



Mémoire de fin d'étude
Rédigé par
Mila MATAGNE--MONNIER

Biorégulation en verger d'agrumiculture
-
Suivi sanitaire et essai de biocontrôle sur une problématique ravageur sur agrumes

Pour l'obtention du diplôme de licence professionnelle
Mention Agronomie – Transition agroécologique du territoire
Partenariat entre l'Université d'Avignon et la MFR du Haut Vaucluse,
Formation réalisée entre le 05/09/2022 et le 29/08/2023

Soutenue le 29 aout 2023

Maitres d'alternance

Pauline DUVAL,

Chargée d'expérimentation à APREL

Anthony GINEZ,

Chargé d'expérimentation et trésorier
à APREL

Hermine Sarthou

Chargée d'expérimentation à APREL

Enseignant responsable

Séverine SUCHAIL,

Maitre de conférences et créatrice de
la Licence professionnelle,
Chercheuse à l'IMBE dans l'UMR
7263 IMBE équipe BES

Résumé

Le réchauffement climatique actuel conduit les agriculteurs à expérimenter de nouvelles cultures, comme les agrumes déjà implantés en Corse. Les périodes de gelées hivernales nécessitent la plantation des vergers sous abri, ce qui pose la question du cycle des ravageurs dans ces conditions. Le suivi des trois vergers sélectionnés pour ce projet a permis de classer les neuf ravageurs observés selon leur risque sanitaire. La mineuse des agrumes (*Phyllocnitis citrella*), le pou rouge de Californie (*Aonidiella aurantii*) et la cochenille australienne (*Icerya purchasi*) sont catégorisés comme les plus impactant sur les cultures, en condition sous abri.

L'étude de solution de biocontrôle a permis plusieurs postulats. L'utilisation de piège delta à phéromones pour la mineuse n'a pas fonctionné et d'autres phéromones devrait être testées. L'hyménoptère parasitoïde *Aphytis melinus* est une solution efficace contre le pou rouge de Californie, mais les résultats obtenus restent en deçà des sources bibliographiques accumulées avant l'essai. Enfin, la coccinelle *Rodolia cardinalis*, prédatrice de la cochenille australienne, a montré une bonne installation dans les vergers, ce qui permet depuis 2020 la régulation naturelle et biologique de ce bioagresseur.

Mots-clés : Agrumiculture, *Aphytis melinus*, *Aonidiella aurantii*, *Phyllocnitis citrella*, Lâcher d'auxiliaires, piège à phéromones

Remerciement

A Sabrina Dellarosa, Pauline Duval, Sophie Hardy, pour les connaissances partagées autour de l'agrumiculture et de ses ravageurs, ainsi que pour le soutien et les conseils apportés sur le terrain.

Un grand merci à Hermine Sarthou, qui a joué le rôle de remplaçante de ma maitresse de stage, qui a su m'aider et m'enseigner au-delà de l'initiation au logiciel Rstudio, et qui a pris à de nombreuses fois le temps de me conseiller quant à l'avancement de mon projet et de mon rapport. Je remercie aussi chaleureusement Anthony Ginez, mon second maitre de stage, qui m'a partagé au cours de cette année ses connaissances étayées sur les insectes, sa bonne humeur et son registre musical lors des sessions terrains, ainsi son avis avisé concernant la rédaction de mon rapport.

A Claire Goillon, Aurélie Rousselin, Marie-Anne Portela, pour leur sollicitation sur le terrain lorsque mes propres projets ne suffisaient pas à combler mon temps en entreprise. Cela m'a permis la découverte de nombreuses cultures, et je termine cette année avec un bagage qui me servira où que j'aille par la suite.

A mes camarades de classe, qui ont rendu cette année ensoleillée, et avec qui j'ai pu longuement débattre de nos projets respectifs.

Merci à Séverine Suchail et au corps enseignant de l'Université d'Avignon ainsi qu'à la Maison Familiale et Rurale de Bollène, pour m'avoir apporté les clefs nécessaires à ma compréhension sur le terrain, et pour avoir veillé à mon bien-être en entreprise.

A mon fiancée, Eliott, merci pour son soutien nuit et jour, et pour la motivation qu'il m'apporte au quotidien à donner le meilleur de moi-même, à faire évoluer le monde à mon échelle, à travailler au contact de la terre et des agriculteurs.

A mes parents, pour leur soutien financier qui m'a permis de réaliser cette année sans stress ; et en particulièrement à ma mère qui m'a transmise sa passion pour les plantes et le potager, et qui m'a conduite jusque-là.

Table des matières

Liste des figures	i
Liste des tableaux.....	iii
Liste des sigles et abréviations	iv
Introduction	1
Matériel et Méthodes	5
I - Sites expérimentaux	5
1. Contexte pédoclimatique de la région	5
2. Description des sites d'expérimentation.....	5
II – Suivi sanitaire	7
1. Méthodes et fréquence de suivi.....	7
III – Stratégie de lutte.....	7
1. Biosurveillance.....	7
2. Biocontrôle par des ennemis naturels des ravageurs cibles	8
3. Suivi spécifique et mesures d'efficacité	10
IV– Analyse statistique	10
Résultats.....	12
I – Suivi sanitaire.....	12
1. Dynamique des populations pour l'année 2023	12
2. Evolution comparative des années de suivi tout site confondu	13
3. Comparaison des 3 sites sur la période 2022-23.....	14
II – Stratégie de lutte	15
1. Suivi du pou rouge.....	15
2. Suivi de la cochenille australienne.....	16
3. Suivi de la mineuse des agrumes	17
Discussion & Perspectives.....	18
I – Suivi sanitaire.....	18

