



HAL
open science

Méthodes de lutte contre les punaises phytophages en verger de pommier

Julie Hennequin

► **To cite this version:**

Julie Hennequin. Méthodes de lutte contre les punaises phytophages en verger de pommier. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03946259

HAL Id: dumas-03946259

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03946259>

Submitted on 19 Jan 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

 <p>L'Institut Agro Rennes-Angers</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Site d'Angers <input type="checkbox"/> Site de Rennes</p>	 <p>université angers</p> <p>UNIVERSITÉ DE NANTES</p>	 <p>CTIFL SCIENCES & INNOVATION</p>
<p>Année universitaire : 2021-2022</p> <p>Mention : Biologie végétale</p> <p>Parcours : FHI</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>	

Méthodes de lutte contre les punaises phytophages en verger de pommier

Par : Julie Hennequin



Soutenu à Angers le 08/09/2022

Devant le jury composé de :

Présidente : Béatrice Teulat

Représentant du parcours : Laurent Crespel

Maître de stage : Richard Lothion

Enseignant référent : Yann Tricault

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



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

Remerciements

Je remercie sincèrement mon maître de stage Richard Lothion pour la pédagogie de son encadrement et l'autonomie qu'il m'a laissé dans la réalisation du projet.

Je remercie mon tuteur, Yann Tricault, pour le temps qu'il prit afin d'écouter et répondre à mes questionnements.

Je remercie également toute l'équipe du CTIFL de La Morinière pour tous leurs conseils et toutes les informations qu'elle m'a apporté dans de multiples domaines.

Je remercie Bertrand Alison, porteur du projet SUPOR, pour sa gentillesse et ses conseils avisés pour mes expérimentations ainsi que Alexandre Bout, chercheur à l'INRAE PACA, pour l'identification des parasitoïdes que j'ai trouvé dans des œufs de punaises.

Je remercie les enseignants du Master 2 Biologie Végétale et de l'option Filières de l'Horticulture et Innovations pour la formation qu'ils m'ont dispensée et qui m'a permis de réaliser ce stage.

Je remercie chaleureusement mes amis et colocataires du CTIFL qui m'ont aidé dans la réalisation de mes expériences tout au long du stage et ce dans les rires et la bonne humeur.

Je remercie aussi ma mère pour son soutien moral et pour la patience qu'elle a chaque année à relire et critiquer mon rapport.

Enfin, je remercie mon copain et mon amie Lucie qui m'ont aidé à y voir plus clair dans le vaste univers des statistiques.

Table des matières

Introduction	1
Présentation de la structure d'accueil	1
Le marché de la pomme	1
Les bioagresseurs des pommiers	2
Les punaises phytophages	3
Les méthodes de lutte actuelles contre les punaises	6
Le projet SUPOR	10
Les objectifs et problématique du stage	11
Matériels & méthodes	11
Matériel végétal	11
Suivi des populations par frappage	12
Évaluation de la maturité sexuelle	12
Évaluation de la spécificité de pièges à phéromones d'agrégation	12
Évaluation du nombre de punaises présentes dans des plantes pièges	13
Analyses statistiques	14
Résultats	14
Suivi des populations	14
Bandes pièges	16
Piégeage	17
Discussion	17
Comparaison des frappages avec les autres captures	17
Comparaison du suivi des populations 2022 avec 2021	18
Comparaison du suivi des populations 2022 avec la littérature	19
Limites et améliorations du piégeage	20
Influence de l'environnement	22
Apports des dissections	23
Bandes pièges	25
Autres méthodes de lutte	26
Conclusion	27
Bibliographie	28
Sitographie	31

Glossaire

Hémélytre : ailes antérieures constituées de deux parties de consistance différentes : une partie dure, coriace (sclérifiée) nommée corie et une partie souple nommée membrane.

Scutellum : triangle visible sur le dos, délimité par le pronotum et les deux ailes antérieures (c'est la partie visible du mésonotum).

Liste des abréviations

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

IMPULsE : Développement et Intégration de Méthodes innovantes pour la maîtrise des PUnaises en cultures LEgumières

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

AB : Agriculture Biologique

PFI : Protection Fruitière Intégrée

INPN : Inventaire National du Patrimoine Naturel

GIS Fruits : Groupement d'Intérêt Scientifique Fruits

MDT: methyl (E,E,Z)-2,4,6-decatrienoate

Liste des annexes

Annexe 1 : Résultats du test de comparaisons multiples Dunn entre les modalités (A) et espèces (B) de punaises observées dans les bandes pièges

Liste des illustrations

Figure 1 : Organigramme du centre opérationnel de La Morinière

Figure 2 : Expansion géographique de *Halyomorpha halys* en France de 2012 à 2019

Figure 3 : Morphologie d'une punaise pentatomide (*Palomena prasina*)

Figure 4 : Photo face ventrale partie postérieure des plaques génitales d'une punaise *Palomena prasina* mâle (à gauche) et femelle (à droite) observées à la loupe binoculaire x 1.25

Figure 5 : Photos de l'appareil génital d'une punaise *Palomena prasina* mâle (à gauche) et femelle (à droite) observé à la loupe binoculaire x 1.75

Figure 6 : Cycle biologique des punaises *R.nebulosa*, *P.prasina*, *C.marginatus*, *G.acuteangulatus* et *Halyomorpha halys*

Figure 7 : Dégâts des punaises phytophages sur jeunes fruits

Figure 8 : Photo de filets Alt'Carpo fermés installés au CTIFL de la Morinière

Figure 9 : Photos des différents pièges utilisés contre les punaises phytophages

Figure 10 : Photo d'*Anastatus bifasciatus*, parasitant des œufs de *Halyomorpha halys*

Figure 11 : Plan du parcellaire du CTIFL de la Morinière

Figure 12 : Dessin de l'anatomie de l'appareil génital des punaises femelles en fonction de 4 stades de maturité ovarienne

Figure 13 : Photo d'un piège Diablex

Figure 14 : Nombre de punaises capturées par frappage en fonction du temps et des différents stades de punaises toutes espèces confondues

Figure 15 : Pourcentage de punaises capturées par frappage et par autres captures ou observations visuelles

Figure 16 : Nombre de punaises capturées par frappage et autres captures / observations en fonction du temps et des différents stades de punaises

Figure 17 : Cycle biologique des punaises *Rhaphigaster nebulosa*, *Palomena prasina*, *Gonocerus acuteangulatus* et *Coreus marginatus* du 21 mars au 1er août. Figure 18 : Nombre de punaises par stade et par espèce.

Figure 19 : Pourcentage de punaises femelles en fonction du temps et de leur stade de maturité ovarienne

Figure 20 : Pourcentage de punaises présentes dans chaque environnement en fonction des espèces et toutes dates confondues

Figure 21 : Pourcentage de chaque essence sur lesquelles les punaises ont été retrouvées.

Figure 22 : Nombre de punaises phytophages et prédatrices moyennes en fonction du temps (3 dates), de l'espèce (5 espèces) et de la modalité (5 modalités)

Figure 23 : Pourcentage de recouvrement moyen des espèces semées, adventives ou en fleur en fonction du temps au niveau des bandes pièges de tournesols, sorgho, phacélie, témoin dans l'inter

rang et tournesols dans le champ.

Figure 24 : Evolution du nombre de punaises en 2021

Figure 25 : Cycle biologique des punaises *R.nebulosa*, *P.prasina*, *C.marginatus* et *G.acuteangulatus* recensées du 14 mars au 1er août 2022

Figure 26 : Nombre de punaises *Halyomorpha halys* capturées en fonction du type de piège

Figure 27 : Évolution de la localisation des punaises, tous stades et espèces confondues dans les parcelles PFI, AB, les bois et les haies multi espèces

Figure 28 : Photo de plantes adventices sur un rang de pommiers en 2019

Figure 29 : Photo de 2 punaises *Coreus marginatus* au stade adulte et larve âgée sur une adventice de l'espèce *Rumex sp*

Figure 30 : Evolution des températures minimales, maximales et de la pluviométrie du 1er mars au 1er août 2022

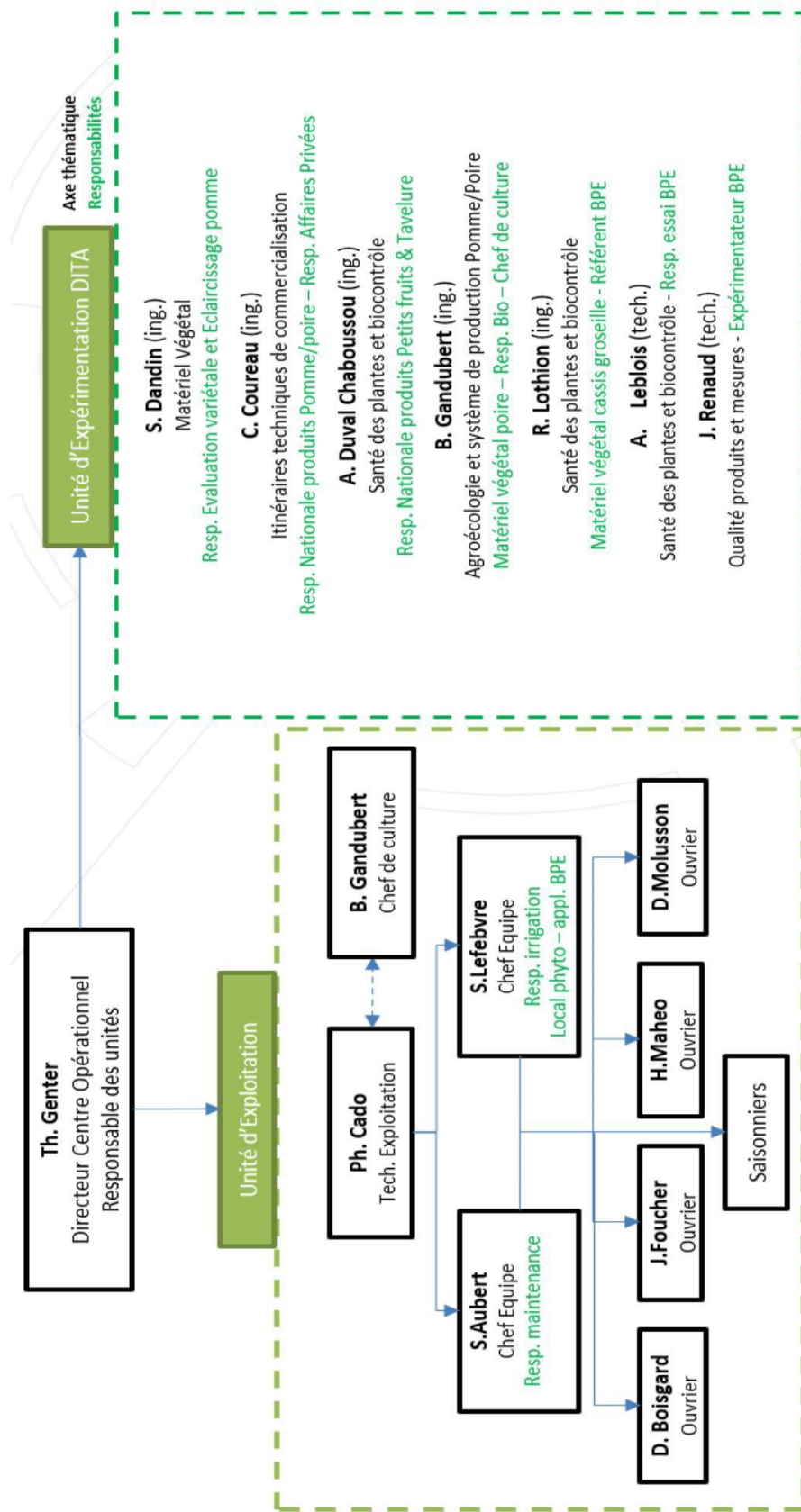


Figure 1 : Organigramme du centre opérationnel de La Morinière

Introduction

Présentation de la structure d'accueil

Le centre opérationnel de La Morinière, situé à Saint-Epain (Centre Val-de-Loire) a été créé en 1980 à la demande des arboriculteurs et a intégré le Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes - CTIFL, en 2021 ([CTIFL, 2022](#)). Il a ainsi rejoint les centres CTIFL de Carquefou, Rungis, Lanxade, Balandran et Saint Rémy. Cette nouvelle intégration vise à développer le réseau fruits à pépins avec les autres centres pour le dépôt de futurs projets au niveau européen, renforcer les actions engagées par le CTIFL en région Centre-Val de Loire et ainsi créer des relations plus proches avec les acteurs locaux. Le centre opérationnel de La Morinière emploie 16 salariés (hors saisonniers et stagiaires) dont 6 ingénieurs (**figure 1**). La station se développe autour de 4 axes de travail : réaliser des prestations d'essais, diffuser les résultats de ses travaux de recherche et d'expérimentation, proposer des animations techniques tout au long de l'année et construire des programmes collaboratifs avec les arboriculteurs, industriels, équipementiers et obtenteurs. Pour cela, la station a fait le choix d'avoir des tailles de parcelles et des équipements similaires à ceux utilisés dans les exploitations professionnelles. En effet, les résultats obtenus sont alors plus facilement transposables et en accord avec la réalité des arboriculteurs.

Le CTIFL de la Morinière compte 65 ha dont 30 ha de vergers qui regroupent 25 ha de pommiers, 4 ha de poiriers et 0.3 ha de petits fruits (cassissier et myrtilier) ([Réussir Fruits et Légumes, 2021](#)). En 2000, afin de répondre à une demande croissante des consommateurs et des professionnels, La Morinière a implanté 0.8 ha de pommiers et poiriers conduits en agriculture biologique (AB). Les parcelles agréées ECOCERT représentent aujourd'hui plus de 5 hectares dans le verger. Le panel variétal proposé par le CTIFL de La Morinière est principalement composé des variétés Gala, Pink Lady®, Jazz® et Golden en conventionnel et des variétés Gala, Swing®, Regal You et Daliclass en AB. Si le site de La Morinière est avant tout un verger expérimental, il est également un verger productif. En effet, 98,5% des pommes récoltées sont distribuées dans les coopératives de la région. Le verger est également labellisé Vergers Écoresponsables qui est un label reconnu par le ministère de l'agriculture garantissant des pratiques plus respectueuses de l'environnement, une production française et des produits de qualité ([Vergers Écoresponsables, 2020](#)).

Le marché de la pomme

Le marché de la pomme de table est le plus important en culture fruitière en France ([Vergers Écoresponsables, 2017](#)). Il représente près de 60% de la production fruitière nationale en 2021 ([Agreste, 2022](#)), soit 1,3 millions de tonnes de pommes de table sur 2,2 millions de tonnes de fruits produits en France métropolitaine. En comparaison, la pomme à cidre et l'ensemble pêche et

nectarines représentent respectivement 14% et 8% de la production fruitière en 2021. La France est le 3ème pays le plus producteur en Europe après la Pologne et l'Italie. La production européenne de pomme de table, elle, s'élève à 11,7 millions de tonnes en 2021 (Agreste, 2022). Les variétés les plus présentes sur le territoire français sont la Golden, la Gala, la Pink Lady® et la Granny. La pomme est le premier fruit consommé en France (17 kg par an et par ménage en moyenne) et représente 17,7% du marché en volume. Environ 50% des pommes produites en France sont destinées au marché français, 31% sont exportées et le reste est transformé. La région Centre Val-de-Loire, elle, représente 5% de la production en France, faisant d'elle la 6ème région la plus productive. La gestion des maladies et ravageurs dans les vergers est donc un enjeu de taille pour les producteurs de pomme qui doivent assurer une production importante en France.

Les bioagresseurs des pommiers

Les principaux bioagresseurs des pommiers sont les maladies fongiques et les ravageurs . Parmi les maladies, ce sont la tavelure, l'oïdium et le chancre à nectria qui sont les plus problématiques. Les ravageurs les plus préoccupants en verger de pommiers sont les pucerons et le carpocapse (INRA, 2021). Cependant, de nombreux ravageurs secondaires sont également très problématiques, tels que les punaises phytophages, les tordeuses, l'hoplocampe ou encore les thrips. Dans certains bassins de production (Savoie, Sud-Est), les punaises sont parfois plus problématiques que les pucerons ou la carpocapse car aucune solution de lutte n'existe encore contre elles.

Depuis une dizaine d'années, les producteurs sont de plus en plus confrontés à des dégâts de punaises phytophages qui peuvent causer jusqu'à 100% de pertes à la récolte dans certaines régions comme en Savoie ou dans la région PACA. Lors d'un pic de population de punaises en 2010 aux Etats-Unis, le Maryland et le New Jersey ont perdu entre 60 et 100% de leurs récoltes de pêche sur une année (Valentin *et al.*, 2017). En Europe de gros dégâts ont été signalés en 2015 en Italie et en France, les premiers dégâts ont été reportés en 2018 (vergers de kiwi du Sud-Ouest), et en 2019 (Savoie) (Streito *et Chartois*, 2022). Depuis 2020, des dégâts sont signalés dans l'ensemble du Sud-Est de la France.

La plupart des dégâts de punaises en France sont imputés à l'espèce *Halyomorpha halys*, aussi nommée "punaise diabolique". D'après l'analyse de risques publiée par l'ANSES en 2014, ce ravageur est classé en risque sanitaire élevé en France pour les cultures arboricoles, viticoles et maraîchères. En 2020 le site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) a recensé 47 départements colonisés en France et ce nombre prévoit encore d'augmenter d'après le modèle d'expansion de *H.halys* réalisé par l'équipe de Streito *et al.* en 2021. Ce modèle calcule la proportion totale de masse terrestre où les conditions climatiques seraient favorables à l'installation de la punaise diabolique. Le nombre de punaises devrait globalement diminuer dans le monde, sauf en Europe où ce nombre pourrait augmenter de 5 à 10% d'ici 2060. La recrudescence de cette punaise invasive en Europe peut être

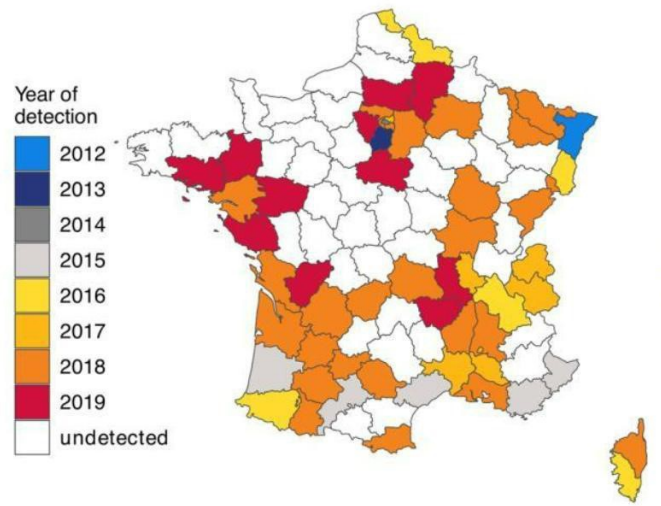


Figure 2 : Expansion géographique de *Halyomorpha halys* en France de 2012 à 2019. (Schéma adapté de [Streito et al., 2021](#))

causée par le réchauffement climatique favorisant l'accessibilité de nouveaux territoires. Sa diminution dans les autres régions du monde pourrait être dû au climat devenu trop chaud pour son développement. En France, la baisse et l'arrêt de l'utilisation de certains insecticides peuvent également expliquer l'augmentation de ce ravageur au cours des 10 dernières années. Il est donc indispensable de bien connaître la biologie et la physiologie de ces punaises afin d'améliorer leur gestion dans les vergers.

Les punaises phytophages

Les informations présentées dans cette partie concernent les espèces *Halyomorpha halys*, *Palomena prasina* et *Rhaphigaster nebulosa*, *Coreus marginatus* et *Gonocerus acuteangulatus*, qui sont les espèces les plus problématiques et / ou celles rencontrées sur le site de La Morinière. Il est cependant à noter que l'essentiel de la bibliographie disponible sur les punaises se focalise sur *Halyomorpha halys* qui est la punaise la plus problématique et donc la plus étudiée en France et dans le monde.

Classification

Les punaises sont des Hémiptères appartenant au sous-ordre des Hétéroptères. Ces insectes sont très diversifiés car il existe près de 44000 espèces de punaises dans le monde dont 1350 espèces en France (Streito, 2019). Les espèces *Halyomorpha halys*, *Palomena prasina* et *Rhaphigaster nebulosa* font partie de la famille des Pentatomidae (Leach, 1815), *Coreus marginatus* et *Gonocerus acuteangulatus* font partie de la famille des Coreidae (Leach, 1815).

Origine et propagation

H. halys (Stal, 1855) est originaire d'Asie de l'Est (Chine, Japon, Taiwan, Corée) (Valentin et al., 2017; Hamilton et al., 2018). Elle est arrivée en Amérique du Nord dans les années 90 (Haye et al., 2015), probablement par transport en bateau (Garipey et al., 2014). En 2004 elle est arrivée en Europe (détections en Grèce, Suède, Espagne, Hongrie...) (Chartois et al., 2021) et elle a atteint la Suisse en 2007 (Bout et Streito, 2018). La **figure 2** montre la propagation de la punaise diabolique en France au cours du temps. Elle a d'abord été détectée en Alsace à Strasbourg en 2012 (Callot et Brua, 2013), puis à Paris en 2013 avant de descendre dans la région PACA. Depuis 2018-2019, elle remonte progressivement du Sud vers le Nord de la France. La punaise *Rhaphigaster nebulosa* (Poda, 1761), également originaire d'Asie (Faune de France 96), est arrivée en France en 2012 en Alsace (Streito, 2019; Claerebout et Soors, 2020). Les espèces *Palomena prasina* (Linnaeus, 1761), *Coreus marginatus* (Linnaeus, 1758) et *Gonocerus acuteangulatus* (Goeze, 1758), quant à elles, étaient déjà présentes en France depuis les années 60 (Streito, 2019).

