l'augmentation des œufs de syrphes jusqu'au pic de 44 œufs dans la modalité FLiPPER® avec syrphes le 24 avril. La présence de larves apparait lorsque le nombre d'œufs atteint son maximum. Il est important de noter la présence d'œufs même dans les parcelles où aucune introduction de pupes n'a été faite, et indépendamment du traitement de biocontrôle appliqué.

Essai n°5 : FLiPPER®/STYKAL® :

Ce deuxième essai de lutte au printemps, réalisé sur le site 2 en parallèle du suivi automnal, compare l'efficacité des produits FLiPPER® et STYKAL® entre eux.

La figure 32 représentant le nombre de foyers actifs par arbre montre une pression initiale légèrement plus élevée avec le FLiPPER® (0,8 foyers actifs) qu'avec le STYKAL® (0,5 foyers actifs). Cette tendance reste la même au cours des observations, à la dernière date (le 28 mai), le FLiPPER® a une valeur de 1,5 foyers actifs par arbre contre 0,9 pour le STYKAL®. D'après le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis (cf. Annexe 5 (b)), il existe des différences en termes de nombre de foyers actifs entre les deux modalités selon le facteur « dates d'observations » (p-value=0,044), en revanche entre les deux modalités FLiPPER® et STYKAL® il n'y a aucune différence statistiquement significative (p-value=0,452).

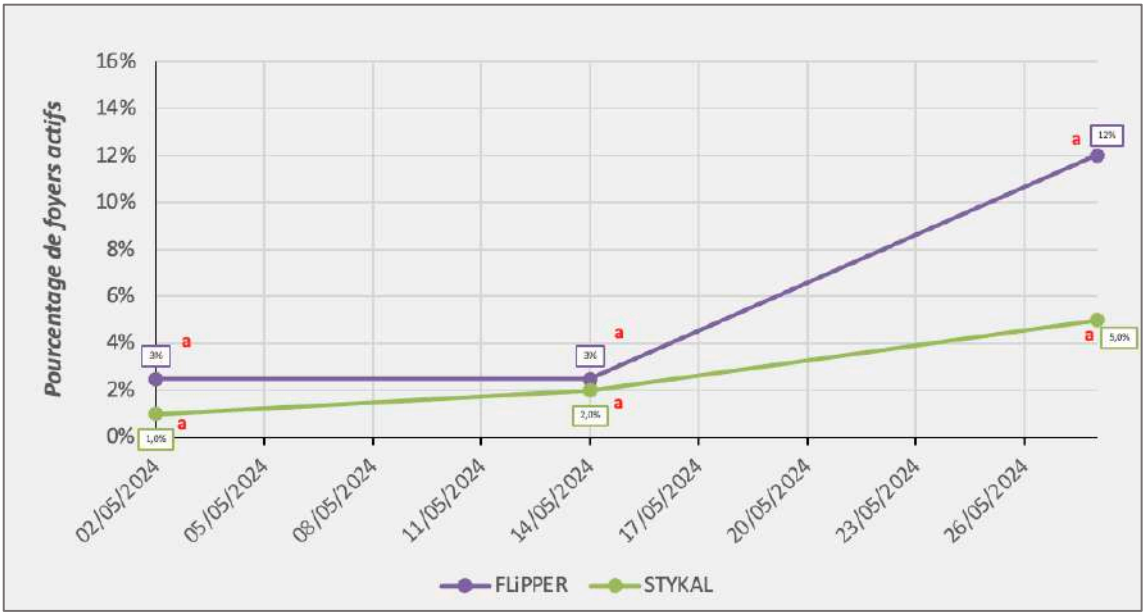


Figure 33 : Essai 4 Lutte au printemps – Site 2– Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités FLiPPER® et STYKAL®

Source : Personnelle

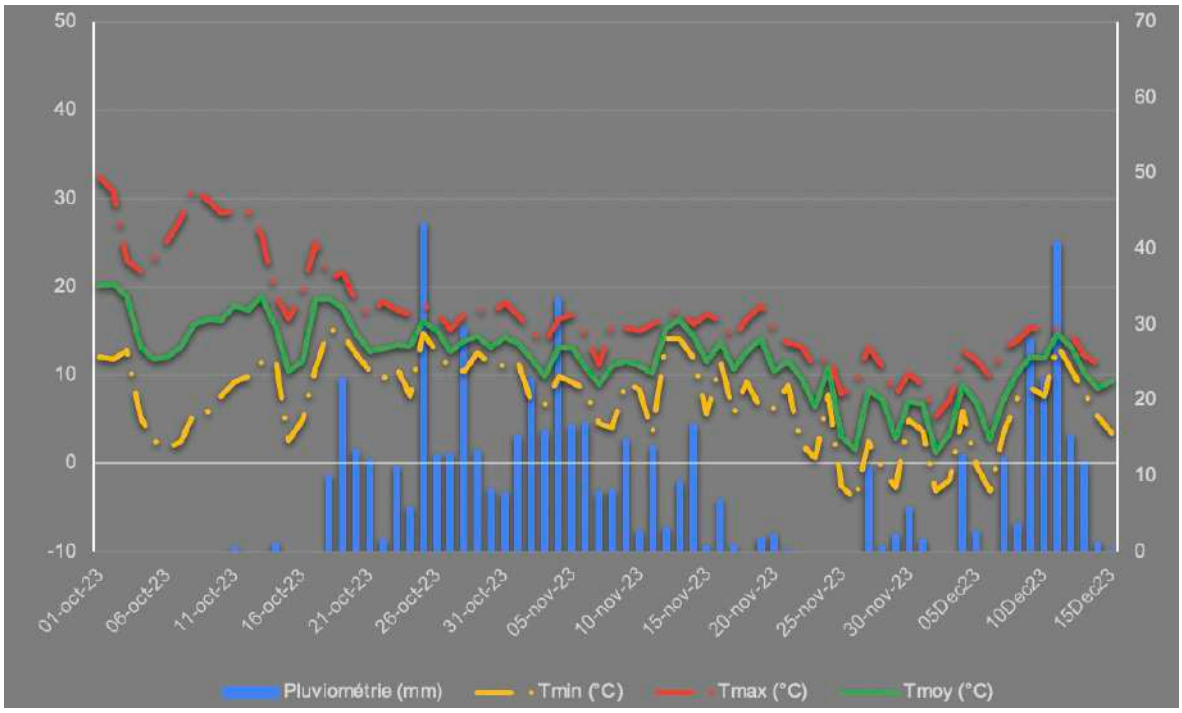


Figure 34 : Données météorologiques à l'automne 2023 à Romegoux (Charente-Maritime,17)

Sources : Données RIMPRO

Parallèlement, la variable pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses (cf. Figure 33) montre une tendance similaire, avec une pression plus importante avec le FLiPPER®. En effet, le pic de pourcentage de foyers actifs pour cette modalité est de 12% contre 5% pour le STYKAL® à la même date.