1. Dynamique des populations pour l'année 2023	18
2. Evolution comparative des années de suivi tout site confondu	19
3. Comparaison des 3 sites sur la période 2022-23.....	20
II – Stratégie de lutte	21
1. Suivi du pou rouge.....	21
2. Suivi de la cochenille australienne.....	23
3. Suivi de la mineuse des agrumes	23
Conclusion.....	25
Bibliographie	i
Annexes	vii

Liste des figures

Figure 1 : Carte de l'évolution du réchauffement des températures atmosphériques dans les Bouches-du-Rhône (Chambre d'agriculture PACA).....	1
Figure 2 : Quantité d'agrumes non transformés importées en France, 2007-2021 (FAOstat)...	1
Figure 3 : Quantité d'agrumes produite en France, 2007-2021 (FAOstat).....	2
Figure 4 : Schéma d'un bouclier de Diapsididae (Ephytia-INRAe).....	3
Figure 5 : Photographie de dégâts causés par un foyer de <i>A.aurantii</i> sur <i>Citrus limon</i> (personnelle).....	3
Figure 6 : Photographie d'une femelle <i>Icerya purchasi</i> (personnelle).....	3
Figure 7 : Photographie de juvéniles <i>Icerya purchasi</i> (Pierre Gros, 2016).....	3
Figure 8 : Photographie d'un imago de <i>Phyllocnitis citrella</i> (Pierre Gros, 2018).....	4
Figure 9 : Photographie d'une larve de <i>Phyllocnitis citrella</i> sur <i>Citrus sp</i> (personnelle)	4
Figure 10 : Emplacement des 3 exploitations d'agrumiculture (Mymaps).....	5
Figure 11 : Photographie satellite des multichapelles des exploitations S - B – M (Géoportail).....	5
Figure 12 : Schéma de la disposition des arbres placettes sur les sites M et S (personnelle).....	7
Figure 13 : Reconnaissance d' <i>Aphytis melinus</i> (Biobee).....	8
Figure 14 : Les différents stades de développement de <i>Rodolia cardinalis</i> (Beth Grafton-Cardwell, 2002).....	9
Figure 15 : Schéma récapitulatif de l'analyse statistique (Hermine Sarthou, 2022).....	11
Figure 16 : Evolution de la fréquence des différents ravageurs rencontrés dans les vergers d'agrumes au cours de la période septembre 2022 à juillet 2023 (personnelle).....	12
Figure 17 : Larves d' <i>Aleurothrixus floccosus</i> sur <i>Citrus</i> (personnelle).....	12
Figure 18 : Comparaison de la fréquence d'observation des ravageurs et de l'intensité des attaques entre les 3 années de suivi (personnelle).....	13
Figure 19 : Pression moyenne de ravageur observée sur les 3 sites de l'essai de septembre 2022 à juillet 2023 (personnelle).....	14
Figure 20 : Evolution de la pression de pou rouge sur les arbres placettes (personnelle).....	15
Figure 21 : Evolution des stades L1 mobiles de mars à août 2023 (personnelle).....	15
Figure 22 : Evolution du parasitisme de <i>Aonidiella anrantii</i> par <i>Aphytis melinus</i> de mars à août 2023 (personnelle).....	16
Figure 23 : Evolution de la fréquence d'observation de <i>Icerya purchasi</i> sur les 3 sites de mars à juillet 2023 (personnelle).....	16

Figure 24 : Comptage de <i>Rodolia cardinalis</i> de mars à juillet 2023 ; larves, nymphes et adultes (personnelle).....	16
Figure 25 : Evolution de la pression de <i>Phyllocnitis citrella</i> sur les arbres placettes de mars à juillet 2023 (personnelle).....	17
Figure 26 : Photographie de feuilles de <i>Citrus</i> recouvertes de momies dorées (personnelle)...	18
Figure 27 : Photographie d'une feuille de <i>Citrus</i> infestée par le puceron. Des larves d' <i>Aphidoletes</i> sp. (oranges) sont présentes un peu partout sur la feuille (personnelle).....	18
Figure 28 : Colonisation d'un fruit et de feuilles de <i>Citrus</i> par <i>A. aurantii</i> (personnelle).....	21
Figure 29 : Photographie d'un arbre du site S infesté par <i>A. aurantii</i> après une taille importante (personnelle).....	22
Figure 30 : Efficacité du parasitoïde <i>Aphytis melinus</i> au cours du temps (J.J. Sorribas Mellado, 2011).....	22
Figure 31 : Photographie d'un foyer de <i>Icerya purchasi</i> (personnelle).....	23
Figure 32 : Echantillon des coccinelles <i>Rodolia cardinalis</i> aperçues dans les vergers (personnelle).....	24

Liste des tableaux

Tableau I : Résumé de la description des trois sites (personnelle).....	5
Tableau II : Description des différentes classes d'infestation utilisées pour le suivi sanitaire général des vergers (APREL).....	7
Tableau III : Différentes classes d'infestation de <i>A. aurantii</i> ; suivi spécifique (personnelle)..	10
Tableau IV : Différentes classes d'infestation de <i>P. citrella</i> ; suivi spécifique (personnelle)..	10
Tableau V : Résumé des tests statistiques utilisés (personnelle).....	11

Liste des sigles et abréviations

A. aurantii : *Aonidiella aurantii* ; le pou rouge de Californie

A. melinus : *Aphytis melinus*

APREL : Association Provençale de Recherche et d'Expérimentation Légumière

CETA : Centre d'Etude Technique Agricole

DACAPPO : Diversification et Association de Cultures sous Abris pour une Protection et une Production Optimisées

GRCETA : Groupement Régional de CETA.