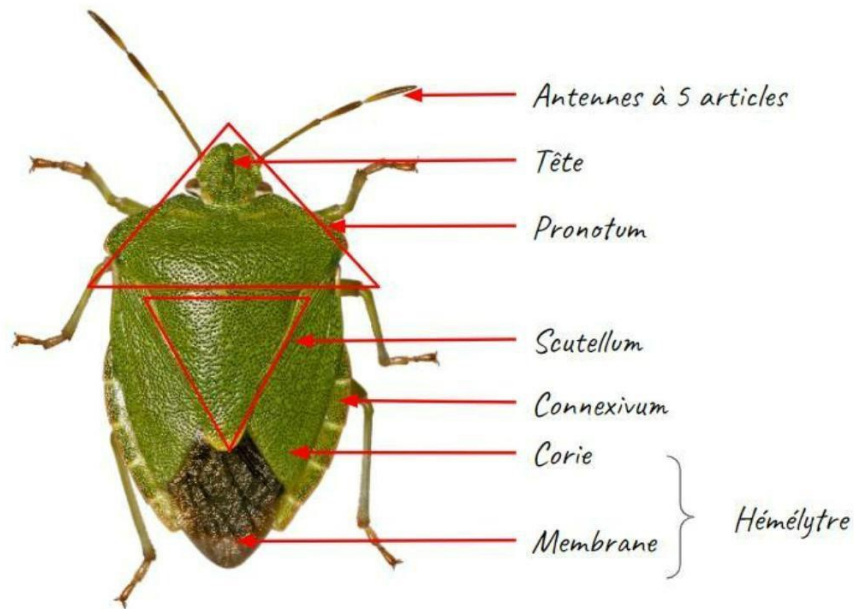


Figure 3 : Morphologie d'une punaise pentatomide (*Palomena prasina*) (Photo : Didier Descouens, échelle non disponible)



Figure 4 : Photo face ventrale partie postérieure des plaques génitales d'une punaise *Palomena prasina* mâle (à gauche) et femelle (à droite) observées à la loupe binoculaire x 1.25 (Photo : Julie Hennequin).

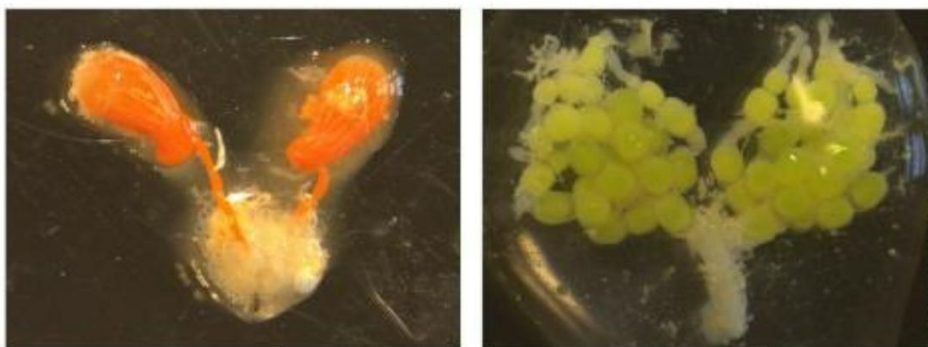


Figure 5 : Photos de l'appareil génital d'une punaise *Palomena prasina* mâle (à gauche) et femelle (à droite) observé à la loupe binoculaire x 1.75 (Photos : Julie Hennequin).

Anatomie

Les punaises phytophages à l'état adulte mesurent en moyenne entre 12 et 16 mm de longueur (Bout et streito, 2018). Toutes les espèces sont caractérisées par des pièces buccales de type

piqueur-suceur appelées rostre. La partie basale de l'aile antérieure est épaissie (corie) alors que la partie apicale est mince et généralement transparente (membrane). Les ailes postérieures sont membraneuses (Dusoulier, 2022).

Les punaises Pentatomides, elles, ont un corps en forme de bouclier, une couleur variable, des antennes droites avec 5 segments, une petite tête, la présence d'un scutellum au centre de leur corps ainsi qu'un connexivum sur les bords de l'abdomen (Bout et streito, 2018) (figure 3).

La figure 4 montre la différence entre une punaise mâle et femelle. Il est possible de différencier les punaises à l'œil nu en observant la partie basse de leur abdomen, cependant une dissection de leur appareil génital est plus fiable comme le montre la figure 5.

Cycle biologique

En Europe, *H.halys* effectue une à deux générations par an, mais elle peut en réaliser jusqu'à 5 en Chine, sa région d'origine (Sud Arbo, 2021). Plus les régions sont chaudes et plus le nombre de générations de cette punaise augmente. Les autres espèces de punaises mentionnées ci-dessus ne réalisent qu'une seule génération par an (Streito, 2019), à l'exception de *C.marginatus* qui peut en faire 2 (Musolin et Saulich, 1996). Chez les populations qui ne réalisent qu'une seule génération par an, les nouveaux adultes ne se reproduisent que l'été suivant lorsqu'ils seront matures sexuellement.

Le cycle de *H.halys* ainsi que *R.nebulosa*, *P.prasina*, *C.marginatus* et *G.acuteangulatus* comprend un stade œuf, cinq stades larvaires (I, II, III, IV et V) et un stade adulte (Streito et Chartois, 2022). Les adultes passent l'hiver dans des abris naturels tels que les bois, haies ou les abris artificiels tels que les maisons ou les exploitations agricoles (Sud Arbo, 2021). Dès le mois de mars ou d'avril, les adultes sortent d'hivernation et commencent à se nourrir. La reproduction a lieu au printemps et les premiers œufs apparaissent du mois de mai jusqu'en juillet. Les œufs sont pondus par plaques (environ 14 œufs) (Candan et Suludere, 2001) ou par petits groupes de 3 à 5 œufs pour *C.marginatus* et *G.acuteangulatus*. La couleur des œufs peut être blanche, marron cuivrée, jaune ou bien verte selon les espèces. Les larves de stade I, elles, sont visibles à partir du mois de juin. Cependant, à ce stade, les différentes espèces peuvent facilement être confondues entre elles. Les larves de stade I sont immobiles et restent sur les œufs. Au stade II, les larves se dispersent et commencent à se nourrir de végétaux. Au stade III, les larves sont bien différenciables entre les espèces. Au stade IV et V, les larves augmentent en taille et possèdent des ébauches alaires. Les adultes de la deuxième génération apparaissent au mois d'août et se maintiennent jusqu'au mois d'octobre. Les adultes de la première génération, quant à eux, meurent à partir de juillet et ont une durée de vie d'environ 2 à 3 mois en verger (Saulich et Musolin 2014; Saruhan et al. 2009; Streito 2019). La température

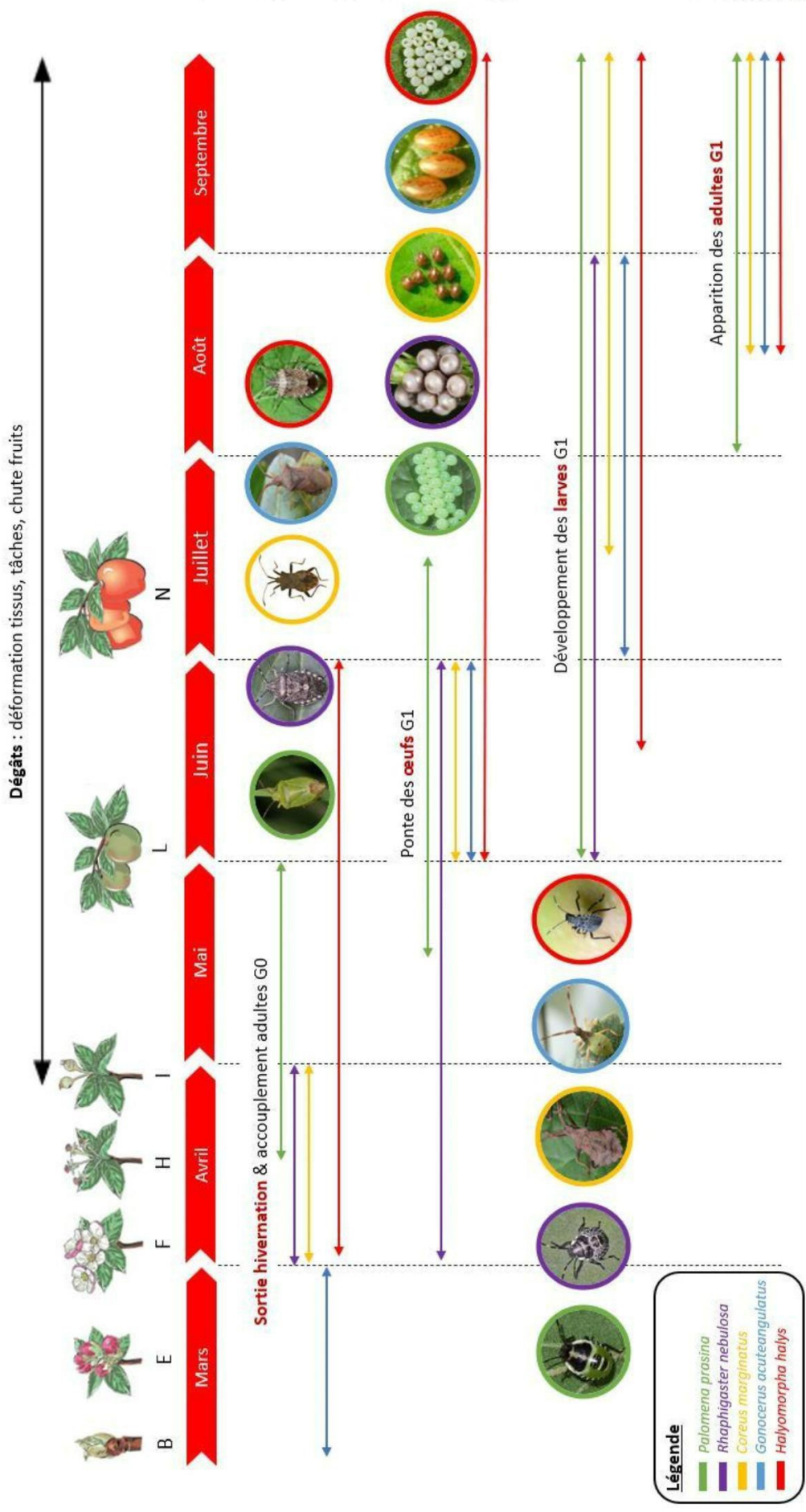


Figure 6. Cycle biologique des punaises *R. nebulosa*, *P. prasina*, *C. marginatus*, *G. acuteangulatus* et *Halyomorpha halys* en lien avec les stades phénologiques du pommier et la période de dégâts correspondante.

optimale de développement des punaises est de 30°C et la plage de développement varie entre 11 et 30°C en laboratoire (Lee *et al.*, 2013; Durak *et al.*, 2009).

La **figure 6** illustre les différences de cycle biologique entre les 5 espèces de punaises étudiées. Cette figure est basée sur des études provenant de France, Suisse, Turquie, Québec, USA, Russie et Ukraine (Streito, 2019; Lee *et al.*, 2015; Ephytia, 2016; Darthout, 2006; Clarebout, 2020; Saruhan et Tuncer, 2009; Maurel *et al.*, 2016; Gusev et Lopatina, 2018; Candan et Suludere, 2001; Nielsen et Hamilton, 2009; Ribes *et al.*, 2013). Leur cycle biologique est mis en parallèle du cycle du pommier et des dégâts de punaises qui ont lieu dès l'apparition des premières fleurs de pommier. La durée et les dates de début et fin de chaque événement du cycle (sortie hibernation, pontes, larves et adultes) sont assez hétérogènes entre les 5 espèces étudiées. Cependant, certains points communs sont observables entre les différentes espèces pour chacun de ces événements. La sortie d'hibernation a principalement lieu au mois d'avril, la ponte des œufs au mois de juin, le développement des larves de juillet à août et l'apparition des adultes de la nouvelle génération (notée G1) de mi-août à septembre. Il est à noter que pour la punaise diabolique (en rouge) la sortie d'hibernation des adultes G0 correspond également à toute la période durant laquelle des adultes sont retrouvés dans les vergers. La période de ponte des œufs de cette espèce est également très étendue car cette punaise peut réaliser plusieurs générations par an.

Gamme d'hôte, alimentation et dégâts

Les punaises sont des insectes très polyphages (Moraglio *et al.*, 2014 et Streito, 2019) qui se nourrissent aussi bien des fruits, des fleurs que de l'apex des plantes. Ils ont une gamme d'hôtes comprise entre 120 et 150 espèces de plantes (Haye *et al.*, 2015; Streito, 2018) comprenant des espèces telles que le cornouiller sanguin, le chêne, le peuplier, le charme ou encore les ronces. Parmi les plantes d'intérêt économique, les arbres fruitiers les plus couramment impactés sont les pêchers, nectariniers, pommiers, poiriers mais aussi les noisetiers, les kiwis, ainsi que la vigne (Streito, 2019). Les petits fruits sont également attaqués, ainsi que les légumes, les plantes ornementales et certaines grandes cultures (maïs, soja) (Streito et Chartois, 2022).

Ces ravageurs sont des insectes piqueurs-suceurs qui injectent des enzymes digestives dans la plante. Cela provoque des nécroses autour de la piqûre et l'apparition d'une zone liégeuse sous l'épiderme du fruit (Sud Arbo, 2021). Les fruits piqués ont un aspect bosselé dû aux déformations en forme de cuvette créées autour de la zone piquée et des altérations de la coloration (**figure 7**). Les piqûres peuvent également se traduire par des crispations et perforations de feuilles, ainsi que la perte prématurée de jeunes bourgeons. Lorsque les piqûres sont précoces, elles entraînent une importante déformation des fruits par de profondes dépressions, mais les dégâts les plus problématiques sont observés tardivement à l'approche de la récolte, pouvant entraîner des pertes commerciales importantes en cas d'attaque massive.



Figure 7 : Dégâts des punaises phytophages sur jeunes fruits (Photo : Julie Hennequin)

Influence de l'environnement

L'environnement au sein et autour des vergers influence la présence des punaises phytophages. Par exemple, la présence de bois, de haies et de hautes herbes favorisent la présence des punaises (Trillot *et al.*, 2002).

La photopériode joue aussi un rôle dans la croissance larvaire décélérée en jours courts (hiver) et accélérée en jours longs (été), permettant aux adultes d'apparaître avant que la température ne chute en hiver (Saulich et Musolin, 1996).

Une étude au laboratoire de Saruhan et Tuncer en 2009 en Turquie a également montré que des températures élevées (28°C) permettaient d'accélérer le développement des punaises *P.prasina* immatures (de l'œuf au dernier stade larvaire) par rapport à des températures plus fraîches (16°C). Ce développement plus rapide permet donc aux punaises de terminer leur développement à temps avant le début de l'hiver, cependant il induit des individus de plus petite taille avec une plus faible fécondité (Gusev et Lopatina, 2018). De plus, une température trop faible (20°C) ou trop élevée (à partir de 28°C) diminue le pourcentage de survie des stades larvaires (Gusev et Lopatina, 2018).

Les méthodes de lutte actuelles contre les punaises

Actuellement, aucune méthode de lutte homologuée contre les punaises n'existe pour les producteurs à l'échelle nationale. Seuls les filets utilisés pour agir contre le carpocapse sont parfois également utilisés pour protéger les vergers des punaises. L'évaluation sur le terrain de méthodes de lutte existantes et nouvelles est donc indispensable pour aider les producteurs.

Suivi des populations

Le **suivi des populations** n'est pas un moyen de lutte en tant que tel, mais il permet d'évaluer les risques liés aux punaises et agir en conséquence de manière adaptée. Il permet également de mieux comprendre le cycle biologique des différentes punaises phytophages afin d'appliquer ces connaissances sur le terrain. Par exemple, les premiers stades larvaires étant les plus sensibles aux applications de produits contre les punaises (Gokturk, 2021), il est très intéressant de bien connaître leur biologie afin d'appliquer le produit au meilleur moment. Le suivi des populations se fait soit par frappage, soit par piégeage. Les pièges utilisés peuvent être des plaques engluées Sticky Trap de petite taille à accrocher dans les rangs ou bien de grande taille (1.20 m) et faits maison afin de piéger plus massivement les punaises. D'autres pièges sont également utilisables, cet aspect étant développé dans les parties ci-dessous (Sud Arbo, 2021). Les pièges sont souvent utilisés avec des phéromones d'agrégation afin de les rendre plus attractifs (Streito et Chartois, 2022).

Lutte chimique

Aujourd'hui, aucun **produit phytopharmaceutique** n'est homologué contre les punaises en France. En Italie, des molécules chimiques peuvent être utilisées mais elles présentent un risque de

résidus dans le fruit. Les pyréthriinoïdes et les néonicotinoïdes, eux, sont plus efficaces contre les punaises *H.Halys* adultes que les composés organo-phosphorés (Funayama, 2012). D'autres insecticides à base de chlorpyrifos (50 à 91,7% de mortalité chez *H.halys* - Tugwell *et al.*, 2017), carbosulfan (60 à 80% de mortalité chez *P.prasina* - Tuncer *et al.*, 2009), ou encore de fenpropathrin (efficacité significative contre *H.halys* - Nielsen *et al.*, 2008) montrent également une efficacité intéressante. Cependant, ces derniers ont été interdits en France en raison de leur faible persistance d'action qui nécessite plus d'applications, leur non sélectivité et le risque d'apparition de résistance. En effet, les pyréthriinoïdes inhibent la fermeture des canaux sodiques mais de nombreux insectes ont développé une mutation sur ce canal diminuant l'affinité de cette molécule pour son site de fixation (Haubruege et Amichot, 1998 ; Centre national d'Expertise sur les Vecteurs, 2014).

Répulsifs naturels

Les **huiles essentielles** constituent une piste de recherche intéressante en tant qu'alternatives aux insecticides. Ces huiles sont souvent diluées avec de l'huile, de l'eau ou de l'éthanol avant pulvérisation. Une étude réalisée par Gokturk en 2021 en laboratoire a montré que l'huile essentielle de *Satureja spicigera* avait une efficacité comprise entre 17 et 88% contre *H.halys*. Elle est néanmoins plus efficace sur les jeunes larves et à haute dose (20 µL/mL) que sur les adultes et à faible dose (10 µL/mL). Une autre étude réalisée en laboratoire (ElGendy *et al.*, 2018) a également démontré que l'huile essentielle de *Callistemon citrinus* avait une forte activité insecticide et répulsive contre la punaise verte *Nezara viridula* en inhibant les récepteurs à l'acétylcholine. Cependant, ces huiles efficaces en conditions contrôlées montrent souvent peu de résultats positifs en verger. Cette inefficacité peut être en partie attribuée à la faible rémanence des huiles. De plus, leur coût relativement élevé limite la capacité de déploiement de cette méthode de lutte. Néanmoins, l'étude réalisée par Nadio *et al.*, en 2021 au Togo sur des parcelles de coton a montré que les parcelles traitées avec une émulsion aqueuse à 6% d'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus*. et les parcelles traitées avec l'insecticide de référence ont été celles qui ont abrité moins de punaises rouges (*Dysdercus voelkeri schmidt*).

D'autres **répulsifs naturels** existent. Le Dentamet est un engrais foliaire à base de zinc, cuivre et acide citrique et applicable sur les œufs de punaise diabolique. Il aurait des effets bactéricides en détruisant le symbiote primaire de *H.Halys* (*Candidatus pantoea carbekii*). La Zéolithe est une solution à base de zéolithe cubaine, un minéral qui absorbe la cire de l'épiderme des insectes, créant des micro-lésions et pouvant entraîner une dessiccation de l'insecte voire sa mort. Ces 2 produits ont été testés dans un verger de kiwi dans les Pyrénées Atlantiques mais n'ont pas montré un nombre de punaises significativement inférieur à celui de l'arbre non traité (Le kiwi des producteurs français - Résultats non publiés, 2021). Ces résultats restent néanmoins à confirmer à plus grande échelle.



Figure 8 : Photo de filets Alt'Carpo fermés installés au CTIFL de la Morinière (Photo : Julie Hennequin).



Figure 9 : Photos des différents pièges utilisés contre les punaises phytophages. De gauche à droite : plaques engluées Sticky Trap ([Sud Arbo, 2021](#)), plaque engluée maison ([Sud Arbo, 2021](#)), piège à ailettes Diablex ([Agrifournitures, 2022](#)), piège à ailettes AgBio ([Hamidi, 2017](#)), piège Harp O'Net ([Api Protection, 2022](#)) et piège à vibrations ([Agro Electronics, 2021](#)).

Lutte physique

Le moyen de protection le plus efficace à ce jour est offert par les **filets Alt'carpo (figure 8)** installés en périphérie des parcelles (mono parcelle) ou sur les rangs (mono rangs). En 2020 les filets monorang ont montré une efficacité de 92% à la CA Savoie-Mont Blanc (2% de fruits piqués avec filet contre 25% sans filet) et 80% d'efficacité à la station Sud Expé (1% de fruits piqués avec filet contre 6% sans filet). En 2021 à Sud Expé, la barrière physique a également eu un impact significatif pour réduire le pourcentage de fruits piqués (12% de fruits piqués avec filet contre 24% sans filet). Cependant, au CTIFL de La Morinière, la fermeture tardive des filets (juillet 2020) n'a pas permis une réduction significative du nombre de fruits piqués (2,8% avec filet contre 3,3% sans filets) ([Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés](#)). La date de fermeture des filets est donc déterminante car si les filets sont fermés trop tard, les punaises seront déjà présentes sur les arbres au moment de la fermeture. La date idéale se situe juste après la floraison des pommiers, afin de permettre la pollinisation ([Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés](#)).