Le test de chi² associé (cf. Annexe 5 (d))) indique des différences statistiquement significatives entre les deux modalités avec un p-value de 0,031.

3.4. Discussion

a) Lutte à l'automne

En raison de l'automne pluvieux en Charente-Maritime (Cf. figure 34), le vol retour des pucerons à l'automne (cf. figure 22) a été perturbé et retardé par rapport aux années précédentes. Le vol a eu lieu une fois que les pluies ont cessées et par conséquent cela a pu réduire l'impact de la lutte automnale. Ajouté à cela, l'application des produits nécessitent un feuillage sec pour garantir leur efficacité. De ce fait, certains traitements n'ont pas pu être appliqués au moment optimal ou réappliqués comme prévu.

Essai n°1 : Dans ce premier essai, les écarts observés entre les foyers actifs par arbres et les pourcentages de foyers actifs selon les facteurs « modalités biocontrôle » et « dates d'observations » sont statistiquement significatif. Ainsi, il est possible de conclure sur un effet positif du STYKAL® à l'automne dans cet essai. Par ailleurs, des traitements supplémentaires ont été réalisés tels que le MOVENTO ® et l'OIKOS ®, le 30 avril et 18 mai (cf. Tableau II). Ces traitements ne remettent pas en cause l'effet partiel du STYKAL® à l'automne ; ils ont permis de contenir la pression pucerons au printemps.

A titre de comparaison, le CTIFL a noté en 2022 et 2024 l'efficacité de ce même produit par rapport au témoin non-traité. Dans ces essais, avec quatre applications à l'automne, le NORI PRO® a permis de maintenir des pressions faibles au printemps.
Sur ce site, la parcelle témoin se trouve en bordure, ce qui constitue un facteur de pression plus importante des ravageurs. Ce facteur de variabilité intra parcellaire a pu avoir un effet sur la pression pucerons dans la modalité témoin qui est plus importante que dans la modalité STYKAL® qui est entourée d'arbres. Cet essai devra être renouvelé l'année prochaine sur d'autres parcelles pour étudier l'efficacité réelle du STYKAL® à l'automne sur la pression des pucerons au printemps tout en veillant à éviter la variabilité intra parcellaire.

<u>Essai n°2</u> : Dans cet essai, les modalités avec application à l'automne sont plus affectées par les pucerons que le témoin. Graphiquement, cela est évident : les foyers actifs par arbre ainsi que les pourcentages de foyers actifs sont plus élevés pour les produits testés que pour le témoin. Statistiquement, cela se confirme par une comparaison pair-à-pair significative entre le témoin et le STYKAL®. Ainsi, les différences observées entre les modalités semblent davantage attribuables à une variabilité intra parcellaire qu'à un véritable effet des traitements.

Ces résultats remettent en question l'efficacité potentielle du STYKAL® observée dans l'essai n°1. Toutefois, les deux essais n'ont pas appliqué leur traitement automnal à la même date (cf. Tableau VII), ce qui pourrait expliquer cette différence d'efficacité du STYKAL®. Par ailleurs, les données du CTIFL pour le printemps 2024 montrent une bonne efficacité du LIMOCIDE®, avec trois applications successives à l'automne, par rapport au témoin. En revanche, bien que le FLiPPER® ait montré des résultats encourageants en 2023, les trois applications successives de cette année n'ont pas produit de résultats positifs au printemps dans le centre d'essai. Ainsi, ces résultats peuvent être liés à ceux obtenus dans cette étude. L'automne pluvieux a probablement impacté le vol retour et l'efficacité des produits. Par temps sec, les produits auraient pu être appliqué successivement à la place d'une application unique, ce qui aurait pu donner des résultats au printemps différents.

<u>Essai n°3</u> : Seul l'essai 3 a eu des applications successives de biocontrôle à l'automne et a été positionné autour du pic. Ainsi, le LIMOCIDE® a peut-être eu un faible effet en début de saison en impactant le développement des pucerons, mais son efficacité a pu diminuer passer un certain seuil. Il est possible de remarquer une pression un peu plus faible à certaine date dans le LIMOCIDE® (cf. figures 26 et 27) mais ce n'est pas significatif (cf. Annexe 3 (e)). Les résultats obtenus dans cet essai sont donc différents de ceux obtenus dans les centres techniques. Une huile et deux applications d'OIKOS® ont été réalisées en début de saison (cf. tableau IV) ce qui pourrait avoir aidé à maintenir la pression faible.

Les trois essais de lutte automnale ont montré des résultats limités, à l'exception du produit STYKAL®, mais dans l'essai 1 seulement.

Cependant les facteurs de variabilité intra parcellaire compliquent l'attribution de ces résultats uniquement au produit.

En effet, dans les essais n°1 et 2, un effet de variabilité entre les parcelles a été relevé, cela peut être dû aux types de sol différents d'un rang à l'autre, impactant ainsi la vigueur des arbres et notamment la composition foliaire. La variabilité peut aussi s'expliquer par les emplacements des parcelles ; les haies, forêts, bordures ou routes peuvent influencer ou non la présence d'auxiliaires et des ravageurs. Dans le cadre de cette étude, il est difficile de contrer ce facteur de variabilité. Effectivement, les plans d'expériences ne peuvent pas être mis à l'échelle des vergers comme dans les centres d'expérimentations qui évitent ainsi la variabilité intra parcellaire en faisant des répétitions dans une même parcelle.