I. purchasi : *Icerya purchasi* ; la cochenille australienne

IGP : Indication Géographique Protégée

L1 : Larve de stade 1

P. citrella : *Phyllocnitis citrella* ; la mineuse des agrumes

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

PPP : Produit phytopharmaceutique

R. cardinalis : *Rodolia cardinalis* ; Vedalia



Figure1 : Carte de l'évolution du réchauffement des températures atmosphériques dans les Bouches-du-Rhône. Source : Chambre d'agriculture PACA

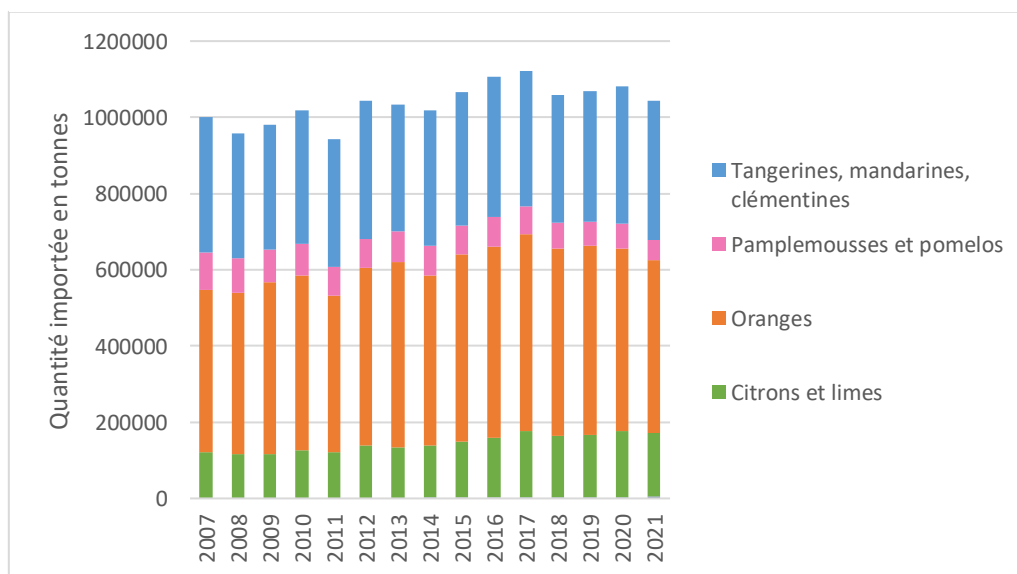


Figure 2 : Quantité d'agrumes non transformés importées en France, 2007-2021. Source : FAOstat

Introduction

En réponse au changement climatique et à la demande croissante d'agriculture durable en France, la production de fruits et légumes doit s'adapter. Les stations d'expérimentation jouent un rôle clef en facilitant l'évolution des pratiques agricoles vers des méthodes plus soucieuses de l'environnement et des variétés plus adaptées à l'évolution climatique. L'expérimentation est essentielle et sert de passerelle entre la recherche et la production ; c'est le cas de l'APREL, située à Saint-Rémy-de-Provence en région PACA. C'est une association loi 1901 créée en 1984 et présidée par Gérard ROCHE depuis 1998. C'est une station régionale d'expérimentation comptant 5 chargés d'expérimentations qui travaillent en étroite collaboration avec les différents CETA, les Chambres d'Agriculture de PACA et autres instituts de recherches pour la mise en place et le suivi d'essais, ainsi que pour des journées de formation ou de sensibilisation à l'agroécologie. L'entreprise n'a pas de terrain propre, les expérimentations ont lieu directement chez les agriculteurs de la Région sud (principalement 13 et 84). Ces essais sont spécifiquement liés aux problématiques de leurs exploitations, telles que leur volonté de passer à des pratiques plus agroécologiques en testant des variétés résistantes aux bioagresseurs ou en améliorant leur biodiversité au champ afin de limiter l'apport d'intrants.

La thématique du réchauffement climatique a donc une place importante au cœur des réflexions de l'entreprise. Elle conduit actuellement à des saisons de plus en plus chaudes et sèches en France, particulièrement marquées en région PACA (Figure 1). Par conséquent, depuis quelques années, des groupes d'agriculteurs de la région se posent des questions sur la viabilité des cultures maraîchères et arboricoles traditionnelles et cherchent à se tourner vers des productions à forte valeur-ajoutée, comme les cultures exotiques dont la demande par les consommateurs est forte. Une étude bibliographique basée sur les cultures exotiques produite autour du bassin méditerranéen a permis d'estimer les cultures tropicales et subtropicales pouvant être cultivées dans la région PACA. Les résultats montrent que les vergers d'avocats, de fruit de la passion, de mangue et d'agrumes seraient adaptés aux conditions du Sud-Est de la France, **sous abri**.