Les **pièges** du kit Sticky Trap (de la société Trécé) sont des plaques engluées avec un attractif alimentaire et une phéromone d'agrégation. Ils sont peu satisfaisants car les adultes ressortent facilement de la plaque engluée qui est également trop petite au vu de la taille et du nombre d'insectes collectés. Par conséquent, des chercheurs italiens d'Agrion ([Sud Arbo, 2021](#)), ont essayé d'engluer chaque côté d'une grande plaque d'environ 1,20 m de côté avec de la glue arboricole et une phéromone d'agrégation afin d'attirer massivement les adultes à l'automne (**figure 9**). Des tests sont en cours avec différentes glues et positionnement en bordure de verger ou de bâtiments. Ce mode de piégeage permettrait également le suivi des populations en saison pour les stades où les punaises sont mobiles (excluant donc les œufs et les larves de stade I). Les pièges AgBio® et Diablex (anciennement ResCue®) semblent plus performants, grâce à des ailettes favorisant l'entrée dans le piège ([Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés](#)) (**figure 9**). Les pièges Harp O'Net ([Apiprotection, 2022](#)) sont des pièges électrifiés initialement conçus pour le frelon asiatique contre lequel ils sont assez efficaces. Ces pièges sont constitués d'un cadre en bois traversé par des fils en laiton électrifiés. Les insectes sont attirés par une combinaison de phéromones, touchent les fils électrifiés et tombent dans un bac d'eau où ils meurent noyés (**figure 9**). Ce piège est en cours d'essai dans les Pyrénées Atlantiques où 50 à 250 individus ont été comptabilisés morts par jour pendant 1 mois ([Le kiwi des producteurs français - Résultats non publiés](#)), cependant il est assez lourd (5kg) et représente un investissement onéreux pour des producteurs (à partir de 275 euros sans panneaux solaires ni phéromones). Les pièges à vibration développés par Agro Electronics ([Agro Electronics, 2021](#)) sont également à l'essai en Italie (**figure 9**). Ces pièges, associés à des phéromones Trécé font vibrer des lanières pour imiter les herbes hautes qui attirent les punaises. D'autres pièges développés par la société Biogard font vibrer des lanières pour imiter les hautes herbes et attirer les punaises avec l'ajout de phéromones d'agrégation. Ces pièges à l'essai à la station Sud Expé piègent 3 fois moins d'individus que les pièges Diablex. Pour



Figure 10 : Photo d'*Anastatus bifasciatus*, parasitant des œufs de *Halyomorpha halys* (Photo : Alexandre Bout à l'INRAE)

chaque piège, l'efficacité est toujours améliorée lorsqu'une phéromone est utilisée en combinaison du piège.

Les produits attractifs

Les **phéromones** sont des molécules naturelles permettant d'attirer les punaises. Il existe différents types de phéromones chez les insectes telles que les phéromones sexuelles, d'alarme et d'agrégation (Descoins, 2022). Les phéromones d'agrégation sont les seules commercialisées à ce jour pour les punaises. Cependant, toutes les phéromones disponibles en France sont spécifiques de la punaise diabolique *H.halys*. Elles sont composées de murganthiol (phéromone d'agrégation) avec ou sans methyl (E,E,Z)-2,4,6-decatrienoate (MDT) (phéromone d'agrégation) selon le fournisseur. Les phéromones du fournisseur Trécé semblent être les plus efficaces pour piéger *H.halys* (GIS Fruits, 2022). En effet, de début avril à fin septembre 2021, la station d'expérimentation Sud Expé a capturé 165 punaises diaboliques avec les phéromones Trécé (composées de murganthiol et de MDT) contre 67 pour les Bioprox (composées de murganthiol et de MDT) et seulement 4 pour les Progarein (composées de murganthiol) (Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés).

Lutte biologique

La **lutte biologique** utilise des organismes vivants pour prévenir ou lutter contre les attaques des ravageurs de plantes. Ces organismes auxiliaires peuvent être des prédateurs, parasitoïdes ou agents pathogènes. Cette stratégie n'utilise pas de pesticides et les auxiliaires sont spécifiques de leur hôte ou groupe d'hôtes. Dans le cadre de la lutte contre la punaise diabolique, les parasitoïdes sont les auxiliaires les plus étudiés. Les Hyménoptères parasitoïdes oophages tels que *Trissolcus japonicus*, *Trissolcus mitsukurii*, *Anastatus bifasciatus*, *Trissolcus cultratus* et *Trichoncyboide simoni* peuvent se développer aux dépens des oeufs de *H.halys*, dans lesquels ils pondent leurs propres oeufs (**figure 10**).

Le parasitoïde *Trissolcus japonicus* peut parasiter entre 60 et 90% des œufs en Asie selon une étude de Chouinard et Larose réalisée en 2018. Ce parasitoïde est originaire d'Asie mais il a également été détecté dans plusieurs états américains en 2014 et New York en 2016. Il a donc un potentiel intéressant pour réduire les populations de punaises diaboliques à des niveaux plus gérables pour les producteurs. En Italie du Nord, une étude sur 3 ans a été réalisée par l'équipe de Scaccini *et al.* en 2020 afin d'évaluer les capacités du parasitoïde *Trissolcus mitsukurii*. Cette espèce s'est révélée être la plus abondante dans la région étudiée et montrant le plus haut taux de parasitisme (i.e : nombre d'oeufs de *H.halys* parasités sur le nombre total d'oeufs collectés en verger), de 32% à 100% oeufs parasités par rapport aux autres espèces de parasitoïdes, à savoir, *Trissolcus basalis* (4% à 18%) et *Anastatus bifasciatus* (7% à 46%).

En France, *Trissolcus mitsukurii*, *Trissolcus japonicus* et *Anastatus bifasciatus* sont les principaux candidats pour lancer des essais en lutte biologique. Cependant *Trissolcus japonicus* et *mitsukurii* étant originaires d'Asie, ils doivent d'abord disposer d'une autorisation d'introduction délivrée par l'ANSES et d'un accord pour dérogation de la DGAL afin que les laboratoires puissent réaliser des tests préliminaires. Cette autorisation réglementaire ayant été suspendue en mai 2022 (motif non communiqué), ces 2 parasitoïdes

sont écartés pour le moment. Le parasitoïde *A.bifascitus* étant naturellement présent en France, il est également un candidat intéressant. Des essais sont en cours afin de l'élever en nombre suffisant afin de réaliser des lâchers en verger. Cependant son coût de production élevé, les difficultés de transport et stockage ainsi que les incertitudes d'efficacité liées à l'environnement en verger rendent cette méthode délicate à utiliser pour les agriculteurs. Il est donc indispensable de poursuivre les recherches afin de garantir une efficacité suffisante, une faisabilité des protocoles et des coûts abordables pour les producteurs.

Les produits de biocontrôle

Les recherches réalisées sur les **produits de biocontrôle** contre les punaises phytophages sont jusqu'à maintenant peu concluantes. Des essais ont été menés pour évaluer l'efficacité du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* mais il s'est avéré inefficace (Dumont et Provost, 2018). Les essais avec de la terre de diatomée n'ont pas non plus montré de différence significative en termes de dégâts entre les arbres traités et non traités (Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés).

Plantes de service

Les **plantes attractives**, si elles sont placées en bordure de parcelle, peuvent attirer les punaises en dehors de la parcelle contenant la culture à protéger. Le tournesol a permis une réduction significative du nombre de punaises dans la culture par rapport au témoin sans tournesol en bordure dans plus de 5 études différentes en France, aux USA et en Chine (Boquel et Latraverse, 2018 contre la punaise *E. servus euschistoides*; Nielsen et al., 2016, Mizell et al., 2008, Mathews et al., 2017 et Blaauw et al., 2017 contre *H.halys*; Zhang et al., 2020 contre *Lygus pratensis*). Le sorgho est également un candidat intéressant contre *N.viridula* (Tillman et al., 2006) et *H.halys* (Nielsen et al., 2016, Mizell et al., 2008, Mathews et al., 2017). La luzerne (Accinelli et al., 2005 ; Swezey et al., 2014), le colza (Gard et al., 2019) et la vesce (Tillman et al., 2004) montrent eux aussi une certaine efficacité contre les punaises phytophages (*Lygus spp.*) de la famille des miridées . La phacélie est également une plante piège intéressante pour attirer les punaises phytophages. Cette dernière une plante mellifère fleurissant dès le mois de juin (période qui concorde avec l'augmentation du nombre de punaises phytophages) avec une croissance rapide lui octroyant ainsi une bonne résistance face aux adventices. Elle est également facilement broyable afin de détruire les punaises piégées au cours de l'été.

Le projet SUPOR

Pour donner suite à l'augmentation du nombre de dégâts de punaises et l'absence d'insecticides autorisés en France pour lutter contre ces dernières, de nombreux projets ont vu le jour. En 2020, le CTIFL a lancé le projet IMPULsE visant à travailler sur la maîtrise des punaises phytophages en cultures légumières sous abri et plein champ. La même année, le CTIFL a également lancé le projet SUPOR qui, lui, vise la maîtrise des punaises en verger.

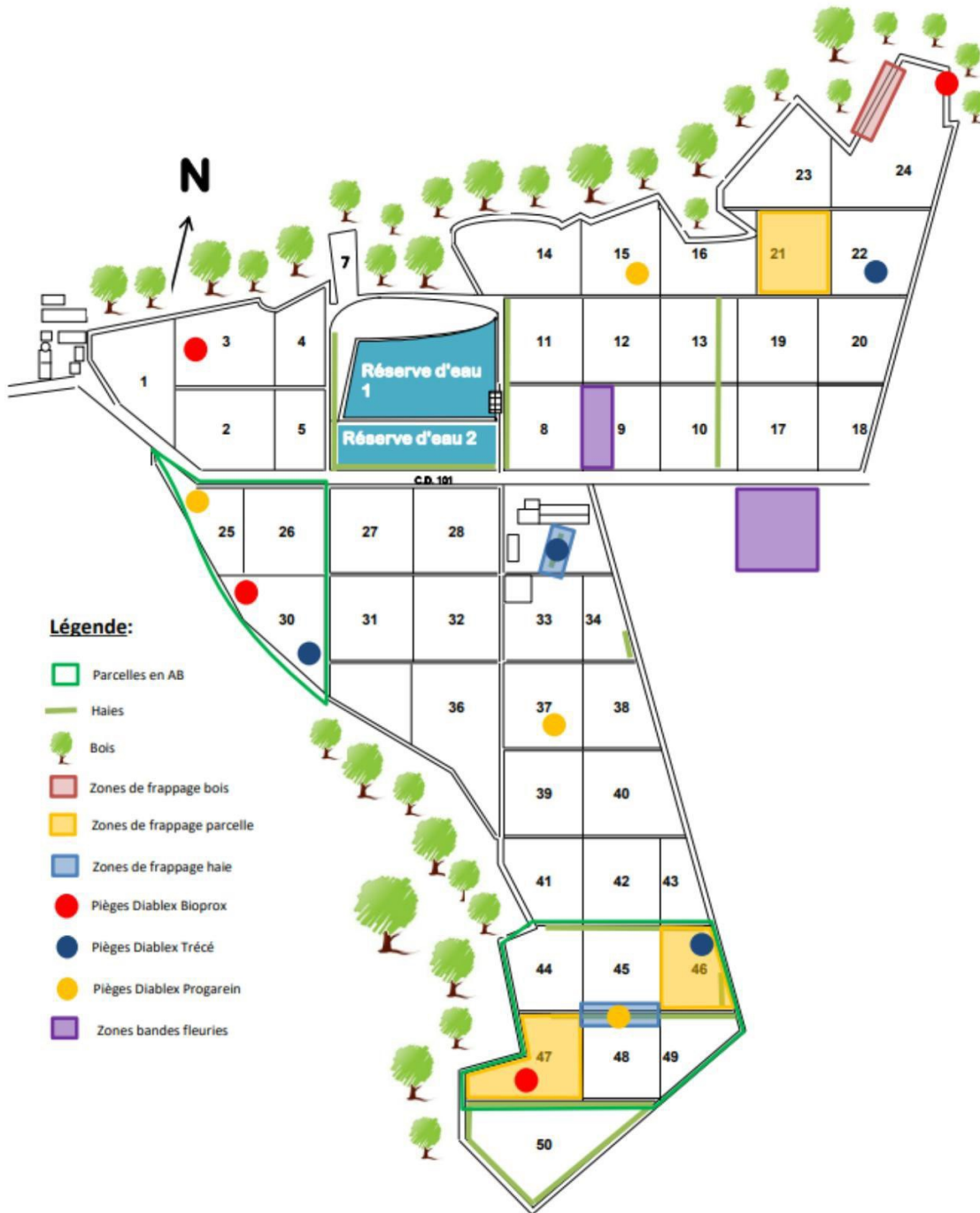


Figure 11 : Plan du parcellaire du CTIFL de la Morinière

Ce projet financé par FranceAgriMer rassemble le CTIFL de La Morinière, l'INRAE, la Chambre d'Agriculture Savoie-Mont-Blanc et les stations régionales de La Pugère et SudExpé. Son objectif est d'évaluer l'efficacité de stratégies de protection contre les punaises phytophages responsables de dégâts en vergers de pommiers et de poiriers. Les principales espèces étudiées dans ce projet appartiennent à la famille des Pentatomidae (*Palomena prasina*, *Rhaphigaster nebulosa*, *Halyomorpha halys*) et à celle des Coreidae (*Coreus marginatus* et *Gonocerus acuteangulatus*). Le projet SUPOR vise l'amélioration de la connaissance des espèces problématiques et la recherche d'auxiliaires naturels (prédateurs ou parasitoïdes). En parallèle, le projet vise également à évaluer des stratégies de protections alternatives aux insecticides : barrières physiques, utilisation de plantes de service, combinaison de méthodes.

Les objectifs et problématique du stage

Les objectifs de ce stage consistent donc à poursuivre les recherches sur la biologie des punaises phytophages et à évaluer des méthodes de lutte contre ces dernières. Ces objectifs alimentent la problématique suivante : en quoi le suivi de la dynamique des populations de punaises permet-il d'approfondir leur biologie et dans quelle mesure les pièges avec différentes phéromones d'agrégations et l'installation de bandes pièges sont-ils des moyens de lutte efficaces en verger de pommier ?

Matériels & méthodes

Les protocoles mis en place lors du stage ont été élaborés afin de suivre les dynamiques des populations de 4 espèces de punaises, évaluer la spécificité d'action de 3 phéromones et déterminer en quelle proportion les punaises phytophages ou prédatrices peuvent se retrouver dans des bandes de tournesol et phacélie. Ces suivis et expérimentations seront également évalués en fonction du type de zone étudiée (parcelle, haie multi espèces et bois) ainsi que la conduite de la zone étudiée (PFI et AB). Les parcelles en PFI utilisent des moyens de lutte chimique raisonnés en combinaison avec des moyens de lutte alternatifs. Les parcelles en AB utilisent également tous les moyens de lutte alternatifs utilisés en PFI mais avec des produits chimiques uniquement homologués en AB. L'effet variétal des pommiers ne sera pas étudié.

Matériel végétal

Les expériences sont réalisées sur des pommiers conduits en AB ou en PFI, des haies multi espèces à proximité de parcelles conduites en AB ou PFI et en bordure de bois. Les espèces et variétés de chaque type de zone (**figure 11**) sont décrites dans le **tableau I**. Les arbres de production étudiés sont âgés de 3 à 14 ans (en moyenne 7 ans) et sont irrigués par microjet sous frondaison.

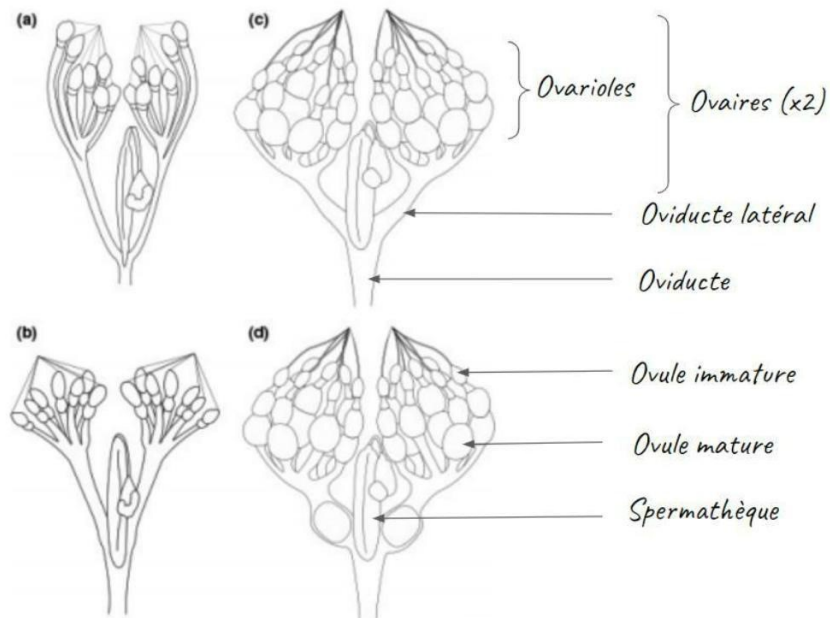


Figure 12 : Dessin de l'anatomie de l'appareil génital des punaises femelles en fonction de 4 stades de maturité ovarienne (de a à d). (a) un ovocyte immature par ovariole (b) plus d'un ovocyte immature par ovariole (c) au moins un ovocyte mature par ovariole (d) avec des ovocytes matures et au moins un ovocyte dans les oviductes latéraux. Dessin adapté de [Nielsen et al. en 2017](#).

Tableau I : Variétés et espèces présentes dans les parcelles, haies multi espèces et bois pour les expérimentations sur les punaises

Type de zone	Conduite de la zone	Variétés / espèces
Parcelle	PFI	Golden, Tentation®, Pink Lady®, Gala, Jazz®
	AB	Daliclass, Gala, Dalirène, Régalyon
Haie multi espèces	Proximité parcelles PFI et AB	Aulne cordé, Érable, Noisetier, Forsythia, Charme, Ronces et Lila
Bois	Proximité parcelles PFI	Nerprun des rochers, Peuplier, Chêne, Aubépine, Charme, Orme, Noisetier, Ronces

Suivi des populations par frappage

Le plan des zones frappées est disponible en **figure 11**. Les frappages ont été réalisés toutes les semaines du 21 mars au 31 août. Au sein de chaque zone, 33 arbres répartis en 3 blocs sont frappés en alternant des blocs orientés vers l'Est et l'Ouest. Chaque arbre est frappé 3 fois sur les branches charpentières à l'aide d'un bâton et les insectes sont récupérés dans un parapluie japonais blanc d'1m² placé sous le feuillage. Toutes les punaises tombées dans le parapluie sont identifiées (espèce et stade de développement) et les adultes sont récupérés dans des tubes à essai afin d'identifier leur sexe. Seules les femelles sont gardées afin de déterminer leur stade de développement ovarien. Les punaises sont tuées dans de l'alcool à 90° afin de permettre une mort rapide puis elles sont conservées à -4°C en attendant d'être disséquées. La pression en punaise étant faible à moyenne sur le site de La Morinière, les punaises récupérées lors de frappages annexes, autres comptages ou observations visuelles sont également comptabilisés de manière hebdomadaire afin d'obtenir un suivi global des populations de punaises plus complet.

Évaluation de la maturité sexuelle

L'évaluation de la maturité sexuelle des femelles permet d'anticiper les premières pontes en verger. Le protocole de dissection utilisé est un protocole interne basé sur l'étude de [Nielsen et al. \(2017\)](#). La détermination du stade de maturité sexuelle est basée sur la même étude (**figure 12**) et complétée avec des photos réalisées au CTIFL de La Morinière. Les observations ont été réalisées sous loupe binoculaire. Les dissections ont débuté en mars jusqu'en juin lorsque les femelles des 4 espèces étudiées étaient toutes sexuellement matures et que la population des adultes disparaissait pour laisser place à la nouvelle génération. Les dissections ont repris lorsque les premiers adultes de la nouvelle génération sont apparus.

Évaluation de la spécificité de pièges à phéromones d'agrégation

Les phéromones utilisées aujourd'hui pour attirer les punaises sont toutes spécifiques



Figure 13 : Photo d'un piège Diablex (Photo : Julie Hennequin)

d'*H.halys*. Cependant, dans les régions du Sud de la France où la pression en punaises est élevée, certaines punaises d'autres espèces sont parfois piégées avec ces phéromones. L'objectif est donc d'évaluer la spécificité d'action de phéromones issues de 3 sociétés différentes et vérifier si les pièges sont capables de capturer les espèces de punaises présentes au CTIFL de La Morinière. Les pièges Diablex contenant les phéromones de la société Trécé (x4) et Progarein (x4) ont été installés le 4 avril 2022 et les pièges avec les phéromones de la société Bioprox (x4) ont été installés le 11 avril 2022. Les relevés sont réalisés toutes les semaines jusqu'au 31 août. Les pièges Diablex sont constitués d'ailettes vertes menant à l'intérieur du piège. Ces dernières sont perforées de petits trous afin de faciliter l'adhésion et la montée des punaises le long des ailettes. La couleur verte a été choisie pour imiter la couleur du feuillage. Une fois les punaises à l'intérieur, une petite cuvette lisse empêche leur retour vers l'entrée du piège (**figure 13**).

Les phéromones utilisées sont décrites dans le **tableau II** et accrochées à l'intérieur du piège. Les phéromones de chaque société ont été testées en 4 répétitions et réparties sur des parcelles conduites en PFI ou AB ainsi que dans les haies multi espèces et le bois. Le plan de la disposition des différents pièges est présenté sur la **figure 11**.

Tableau II : Caractéristiques des 3 phéromones testées

Société	Bioprox	Trécé	Progarein
Composition	Murganthiol et MDT	Murganthiol et MDT	Murganthiol
Durée d'action (sem.)	8	8	10

Évaluation du nombre de punaises présentes dans des plantes pièges

Les plantes initialement choisies étaient le tournesol et le sorgho et les graines devaient être semées en avril afin d'être en pleine floraison de juillet à octobre. Cependant, en raison d'une sécheresse prolongée, les graines ont été plantées fin mai, retardant ainsi la floraison de 2 mois. Par conséquent, les résultats obtenus ont été complétés par 2 nouveaux comptages. Le premier a été réalisé dans un champ de tournesol déjà en fleurs situé à proximité du site de La Morinière. Le deuxième a été réalisé dans une bande fleurie mise en place pour une autre expérimentation du site et constituée d'un mélange de phacélie et de 5 variétés de trèfles. Un comptage témoin a également été réalisé au sein d'un inter rang proche d'une parcelle de poiriers. L'objectif, ici, est donc de déterminer si des punaises phytophages étaient présentes dans ces bandes et si oui, en quelle proportion. Les punaises prédatrices, utiles au verger pour la régulation de certains ravageurs, ont également dénombrées dans les bandes attractives afin d'évaluer le risque qu'elles se retrouvent également piégées. Chaque modalité (tournesol, sorgho, tournesol situé dans le champ, phacélie et inter rang) a été évaluée en 4 blocs de 1m². Le comptage a été réalisé toutes les 2 semaines du 26 juin au 31 août par 2 observateurs qui regardaient chaque bloc pendant 5 minutes. Les critères évalués sont le nombre de punaises phytophages et prédatrices. Le taux de recouvrement des espèces semées et adventices est également noté au sein de chaque bloc.