Il serait pertinent de renouveler ces essais à l'automne 2024 en essayant de minimiser au maximum la variabilité intra parcellaire ainsi qu'au positionnements précis, si les conditions météorologiques le permettent. En effet, l'automne pluvieux a entravé l'application des produits et a affecté les résultats comme cela a été le cas dans les essais du CTIFL cette année également. Avec des traitements successifs appliqués autour du pic de migration, des résultats plus significatifs pourraient être observés au printemps suivant.

b) Lutte au printemps

Essai n°4 : Les résultats de l'introduction de syrphes au printemps 2024 ont été plutôt décevants comparés à ceux de 2023. Plusieurs facteurs ont pu biaiser les résultats, notamment l'ajout de STYKAL® et FLiPPER® peu de temps après le début du suivi des pupes de syrphes, ainsi que la météo pluvieuse et fraîche au printemps, qui pourrait avoir retardé l'émergence des pupes. De plus, la présence d'œufs de syrphes au printemps dans les parcelles où l'introduction de pupes n'a pas été effectuée montre une population naturelle de syrphes de cette espèce, ce qui a pu influencer les résultats. Vu cette population naturelle abondante de syrphes qui semblent de la même espèce il est légitime de remettre en question l'utilité d'effectuer des lâchers supplémentaires. Par ailleurs, il existe une variabilité de pression importante entre les différentes parcelles du site et cela dès le lâcher de syrphes et avant même les applications des produits STYKAL® et FLiPPER® au printemps. Dans ces conditions, il est difficile de voir des écarts liés aux modalités.

Au vu des résultats de 2023 concernant l'introduction de pupes de syrphes, il serait pertinent de renouveler les essais en séparant les traitements de biocontrôle des introductions d'auxiliaires et en envisageant la combinaison des deux. De plus, l'absence d'un témoin sans syrphes ni produits a manqué à l'essai.

Essai n°5 : Le test de chi^2 ainsi que les graphiques montrent des différences significatives entre les deux modalités. Aucun traitement chimique n'a été effectué autour du 2 mai. Il est donc possible de conclure que la modalité STYKAL® ait montré une efficacité plus importante que le FLiPPER® sur le développement du puceron cendré au printemps en maintenant une pression plus faible.

CONCLUSION

Afin de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires en France, les producteurs des groupes DEPHY tentent de mettre en place des méthodes alternatives aux intrants chimiques. Cependant, l'efficacité de ces méthodes reste un sujet ambigu, et l'utilisation de produits phytosanitaires demeure nécessaire pour maintenir les niveaux de ravageurs et des maladies en dessous d'un seuil critique. Dans le groupe Pommes des Charentes, des essais de méthodes alternatives contre le puceron cendré ont été menés à l'automne 2023 et au printemps 2024, sur la base des résultats positifs obtenus par les centres d'essais et du projet SIMPA CASDAR. Ces deux approches incluant l'utilisation de produits de biocontrôle et des lâchers de syrphes.

Le suivi régulier des essais a montré peu de résultats significatifs. Seule la barrière physique STYKAL® a eu une efficacité par rapport au témoin dans un essai automnal et ceux au printemps. Toutefois, de nombreux facteurs viennent compliquer l'étude de l'efficacité des méthodes alternatives.

Premièrement, les variations inter-parcellaires dues à l'effet parcelle ont empêché une comparaison globale des produits. De plus, les conditions climatiques pluvieuses en automne et au printemps ont compliqué l'application des traitements et potentiellement réduit leur efficacité. En ce qui concerne les lâchers de syrphes, l'abondance naturelle de cette espèce pourrait avoir biaisé les résultats. Introduire une espèce moins fréquente mais tout aussi efficace pourrait permettre une évaluation plus précise de l'efficacité des syrphes introduits. Enfin, l'absence de témoin non traité a limité la possibilité de comparer les résultats des essais à une situation sans intervention, ainsi que les traitements de référence appliqués avant ou pendant la lutte pouvant masquer les faibles résultats en début de saison des produits d'automne et ceux au printemps.

Enfin, l'étude de ces méthodes alternatives contre le puceron cendré est importante pour faire face à ce ravageur tout en limitant les produits chimiques. Mais cette approche présente des limites et nécessite d'être affinée, tout en conservant l'objectif principal des producteurs : maintenir une rentabilité suffisante pour répondre à la demande du marché français. Ainsi, il est tout de même essentiel de se diriger vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement, tout en préservant le goût authentique et la qualité nutritionnelle des fruits.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Matthieu SERRURIER, Vincent GUERIN, et CTIFL, ANPP, « Présentation à la journée technique de la Morinière 2024 », Consulté le : 20 juin 2024. [En ligne].

[2] Agreste, « Infos rapides Pommes ». Consulté le : 20 avril 2024. [En ligne].

[3] InterBio Occitanie, « Les fiches filières- Arboriculture Bio ». Consulté le : 10 avril 2024. [En ligne].

[4] P. F. Lafitte, « Guide arbo Nouvelle-Aquitaine 2024 », 2023.

[5] M. Androuin, « Évaluation des extraits végétaux et de plante de services dans la gestion du puceron cendré du pommier en Agriculture Biologique et en Protection Fruitière Intégrée ».

[6] C. d'agriculture France, « Chambre départementale d'agriculture ». Consulté le: 11 avril 2024. [En ligne].

[7] C. d'agriculture, « Chambre d'agriculture Charente-Maritime Deux-Sèvres ». Consulté le: 7 avril 2024. [En ligne].

[8] Ecophyto, « Qu'est-ce que le réseau DEPHY ? | Ecophytopic ». Consulté le: 24 mai 2024. [En ligne].

[9] C. d'agriculture France, « DEPHY - Ecophyto ». Consulté le: 10 mai 2024. [En ligne].

[10] Ecophyto, « Le dispositif DEPHY EXPE | Ecophytopic ». Consulté le: 20 mai 2024. [En ligne].

[11] Julia Crombez, « Groupe DEPHY pommes des Charentes | Ecophytopic ». Consulté le: 11 mai 2024. [En ligne].

[12] Hazem Dib, « Rôle des ennemis naturels dans la lutte biologique contre le puceron cendré, Dysaphis plantaginea Passerini (Hemiptera aphididae) en vergers de pommiers ». Consulté le: 24 avril 2024. [En ligne].

[13] Hatem Hadiby, « Gestion du puceron cendré du pommier en agriculture biologique et en production fruitière intégrée ». Consulté le: 14 avril 2024. [En ligne].

[14] J. A Flore, R.L Perry and G.Degrandt-Hoffman, « Apple tree growth and development ». Consulté le: 14 avril 2024. [En ligne].

[15] Animateurs du BSV, *Guide de l'observateur, Les fruits à pépins*. Consulté le: 10 avril 2024. [En ligne].

[16] J. Cadot, J. Crombez, et N. Tounsi, « Gestion de pucerons cendrés avec des auxiliaires ».

[17] Manon Colomb, « Les méthodes de lutte alternatives contre le puceron cendré (Dysaphis plantaginea) chez le pommier », Angers, 2017. Consulté le: 20 avril 2024. [En ligne].

[18] Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire, « Quels sont les produits de biocontrôle ? », Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. Consulté le: 11 juillet 2024. [En ligne].