En France, 1 000 000 de tonnes d'agrumes sont importés chaque année pour la consommation directe, c'est-à-dire de produits non transformés (Figure 2). Mais la France a implanté depuis quelques années ses propres vergers d'agrumiculture. Depuis 2007, le marché

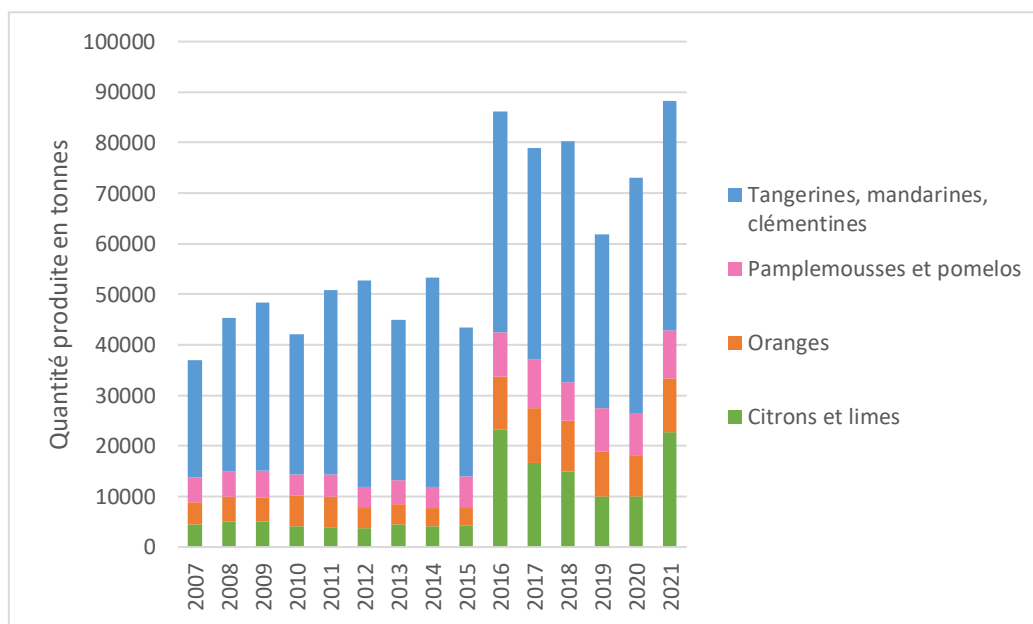
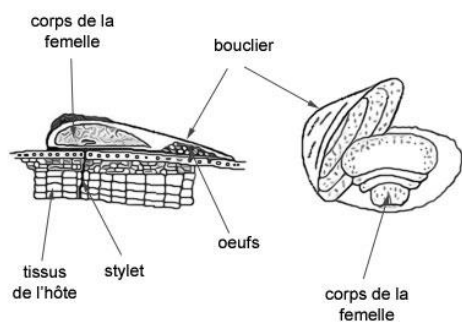


Figure 3 : *Quantité d'agrumes produite en France, 2007-2021. Source : FAOstat.*

Corse d'origine IGP offre une production annuelle en constante augmentation, soit 37 000 tonnes de clémentines et 7 000 tonnes de pomelo en 2020 pour un total de 1 700 ha environ de surface plantée (Chambre d'agriculture Corse), et s'implantent progressivement dans le bassin Sud-Est (FranceAgriMer, 2020). La production totale française s'élève à 78 000 tonnes en moyenne depuis 2016, soit presque le double de la période 2007-2015 (Figure 3). Ces données montrent que le marché des agrumes a une importance non négligeable en France, qui peut bénéficier aux agriculteurs de la région, dont la production est valorisée par son origine locale. Pour exemple, le kilo de clémentine Corse se vend entre 3€60 et 4€85 HT en France au prix du gros, soit presque 3€ de plus que la concurrence étrangère (FranceAgriMer, 26/01/2023).

Le projet DACAPPO (2020-2024) est basé sur le suivi de cette nouvelle culture de diversification, sous abri. La culture sous abri est un moyen de maintenir des températures adéquates à la culture toute l'année tout en préservant les vergers du gel à l'hiver et au printemps. Cette méthode peut pour autant entraîner d'autres problèmes, car ces conditions sont favorables aux ravageurs dont les populations en verger plein champ sont réduites voire éliminées par les périodes de gelées. La sensibilité d'une culture aux ravageurs et aux maladies est une donnée importante lorsqu'un agriculteur se lance dans une nouvelle filière. Dans le cas des agrumes, en cours d'implantation dans la région, les données sur les nuisibles sont encore insignifiantes, et empruntées des observations Corse. De plus, certains ravageurs naturellement régulés dans leurs localités d'origine peuvent détruire les vergers fraîchement plantés dans les nouvelles régions d'installation.

Un des objectifs du projet DACAPPO est donc **d'identifier les bioagresseurs** en agrumiculture sous abri dans la région et de **mettre en place des moyens de lutttes raisonnés** et efficaces, principalement accés sur le biocontrôle. « Le biocontrôle consiste à utiliser des organismes vivants ou substances naturelles pour prévenir ou réduire les dommages causés par des organismes nuisibles (ravageurs, plantes adventices et pathogènes) » (Busson *et al*, 2022). Un suivi sanitaire régulier est mené depuis l'automne 2020 chez 3 producteurs, afin de suivre ces populations de ravageurs. Une expertise technique est assurée par Sophie Hardy du GRCETA Basse Durance arboriculture qui a travaillé 6 ans dans la filière en Corse, et une aide au suivi des cultures est apportée par Sabrina Dellarosa, conseillère technique du CETA de Berre.



FRAVAL A. (INRA)

Figure 4 : Schéma d'un bouclier de *Diapsididae*. Source : Ephytia INRAe



Figure 5 : Photographie de dégâts causés par un foyer de *A. aurantii* sur *Citrus limon*



Figure 6 : Photographie d'une femelle *Icerya purchasi*. Source : Gérard Cuchet, Galerie-insecte.org



Figure 7 : Photographie de juvéniles *Icerya purchasi* Source : Pierre Gros, Galerie-insecte.org

En cette dernière année de projet, les bioagresseurs principaux ont pu être identifiés grâce au suivi sanitaire. Il s'agit du pou rouge de Californie, *Aonidiella aurantii*, de la cochenille australienne *Icerya purchasi* et de la mineuse des agrumes *Phyllocnitis citrella*. D'autres ravageurs tels que des pucerons, des aleurodes et quatre autres ravageurs des cultures ont été observés ; soit un total de neuf ravageurs des agrumes. Les ravageurs prédominants seront traités plus spécifiquement que ces derniers.