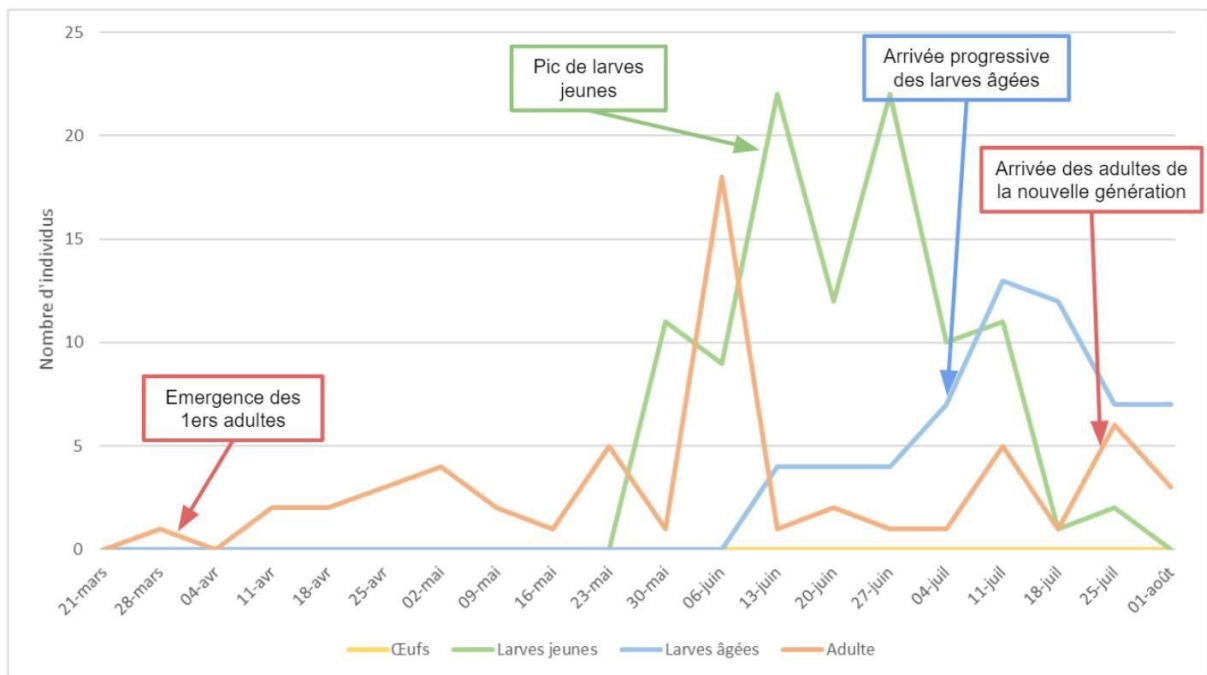


Figure 14 : Nombre de punaises capturées par frappe en fonction du temps et des différents stades de punaises toutes espèces confondues

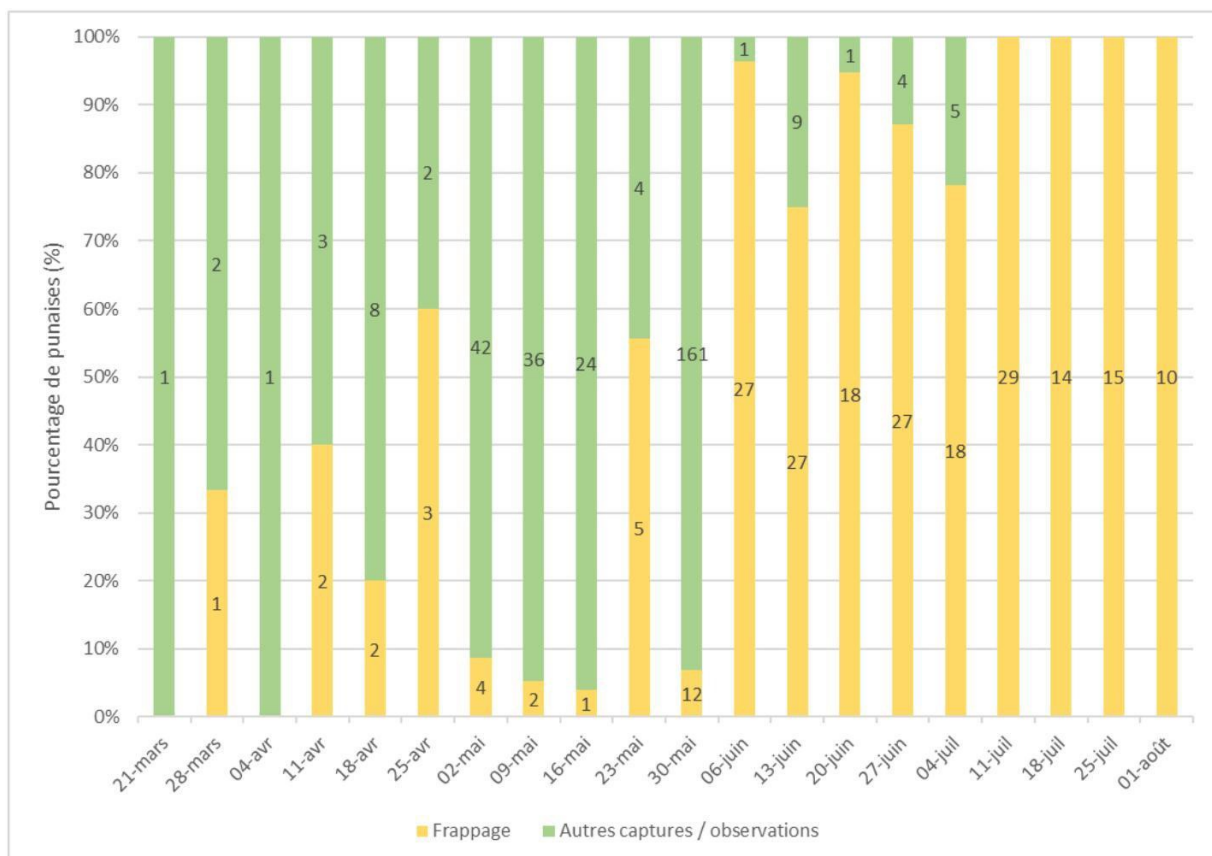


Figure 15 : Pourcentage de punaises capturées par frappe et par autres captures ou observations visuelles

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont uniquement été réalisées sur les essais en bandes fleuries car aucune répétition n'a été faite sur les autres expérimentations ou sur les suivis de populations. La distribution du nombre de punaises observées dans les bandes fleuries était significativement différente d'une distribution normale, les échantillons étaient supérieurs à 2 et indépendants, ainsi les résultats ont été analysés avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Dans le cas où ce test est significatif, il n'indique pas quel échantillon domine un autre échantillon, ni pour combien de paires d'échantillons. Le test de comparaisons multiples de Dunn a donc permis de déterminer la dominance stochastique de chaque paire d'échantillons avec un risque $\alpha < 0,05$. Tous les tests ont été réalisés avec le logiciel R-Studio (version 3.6.1).

Résultats

Les espèces de punaises recherchées sont *Rhaphigaster nebulosa*, *Palomena prasina*, *Coreus marginatus*, *Gonocerus acuteangulatus* et *Halyomorpha halys*. Cependant, aucune punaise diabolique (i.e : *H.halys*) n'ayant été capturée au cours du stage, les résultats obtenus ne présenteront que les 4 autres espèces étudiées.

Suivi des populations

Par frappage

La **figure 14** représente le cycle biologique des punaises (toutes espèces confondues) uniquement obtenu avec les données de frappages. Les punaises adultes de la 1ère génération ont été capturées du 28 mars au 11 juillet avec un pic le 6 juin ($n = 18$). Aucun œuf de punaise n'a été trouvé par frappage. Les larves jeunes ont été capturées du 30 mai au 25 juillet, soit sur une période de 2 mois. Deux pics de larves jeunes ont été observés le 13 et le 27 juin ($n = 22$). Les larves âgées ont été capturées du 13 juin au 1er août avec un pic le 11 juillet ($n = 13$). Les adultes de la 2ème génération (i.e : femelles à l'état adulte au stade ovarien a) ont été capturés du 25 juillet au 1er août.

La **figure 15** représente le pourcentage de punaises capturées par frappage uniquement ou par autres captures ou observations visuelles. Du 21 mars au 30 mai, il y a en moyenne 21% de punaises récupérées par frappage contre 79% par d'autres moyens de capture ou observations visuelles. Du 6 juin au 1er août, le constat s'inverse car les frappages représentent en moyenne 92% des captures contre 8% pour les autres captures / observations.

Par frappages et autres captures / observations

La **figure 16** représente le cycle biologique des punaises (toutes espèces confondues) en compilant les données des frappages uniquement et des autres captures / observations. Les punaises adultes de la

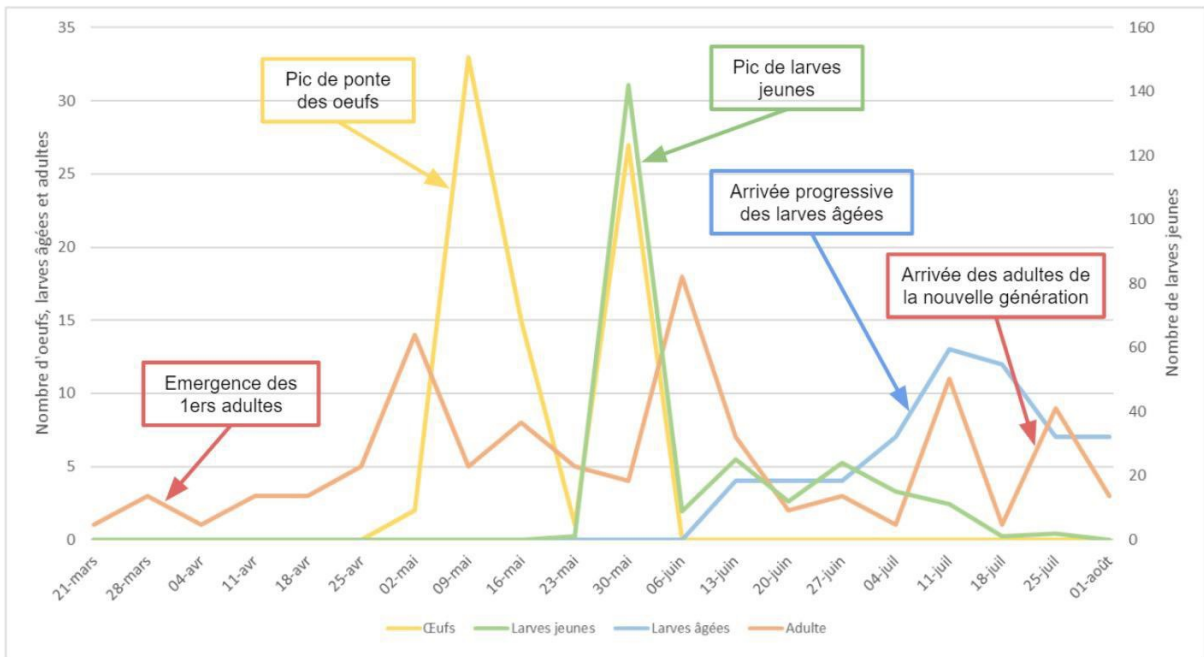


Figure 16 : Nombre de punaises capturées par frappage et autres captures / observations en fonction du temps et des différents stades de punaises

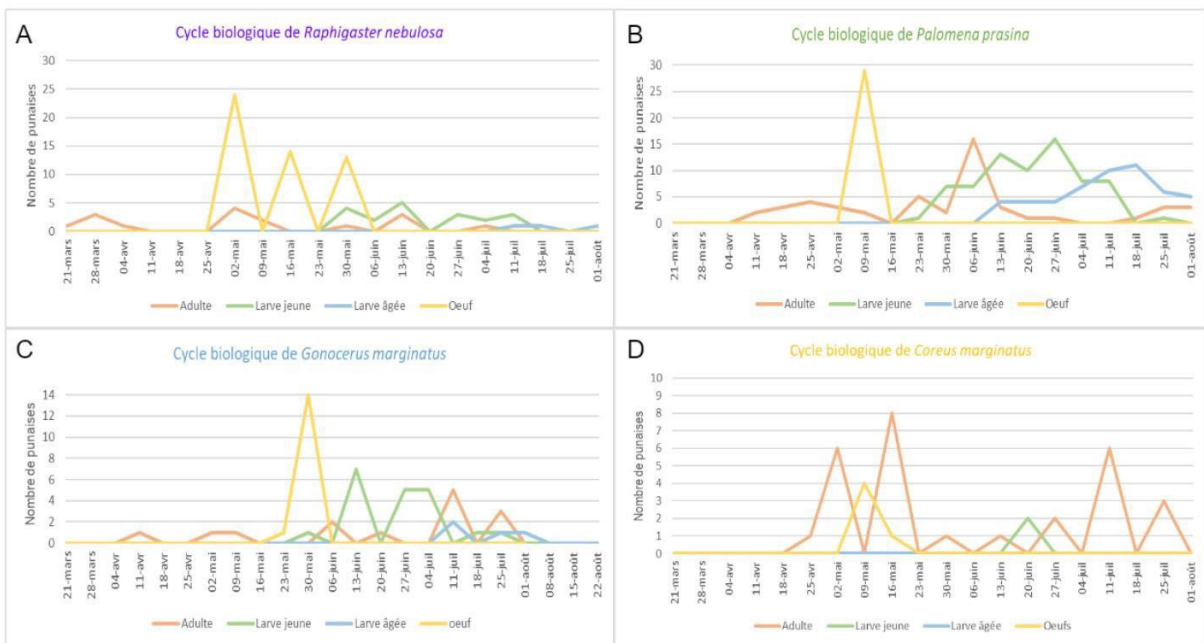


Figure 17 : Cycle biologique des punaises *Rhaphigaster nebulosa* (A), *Palomena prasina* (B), *Gonocerus acuteangulatus* (C) et *Coreus marginatus* (D) du 21 mars au 1er août.

1ère génération ont été capturées du 21 mars au 11 juillet avec un pic le 2 mai (n = 14) et le 6 juin (n = 18). Les œufs de punaises ont été trouvés du 9 mai (n = 30) au 30 mai (n = 27). Les larves jeunes ont été capturées du 30 mai (pic avec n > 140) au 25 juillet, soit sur une période de 2 mois. Les larves âgées ont été capturées du 13 juin au 1er août avec un pic le 11 juillet (n = 13). Les adultes de la 2ème génération (i.e : femelles adulte au stade ovarien a) ont été capturés du 25 juillet au 1er août.

Cycle biologique par espèce de punaise

Les premières punaises de l'espèce *R.nebulosa* ont été capturées le 21 mars et les derniers adultes de la 1ère génération ont été capturés le 4 juillet. Les larves jeunes ont été capturées du 30 mai au 11 juillet et les larves âgées ont été capturées du 11 juillet au 1er août. Aucune femelle n'a été retrouvée au stade ovarien a (considérées comme la 2nd génération) sur la période du 21 mars au 1er août. Environ 1 à 5 individus (tous stades confondus sauf oeufs) étaient observés par semaine (**figure 17-A**). Les premières punaises de l'espèce *P.prasina* ont été capturées le 11 avril et les derniers adultes de la 1ère génération ont été capturés le 27 juin. Les larves jeunes ont été capturées du 30 mai au 25 juillet et les larves âgées ont été capturées du 13 juin au 1er août. Les 1ères femelles de la 2ème génération ont été capturées le 25 juillet. Environ 1 à 16 individus (sauf oeufs) étaient observés par semaine (**figure 17-B**).

Les premières punaises de l'espèce *G.acuteangulatus* ont été capturées le 11 avril et les derniers adultes de la 1ère génération ont été capturés le 11 juillet. Les larves jeunes ont été capturées du 30 mai au 25 juillet et les larves âgées ont été capturées du 11 juillet au 1er août. Les 1ères femelles de la 2ème génération ont été capturées le 25 juillet. Environ 1 à 7 individus (sauf oeufs) étaient observés par semaine (**figure 17-C**).

Les premières punaises de l'espèce *C.marginatus* ont été capturées le 25 avril et les derniers adultes de la 1ère génération ont été capturés le 11 juillet. Les larves jeunes ont été capturées le 20 juin. Aucune larve âgée n'a été capturée. Les 1ères femelles de la 2nd génération ont été capturées le 25 juillet. Environ 1 à 8 individus (sauf oeufs) étaient observés par semaine (**figure 17-D**).

L'espèce *P.prasina* est l'espèce de punaise la plus présente sur le site de La Morinière (200 individus observés soit 53% de toutes les punaises capturées) devant *R.nebulosa* (89 individus soit 24%), *G.acuteangulatus* (53 individus soit 14%) et *C.marginatus* (35 individus soit 9%). Environ 30% des individus capturés étaient des larves jeunes, 28% des adultes, 27% des œufs et 15% des larves âgées (**figure 18**).

Maturité ovarienne

Les punaises femelles de la 1ère génération (notée G0) étaient au stade ovarien a du 21 mars au 11 avril. Elles étaient au stade b du 11 avril au 9 mai, au stade c du 18 avril au 25 juillet et au stade d (stade mature) à partir du 25 avril jusqu'au 6 juin. Les premières pontes ont donc théoriquement pu avoir lieu

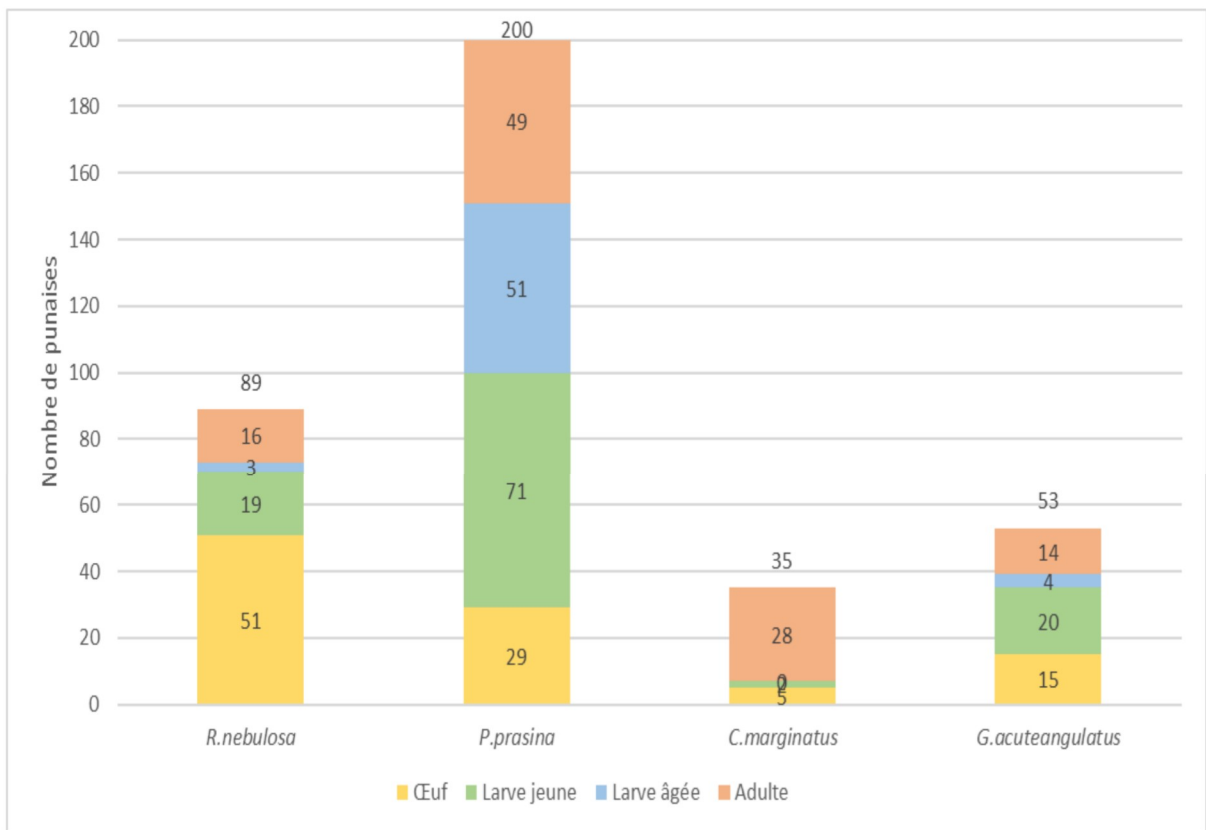


Figure 18 : Nombre de punaises par stade et par espèce.