[19] Ecophyto, Chambre d'Agriculture, et ADABio, « Episyrphus balteatus ». Consulté le: 26 mai 2024. [En ligne].

[20] Météo France, « Bulletin climatologique mensuel régional ». Consulté le: 5 mai 2024. [En ligne].

TABLE DES SIGLES

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

ANOVA : Analyse de variances

CMDS : Charente-Maritime Deux-Sèvres

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

DEPHY : Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes de cultures économes en produits PHYtosanitaires

IFT : Indicateurs de Fréquence de Traitements

GLOSSAIRE

Les mots du glossaire sont indiqués par un astérisque (*) lors de leur première apparition.

Allogame : adj. Se dit d'une plante dont la fécondation est croisée, c'est-à-dire réalisée par le pollen d'un autre individu de la même espèce.

Andropare : nm. En zoologie, femelle parthénogénétique qui donne naissance seulement à des mâles.

ANOVA : nf. Analyse de Variance, méthode statistique utilisée pour comparer les moyennes entre plus de deux échantillons et déterminer s'il existe des différences significatives entre eux.

Aphicide : adj. Substances chimiques ou biologiques destinées à éliminer les pucerons.

Aptère : adj. Se dit d'un insecte dépourvu d'ailes.

Carpelle : nm. Organe foliaire portant les ovules et formant pistil chez les Angiospermes.

Diœcique : adj. Dont le cycle de vie se déroule sur deux plantes-hôtes distinctes (puceron)

Dormance : nf. Désigne un état de repos ou d'inactivité prolongé chez les plantes, caractérisé par une suspension temporaire des activités métaboliques.

Espèce pérenne : adj. Espèce végétale capable de vivre et de se reproduire pendant plus de deux ans.

Feuilles caduques : adj. Type de feuillage caractérisé par la perte annuelle de ses feuilles en réponse aux saisons

Gynopare : adj. Femelle ailée dont la descendance sont uniquement des ovipares (puceron).

Holocyclique : adj. Cycle biologique complet des pucerons qui alternent reproduction parthénogénétique (asexuée) et reproduction sexuée.

Hyménoptères parasitoïdes : gn. Guêpes minuscules qui vont pondre à l'intérieur ou sur leurs proies (par exemple dans un œuf de puceron).

Lépidoptère : nm. Ordre d'insecte à métamorphose complète dont la forme adulte est appelée papillon.

Méristème : nm. Tissu végétal indifférencié, dont les cellules se divisent activement, permettant la croissance de la plante et sa différenciation.

Mésocarpe : nm. Partie du fruit située entre l'épiderme et l'endocarpe, souvent de consistance charnue ou filandreuse.

Nanisant : adj. En arboriculture, se dit d'un élément qui provoque le nanisme d'une plante (par exemple un porte-greffe).

Nouaison : nf. Transformation de l'ovaire de la fleur en fruit.

Parthénogénèse : nf. Mode de reproduction à partir d'un gamète qui n'est pas fécondé, capacité d'un organisme femelle à se multiplier sans l'intervention de gamètes mâles.

Phytophage : adj. Se dit d'un insecte qui se nourrit de matières végétales.

Pyréthrinoïde : nm. Famille d'insecticide de synthèse dérivés des pyréthrines.

Réceptacle : nm. Extrémité plus ou moins élargie du pédoncule floral sur laquelle sont insérées les pièces florales formant, dans une fleur complète, quatre verticilles superposés

Rémanence : nf. Persistance partielle d'un phénomène après disparition de sa cause.

Sève élaborée : nf. Sève formée dans les feuilles, contenant de l'eau et des sucres synthétisés par les parties aériennes de la plante lors de la photosynthèse.

Sexupare : adj. Capacité à donner naissance à des individus des deux sexes (puceron).

Virginogène : adj. Naissance sur l'hôte secondaire de nouvelles générations parthénogénétiques aptères et ailées (puceron).

Vivipare : adj. Femelle donnant naissance à des jeunes ou à des larves déjà formées (puceron).

TABLE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Numéro	Titre	Source
Tableau I	Principaux traitements utilisés dans la lutte contre le puceron cendré	Personnelle
Tableau II	Site 1 (Jonzac,17) - Programme des traitements aphicides effectués	Producteur du site 1
Tableau III	Site 2 (Jonzac,17) - Programme des traitements aphicides effectués	Producteur du site 2
Tableau IV	Site 3 (Sablonceaux,17) - Programme des traitements aphicides effectués	Producteur du site 3
Tableau V	Site 4 (Reignac ,16) - Programme des traitements aphicides effectués	Producteur du site 4
Tableau VI	Test ANOVA montrant un effet « inter-parcellaire » entre les différents sites (p-value<0,001)	Personnelle, JAMOVI
Tableau VII	Dates d'applications à l'automne des produits essais selon chaque site	Julia Crombez

Numéro	Titre	Source
Figure 1	Carte des Fermes DEPHY Arboriculture (2022)	Ecophytopic
Figure 2	Carte des sites DEPHY Expe Arboriculture (2022)	Ecophytopic
Figure 3	Évolution des IFT chimiques et biocontrôles entre 2014 et 2023	Groupe DEPHY Pommes des Charentes
Figure 4	Schéma d'une coupe longitudinale d'une pomme	Trillot et al., 2002
Figure 5	Les différents stades phénologiques du pommier	INRA, Fleckinger
Figure 6	Photographies de foyers de pucerons de gauche à droite : (1) verts du pommier (Rhopalosi phuminsertum), (2) lanigères (Eriosoma lanigerum) et (3) cendrés (Dysaphis plantaginea)	Ephytia, INRA (1), personnelles (2 et 3)
Figure 7	A gauche (1), enroulement et jaunissement des feuilles, et à droite (2) déformations des fruits	Personnelles
Figure 8	À gauche (1) D. plantaginea sous forme aptère, et à droite (2) sous forme ailé	Personnelles
Figure 9	Schéma de l'anatomie d'un puceron ailé	INRAE
Figure 10	Cycle biologique de D. plantaginea	Personnelle
Figure 11	Photographie d'une larve de syrphe (*Episyrphus balteatus)*	Personnelle
Figure 12	Cycle de développement de Episyrphus balteatus	Écophytopic
Figure 13	Évolution du nombre moyen de foyer actif de puceron par arbre selon les modalités témoin, FLiPPER ® (suivi piégeage) et FLiPPER® (suivi RIMPRO) dans les centres d'expérimentations	CTIFL, La Pugère
Figure 14	(1) Évolution du nombre de foyers de pucerons par arbre selon les modalités dont FLiPPER® au printemps 2023, (2) Évolution du nombre de foyers de pucerons par arbre selon les modalités dont FLiPPER® au printemps 2024	CTIFL, La Pugère
Figure 15	Essais à la station SudExpé (34) - Efficacités du FLiPPER œufs de chrysopes combinés à d'autres produit, positionnement sur fleur	SudExpé
Figure 16	Évolution du nombre de foyers actifs sur 20 arbres selon la modalité témoin et lâchers de syrphes en 2023	Julia Crombez
Figure 17	Schématisation spatiale du dispositif expérimental	Personnelle