➤ 1 - Pou rouge de Californie

Le pou rouge de Californie, *Aonidiella aurantii*, est une cochenille sessile de la famille des Diaspididae, c'est-à-dire qu'elle a la capacité à former un bouclier de protection (Figure 4) imperméable aux agents extérieurs, notamment aux PPP. Au stade L1, les juvéniles mobiles se cachent un moment sous la carapace de leur mère avant de migrer un peu plus loin sur la branche. C'est seulement quelques jours après cette étape de migration que commence la sécrétion de cires et la formation du bouclier. C'est donc lors du pic de migration des stades juvéniles que les traitements doivent être appliqués, ce qui rend la biosurveillance indispensable pour gérer les populations (FREDON Corse, 2021). Les cochenilles étant des insectes piqueur-suceurs, qui produisent du miellat. Les principaux dommages sont dus au prélèvement de la sève et au phénomène d'entravement de la photosynthèse, car les insectes se collent aux feuilles, qui limite la croissance des arbres et la production de fruits, mais aussi aux dégâts sur les fruits qui entraînent des écarts de tri (Figure 5) ; *A. aurantii* migre principalement sur ces derniers (Kreiter, 2022). Des dégâts secondaires sont observés par l'apparition de fumagine liée à la production de miellat, un mélange de champignon qui entravent les mécanismes de photosynthèse de l'hôte végétal.

Pour lutter contre ce ravageur, il faut d'abord **déterminer les périodes de successions des générations en condition sous abri**, afin de positionner les traitements précédents les lâchers d'*Aphytis melinus*, un hyménoptère parasitoïde fréquemment utilisé en Corse qui agit sur les stades sessiles. **L'objectif est donc d'évaluer l'installation et la capacité de parasitisme de cet auxiliaire en conditions sous abri.**

➤ 2- Cochenille australienne

La cochenille australienne, *Icerya purchasi*, est une cochenille très fréquente en culture d'agrumes. Elle fait partie de la famille des Monophlebidae, ou cochenilles cireuses (Figure 6 et 7). Contrairement à *A. aurantii*, la larve et l'adulte sont mobiles, ce qui peut causer de gros dégâts sur les cultures si le foyer n'est pas repéré et contrôlé à temps. La cochenille



Figure 8 : Photographie d'un imago de *Phyllocnistis citrella*. Source : Pierre Gros, Galerie-insecte.org



Figure 9 : Photographie d'une larve de *Phyllocnistis citrella* sur *Citrus* sp. Source : personnelle

australienne produit de grandes quantités de miellat, ce qui cause la formation importante de fumagine. Ce ravageur provoque des blessures et des déformations de l'écorce, et peut entraîner le dépérissement des plants (FREDON Corse).

Cette cochenille est facilement régulée par des ennemis naturels, comme ici avec la cochenille prédatrice *Rodolia cardinalis*. **L'objectif est ici d'évaluer l'efficacité et l'installation de cette coccinelle par le suivi de dynamique de populations de la cochenille australienne et par l'observation de la coccinelle dans les vergers.**

➤ 1.4 – Mineuse des agrumes

La mineuse des agrumes, *Phyllocnitis citrella*, est un lépidoptère de la famille des Gracillariidae. L'adulte (Figure 8) ne vit que quelques jours, le temps de se reproduire et pondre ses larves au niveau des feuilles tendres et des jeunes tiges des agrumes. Les larves creusent des galeries dans le végétal pour s'alimenter (Figure 9), passent l'hiver sous la cuticule des feuilles en état de diapause et attendent le retour de températures plus chaudes pour se métamorphoser. Les galeries apparaissent d'abord argentées, car remplies d'air, puis s'opacifient et brunissent en raison des déjections accumulées par la larve. Les feuilles s'enroulent sur elles-mêmes, ce qui cause des pertes de capacité photosynthétique, et la croissance des jeunes rameaux et des fleurs peut aussi être altérée lorsque la galerie endommage les bourgeons annuels. Les blessures infligées par *P. citrella* favorisent aussi l'incidence de maladies bactériennes et fongiques (Ephytia, 2022).

Aucun auxiliaire efficace n'est homologué en France contre ce ravageur. Il existe cependant des phéromones utilisées pour le monitoring, destinées au piégeage des mâles adultes. **L'objectif est donc de suivre la dynamique de vol des adultes par l'utilisation de pièges delta pour ensuite positionner les traitements à base d'argile visant à empêcher la ponte des œufs.**

Le suivi des trois vergers de mars à août 2023 me permettront de répondre à ma question :

Comment gérer les ravageurs spécifiques des agrumes les plus problématiques via la lutte raisonnée sous abri ?

Nous partons de l'hypothèse que la condition sous abri affecte la dynamique des populations de ravageurs et des auxiliaires sous abri. De plus, l'utilisation de trois vergers permet d'agrandir l'angle de vue par l'observation de condition de cultures et de problématiques sanitaires différentes, et sert à comparer l'évolution des ravageurs suivis dans trois contextes distincts.