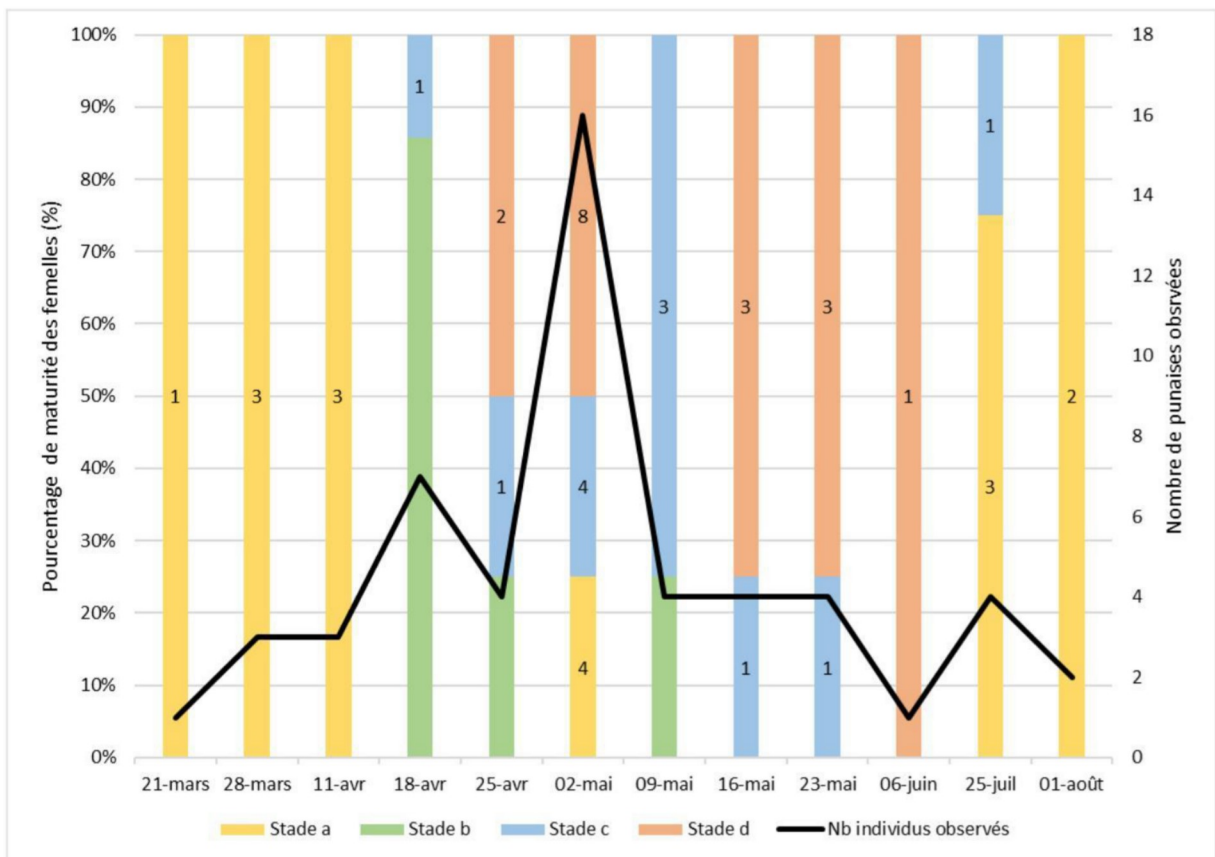


Figure 19 : Pourcentage de punaises femelles en fonction du temps et de leur stade de maturité ovarienne.

à partir du 25 avril. Les premières punaises femelles de la 2ème génération ont été capturées à partir du 25 juillet (**figure 19**).

Localisation des punaises

La majorité des punaises ont été retrouvées dans les parcelles conduites en PFI (298 individus soit 58% des punaises capturées). Elles ont été retrouvées à 18% dans les bois (91 individus), à 14% dans les haies multi espèces (71 individus) et à 11% dans les parcelles conduites en AB (58 individus). Il y a 5 fois plus de punaises retrouvées dans les parcelles conduites en PFI que dans les parcelles conduites en AB. Les environnements naturels tels que les bois et les haies multi espèces représentent 32% des punaises capturées du 21 mars au 1er août.

L'espèce *P.prasina* (n = 274) est présente en majorité dans toutes les localisations étudiées devant l'espèce *R.nebulosa* (n = 156), *G.acuteangulatus* (n = 58) et enfin l'espèce *C.marginatus* (n = 30) (**figure 20**).

Les punaises étudiées ont été capturées dans 18 essences différentes. Environ 40% des punaises capturées ont été retrouvées dans des pommiers contre 60% dans les autres essences. Les 6 autres essences contenant le taux le plus important de punaises capturées sont l'érable (12%), le chêne (9%), le charme (8%), le peuplier (7%), le poirier (5%) et le noisetier (4%) (**figure 21**).

Bandes pièges

Le nombre moyen de punaises phytophages et prédatrices n'est pas significativement différent entre les 3 dates d'observation (**figure 22**). Le 29 juin, il y avait significativement plus de punaises (toutes espèces confondues) au sein de la bande piège "Tournesol champ" et "Phacélie" que dans les bandes pièges "Tournesol", "Sorgho" et le témoin "Inter rang". Le 13 juillet, il y avait significativement plus de punaises au sein de la bande "Tournesol champ" que dans les autres bandes pièges. Le 28 juillet, il n'y avait aucune différence significative du nombre de punaises entre les 4 bandes pièges et le témoin.

Toutes dates confondues, il y avait significativement plus de punaises dans la bande piège "Tournesol champ" et "Phacélie" que dans les autres bandes pièges, tandis qu'aucune différence significative n'a été observée entre le témoin "Inter rang", la bande de "Sorgho" et la bande de "Tournesol" (**annexe 1**). Pour les 3 dates, il y avait plus de punaises de l'espèce *Anthocoris sp.* (Punaise prédatrice) que les autres espèces phytophages et il y avait significativement plus de punaises de l'espèce *Coreus marginatus* que de l'espèce *Gonocerus et Rhaphigaster* (**annexe 1**).

Au sein des bandes pièges de tournesol et sorgho (A), la végétation en adventices (i.e : toutes les espèces végétales indigènes non semées) occupe entre 7% et 53% de la surface totale des blocs observés contre 16% à 43% pour les espèces d'intérêt semées (**figure 23**). Au 29 juin et 13 juillet, il y a autant d'espèces semées que d'adventices alors qu'au 28 juillet, il y a 3 fois plus d'espèces semées (21%) que d'adventices (7%). Le pourcentage de recouvrement du tournesol a augmenté de 36% à 44%

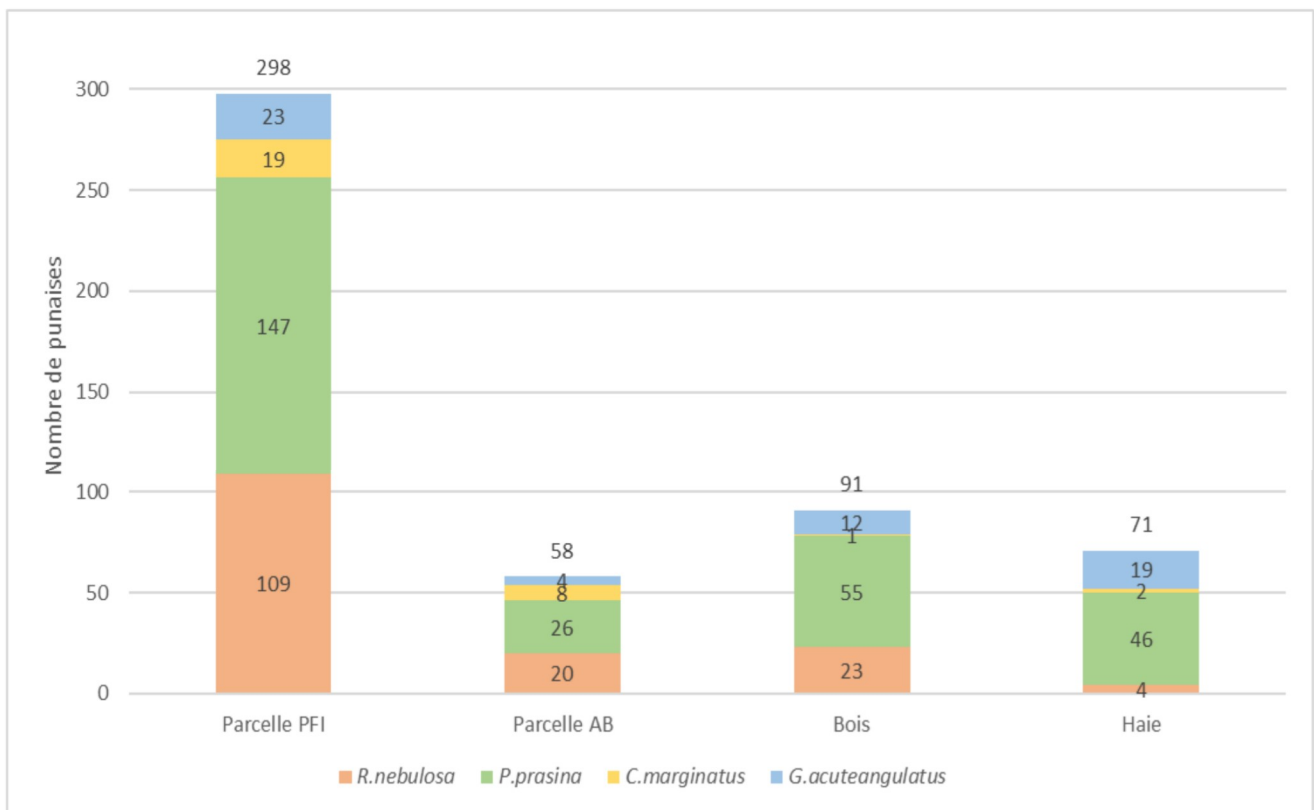


Figure 20 : Pourcentage de punaises présentes dans chaque environnement en fonction des espèces et toutes dates confondues.

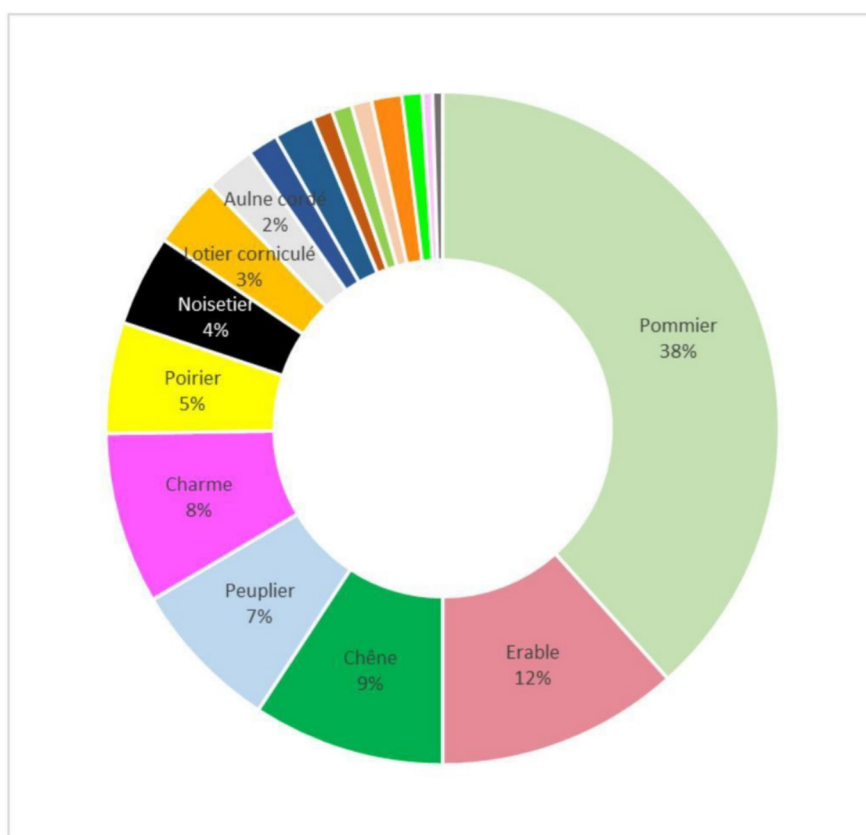


Figure 21 : Pourcentage de chaque essence sur lesquelles les punaises ont été retrouvées.

le 13 juillet puis a diminué de 44% à 28% le 28 juillet tandis qu'il a constamment augmenté pour le sorgho (de 36% au 29 juin à 80% au 28 juillet).

Le pourcentage de recouvrement total moyen au sein de la bande de phacélie (A) n'a quasiment pas évolué entre les 3 dates (entre 70% et 79%). Du 29 juin au 28 juillet, il y a toujours eu plus de recouvrement d'espèces semées (respectivement 56%, 55% et 55%) que d'espèces adventices (respectivement 23%, 24% et 15%).

Au niveau de l'inter rang (A), soit la modalité témoin, le taux de recouvrement moyen est resté à 100% pour les 3 dates d'observation tandis que le taux d'espèces en fleur était de 0% à 4%.

Au sein de la bande de tournesols situés dans le champ (B), le pourcentage moyen de tournesol dans les blocs n'a pas évolué au cours du temps (75% de recouvrement) tandis que le taux d'adventices a diminué de 56% (29 juin) à 25% (28 juillet) au cours de la période d'observation. Le taux de floraison a augmenté de 11% à 96% du 29 juin au 13 juillet puis a diminué à 4% le 28 juillet.

Piégeage

Aucune des 5 espèces de punaises étudiées n'a été piégée dans les pièges Diablex en association avec les phéromones des sociétés Trécé, Bioprox et Progarein du 21 mars au 1er août. Il n'y a donc aucune différence de piégeage entre les 5 espèces de punaises ni entre les 3 phéromones d'agrégations testées ou entre différentes localisations de ces pièges (parcelles conduites en PFI, en AB, bois et haies multi espèces).

Discussion

Comparaison des frappages avec les autres captures

La compilation des frappages avec les autres captures et observations permet un suivi plus complet des populations de punaises que les frappages uniquement. En effet, ces derniers ont permis jusqu'à 29 captures par semaine contre plus de 170 pour la compilation des méthodes. Cette différence peut s'expliquer en partie par le nombre de zones recensées : les frappages étaient réalisés dans 6 zones du verger toutes les semaines (1 en PFI, 2 en AB, 1 dans les bois et 2 dans les haies multi espèces) contre 15 zones avec la compilation de toutes les données du 21 mars au 1er août (8 en PFI, 3 en AB, 2 dans les bois et 2 dans les haies multi espèces). Les frappages permettaient un recensement des punaises une demi-journée par semaine contre 2 à 5 jours par semaine pour les autres captures et observations "accidentelles". Le terme "accidentelles" réfère aux punaises rencontrées par hasard lors d'autres essais que ceux évoqués au cours du document et pouvant être rapportées par tous les expérimentateurs présents au centre opérationnel de La Morinière. De plus, les punaises observées lors des frappages étaient uniquement accessibles à hauteur d'homme en raison du protocole de frappe tandis que certaines captures et observations de la compilation ont pu être réalisées au niveau de la cime des arbres.

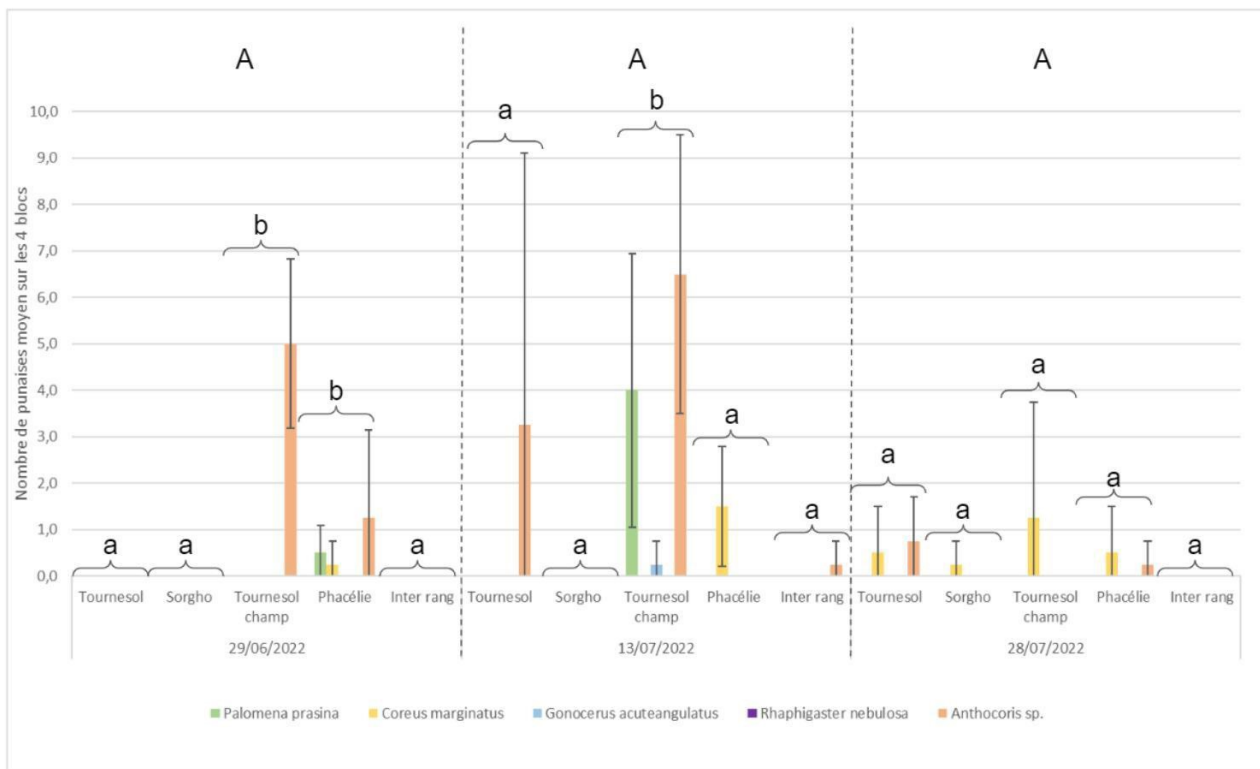


Figure 22 : Nombre de punaises phytophages et prédatrices moyennes en fonction du temps (3 dates), de l'espèce (5 espèces) et de la modalité (5 modalités). Les lettres identiques ne sont pas significativement différentes. Les lettres majuscules comparent les 3 dates et les minuscules comparent les modalités au sein de chaque date.

Le faible nombre de punaises observées chaque semaine avec les frappages peut également être dû à la faible pression en punaises au centre opérationnel de La Morinière. En 2021, à la date du 5 juillet, il y avait 2.6% de fruits piqués dans un rang sans filet Alt'Carpo à La Morinière contre 6.1% à la station de Sud Expé en 2020 (pression moyenne) et 25.1% à la Chambre d'Agriculture Savoie - Mont Blanc (pression élevée) (Alison *et al.*, 2020). Cependant, la pression en punaises dans les autres stations en France est principalement due à l'espèce *H.halys* non retrouvée à La Morinière. Les autres espèces étudiées telles que *R.nebulosa* ou *P.prasina* ne sont pas non plus très présentes dans le Sud comme à la station SudExpé qui recensaient 1 à 2 individus piégés de ces deux espèces par semaine de mars à octobre 2021. Il serait intéressant de pouvoir comparer les résultats obtenus à La Morinière avec d'autres stations d'expérimentation situées plus au Nord de la France et pour les espèces *R.nebulosa*, *P.prasina*, *C.marginatus* ou *G.acuteangulatus*. Cependant, il n'existe pas aujourd'hui d'autres stations en arboriculture plus au Nord que celle de La Morinière.

Les dates de capture de certains stades de punaises différaient entre les frappages et la compilation des relevés du 21 mars au 30 mai. Les adultes de la 1ère génération ont été découverts le 28 mars lors des frappages contre le 21 mars lors de la compilation avec les autres captures / observations. De plus, les frappages n'ont pas permis de trouver des œufs de punaises tandis qu'ils ont été capturés du 9 mai au 30 mai avec la compilation des données. Après le 30 mai aucune différence n'a été observée entre les deux types de relevés, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'à cette date, les données recensées étaient principalement issues des frappages (92%) par rapport aux autres captures et observations (8%). De plus, avant le 30 mai, le nombre de punaises dans les vergers est plus faible (150 larves et adultes en 2021 et 195 en 2022) que de juillet à fin septembre (390 larves et adultes en 2021) (Projet SUPOR 2021, résultats non publiés).

Ainsi, les frappages ne permettent pas un suivi aussi précis que la compilation des 2 types de relevés en début de saison (i.e : début mars à fin mai). Il faudrait donc augmenter le nombre de répétitions pour chaque type d'environnement suivi (PFI, AB, bois et haies). Cependant, il est important de préciser que le frappe hebdomadaire est une action très chronophage qui fait chuter un certain nombre de fruits à chaque passage. Le nombre de zones pouvant être frappées chaque semaine est donc limité afin que le suivi reste réalisable tout au long de la saison et que les pertes de fruits soient au maximum évitées pour la récolte. Néanmoins, la prise en compte, avec un suivi détaillé, des autres captures "accidentelles" et observations visuelles reste intéressante pour compléter les suivis, notamment en début de saison où la pression est faible.