Figure 18	**Site 1 - Carte satellite de l'essai n°1 avec les modalités– Lutte à l'automne**	**Personnelle**
Figure 19	Site 2-Carte satellite de l'essai n°2 avec les modalités - Lutte à l'automne	Personnelle
Figure 20	Site 3 -Carte satellite de l'essai n°3 avec les modalités - Lutte à l'automne	Personnelle
Figure 21	Site 4 -Carte satellite de l'essai n°4 avec les modalités - Lutte au printemps	Personnelle
Figure 22	Site 2 - Carte satellite de l'essai n°5 avec les modalités - Lutte au printemps	Personnelle
Figure 23	Suivi du vol retour 2023 sur deux sites en Charente-Maritime (17)	Julia Crombez
Figure 24	Essai 1 Lutte automnale - Site 1 – (1) Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités témoin et STYKAL®, (2) Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités témoin et STYKAL®	Personnelle
Figure 25	Essai 2 Lutte automnale- Site 2 – Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités témoin, LIMOCIDE®, STYKAL® et FLiPPER®	Personnelle
Figure 26	Essai 2 Lutte automnale- Site 2 – Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités témoin, LIMOCIDE®, STYKAL® et FLiPPER®	Personnelle
Figure 27	Essai 3 Lutte automnale- Site 3 – Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités témoin et LIMOCIDE®	Personnelle
Figure 28	Essai 3 Lutte automnale- Site 3 – Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités témoin et LIMOCIDE®	Personnelle
Figure 29	Essai 4 Lutte au printemps - Site 4 – Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre sur les modalités FLiPPER® et STYKAL® et la présence/absence de syrphes	Personnelle
Figure 30	Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités FLiPPER® et STYKAL® et la présence/absence de syrphes	Personnelle

Figure 31	**Évolution du nombre d'œufs et de larves de syrphes comptabilisés au cours du suivi dans les 120 pousses selon les modalités FLiPPER® et STYKAL®**	**Personnelle**
Figure 32	Essai 4 Lutte au printemps – Site 2– Évolution du nombre moyen de foyers actifs par arbre selon les modalités FLiPPER® et STYKAL®	Personnelle
Figure 33	Essai 4 Lutte au printemps – Site 2– Évolution du pourcentage de foyers actifs sur 120 pousses selon les modalités FLiPPER® et STYKAL®	Personnelle
Figure 34	Données météorologiques à l'automne 2023 à Romegoux (Charente-Maritime,17)	Données RIMPRO

TABLE DES ANNEXES ET ANNEXES

Annexe 1 : Essai n°1 Lutte automnale - Site 1
Annexe 2 : Essai n°2 Lutte automnale - Site 2
Annexe 3 : Essai n°3 Lutte automnale - Site 3
Annexe 4 : Essai n°4 Lutte au printemps - Site 4
Annexe 5 : Essai n°5 Lutte au printemps - Site 2

ANNEXE 1

Essai n°1 Lutte automnale- Site 1 :

Date d'application du STYKAL® à l'automne (a), ANOVA (b), Test de Kruskal-Wallis (c), Tableau de contingence (d) et Test de chi² (e)

(a)

(b)

ANOVA - NB FOYERS ACTFS

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
MODALITES	8.82	1	8.82	6.71	0.010
DATES OBS	96.31	4	24.08	18.32	< .001
MODALITES * DATES OBS	5.73	4	1.43	1.09	0.363
Résidus	302.33	230	1.31		

Vérifications des hypothèses

Test d'homogénéité des variances (test de Levene)

F	ddl1	ddl2	p
9.52	9	230	< .001

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

Statistique	p
0.867	< .001

Rq : Le test de normalité présente des écarts (p-value<0,001), les données ne suivent pas une loi normale

(c)

Facteur « dates d'observation »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB FOYERS ACTFS	65.5	4	< .001

Facteur « modalités »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB FOYERS ACTFS	6.10	1	0.014

Rq : Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est effectué lorsque les valeurs ne suivent pas une loi normale et que les échantillons sont indépendants.

(d)

Tables de contingence

		FREQUENCE PUCERONS		
DATES OBS	MODALITES	0	1	Total
04/04/2024	TEMOIN	119	1	120
	STYKAL	118	1	119
	Total	237	2	239
15/04/2024	TEMOIN	116	4	120
	STYKAL	118	2	120
	Total	234	6	240
22/04/2024	TEMOIN	111	9	120
	STYKAL	113	7	120
	Total	224	16	240
02/05/2024	TEMOIN	102	18	120
	STYKAL	113	7	120
	Total	215	25	240
15/05/2024	TEMOIN	109	11	120
	STYKAL	117	3	120
	Total	226	14	240
28/05/2024	TEMOIN	118	2	120
	STYKAL	120	0	120
	Total	238	2	240
Total	TEMOIN	675	45	720
	STYKAL	699	20	719
	Total	1374	65	1439

(e)

Tests χ^2

DATES OBS		Valeur	ddl	p
04/04/2024	χ^2	3.53e-5	1	0.995
	N	239		
15/04/2024	χ^2	0.684	1	0.408
	N	240		
22/04/2024	χ^2	0.268	1	0.605
	N	240		
02/05/2024	χ^2	5.403	1	0.020
	N	240		
15/05/2024	χ^2	4.855	1	0.028
	N	240		
28/05/2024	χ^2	2.017	1	0.156
	N	240		
Total	χ^2	10.034	1	0.002
	N	1439		

Rq : Écarts significatifs, p-value totale = 0,002

ANNEXE 2

Essai n°2 Lutte automnale- Site 2 :

Date d'application du LIMOCIDE®, FLiPPER® et STYKAL® à l'automne (a), ANOVA (b), Test de Kruskal-Wallis (c), Comparaison pai-à-pair de Dwass, Steel, Critchlow et Fligner (d), Tableau de contingence (e) et Test de chi² (f)

(a)

(b)

ANOVA - NB FOYERS ACTIFS

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
MODALITES	25.9	3	8.63	5.95	< .001
Résidus	481.0	332	1.45		

Test d'homogénéité des variances (test de Levene)

F	ddl1	ddl2	p
1.63	3	332	0.182

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

Statistique	p
0.860	< .001

Rq : Le test de normalité présente des écarts (p-value<0,001), les données ne suivent pas une loi normale

(c)

Facteur « dates d'observation »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB FOYERS ACTIFS	22.0	3	< .001

Facteur « modalités biocontrôle »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB FOYERS ACTIFS	22.4	3	< .001

Rq : Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est effectué lorsque les valeurs ne suivent pas une loi normale et que les échantillons sont indépendants.