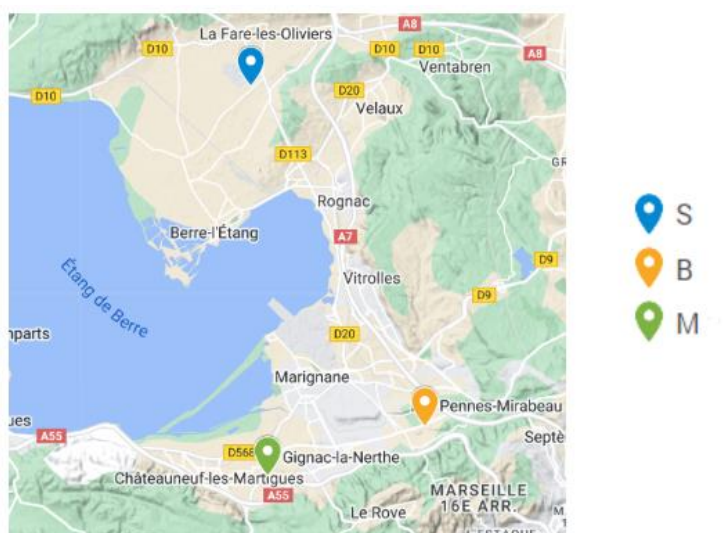


Figure 10 : Emplacement des 3 exploitations d'agrumiculture. Source : Mymaps



Figure 11 : Photographie satellite des multichapelles d'agrumes des exploitations S, B et M respectivement. Source : Géoportail

Tableau I : Résumé de la description des trois sites

	Site S	Site B	Site M
Localisation	Berre (13)	Gignac-la-Nerthe (13)	Rognac (13)
Abris	Serre verre	Serre non chauffée	Serre non chauffée
Hauteur	9 m	4.5 m	4.5 m
Conduite	AB	AB	Conventionnel
Modalité	Enherbé	Ex-Hors-sol	Association de culture
Date de plantation	03/2018 et 02/2020	03/2019 et 09/2020	07/2020
Surface d'agrumes	1 ha	1 ha	1 500 m ²

Matériel et Méthodes

I - Sites expérimentaux

1. Contexte pédoclimatique de la région

Les 3 exploitations sont situées autour de l'Etang de Berre, dans le département des Bouches-du-Rhône (13) (Figure 10). Le climat est méditerranéen, les températures minimales et maximales moyennes sur un mois sont respectivement de 3.6°C en janvier et de 39.7°C en juillet. La température moyenne à l'année est de 15.9°C. Il y a en moyenne 0.9 jours à l'année avec une température inférieure ou égale à -5°C et 50.6 jours avec une température supérieure ou égale à 30°C. Les températures négatives, bien que sur des périodes restreintes, imposent une culture sous serre pour limiter les risques de gelées. Enfin, les précipitations à l'année sont en moyenne de 523.3 mm, principalement réparties au printemps et à l'automne (Météo France, 2023). Au niveau pédologique, les sols de la région sont à dominance argilo-calcaire. Les sols argileux retiennent fortement l'eau et sont lourds, ils deviennent asphyxiants pour les racines s'ils ne sont pas correctement drainés. Le calcaire, à son tour, basifie le sol, et peut entraîner une faible disponibilité de certains nutriments indispensables à la croissance des plantes. Les arbres plantés au sein des trois vergers ont été sélectionnés selon leur tolérance à ces critères.

2. Description des sites d'expérimentation

➤ S – Berre-L'étang (13)

Le verger se trouve dans une multichapelle de 9 mètres de hauteur et de 10 000 m² exclusivement dédiée aux agrumes (Figure 11). C'est un agrosystème avec enherbement du rang et de l'inter-rang, tenu en agriculture biologique. Le système d'irrigation est basé sur l'aspersion et la micro-aspersion. La première plantation a eu lieu au printemps 2018 puis la seconde partie de la serre, anciennement dédié à la culture de tomates hors-sol a eu lieu en février 2020 (Tableau I). Sont retrouvés des citronniers (*Citrus limon*), d'orangers (*Citrus sinensis*), de pamplemoussiers (*Citrus maxima*), de pomelos (*Citrus paradisi*) et de citron caviar (*Citrus australasica*). Une autre serre sur l'exploitation de 10 000 m² abrite des cultures tropicales, plus précisément de manguier et d'avocats, qui présentent des ravageurs similaires

aux ravageurs des agrumes. Il s'agit de l'un des pionniers de cette culture dans le Bassin Sud-Est. Le reste de l'exploitation est dédié aux cultures maraichères. Ce site a servi dans un premier temps de repère pour le suivi du pou rouge, car ce ravageur y est observé depuis 2020. De plus, il a permis le suivi des générations de *P. citrella*.

➤ **M – Gignac-la-Nerthe (13)**

Le verger se trouve sous une multichapelle de 4.5 m de hauteur et de 10 000 m² comprenant 1 500 m² de culture d'agrumes plantés en juillet 2020 (Figure 11). Il s'agit d'un système conventionnel, comprenant une grosse diversité de cultures maraichères et d'engrais verts sous la serre tout autour du verger (9 cultures différentes simultanées en 2023). Le système d'irrigation est basé sur la micro-asperion, mais le verger profite aussi de l'asperion destinée aux autres cultures. Les espèces plantées sont l'oranger, le clémentinier (*Citrus clementina*), et le citronnier. Ce site a permis le suivi des populations de *A. aurantii* ainsi que de *P. citrella*. C'est sur ce site qu'est étudiée l'efficacité du parasitoïde *Aphytis melinus*.