Comparaison du suivi des populations 2022 avec 2021

La première punaise a été capturée le 21 mars en 2022 (suivi commencé le 14 mars) soit 8 jours plus tôt qu'en 2021 (suivi commencé le 8 mars). Cette précocité ne peut pas s'expliquer par un hiver plus doux en 2022 ayant favorisé la sortie d'hibernation des punaises car les températures hivernales

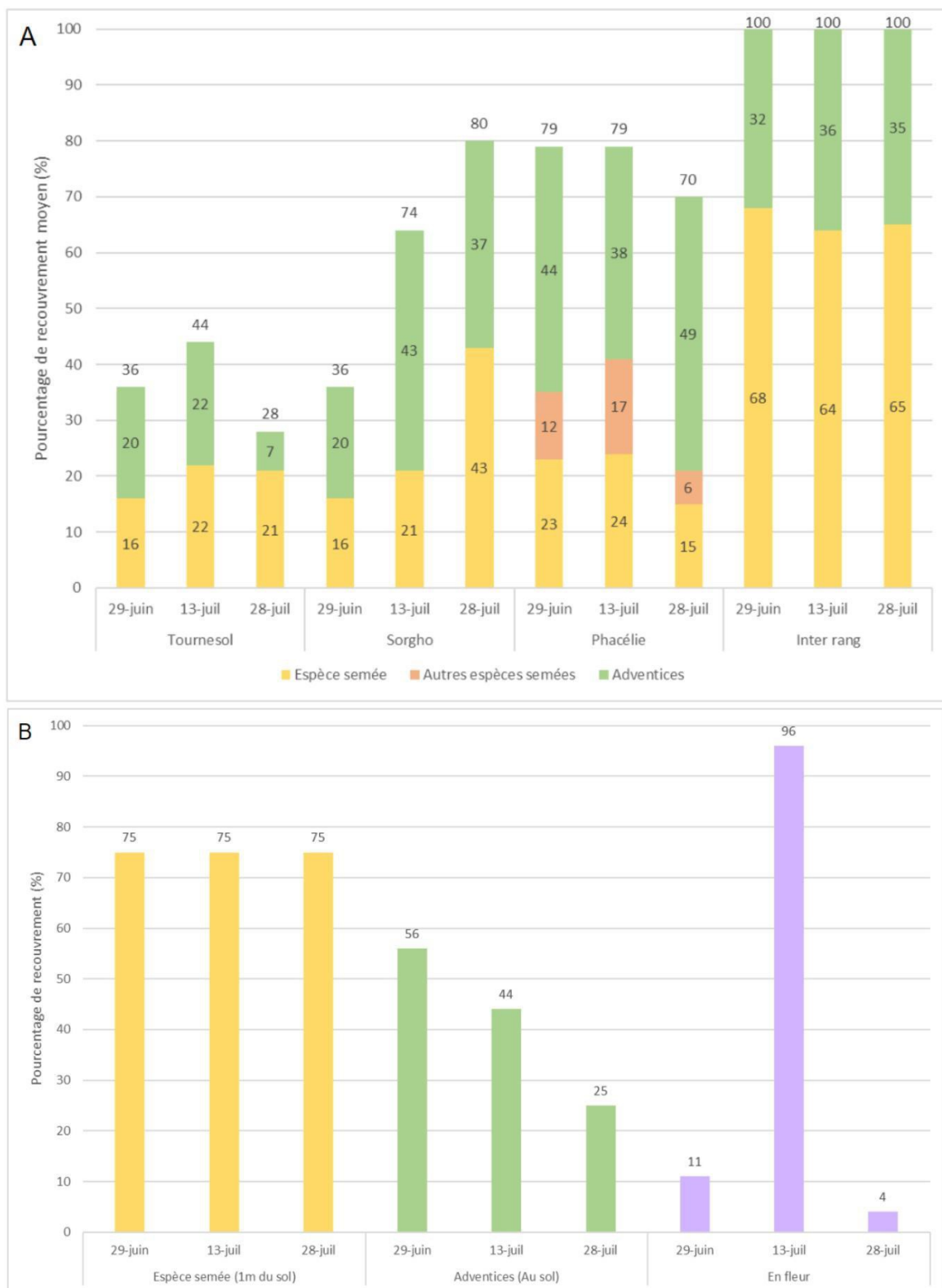


Figure 23 : Pourcentage de recouvrement moyen des espèces semées, adventives ou en fleur en fonction du temps au niveau des bandes pièges de (A) tournesols, sorgho, phacélie, témoin dans l'inter rang et (B) tournesols du champ.

moyennes à La Morinière étaient de 7,3°C en 2021 (de novembre 2020 à mars 2021) contre 6,7°C en 2022 (de novembre 2021 à mars 2021) (données de la station météo CIMEL à Saint-Épain).

Le graphique du suivi des populations en 2021 montre les résultats du 8 mars au 27 octobre (**figure 24**). Pour la période du 21 mars au 1er août, en 2021, un pic du nombre de punaises adultes (toutes espèces confondues) est observable de début mai à début juin (environ 10 à 40 individus observés par date). En 2022, 3 ou 4 pics d'adultes sont visibles début mai, début juin et au mois de juillet (environ 5 à 18 individus observés par date). Il semble donc que le nombre d'adultes observés augmente principalement de mai à juin en 2021 et 2022. Cependant, le nombre de punaises adultes observées en 2022 est globalement inférieur à 2021. Il est donc difficile de conclure à un pic de punaises lorsque les effectifs sont faibles comme en juillet 2022 (5 à 10 individus).

Les résultats de la saison 2022 différencient les larves jeunes (stades I, II et III) des larves âgées (stades IV et V) contrairement aux résultats de 2021 qui ne les différencient pas. En 2021 il y a eu 3 pics de larves : début juin (n = 70), début août (n = 40) et fin-août / début-septembre (n = 50). En 2022 (**figure 16**), il y a eu un pic de larves jeunes fin mai (n = 142) et un pic de larves âgées mi-juillet (n = 24). La distinction entre ces deux stades larvaires évite de conclure à une simple diminution du nombre de larves et permet de comprendre que ce sont plus précisément les larves âgées qui sont moins nombreuses. Les larves jeunes sont moins mobiles et souvent retrouvées ensembles tandis que les larves âgées sont plus mobiles et dispersées dans l'espace. De plus, le taux de survie des larves n'étant pas de 100%, toutes les larves jeunes ne deviennent pas âgées.

En 2021, l'espèce *Palomena prasina* était présente en majorité (39% des captures) suivie de *Coreus marginatus* (22%), *Gonocerus acuteangulatus* (22%) et *Rhaphigaster nebulosa* (18%). En 2022, l'espèce *Palomena prasina* était également présente en majorité (53% des captures) suivie de *Rhaphigaster nebulosa* (24%), *Gonocerus acuteangulatus* (14%) et *Coreus marginatus* (9%). *P.prasina* est toujours l'espèce majoritaire sur le site de La Morinière mais la présence de *C.marginatus* et *G.acuteangulatus* a quant à elle diminué (de presque 2 à 3 fois pour les 2 espèces) en faveur de l'espèce *R.nebulosa* dont la présence a augmenté de 18% en 2021 à 24% en 2022.

Comparaison du suivi des populations 2022 avec la littérature

La **figure 25** montre le cycle biologique des 4 espèces de punaises étudiées et recensées à La Morinière en 2022. Ce schéma ne présente les données récoltées que jusqu'au 1er août.

Les premières captures d'adultes sortant d'hibernation ont lieu à partir du mois d'avril. Ces relevés coïncident avec les données issues de la littérature ([Streito, 2019](#) ; [Lee et al., 2015](#); [Ephytia, 2016](#); [Darthout, 2006](#); [Claerebout, 2020](#); [Saruhan et Tuncer, 2009](#); [Maurel et al., 2016](#); [Gusev et Lopatina, 2018](#); [Candan et Suludere, 2001](#); [Nielsen et Hamilton, 2009](#); [Ribes et al., 2013](#)) dont les premiers

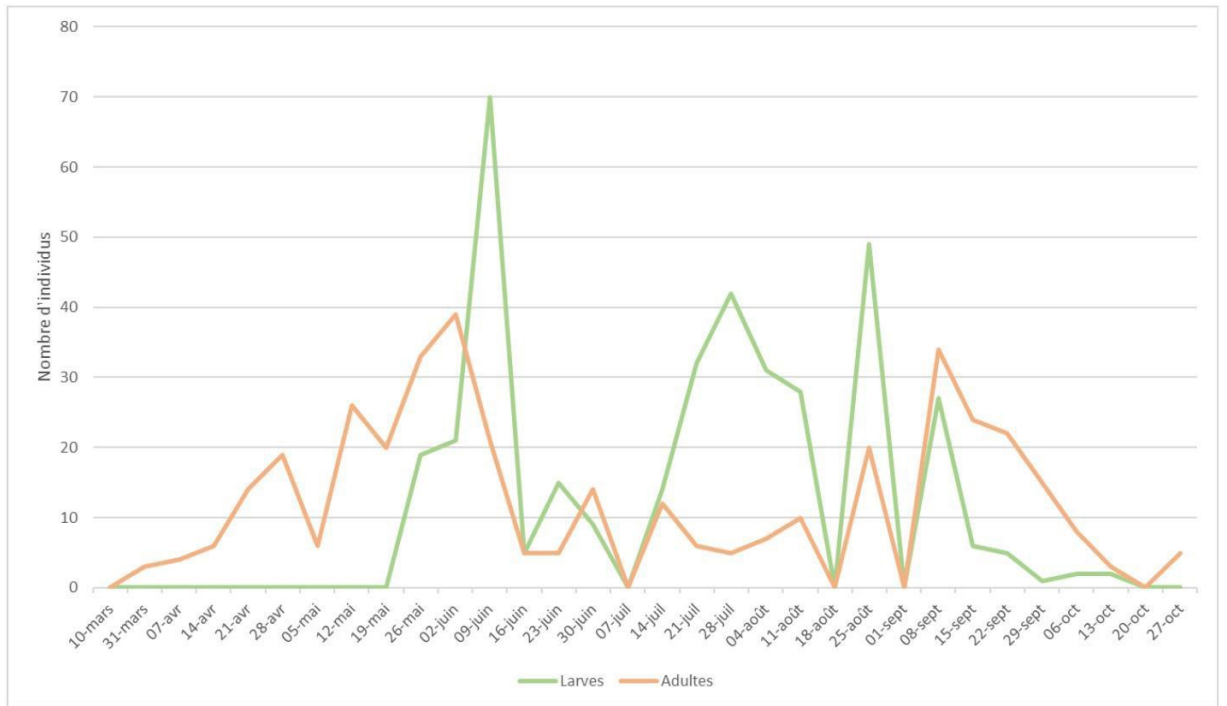


Figure 24 : Evolution du nombre de punaises en 2021 (source : Projet SUPOR 2021, résultats non publiés)

individus adultes apparaissent également au mois d'avril (**figure 6**), à l'exception de l'espèce *G.acuteangulatus* plus précoce. Les pontes d'œufs ont été observées au mois de mai 2022 sur le site de la Morinière, soit presque un mois plus tôt que dans la littérature où la plupart des œufs sont recensés au mois de juin (à l'exception de *P.prasina* et *R.nebulosa* plus précoces). Les larves (jeunes ou âgées) ont été recensées à La Morinière dès la fin du mois de mai jusqu'au 1er août (date de fin de présentation des données récoltées). La littérature quant-à elle montre également une apparition des premières larves de début juin jusqu'à juillet. Les adultes de la 2ème génération, trouvés uniquement pour l'espèce *P.prasina* à La Morinière ont été observés à la fin du mois de juillet, tout comme dans la **figure 6**. Globalement, le cycle biologique des 4 espèces de punaises trouvées sur le site de La Morinière semble correspondre aux données issues de la littérature, à l'exception des premières pontes qui sont plus précoces à La Mornière en 2022. Cependant les relevés de la saison 2022 à La Morinière ne sont pas terminés.

Limites et améliorations du piégeage

Aucune punaise *H.halys* n'a été piégée dans les pièges Diablex avec les phéromones d'agrégation spécifiques de cette espèce. Cependant cette espèce n'a pas été recensée au centre opérationnel de La Morinière en 2022, ni par frappages, ni par les autres captures ou observations visuelles. Cette dernière n'avait pas non plus été retrouvée depuis 2014, année à laquelle les premiers essais sur punaises ont été réalisés à la station de La Morinière. Les autres espèces de punaises n'ont pas non plus été capturées dans les pièges avec phéromones du 21 mars au 1er août. Il semble que les phéromones d'agrégation spécifiques de *H.halys*, ne soient pas attractives pour les espèces *Palomena prasina*, *Coreus marginatus*, *Gonocerus acuteangulatus* et *Rhaphigaster nebulosa*. Cependant, la faible pression en punaises, toutes espèces étudiées confondues, dans les vergers de La Morinière, rend difficile l'évaluation de la spécificité des phéromones d'agrégation testées. Il serait intéressant de réaliser cette expérience dans un site avec une plus grande pression en punaises, notamment dans les centres d'expérimentation situés dans le Sud de la France. Pour l'espèce *H.halys*, ce sont les pièges Diablex avec les phéromones du fournisseur Trécé qui se sont révélées les plus efficaces en termes de nombre de captures à la station Sud Expé (165 punaises capturées d'avril à septembre 2021) comparé aux phéromones de Bioprox (67 captures) ou de Progrein (4 captures) ([Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés](#)).

Pour les autres espèces, les captures quelles que soient les phéromones utilisées sont plus anecdotiques voire considérées accidentelles. Cela peut être dû à une faible pression pour ces espèces ainsi qu'à la non-spécificité des phéromones pour ces dernières.

En 2015, aucune punaise n'avait été capturée avec les pièges Diablex installés début mars à la station de La Morinière. En 2019, ces pièges ont été abandonnés et remplacés par des plaques engluées avec des phéromones du fournisseur Trécé. Ces dernières ont capturé 6 punaises dans les bois, 5 punaises

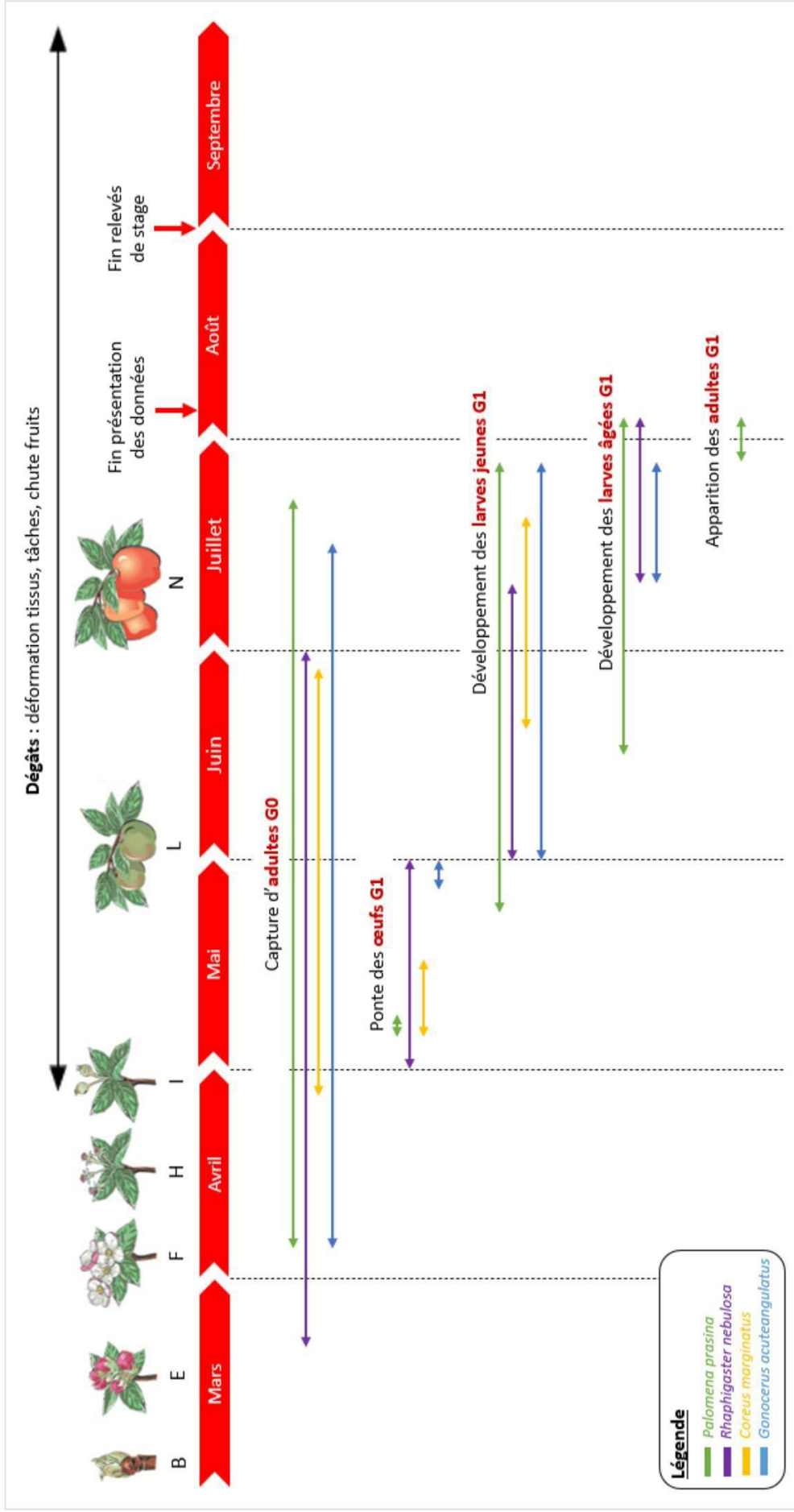


Figure 25 : Cycle biologique des punaises *R. nebulosa*, *P. prasina*, *C. marginatus* et *G. acuteangulatus* recensées du 14 mars au 1er août 2022, en lien avec les stades phénologiques du pommier et la période de dégâts correspondante.

dans les haies multi espèces et 7 punaises dans 2 parcelles conduites en AB, du 11 juin au 28 juillet 2019 (CTIFL de La Morinière, 2019 - Résultats non publiés).

Les pièges avec phéromones permettent de suivre l'évolution des populations de punaises ou leur capture en cas de pression moyenne à élevée, cependant, ils peuvent également représenter un danger pour les cultures. Les mesures réalisées par la chambre d'agriculture de Savoie-Mont-Blanc ont montré un impact négatif des pièges AgBio lorsqu'ils sont positionnés à proximité des vergers. En effet, dans un rayon de 0, 15, 30 et 50 mètres autour du piège et de son attractif, les dégâts sur fruits étaient respectivement de 80%, 60%, 40% et 20% (Alison *et al.*, 2020). Chez un producteurs, ces pièges devraient être installés à plus de 50m autour des vergers afin de minimiser les dégâts des punaises attirées par les phéromones.

Le piégeage massif des adultes hivernants de *H.halys* est une alternative intéressante aux autres pièges qui a été testée à Modène en Italie en 2017 (Tommasini *et al.*, 2017). Des ruches vides remplies de plaques de carton ont été installées sur 4 sites du mois de septembre au mois de décembre afin de capturer les individus hivernants. Environ 50 à 300 punaises de l'espèce *H.halys* ont été capturées dans ces pièges toutes les 2 semaines, tous sites confondus. Cette méthode permettrait de détruire les punaises piégées avant leur sortie d'hivernation qui a lieu à partir du mois de mars. Des pièges lumineux ont également été développés aux Etats-Unis contre *H.halys*, en alternative ou en complément de l'utilisation de phéromones(Rice *et al.*, 2017). Ce sont des pièges AgBio dans lesquels une lampe à 435nm (lumière bleue) a été installée. Les résultats montrent qu'en milieu de saison (21 juin - 15 août), les pièges avec une lumière bleue ou combinant lumière bleue et phéromone sont plus efficaces (20 et 11.5 captures) que ceux n'ayant que la phéromone (1 capture). Ce constat s'inverse en fin de saison (16 août - 11 oct.) où les phéromones seules sont plus efficaces. D'autres essais ont été conduits aux Etat-Unis en 2012 afin de comparer l'efficacité de 6 longueurs d'ondes différentes sur le nombre de punaises diaboliques capturées pendant 6 semaines à la fin de l'été. La lumière blanche s'est révélée être la plus efficace (environ 130 captures) mais la moins spécifique tandis que la lumière bleue était un peu moins efficace (environ 90 captures) mais plus spécifique (Leskey *et al.*, 2012). Il serait donc intéressant de tester ces 2 longueurs d'onde au CTIFL de La Morinière où les phéromones spécifiques de *H.halys* ne semblent pas efficaces.

Dans la nature, la stratégie de formation des couples de punaises est basée sur la libération de phéromones pour l'agrégation à longue distance suivie de l'émission de signaux vibratoires pour la communication à courte portée. Ces signaux vibratoires sont très spécifiques pour chaque espèce et cruciaux pour accomplir l'accouplement, cependant leur espace d'action est très limité. L'équipe de Zapponi *et al.* en 2021 a donc mis en place de nouveaux pièges combinant des phéromones du fournisseur Trécé et des vibrations spécifiques de *H.halys*. Lorsque ces pièges bimodaux étaient allumés (VON), ils capturaient significativement plus de punaises adultes sur les 2 sites testés comparés aux pièges bimodaux éteints (VOFF), aux pièges Rescue avec phéromones Rescue ou Trécé (RR et RT)

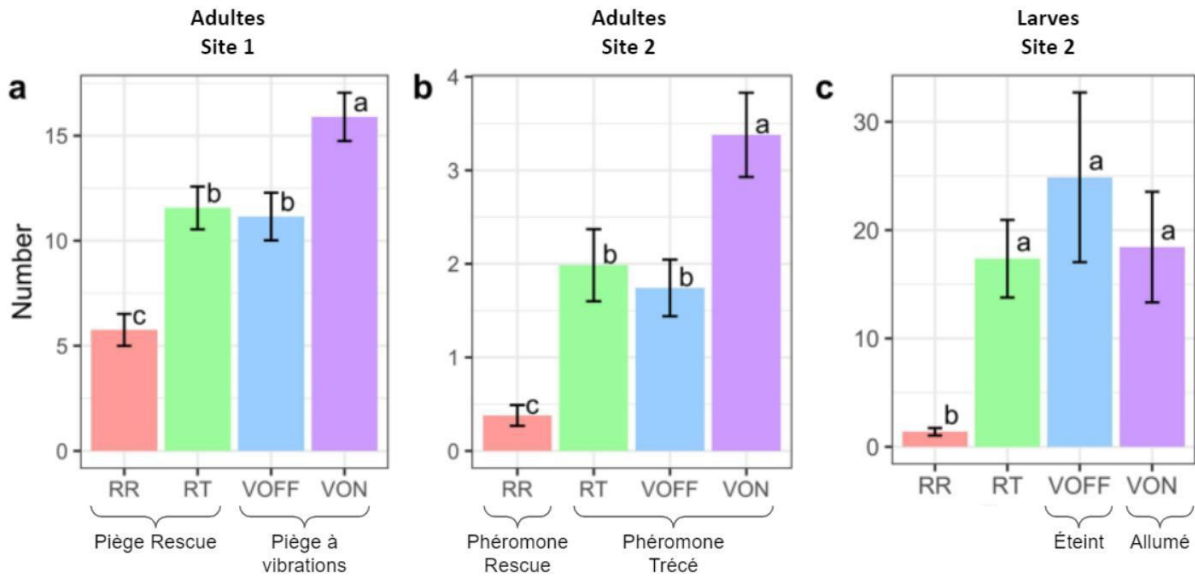


Figure 26 : Nombre de punaises *Halyomorpha halys* capturées en fonction du type de piège (RR, RT, VOFF ou VON), du site (1 ou 2) et du stade des punaises (adulte ou larve) (figure modifiée de [Zapponi et al., 2022](#)).