(d)

Comparaison pair-à-pair - NB FOYERS ACTIFS

		W	p
TEMOIN	LIMOCIDE	-0.401	0.992
TEMOIN	STYKAL	5.073	0.002
TEMOIN	FLIPPER	3.424	0.073
LIMOCIDE	STYKAL	5.724	< .001
LIMOCIDE	FLIPPER	3.982	0.025
STYKAL	FLIPPER	-1.827	0.568

Rq : Test de comparaisons entre chaque modalité

(e)

Tables de contingence

		FREQUENCE PUCERONS		
DATES OBS	MODALITES	0	1	Total
04/04/2024	TEMOIN	119	1	120
	LIMOCIDE	119	1	120
	STYKAL	119	1	120
	FLIPPER	119	1	120
	Total	476	4	480
15/04/2024	TEMOIN	113	7	120
	LIMOCIDE	116	4	120
	STYKAL	115	5	120
	FLIPPER	110	10	120
	Total	454	26	480
22/04/2024	TEMOIN	115	5	120
	LIMOCIDE	116	4	120
	STYKAL	112	8	120
	FLIPPER	117	3	120
	Total	460	20	480
02/05/2024	TEMOIN	117	3	120
	LIMOCIDE	114	6	120
	STYKAL	113	7	120
	FLIPPER	110	10	120
	Total	454	26	480
14/05/2024	TEMOIN	116	4	120
	LIMOCIDE	120	0	120
	STYKAL	0	0	0
	FLIPPER	0	0	0
	Total	236	4	240

Tables de contingence

		FREQUENCE PUCERONS		
DATES OBS	MODALITES	0	1	Total
Total	TEMOIN	580	20	600
	LIMOCIDE	585	15	600
	STYKAL	459	21	480
	FLIPPER	456	24	480
	Total	2080	80	2160

(f)

Tests χ^2

DATES OBS		Valeur	ddl	p
04/04/2024	χ^2	0.00	3	1.000
	N	480		
15/04/2024	χ^2	3.42	3	0.332
	N	480		
22/04/2024	χ^2	2.92	3	0.404
	N	480		
02/05/2024	χ^2	4.07	3	0.254
	N	480		
14/05/2024	χ^2	NaN	3	NaN
	N	240		
Total	χ^2	5.54	3	0.136
	N	2160		

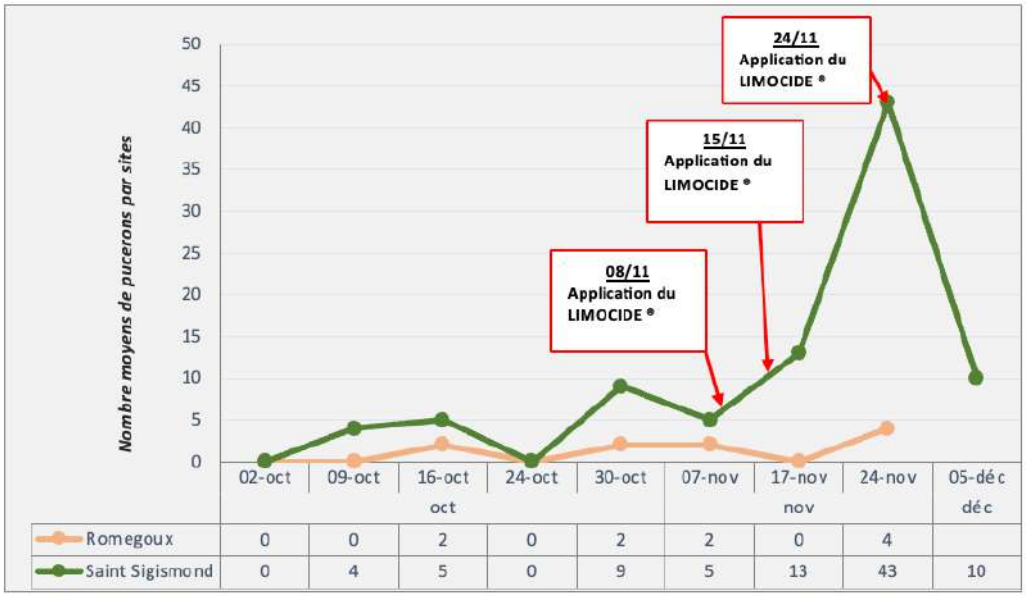
Rq : Écarts non-significatifs, p-value totale = 0,136

ANNEXE 3

Essai n°3 Lutte automnale- Site 3 :

Date d'application du LIMOCIDE ® à l'automne (a), ANOVA (b), Test de Kruskal-Wallis (c), Tableau de contingence (d) et Test de chi² (e)

(a)



(b)

ANOVA - NB DE FOYERS

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
DATES.OBS	6.60	4	1.651	1.875	0.116
MODALITES	1.60	1	1.602	1.820	0.179
DATES.OBS * MODALITES	2.01	4	0.503	0.571	0.684
Résidus	201.63	229	0.880		

Test d'homogénéité des variances (test de Levene)

F	ddl1	ddl2	p
4.98	9	229	< .001

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

Statistique	p
0.589	< .001

Rq : Le test de normalité présente des écarts (p-value<0,001), les données ne suivent pas une loi normale

(c)

Facteur « dates d'observation »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB DE FOYERS	5.03	4	0.284

Facteur « modalités »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB DE FOYERS	0.440	1	0.507

Rq : Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est effectué lorsque les valeurs ne suivent pas une loi normale et que les échantillons sont indépendants.