➤ **B – Gignac-la-Nerthe (13)**

Le verger est planté dans une multichapelle de 4.5 m de hauteur et de 10 000 m² exclusivement dédiée aux agrumes (Figure 5). La parcelle était à l'origine à système hors-sol dédié à la tomate d'industrie. L'évaluation de l'entomofaune épigée réalisée dans le cadre du projet DACAPPO en 2021-2022 a démontré que le sol est pauvre en matière organique et en micro et macrofaune du sol. L'irrigation est faite au goutte-à-goutte exclusivement, ce qui, nous le verrons, limite la lutte mécanique contre certains bioagresseurs. Une première plantation a eu lieu dans la multichapelle n°1 en mars 2019 et une deuxième plantation a suivi dans la multichapelle n°2 en septembre 2020. Une grosse diversité d'agrumes est présente, comprenant des espèces communes et des espèces de diversification comme la main de bouddha (*Citrus medica* var. *sarcodactylis*), le yuzu (*Citrus junos*) ou encore le combava (*Citrus hystrix*). Il est uniquement suivi pour le suivi sanitaire général, car plusieurs biais empêchent d'obtenir des résultats fiables sur ce site.

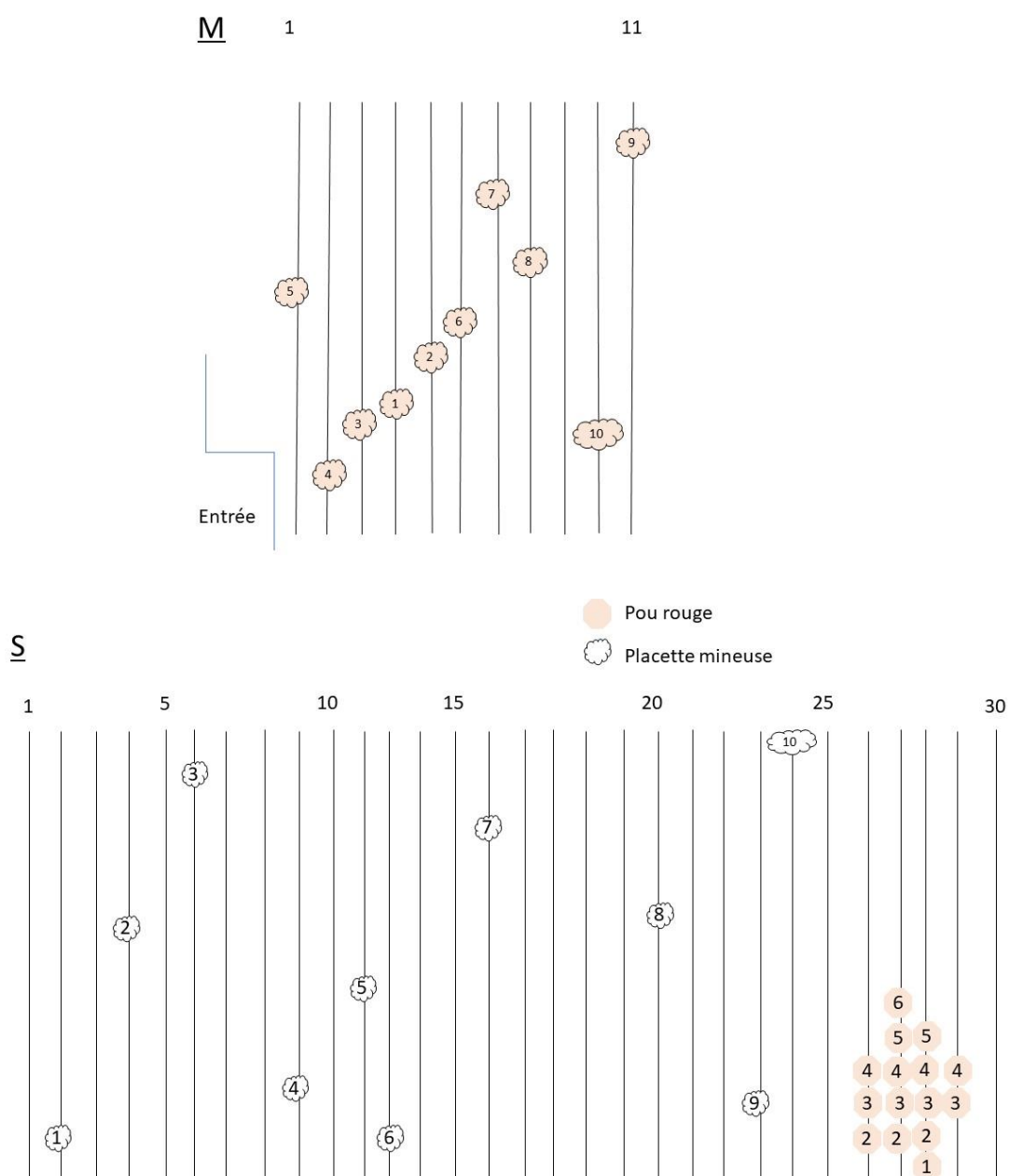


Figure 12 : Schéma de la disposition des arbres placettes sur les sites M et S. Les arbres balisés pour l'observation du pou rouge sont séparés des arbres balisés pour la mineuse sur le site S en raison d'un foyer unique du pou étendu sur 15 arbres dans la zone des citronniers.