(**figure 26**). Aucune différence n'a été observée entre les pièges pour le stade larvaire à l'exception des pièges RR moins efficaces que les autres. Ces nouveaux pièges bimodaux semblent donc plus spécifiques et efficaces que les pièges n'utilisant que des phéromones.

Influence de l'environnement

La majorité des punaises ont été retrouvées dans les parcelles conduites en PFI, soit 5 fois plus que les parcelles conduites en AB et dans les haies et 3 fois plus que dans les bois (**figure 21**). Cependant, les relevés des punaises de la compilation sont issus de 15 parcelles en PFI contre seulement 3 parcelles en AB, 2 bois et 2 haies multi espèces. Les probabilités de captures n'étant pas égales entre les environnements, aucune conclusion ne peut être tirée quant à une potentielle préférence des punaises pour les parcelles en PFI. Cela est dû au fait que de nombreux essais (autres que sur les punaises) ayant lieu dans des parcelles conduites en PFI, de nombreuses captures et observations sont aussi issues de ces parcelles. Il faudrait avoir le même nombre de zones dans chaque parcelle afin de pouvoir comparer les 4 types d'environnements et éviter tout biais d'interprétation. Sur la **figure 27**, l'évolution de la localisation des punaises varie selon le type de données utilisées (i.e : compilation ou frappages uniquement).

Du 21 mars au 30 mai, avec les données issues de la compilation (A) les punaises sont majoritairement situées dans les parcelles PFI, un peu dans les bois mais pas dans les haies multi espèces. A cette même période, avec les données issues des frappages uniquement les punaises sont majoritairement dans les parcelles AB et dans les bois mais presque absentes des parcelles PFI. Ainsi, selon l'origine des données utilisées, les résultats du 21 mars au 30 mai sont presque opposés. Le suivi par frappages est plus fiable car le nombre de zones observées en PFI (n=1) est presque équivalent au nombre de zones observées en AB (n=2), dans les bois (n=1) ou dans les haies (n=2). Cependant, la compilation montre que les données obtenues par frappages ne sont pas complètes et donc représentatives de la réalité au verger. Il est donc important d'augmenter le nombre de parcelles frappées et d'avoir un nombre de répétitions équivalent entre tous les types d'environnements afin de pouvoir interpréter les résultats de suivi des populations avec plus de fiabilité.

De plus, les frappages sont toujours réalisés à hauteur d'homme, ce qui exclut toute la partie haute des arbres pour réaliser le suivi des populations. En 2021, ces 2 zones ont été comparées au cours d'un essai sur des traitements contre les punaises. Selon les produits testés, une hausse comprise entre 85% et 178% de fruits piqués a été observée dans la zone haute de la canopée comparé à la zone basse ([Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés](#)). Il serait donc intéressant de poursuivre cette comparaison afin de mieux comprendre les préférences des punaises. Un suivi des populations sur toute la saison n'est cependant pas envisageable en raison de l'utilisation d'échelles qui est très chronophage. En 2019, le constat inverse a été observé comparé à 2021. Ce sont les bas des arbres qui contenaient plus de fruits piqués (11 à 16% selon la variété) que les hauts des arbres (3 à 8%) ([CTIFL](#)



Figure 27 : Évolution de la localisation des punaises, tous stades et espèces confondues dans les parcelles PFI, AB, les bois et les haies multi espèces. (A) Compilation des frappages et autres captures / observations, (B) Frappages uniquement.

de La Morinière, 2019 - Résultats non publiés). Cependant, les 2 parcelles étudiées en 2019 avaient été choisies pour leur fort taux de salissement (i.e : taux d'adventices sur le rang) dont les plantes adventices montaient au-dessus des premières branches de pommiers (**figure 28**). La gestion de l'enherbement dans la parcelle semble aussi influencer la présence des punaises. En effet, les rangs peu enherbés (4% à 40% de recouvrement du 28 mars au 28 juillet) contenaient moins de fruits piqués (6.8%) que les rangs plus enherbés (65% à 100% de recouvrement pour 26.2% de fruits piqués).

De la même manière, des essais pourraient être conduits afin de comparer le nombre de punaises présentes en verger en fonction du moment de la journée (début de matinée, midi, fin d'après-midi) en fonction des températures. Il faudrait pour ce dernier point relever les températures exactes auprès d'une station météo lors de chaque frappage ou capture d'un individu.

Il serait également intéressant de vérifier s'il existe un gradient de pression de punaises en fonction de la distance des frappages par rapport aux bois ou aux haies multi espèces. En effet, ces types d'environnement constituent une source d'inoculum de punaises et pourraient influencer le nombre de punaises trouvées dans les parcelles situées à proximité de ces dernières (Bergh *et al.*, 2021). Cette tendance avait déjà été observée en 2019 au CTIFL de La Morinière sans être statistiquement confirmée.

Les punaises ont été retrouvées sur 18 essences différentes du 14 mars au 1er août, confirmant ainsi leur alimentation très diversifiée. Le pommier a été l'essence la plus attractive, cependant, il a également été l'essence la plus rencontrée lors des autres captures ou observations. Cependant, l'érable (12% des captures ou observations), le chêne (9%), le charme (8%), le peuplier (7%), le poirier (5%) et le noisetier (4%) semblent être les essences les plus attractives au sein des bois et des haies multi espèces. Dans les bois, en début de saison (mars, avril), les punaises étaient trouvées en majorité retrouvées sur des chênes tandis qu'en milieu de saison (juin, juillet) elles étaient principalement retrouvées dans des peupliers (observation personnelle). Il serait donc intéressant d'évaluer si l'affinité des punaises pour certaines essences varient significativement dans le temps.

Apports des dissections

Tout d'abord, les dissections des punaises femelles adultes ont permis de déterminer leur stade de maturité ovarienne et anticiper les périodes de pontes. Ainsi, au mois de mars, toutes les punaises étaient immatures. Un début de maturation (stades b et c) a été observé au mois d'avril et premières punaises matures (stade d) ont été recensées le 25 avril. Les femelles au stade d sont considérées prêtes à pondre. Sur le terrain, les premières pontes ont été observées le 2 mai, soit une semaine après la date théorique prédite par les dissections. Les dissections des femelles ont été arrêtées le 6 juin lorsque toutes les femelles étaient matures (stade d) depuis 4 semaines et reprises le 25 juillet, lorsque le nombre de punaises au stade "larve âgée" a progressivement augmenté. A partir de cette dernière date, les femelles observées aux stades a et b (principalement *P.prasina* et



Figure 28 : Photo de plantes adventices sur un rang de pommiers en 2019 (photo : Fanny Le Berre)

G. acuteangulatus) ont été considérées comme des femelles de la deuxième génération. Les données de la bibliographie (**figure 6**) concernant ces 2 espèces indiquaient les premières punaises de la nouvelle génération début août et mi-août. Les résultats 2022 sur le site de La Morinière ont montré une apparition des adultes de la 2ème génération fin juillet, ce qui coïncide avec les données bibliographiques.

Les dissections permettent également de voir si la spermathèque est pleine ou semi-pleine et donc si l'accouplement a eu lieu. La notation du stade de maturité des spermathèques a été réalisée du 21 mars au 2 juin mais a été abandonnée par la suite en raison de la non-fiabilité des observations. En effet, la spermathèque est souvent plus difficile à trouver et à observer que les ovaires. Elle possède une coloration et une forme similaire à certains des organes de l'appareil digestif à côté desquels elle est située et peut facilement être confondue et endommagée lors du retrait de l'appareil digestif. Les premières spermathèques semi-pleines (stade B) et pleines (stade C) ont été respectivement observées le 15 et le 20 avril, indiquant que les premiers accouplements ont dû débuter mi-avril. La dernière spermathèque vide (stade A) a été observée le 5 mai. Cependant, il n'est pas possible d'anticiper une date pour les derniers accouplements car les observations des spermathèques se sont arrêtées début juin.

Les dissections sur punaises femelles adultes permettent de détecter la présence d'endoparasites à l'intérieur de l'abdomen de la punaise. En effet, certaines mouches de la famille des Tachinidae sont capables d'insérer leurs œufs à travers les membranes intersegmentaires du corps des punaises adultes. Une fois l'œuf éclos, la larve perce les membranes et pénètre dans le corps de l'hôte dont il se nourrit jusqu'à la fin de son développement. Cette larve ressort alors par les voies génitales sans causer la mort de son hôte (Claerebout, 2020). Au cours du stage, 2 larves ont été découvertes dans l'abdomen de punaises femelles sexuellement matures. Leur présence ne semble donc pas gêner le développement physiologique et sexuel des punaises femelles.

Les dissections sur les œufs de punaises permettent de détecter la présence de parasitoïdes se nourrissant des œufs de punaises. Ces derniers sont plus intéressants car ils permettent de tuer leur hôte. Au cours du stage, 10 parasitoïdes de la famille des Scelionidae ont éclos au centre opérationnel de La Morinière et ont été identifiés par la suite (en collaboration avec l'INRAE PACA) comme appartenant à l'espèce *Trissolcus semistriatus*. Cette espèce n'avait encore jamais été trouvée dans des œufs de *Rhaphigaster nebulosa* en France (Alexandre Bout, communication personnelle). Cette découverte ouvre de nouvelles pistes de recherches pour la lutte biologique contre cette espèce. Le parasitoïde *T.semistriatus* peut également parasiter une dizaine d'espèces de punaises de la famille des Pentatomidae et Scutelleridae (Kivan et Kilic, 2002 et 2004; Haye et al., 2015). Parmi les espèces de punaises testées, *T.semistriatus* a parasité 50% des œufs de *P.prasina* mais aucun des œufs de



Figure 29 : Photo de 2 punaises *Coreus marginatus* au stade adulte (en haut) et larve âgée (en bas) sur une adventice de l'espèce *Rumex sp.* dans une bande piège de phacélie (source : Julie Hennequin).

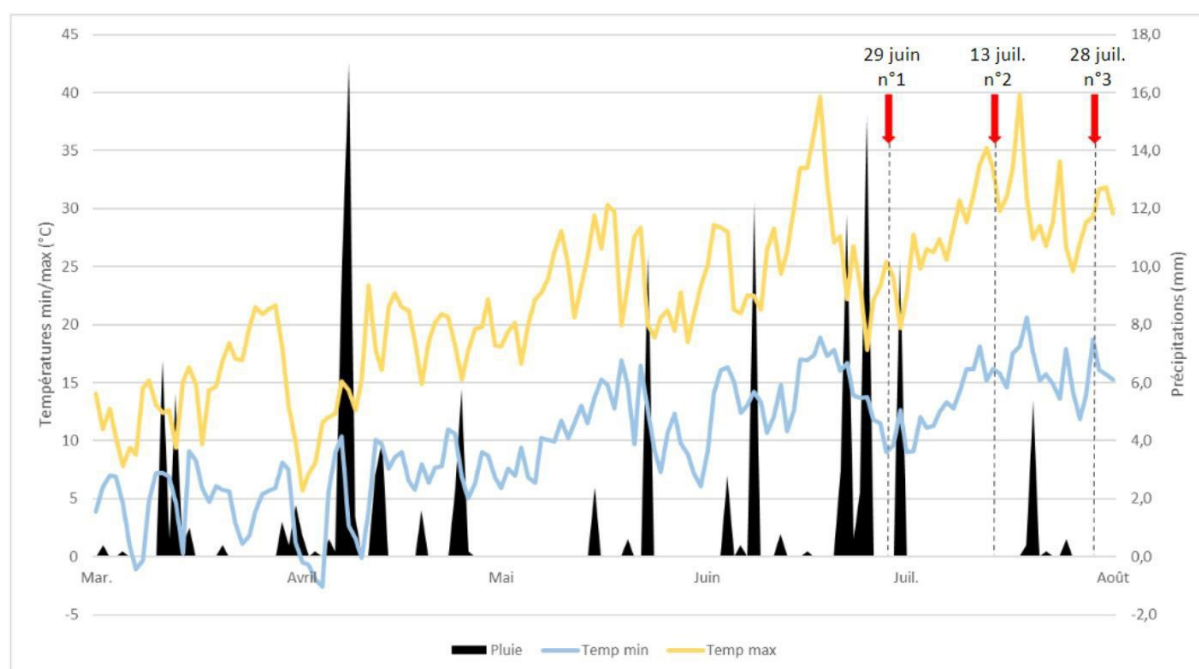


Figure 30 : Evolution des températures minimales, maximales et de la pluviométrie du 1er mars au 1er août 2022

R.nebulosa et *H.halys*. Cependant, 50% des œufs de *P.prasina* ont été parasités par *Telenomus chloropus* et 100% des œufs *R.nebulosa* et *H.halys* ont été parasités par *Trissolcus cultratus* (Haye et al., 2015). Cependant, le parasitoïde *T.semistriatus* n'a encore jamais été localisé en France même s'il a déjà été recensé en Espagne, Hongrie, Roumanie, Turquie, Iran, Syrie et Georgie (CABI, 2019). Ce parasitoïde n'étant pas originaire de France, il devra nécessiter des autorisations d'introduction pour être testé en laboratoire ou dans les vergers.

Bandes pièges

L'effet des bandes pièges sur le nombre de punaises recensées n'est pas uniquement dû aux espèces d'intérêt semées mais également aux espèces d'adventices qui se sont développées en même temps. En effet, toutes les punaises de l'espèce *Coreus marginatus* observées dans les bandes de tournesol et de sorgho ont été retrouvées sur l'espèce *Rumex sp.* (Obs. personnelle) (figure 29). Ces dernières se nourrissent de leurs graines et de leurs feuilles qui peuvent, à elles deux, suffire à leur développement jusqu'au stade adulte (hruskova et al., 2005 ; ohbayashi et al., 2019).

Cependant, le recensement des espèces de punaises observées au sein des blocs de bandes pièges ne tient pas compte de l'espèce exacte sur laquelle elles sont trouvées. Il serait donc intéressant de le prendre en compte pour les futurs comptages. Néanmoins, il reste délicat d'affirmer, au sein d'un bloc de 1m², qu'une espèce de punaise est attirée par une espèce végétale en particulier et non par l'espèce voisine.

Les bandes attractives qui ont piégé le plus de punaises étaient les bandes de tournesols situées dans le champ. Cependant la majorité des punaises capturées étaient des punaises prédatrices utiles au verger contre certains ravageurs (psylle, puceron etc.). Il a été observé que durant la période de floraison de 2 semaines des tournesols, ces derniers contenaient plus de punaises et d'insectes auxiliaires (les auxiliaires ne sont pas présentés) qu'avant ou après cette période. De plus, la période de sécheresse (figure 30) ayant eu lieu du 30 juin à la fin des comptages en août a induit de nombreuses brûlures sur les feuilles des tournesols, diminuant probablement la survie des insectes dans ces bandes. Cette problématique de brûlures est liée à la difficulté d'apporter de l'eau lorsque l'accès à cette ressource est restreint en période de forte chaleur pour des raisons économiques, écologiques voire politiques. Les bandes fleuries sont d'autant plus impactées car ce ne sont pas des zones cultivables et donc prioritaires. Ainsi, ni les bandes pièges du CTIFL de La Morinière, ni les tournesols du champ cultivable n'ont reçu un apport d'eau au cours de l'été. Les bandes de phacélie contenaient moins de punaises que les tournesols situés dans le champ mais plus que les autres bandes pièges, à savoir le sorgho, le tournesol et l'inter rang constituant le témoin.

Le sorgho et le tournesol sont les plantes les plus intéressantes citées dans la littérature. Elles ont montré une attraction significative des espèces *H.halys* et *N.viridula* par rapport à des cultures de coton, soja ou poivrons aux Etats-Unis (Blaauw et al., 2017, Mizell et al., 2008, Nielsen et al., 2016,

Tillman *et al.*, 2015). En 2021, les bandes pièges de sorgho et soja semées à Sud Expé avaient permis d'observer 7 espèces de punaises causant des dégâts en arboriculture (*H.halys*, *N.viridula*, *R.nebulosa*, *P.prasina*, *D.baccarum*, *C.marginatus* et *G.acuteangulatus*) mais aucune quantification n'a été publiée (Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés). A La Morinière, le sorgho et le tournesol sont les bandes pièges ayant comptabilisé le moins de punaises. Cependant, ils ont été semés tardivement et seul un suivi du début de leur croissance jusqu'à avant leur floraison a pu être réalisé. Quelques punaises phytophages de l'espèce *C.marginatus* ont été observées mais il faudrait attendre leur pleine floraison pour pouvoir comparer le nombre de punaises qu'ils contiennent avec les autres bandes pièges. L'inter rang quant à lui, n'a jamais contenu de punaises phytophages ou prédatrices.

Ce constat amène plusieurs problématiques quant à l'utilisation de bandes pièges pour attirer les punaises phytophages. La première est la période de floraison très courte des bandes pièges en monoculture. Une fois cette période de quelques semaines terminée, le nombre d'insectes observés chute. Ce constat a pu être amplifié par la période de sécheresse qui a eu lieu du 1er au dernier comptage (i.e: du 29 juin au 28 juillet) dans les bandes pièges (à l'exception du 30 juin où il a plu 10 mm) (**figure 30**). Il est donc possible que les punaises soient retournées dans les bois afin d'y trouver des températures plus fraîches. Il faudrait donc trouver un mélange de plantes attractives dont les périodes de floraison s'étalent dans le temps.

La deuxième est la non-spécificité des bandes pièges qui sont attractives pour tous les insectes. Si certains contiennent des punaises phytophages, ils contiennent également des punaises prédatrices et autres insectes auxiliaires bénéfiques pour la pollinisation des vergers et la gestion des ravageurs. Par conséquent, la destruction de la bande fleurie et donc des punaises phytophages détruit également les autres insectes bénéfiques au verger.

De plus, si les bandes fleuries peuvent attirer les punaises en dehors du verger lorsqu'elles sont placées en bordures, elles peuvent aussi attirer de nouvelles punaises venues de l'extérieur et servir de pont vers les pommiers. Il faudrait pour cela faire en sorte que la floraison arrive en fin de saison (août, septembre) pour éviter d'attirer trop tôt les punaises dans le verger. La destruction des bandes pourrait alors avoir lieu au mois d'octobre, évitant le broyage des insectes auxiliaires en pleine saison lorsque ces derniers sont encore utiles au verger. Il serait également intéressant de semer des plantes répulsives au sein du verger dans le cadre d'une stratégie "push-pull". Cela permettrait de favoriser l'attraction des punaises en dehors des vergers, vers les bandes pièges situées en périphérie.

Autres méthodes de lutte

L'installation de filets Alt'Carpo est parfois utilisée par les producteurs en parallèle de leur utilité contre le carpocapse. Au CTIFL de La Morinière où la pression en punaises était faible en 2021, il y avait 2.6% de fruits piqués sans filet contre 0.2% de fruits piqués avec filet à la date du 5 juillet (avant éclaircissage). Cette efficacité pourrait être amplifiée lors d'années à forte pression. A la

Chambre d'Agriculture de Savoie-Mont-Blanc où la pression en punaises est élevée, les filets ont permis de réduire les dégâts de *H.halys* qui étaient de 25.1% et 19.6% sans filet (selon le producteur) à 1.9% et 2.5% de fruits piqués avec filet ([Alison et al., 2020](#)). Ces barrières physiques semblent donc être une piste prometteuse dans les parcelles avec une pression élevée en punaises. Toutefois, les filets ne sont pas totalement hermétiques car ils ne sont accrochés ensemble que tous les 2m, laissant un passage pour l'entrée des punaises.

Les produits de biocontrôle sont une alternative à l'utilisation d'insecticides de synthèse désormais interdits en France contre les punaises phytophages. Néanmoins, aucun essai réalisé à La Morinière n'a montré une efficacité significative de ces produits en verger. En 2018, la terre de diatomée avait pourtant induit 100% de mortalité de l'espèce *P.prasina* en 11 jours contre 41 jours pour les punaises non traitées. En 2019 et en 2021, la pulvérisation de terre de diatomée (spécialité Céliste 610) n'a pas permis de réduire le nombre de fruits piqués comparé au témoin non traité ([Projet SUPOR, 2021 - Résultats non publiés](#)). Le même constat a été observé en 2021 pour les spécialités Sokalciarbo WP (composée de kaolin), OmyaPro Calcium (composée de carbonate de calcium) et Eradicoat ou Botanigard (composées respectivement de maltodextrine ou du champignon *Beauveria bassiana*).

Conclusion

Le suivi des populations a permis de déterminer le début et la fin de presque tous les stades des 5 espèces étudiées à La Morinière, à l'exception de *H.halys* qui n'a pas été recensée. Cependant ce suivi est incomplet car il doit se poursuivre jusqu'en novembre 2022 et les résultats obtenus dépendent de la méthode de suivi utilisée. Les frappages permettent un suivi homogène des populations dans le temps et l'espace mais les autres captures et observations accidentelles permettent de compléter ce suivi lorsque la pression est trop faible en début de saison. Les dissections des femelles ont permis d'anticiper les premières dates de pontes en verger et évaluer la période où les punaises seraient les plus sensibles à des traitements de contact.

Les pièges Diablex avec les phéromones spécifiques de *H.halys* ne semblent pas être efficaces sur les 5 espèces de punaises étudiées au centre opérationnel de La Morinière étant donné qu'aucune punaise n'a été piégée. La pression en punaises étant faible sur le site, il est difficile de conclure sur leur efficacité. Cependant, ces pièges pourraient être améliorés par l'utilisation de lumière ou de vibrations en combinaison avec le piégeage des individus hivernants.

Les bandes pièges de tournesols situés dans le champ et de phacélie se sont révélées être les bandes capturant le plus de punaises. Cependant elles ont capturé plus de punaises prédatrices utiles au verger que de punaises phytophages. La période de floraison de ces cultures est également trop courte pour attirer les insectes. Il faudrait donc semer un mélange à floraisons décalées dans le temps et broyer les bandes à la fin de la saison des punaises, au mois d'octobre. L'adventice *Rumex sp.* semble également un candidat intéressant à évaluer pour attirer l'espèce *C.marginatus*.