(d)

Tables de contingence

		NB. FOYERS.ACTIFS		
DATES.OBS	**MODALITES**	**0**	**1**	**Total**
12/03/2024	TÉMOIN	118	2	120
	LIMOCIDE	117	3	120
	Total	235	5	240
02/04/2024	TÉMOIN	120	0	120
	LIMOCIDE	119	1	120
	Total	239	1	240
10/04/2024	TÉMOIN	120	0	120
	LIMOCIDE	120	0	120
	Total	240	0	240
18/04/2024	TÉMOIN	116	4	120
	LIMOCIDE	120	0	120
	Total	236	4	240
26/04/2024	TÉMOIN	117	3	120
	LIMOCIDE	116	4	120
	Total	233	7	240
06/05/2023	TÉMOIN	115	5	120
	LIMOCIDE	118	2	120
	Total	233	7	240
16/05/2024	TÉMOIN	119	1	120
	LIMOCIDE	119	1	120
	Total	238	2	240
29/05/2024	TÉMOIN	115	5	120
	LIMOCIDE	115	5	120
	Total	230	10	240

Tables de contingence

		NB. FOYERS.ACTIFS		
DATES.OBS	**MODALITES**	**0**	**1**	**Total**
Total	TÉMOIN	940	20	960
	LIMOCIDE	944	16	960
	Total	1884	36	1920

(e)

Tests χ^2

DATES.OBS		Valeur	ddl	p
12/03/2024	χ^2	0.204	1	0.651
	N	240		
02/04/2024	χ^2	1.004	1	0.316
	N	240		
10/04/2024	χ^2	NaN	1	NaN
	N	240		
18/04/2024	χ^2	4.068	1	0.044
	N	240		
26/04/2024	χ^2	0.147	1	0.701
	N	240		
06/05/2023	χ^2	1.324	1	0.250
	N	240		
16/05/2024	χ^2	0.000	1	1.000
	N	240		
29/05/2024	χ^2	0.000	1	1.000
	N	240		
Total	χ^2	0.453	1	0.501
	N	1920		

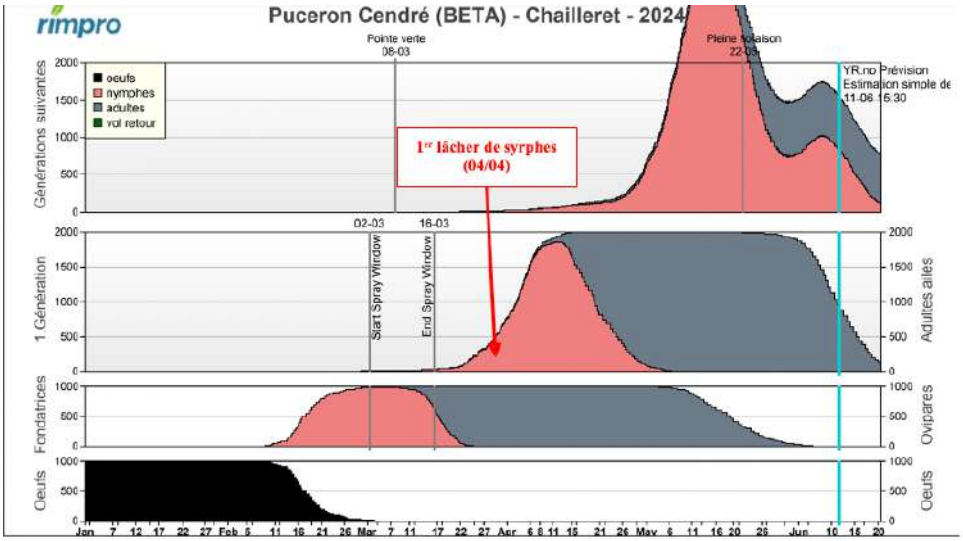
Rq : Écarts non-significatifs, p-value totale = 0,501

ANNEXE 4

Essai n°4 Lutte au printemps- Site 4 :

Modélisation RIMPRO du développement des pucerons cendrés au printemps 2024 avec date du lâcher de pupes de syrphes (a), ANOVA (b), Test de Kruskal-Wallis (c), Tableau de contingence (d) et Test de chi² (e)

(a)



(b)

ANOVA - NB DE FOYERS

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
MODALITES	3.38	1	3.375	4.294	0.039
DATES OBS	40.40	3	13.465	17.131	< .001
AUXILIAIRES	2.04	1	2.042	2.598	0.108
MODALITES ✻ DATES OBS	1.27	3	0.424	0.539	0.656
MODALITES ✻ AUXILIAIRES	40.04	1	40.042	50.943	< .001
DATES OBS ✻ AUXILIAIRES	1.44	3	0.479	0.610	0.609
MODALITES ✻ DATES OBS ✻ AUXILIAIRES	17.52	3	5.840	7.430	< .001
Résidus	289.25	368	0.786		

Test d'homogénéité des variances (test de Levene)

F	ddl1	ddl2	p
7.97	15	368	< .001

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

Statistique	p
0.933	< .001

Rq : Le test de normalité présente des écarts (p-value<0,001), les données ne suivent pas une loi normalité

(c)

Facteur « dates d'observation »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB DE FOYERS	34.7	3	< .001

Facteur « modalités »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB DE FOYERS	3.60	1	0.058

Facteur « auxiliaires »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB DE FOYERS	2.97	1	0.085

Rq : Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est effectué lorsque les valeurs ne suivent pas une loi normale et que les échantillons sont indépendants.

(d)

Tables de contingence- Produits+ absence/présence syrphes

			FREQUENCE		
DATES OBS	**MODALITES**	**AUXILIAIRES**	**0**	**1**	**Total**
08/04/2024	FLIPPER	SYRPHES	116	4	120
		PAS SYRPHES	117	3	120
		Total	233	7	240
	STYKAL	SYRPHES	120	0	120
		PAS SYRPHES	114	6	120
		Total	234	6	240
	Total	SYRPHES	236	4	240
		PAS SYRPHES	231	9	240
		Total	467	13	480
15/04/2024	FLIPPER	SYRPHES	115	5	120
		PAS SYRPHES	115	5	120
		Total	230	10	240
	STYKAL	SYRPHES	117	3	120
		PAS SYRPHES	112	8	120
		Total	229	11	240
	Total	SYRPHES	232	8	240

Tables de contingence- Produits+ absence/présence syrphes

			FREQUENCE		
DATES OBS	**MODALITES**	**AUXILIAIRES**	**0**	**1**	**Total**
		PAS SYRPHES	227	13	240
		Total	459	21	480
24/04/2024	FLIPPER	SYRPHES	98	22	120
		PAS SYRPHES	108	12	120
		Total	206	34	240
	STYKAL	SYRPHES	114	6	120
		PAS SYRPHES	100	20	120
		Total	214	26	240
	Total	SYRPHES	212	28	240
		PAS SYRPHES	208	32	240
		Total	420	60	480
06/05/2024	FLIPPER	SYRPHES	111	9	120
		PAS SYRPHES	116	4	120
		Total	227	13	240
	STYKAL	SYRPHES	120	0	120
		PAS SYRPHES	115	5	120
		Total	235	5	240
	Total	SYRPHES	231	9	240
		PAS SYRPHES	231	9	240
		Total	462	18	480
21/05/2024	FLIPPER	SYRPHES	119	1	120
		PAS SYRPHES	120	0	120
		Total	239	1	240
	STYKAL	SYRPHES	120	0	120
		PAS SYRPHES	114	6	120
		Total	234	6	240
	Total	SYRPHES	239	1	240
		PAS SYRPHES	234	6	240
		Total	473	7	480
Total	FLIPPER	SYRPHES	559	41	600
		PAS SYRPHES	576	24	600
		Total	1135	65	1200
	STYKAL	SYRPHES	591	9	600
		PAS SYRPHES	555	45	600
		Total	1146	54	1200

Tables de contingence- Produits+ absence/présence syrphes

			FREQUENCE		
DATES OBS	**MODALITES**	**AUXILIAIRES**	**0**	**1**	**Total**
	Total	SYRPHES	1150	50	1200
		PAS SYRPHES	1131	69	1200
		Total	2281	119	2400

(d')

Tables de contingence- absence/présence syrphes

		FREQUENCE		
DATES OBS	**AUXILIAIRES**	**0**	**1**	**Total**
08/04/2024	SYRPHES	236	4	240
	PAS SYRPHES	231	9	240
	Total	467	13	480
15/04/2024	SYRPHES	232	8	240
	PAS SYRPHES	227	13	240
	Total	459	21	480
24/04/2024	SYRPHES	212	28	240
	PAS SYRPHES	208	32	240
	Total	420	60	480
06/05/2024	SYRPHES	231	9	240
	PAS SYRPHES	231	9	240
	Total	462	18	480
21/05/2024	SYRPHES	239	1	240
	PAS SYRPHES	234	6	240
	Total	473	7	480
Total	SYRPHES	1150	50	1200
	PAS SYRPHES	1131	69	1200
	Total	2281	119	2400

(e)

Tests χ^2 - produits

DATES OBS	MODALITES		Valeur	ddl	p
08/04/2024	FLIPPER	χ^2	0.147	1	0.701
		N	240		
	STYKAL	χ^2	6.154	1	0.013
		N	240		
	Total	χ^2	1.977	1	0.160
		N	480		
15/04/2024	FLIPPER	χ^2	0.000	1	1.000
		N	240		
	STYKAL	χ^2	2.382	1	0.123
		N	240		
	Total	χ^2	1.245	1	0.265
		N	480		
24/04/2024	FLIPPER	χ^2	3.427	1	0.064
		N	240		
	STYKAL	χ^2	8.454	1	0.004
		N	240		
	Total	χ^2	0.305	1	0.581
		N	480		
06/05/2024	FLIPPER	χ^2	2.033	1	0.154
		N	240		
	STYKAL	χ^2	5.106	1	0.024
		N	240		
	Total	χ^2	0.000	1	1.000
		N	480		
21/05/2024	FLIPPER	χ^2	1.004	1	0.316
		N	240		
	STYKAL	χ^2	6.154	1	0.013
		N	240		
	Total	χ^2	3.624	1	0.057
		N	480		
Total	FLIPPER	χ^2	4.701	1	0.030
		N	1200		
	STYKAL	χ^2	25.131	1	< .001

(e)

Tests χ^2 - produits

DATES OBS	MODALITES		Valeur	ddl	p
		N	1200		
	Total	χ^2	3.192	1	0.074
		N	2400		

Rq : Différences significatives au niveau des modalités p-value=0,03 et <0,001.

(e')

Tests χ^2- syrphes

DATES OBS		Valeur	ddl	p
08/04/2024	χ^2	1.977	1	0.160
	N	480		
15/04/2024	χ^2	1.245	1	0.265
	N	480		
24/04/2024	χ^2	0.305	1	0.581
	N	480		
06/05/2024	χ^2	0.000	1	1.000
	N	480		
21/05/2024	χ^2	3.624	1	0.057
	N	480		
Total	χ^2	3.192	1	0.074
	N	2400		

Rq : Écarts non-significatifs p-value=0,074

ANNEXE 5

Essai n°5 Lutte au printemps- Site 2 :

ANOVA (a), Test de Kruskal-Wallis (b), Tableau de contingence (c) et Test de chi² (d)

(a)

ANOVA - NB DE FOYERS

	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	F	p
MODALITES	4.00	1	4.00	1.945	0.165
DATES OBS	7.88	2	3.94	1.914	0.151
MODALITES ✻ DATES OBS	2.04	2	1.02	0.496	0.610
Résidus	283.83	138	2.06		

Test de normalité (Shapiro-Wilk)

Statistique	p
0.670	< .001

Test d'homogénéité des variances (test de Levene)

F	ddl1	ddl2	p
2.91	5	138	0.016

Rq : Le test de normalité présente des écarts (p-value<0,001), les données ne suivent pas une loi normalité

(b)

Facteur « dates d'observation »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB DE FOYERS	6.25	2	0.044

Facteur « modalités biocontrôles »

Kruskal-Wallis

	χ^2	ddl	p
NB DE FOYERS	0.565	1	0.452

Rq : Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis est effectué lorsque les valeurs ne suivent pas une loi normale et que les échantillons sont indépendants.

(c)

Tables de contingence

		FREQUENCE		
DATES OBS	MODALITES	0	1	Total
02/05/2024	FLIPPER	117	3	120
	STYKAL	119	1	120
	Total	236	4	240

Tables de contingence

		FREQUENCE		
DATES OBS	**MODALITES**	**0**	**1**	**Total**
14/05/2024	FLIPPER	116	4	120
	STYKAL	118	2	120
	Total	234	6	240
28/05/2024	FLIPPER	108	12	120
	STYKAL	115	5	120
	Total	223	17	240
Total	FLIPPER	341	19	360
	STYKAL	352	8	360
	Total	693	27	720

(d)

Tests χ^2

DATES OBS		**Valeur**	**ddl**	**p**
02/05/2024	χ^2	1.017	1	0.313
	N	240		
14/05/2024	χ^2	0.684	1	0.408
	N	240		
28/05/2024	χ^2	3.102	1	0.078
	N	240		
Total	χ^2	4.656	1	0.031
	N	720		

Rq : Écarts significatifs p-value=0,031