La lutte biologique semble être une méthode prometteuse et la découverte du parasitoïde *T.semistriatus* dans les œufs de la punaise *R.nebulosa* à La Morinière permettrait d'élargir la gamme de parasitoïdes intéressants pour la France.

Bibliographie

Accinelli G., Lanzoni A, Ramilli F., *et al.* (2005). Trap crop: an agroecological approach to the management of *Lygus rugulipennis* on lettuce. *Bull. Insectol*, vol. 58, no 1, p. 9-14.

Alison B. *et al.* (2020). Les punaises phytophages en verger de fruits à pépins. Enseignement et perspectives du projet SUPOR. *INFOS-CTIFL*, no 367, p. 37-43.

Bergh JC. Morrison W., Stallrich J., *et al.* (2021). Border habitat effects on captures of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in pheromone traps and fruit injury at harvest in apple and peach orchards in the Mid-Atlantic, USA. *Insects*, vol. 12, no 5, p. 419.

Blaauw B., Morrison I., Mathews C *et al.* (2017). Measuring host plant selection and retention of *Halyomorpha halys* by a trap crop. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol. 163, no 2, p. 197-208.

Boquel S. et Latraverse A. (2018). Effet d'une culture-piège en bordure de champ de pois sur les populations de punaises.

Callot H. et Brua C. (2013). *Halyomorpha halys* (Stål, 1855), la Punaise diabolique, nouvelle espèce pour la faune de France (Heteroptera Pentatomidae). *L'Entomologiste*, 2013, vol. 69, no 2, p. 69-71.

Candan S. et Suludere Z. (2001). *Rhaphigaster nebulosa* (Poda, 1761)(Heteroptera: Pentatomidae)'nin normal ve parazitli yumurtalarının koryonik yapısı. *Türkiye Entomoloji Dergisi*, vol. 25, no 1, p. 41-48.

Chartois M., Streito JC., Pierre E., *et al.* (2021). A crowdsourcing approach to track the expansion of the brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) in France. *Biodiversity data journal*, 2021, vol. 9.

Claerebout S., Haye T., Olafsson E., Pannier E., Bultot J. (2018). Premières occurrences de *Halyomorpha halys* (Stal, 1855) pour la Belgique et actualisation de sa répartition en Europe (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae). *Bulletin van de Koninklijke Belgische Vereniging voor Entomologie* 154: 205–227.

Claerebout S. (2020). La punaise nébuleuse *Rhaphigaster nebulosa* (Poda, 1761). L'érable, Cercle des Naturalistes de Belgique, vol 44, no 3, p. 6-18.

Darthout L., *et al.* (2006). Protection intégrée pommier-poirier. 2 éd. CTIFL, 336p.

Dumont F. et Provost C. (2018). Aménagement de bande trappe en fraisière pour améliorer l'efficacité de la lutte aux punaises ternes à deux moments cruciaux dans leur cycle de vie.

Durak D. et Kalender Y. (2009). Scanning electron microscopic and chemical study of the metathoracic scent glands system of *Rhaphigaster nebulosa* (Poda, 1761)(Heteroptera: Pentatomidae). *Journal of the Entomological Research Society*, vol. 11, no 2, p. 21-29.

El-Gendy R. et El-shafiey S. (2018). Eco-Friendly Control Strategies of Green Stink Bug, *Nezara viridula* L.(Hemiptera: Pentatomidae): Repellency and Toxicity Effects of *Callistemon citrinus*, Bottle Brush Essential Oil. *Journal of Plant Protection and Pathology*, vol. 9, no 12, p. 807-813.

Funayama K. (2012). Control effect on the brown-marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae), by combined spraying of pyrethroid and neonicotinoid insecticides in apple orchards in northern Japan. *Applied Entomology and Zoology*, vol. 47, no 1, p. 75-78.

Gard, B., Pierre, S.P., Bardel, A. (2019). Gestion des punaises phytophages en cultures maraîchères. Bilan du projet IMPULsE à mi-parcours. *INFOS-CTIFL*, no 355, p. 31-35.

- Gariepy T., Haye T., Fraser H., *et al.* (2014). Occurrence, genetic diversity, and potential pathways of entry of *Halyomorpha halys* in newly invaded areas of Canada and Switzerland. *Journal of pest science*, vol. 87, no 1, p. 17-28.
- Gokturk T. (2021). Chemical composition of *Satureja spicigera* essential oil and its insecticidal effectiveness on *Halyomorpha halys* nymphs and adults. *Zeitschrift für Naturforschung C*, vol. 76, no 11-12, p. 451-457.
- Gusev I. et Lopatina E. (2018). Temperature and photoperiodic control of development in the green shield bug *Palomena prasina* (L.) (Heteroptera, Pentatomidae) in Leningrad Province. *Entomological Review*, vol. 98, no 8, p. 939-955.
- Hamilton G., Ahn J., Bu W., *et al.* (2018). *Halyomorpha halys* (Stål) : Invasive stink bugs and related species (Pentatomoidea). CRC Press, p. 243-292.
- Haubruge E. et Amichot M. (1998). Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens. *BASE*.
- Haye T., Gariepy T., Hoelmer K., *et al.* (2015). Range expansion of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*: an increasing threat to field, fruit and vegetable crops worldwide. *Journal of Pest Science*, vol. 88, no 4, p. 665-673.
- Hruskova M., Honek A. et Pekar S. (2005). *Coreus marginatus* (Heteroptera: Coreidae) as a natural enemy of *Rumex obtusifolius* (Polygonaceae). *Acta Oecologica*, vol. 28, no 3, p. 281-287.
- Kivan M. et Kilic N. (2002). Host preference: parasitism, emergence and development of *Trissolcus semistriatus* (Hym., Scelionidae) in various host eggs. *Journal of Applied Entomology*, vol. 126, no 7-8, p. 395-399.
- Kivan M. et Kilic N. (2004). Influence of host species and age on host preference of *Trissolcus semistriatus*. *BioControl*, vol. 49, no 5, p. 553-562.
- Lee D., Short B., Joseph S., *et al.* (2013). Review of the biology, ecology, and management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea. *Environmental entomology*, vol. 42, no 4, p. 627-641.
- Mathews C., Blaaw B, Dively G, *et al.* (2017). Evaluating a polyculture trap crop for organic management of *Halyomorpha halys* and native stink bugs in peppers. *Journal of Pest Science*, 2017, vol. 90, no 4, p. 1245-1255.
- Maurel JP., Blaye G., Valladares L. *et al.* (2016). *Halyomorpha halys* (Stål, 1855), la punaise diabolique en France, à Toulouse (Heteroptera; Pentatomidae). *Carnets natures*, vol. 3, p. 21-25.
- Mizell I., Riddle, T., et Blount A. (2008). Trap cropping system to suppress stink bugs in the southern coastal plain. In : *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. p. 377-382.
- Moraglio S., Ingegno B. et Tavella L. (2012). Studies on semiochemicals produced by *Gonocerus Acuteangulatus* for their use as control methods in hazelnut orchards. In : *VIII International Congress on Hazelnut 1052*. p. 281-287.
- Nadio NA., *et al.* (2021). Efficacité des bioinsecticides à base de l'huile essentielle de *Cymbopogon schoenanthus* (L.) spreng contre les punaises rouges (*Dysdercus voelkeri*, schmidt) en culture cotonnière au Togo. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, vol. 21, no 3, p. 17727-17740.
- Nielsen A., Shearer P., et Hamilton G. (2008). Toxicity of insecticides to *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) using glass-vial bioassays. *Journal of Economic Entomology*, vol. 101, no 4, p. 1439-1442.
- Nielsen A. et Hamilton G. (2009). Life history of the invasive species *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in northeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America*, vol. 102, no 4, p. 608-616.

- Nielsen A., Dively G, Pote J., *et al.* (2016). Identifying a potential trap crop for a novel insect pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae), in organic farms. *Environmental Entomology*, vol. 45, no 2, p. 472-478.
- Nielsen A., Fleischer S, Hamilton G., *et al.* (2017). Phenology of brown marmorated stink bug described using female reproductive development. *Ecology and Evolution*, vol. 7, no 17, p. 6680-6690.
- Ohbayashi T., Itoh H., Lachat J., *et al.* (2019). Burkholderia gut symbionts associated with European and Japanese populations of the dock bug *Coreus marginatus* (Coreoidea: Coreidae). *Microbes and environments*, vol. 34, no 2, p. 219-222.
- Ribes J., Pagola-Cardé S. (2013). Hémiptères Pentatomoidea Euro-Méditerranéens : Pentatominae. Faune de France 96, 423p.
- Rice K., Cullum J., Wiman N., *et al.* (2017). *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) response to pyramid traps baited with attractive light and pheromonal stimuli. *Florida Entomologist*, vol. 100, no 2, p. 449-453.
- Saruhan I., Tuncer C., *et al.* (2009). Population density and fluctuations of the Green Shield Bug (*Palomena prasina* L. Het.: Pentatomidae) in hazelnut orchards of Turkey. *Acta Horticulturae*, no 845, p. 549-554.
- Saulich A., Musolin D. (1996). Univoltinism and its regulation in some temperate true bugs (Heteroptera). *European Journal of Entomology*. vol. 93, no 3, p. 507-518.
- Saulich A., Musolin D. (2014). Seasonal cycles in stink bugs (Heteroptera, Pentatomidae) from the temperate zone: diversity and control. *Entomological Review*, vol. 94, no 6, p. 785-814.
- Scaccini D., *et al.* (2020). An insight into the role of *Trissolcus mitsukurii* as biological control agent of *Halyomorpha halys* in Northeastern Italy. *Insects*, vol. 11, no 5, p. 306.
- Streito JC., Chartois M., Pierre E., *et al.* (2021). Citizen science and niche modeling to track and forecast the expansion of the brown marmorated stink bug *Halyomorpha halys* (Stål, 1855). *Scientific reports*, vol. 11, no 1, p. 1-14.
- Swezey S., Nieto D., Pickett C., *et al.* (2014). Spatial density and movement of the *Lygus* spp. parasitoid *Peristenus relictus* (Hymenoptera: Braconidae) in organic strawberries with alfalfa trap crops. *Environmental Entomology*, vol. 43, no 2, p. 363-369.
- Tillman P. et Mullinix JR. (2004). Grain sorghum as a trap crop for corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton. *Environmental entomology*, vol. 33, no 5, p. 1371-1380.
- Tillman P. (2006). Sorghum as a trap crop for *Nezara viridula* L.(Heteroptera: Pentatomidae) in cotton in the southern United States. *Environmental Entomology*, vol. 35, no 3, p. 771-783.
- Tommasini M., Maistrello L., Vaccari G., *et al.* (2017). Cimice asiatica su pero: monitoraggio e difesa. *Informatore Agrario*, no 42, p. 34-42.
- Trillot M., *et al.* (2002). Le pommier. 1 éd. CTIFL, 292p.
- Tugwell J., Fischer S. et Fleury D. (2017). Effets de contact de quatre insecticides sur les punaises phytophages *Halyomorpha halys* et *Nezara viridula*. *Revue Suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, vol. 49, no 3, p. 188-193.
- Tuncer C., Saruhan I., et Akça I. (2008). Chemical control of true bugs (Heteroptera: Pentatomidae, Acanthosomatidae and Coreidae) to prevent kernel damage in hazelnut orchards of Turkey. In : *VII International Congress on Hazelnut 845*. p. 487-494.
- Valentin R., Nielsen A., Wiman N., *et al.* (2017). Global invasion network of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*. *Scientific reports*, vol. 7, no 1, p. 1-12.
- Zapponi L., Nieri, R., Zaffaroni-Caorsi V., *et al.* (2022). Vibrational calling signals improve the efficacy of pheromone traps to capture the brown marmorated stink bug. *Journal of Pest Science*, p. 1-11.

Zhang R., Wang W., Liu H., *et al.* (2020). Field evaluation of sunflower as a potential trap crop of *Lygus pratensis* in cotton fields. *PLoS one*, vol. 15, no 8, p. e0237318.

Sitographie

CTIFL (2022) Le CTIFL en quelques mots. <https://www.ctifl.fr/le-ctifl-en-quelques-mots-ses-missions-ses-actions> (consulté le 01/04/2022).

Réussir Fruits et Légumes (2021) Expérimentation : Le CTIFL intègre la station fruitière La Morinière <https://www.reussir.fr/fruits-legumes/experimentation-le-ctifl-integre-la-station-fruitiere-la-moriniere> (consulté le 01/04/2022).

Vergers Ecoresponsables (2020) - La démarche Vergers Ecoresponsables <http://www.lapomme.org/vergers-ecoresponsables/la-demarche-vergers-ecoresponsables> (consulté le 01/04/2022).

Vergers Écoresponsables (2017) - La pomme Consommation en France <https://lapomme.org/chiffres/consommation-en-france> (consulté le 01/05/2022).

Agreste (2022) Statistique agricole annuelle - n°5 mai 2022 https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Chd2205/cd2022-5_SAA_2020_2021v2.pdf (consulté le 01/05/2022).

INRA (2021) Les maladies et ravageurs <http://ephytia.inra.fr/fr/C/18051/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Les-maladies-et-ravageurs> (consulté le 01/05/2022).

Streito J. et Chartois M. (2022) Connaître son cycle : Les différents stades de développement <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20551/Agiiir-Connaître-son-cycle> (consulté le 01/05/2022).

Streito J. (2019) Séminaire punaise diabolique et autres punaises en arboriculture : identification, surveillance et anticipation <https://www.gis-fruits.org/layout/set/print/Actualites/Seminaire-punaise-diabolique-et-autres-punaises-en-arboriculture> (consulté le 01/05/2022).

Bout A. et Streito J. (2018) Les Punaises Pentatomidae en Cultures Maraichères et leurs Parasitoïdes https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/020_Inst_Paca/CRA_PACA/Images/EVENEMENTS_ACTUALITE/salons_pros_rencontres_acheteurs/tech___bio/conference_2018/punaise_1.A.Bout_INRA_Pentatomidae.pdf (consulté le 01/05/2022).

Dusoulier F. (2022) Gonocère du buis (Français) https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/238329 (consulté le 01/05/2022).

Sud Arbo (2021) La Punaise diabolique *Halyomorpha halys* https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/SudArbo21-Punaise-diabolique-ca342021.pdf (consulté le 01/05/2022).

INRA (2016) Biologie, épidémiologie <http://ephytia.inra.fr/fr/C/21826/Pomme-Biologie-epidemiologie> (consulté le 01/05/2022).

Centre Nationale d'Expertise sur les Vecteurs (2014) – Utilisation des insecticides et gestion de la résistance https://www.anses.fr/fr/system/files/CNEV-Ft-Fev2014-Rapport_Utilisation_insecticides_gestion_resistance.pdf (consulté le 01/06/2022).

Api Protection (2022) Harpe O'NETtm Seule <https://apiprotection.fr/nos-harpes/27-harpe-o-net-seule.html> (consulté le 01/06/2022).

Agro Electronics (2021) Présentation du matériel https://www.agroelectronics.it/adv/2021_Pentatrap_results.pdf (consulté le 01/06/2022).

Agrifournitures (2022) Piège contre la punaise diabolique Diablex - Piège à ailettes <https://agrifournitures.fr/pieges-a-pheromones/58289-piege-contre-la-punaise-diabolique-diablex-piege-a-ailettes.html> (consulté le 01/06/2022).

Hamidi R. (2017) Punaises en arboriculture fruitière: diversité, dégats et piégeages
https://www.vegephyl.fr/wp-content/uploads/2021/04/Punaises-arboriculture-fruitiere_Hamidi_R_20210226.pdf (consulté le 01/06/2022).

Descoins C.(2022) Encyclopædia Universalis : Pheromones
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/pheromones/1-classification-et-mode-d-etude/> (consulté le 01/07/2022).

GIS Fruits (2022) Punaise diabolique : surveillance, piégeage et suite des actions 2021 <https://www.gis-fruits.org/Actualites/Punaise-diabolique-surveillance-piegeage-et-suite-des-actions-2021> (consulté le 01/07/2022).

Chouinard G. et Larose M. (2018) Pentatomides et autres punaises des vergers : bon cop, bad cop
<https://www.agrireseau.net/documents/103082/pentatomides-et-autres-punaises-des-vergers-bon-cop-bad-cop> (consulté le 01/07/2022).

CABI (2019) Compendium des espèces envahissantes : *Trissolcus semistriatus*
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/54882> (consulté le 01/07/2022).

Leskey *et al.* (2012) Season-Long Patterns of Attraction of Brown Marmorated Stink Bug to Pheromone Lures and Light Traps in Orchard Agroecosystems
<https://www.stopbmsb.org/stopBMSB/assets/File/Research/BMSB-IWG-Nov-2012/Attraction-of-BMSB-to-Pheromone-Lures-and-Light-Traps-Leskey-Nov-2012.pdf> (consulté le 01/08/2022).

Annexes

A

Col Mean- Row Mean	Inter ra	Phacelie	Sorgho	Tchamp
Phacelie	-2.604923 0.0046*			
Sorgho	0.000000 0.5000	2.604923 0.0046*		
Tchamp	-4.057305 0.0000*	-1.452382 0.0732	-4.057305 0.0000*	
Tourneso	-1.202349 0.1146	1.402574 0.0804	-1.202349 0.1146	2.854956 0.0022*




alpha = 0.05
Reject Ho if p <= alpha/2

B

Col Mean- Row Mean	Antho	Core	Gono	Palo
Core	2.508297 0.0061*			
Gono	4.576298 0.0000*	2.068000 0.0193*		
Palo	3.076101 0.0010*	0.567803 0.2851	-1.500197 0.0668	
Rhaphi	4.856215 0.0000*	2.347918 0.0094*	0.279917 0.3898	1.780114 0.0375

alpha = 0.05
Reject Ho if p <= alpha/2

Annexe 1 : Résultats du test de comparaisons multiples Dunn entre les modalités (A) et espèces (B) de punaises observées dans les bandes pièges. Au sein de chaque comparaison, le chiffre du haut correspond au coefficient de différence et le chiffre du bas à la p-value (* : p-value < 0.05). Le tableau se lit du haut vers le bas et de gauche à droite.

  	Diplôme: Master Mention : Biologie Végétale (BV) Parcours : FHI
Auteur(s) : Julie Hennequin Date de naissance* : 13/12/1996	Organisme d'accueil : CTIFL La Morinière Adresse : La Morinière, 37800 Saint-Épain
Nb pages : Annexe(s) : 1	Maître de stage : Richard Lothion
Année de soutenance : 2022	
Titre français : Méthodes de lutte contre les punaises phytophages en verger de pommier Titre anglais : Control methods against phytophagous stink bugs in apple orchards	
Résumé : Depuis 2012, les dégâts de punaises en France sont en augmentation et présents dans plus de 47 départements. Cependant, aucune solution efficace et homologuée n'existe aujourd'hui en France. Le CTIFL de La Morinière cherche à approfondir les connaissances sur la biologie de 5 espèces de punaises problématiques en arboriculture et à évaluer les méthodes de lutte contre ces ravageurs. Des suivis de ces populations et de leur maturité sexuelle en verger de pommiers ont été réalisés du 14 mars au 1 ^{er} août 2022. En parallèle, l'efficacité et la spécificité de 3 phéromones spécifiques à <i>H.halys</i> a été évaluée dans des parcelles conduites en PFI, en AB, dans les bois et les haies. Des comptages de punaises ont également été réalisés dans des bandes pièges de tournesol, sorgho et phacélie destinées à attirer les punaises phytophages. Les suivis par frappages et autres captures accidentelles ont permis de compléter le cycle biologique des espèces de punaises présentes sur le site. La dissection des femelles a permis d'anticiper les périodes de pontes en verger. Les pièges avec les différentes phéromones spécifiques de <i>H.halys</i> n'ont capturé aucune punaise mais la pression de ce ravageur étant faible sur le site, il est difficile de conclure sur l'efficacité de cette méthode de lutte. Les bandes de tournesols ainsi que les bandes de phacélie ont capturé plus de punaises que les autres modalités mais la majorité de ces individus étaient des prédatrices utiles au verger. L'adventice <i>Rumex sp.</i> présente dans certaines bandes semble néanmoins attirer <i>C.marginatus</i> . Les moyens de lutte testés peuvent être améliorés et combinés avec de nouvelles techniques issues de la littérature tels que les pièges combinant phéromones et signaux vibratoires. La lutte biologique constitue également une piste prometteuse pour lutter contre les punaises phytophages.	
Abstract : Since 2012, stink bug damages in France have been increasing and occurred in more than 47 departments. However, no effective and approved solution currently exists in France. The CTIFL of La Morinière is therefore seeking to deepen its knowledge of the biology of 5 species of stink bugs that are problematic in arboriculture and to evaluate methods for combating these pests. Monitoring of these populations and their sexual maturity in apple orchards was carried out from March 14 to August 1, 2022. In parallel, the efficacy and specificity of 3 pheromones specific to <i>H.halys</i> sp. were evaluated in plots conducted in PFI, in AB, in woods and hedges. Stinkbug counts were also made in strips of sunflower and phacelia traps intended to attract phytophagous stinkbugs. Monitoring by tree hittings and other captures made it possible to complete the biological cycle of the species of bugs present on the site. The dissection of females made it possible to anticipate the egg-laying periods in the orchard. The traps with the different pheromones specific to <i>H.halys</i> did not captured any stinkbug, but the pressure of this pest being low on the site, it is difficult to conclude on the effectiveness of this control method. Sunflower strips as well as phacelia strips had more stinkbugs than the other modalities but most of these individuals were predatory stinkbugs useful to the orchard. The weed <i>Rumex sp.</i> present in certain strips seem to attract the <i>C.marginatus</i> stinkbug. The control methods assessed can be improved and combined with new techniques from the literature such as traps combining pheromones and vibration signals. Biological control is also a promising avenue for combating of phytophagous stinkbugs.	
Mots-clés : Punaises phytophages, plantes pièges, phéromones, pièges, lutte biologique	
Key Words: Phytophagous stink bugs, trap plants, pheromones, traps, biological control	