Tableau II : Différentes classes d'infestation utilisées pour le suivi sanitaire général des vergers. Source : APREL

0	Absence du ravageur
1	Quelques individus isolés ou non
2	Individus bien visibles ; avec ou sans symptômes
3	Individus très nombreux (recouvrement quasi-total) et symptômes apparents

II – Suivi sanitaire

1. Méthodes et fréquence de suivi

Les observations générales sont réalisées depuis septembre 2020 et jusqu'à septembre 2023 inclus. Le rythme du suivi a été de tous les mois durant la saison hivernale à tous les 15 jours le reste de l'année. A partir de mars 2023, le suivi s'est renforcé à raison d'un comptage par semaine. Il y a eu 12 observations sur la période 2020-21, 17 sur la période 2021-22 et actuellement 27 sur la période 2022-23 ; dont les données sont arrêtées au 25 juillet pour le suivi général et au 1^{er} août 2023 pour l'étude du pou rouge dans le cadre de cette étude. 10 arbres sont sélectionnés aléatoirement à chaque nouvelle observation pour recenser les auxiliaires et les ravageurs selon ravageurs et auxiliaires de cultures aperçus. La notation des ravageurs est faite par classe, de 0 à 3, selon des critères prédéfinis (Tableau II), et les auxiliaires sont notés au format présence/absence. Une estimation du niveau général de pression pour chaque ravageur (fréquence d'arbre atteint x intensité des attaques) est ajoutée pour synthétiser les observations auprès des producteurs.

III – Stratégies de lutte

1. Biosurveillance

1.1 - Pou rouge de Californie

Le suivi des populations permet de surveiller l'arrivée des nouvelles générations, soit les L1 mobiles, et de réduire au maximum les populations avant qu'elles ne migrent et infectent d'autres arbres. Pour se faire, un foyer a été identifié sur le site S (Figure 12) et un protocole a été mis en place dès la mi-mars pour suivre l'évolution des populations. 8 à 10 rameaux d'environ 10 cm ont été prélevés sur 3 à 4 arbres chaque semaine, puis amené au laboratoire de l'APREL pour un comptage sous loupe binoculaire. 100 individus sont observés sur chaque rameau, et sont dénombrés les mâles au stade pupes ; donc prêts à féconder, les femelles couvant des œufs, les L1 mobiles et le taux de parasitisme. Le taux de mortalité pour chaque rameau est estimé, et non calculé en raison de l'expansion de fumagine sur les cochenilles mortes.



Figure 13 : Reconnaissance d'Aphytis melinus. Source : Biobee

Les traitements sont réalisés lorsque le pourcentage de jeunes larves mobiles dépasse les 30% d'individus observés sur l'ensemble des rameaux.

Une explosion démographique sur le site M à la fin mai a conduit à observer les sites S et M simultanément.

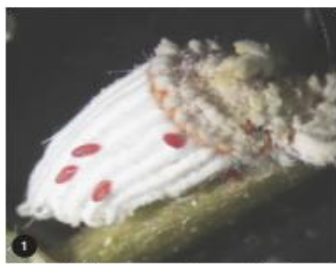
1.2 – Mineuse des agrumes

Il n'existe aucun ennemi naturel efficace homologué contre la mineuse des agrumes. Cependant, la biosurveillance des populations peut permettre de contrôler les populations déjà en place dans les vergers. Pour se faire, 2 pièges à phéromones type delta sont installés au sein des sites M et S (Figure 12) et sont vérifiés toutes les deux semaines afin de positionner les traitements durant les vols des premiers mâles (Dubreil *et al*, 2015). Les pièges à phéromones sont des pièges préventifs, par opposition aux pièges de masse, qui attirent uniquement les mâles. En effet, lors de la période de reproduction, les femelles émettent des phéromones qui attirent les mâles. L'utilisation de phéromones proches de celles sécrétées par les femelles permet de duper les mâles, qui sont alors attirés vers les pièges (Insectosphere). Dans le cas de *P. citrella*, la phéromone utilisée est 7,11,13-Hexadecatrienal (Awalekar *et al*, 2020). En plus d'une capsule de phéromone sexuelle, ils contiennent une plaque engluée qui empêche l'insecte de s'échapper. Ces pièges permettent de repérer les périodes de vol, et par la même occasion de savoir quand appliquer l'argile kaolinique, qui agit comme une barrière physique, avant que les femelles ne pondent sur le matériel végétal. Les capsules de phéromones sont changées toutes les 8 semaines, soit 3 fois au cours de l'essai.

2. Biocontrôle par des ennemis naturels des ravageurs cibles

2.1 - *Aphytis melinus*

C'est un micro-hyménoptère parasitoïde de cochenilles, de taille inférieure à 2 mm et de couleur jaune claire à brune (Figure 13), particulièrement efficace contre *A. aurantii*. Les parasitoïdes sont des auxiliaires de cultures qui pondent leurs œufs sur ou à l'intérieur des ravageurs ; on parle respectivement d'ectoparasitisme et d'endoparasitisme. La définition proposée par le Larousse est « Organisme qui, pendant une partie seulement de son existence, vit exclusivement aux dépens d'un autre organisme, qu'il ne détruit généralement que lorsque son propre



1
Red vedalia eggs on the outside of an adult scale
(4 to 7 days to vedalia hatch)



2
First instar vedalia larva feeding on a scale egg



3
Second instar vedalia larva burrowing into a cottony cushion scale egg sac



4
Scale crawler compared to a vedalia larva
Note the scale has black legs and black antennae, whereas the vedalia larva has red legs and no visible antennae.



5
Late instar vedalia larva
(10 to 20 days for all four larval stages to develop)



6
Fourth instar vedalia larva
Larvae attach themselves to a leaf and stop feeding just before pupation.



7
Vedalia pupa
A healthy pupa should move when touched.
(1 week until adult emergence)



8
Adult vedalia beetle
(Lives 1 to 3 months and lays 100 to 200 eggs)

Figure 14 : Les différents stades de développement de *Rodolia cardinalis*. Source : Beth Grafton-Cardwell, University of California

développement est terminé ». Aquaportail ajoute que le parasitoïde ne tue pas forcément son hôte, mais peut aussi le rendre simplement inapte à la reproduction. Une fois les œufs éclos, les larves grandissent dans leur hôte et s'en nourrissent. La larve se nymphose à la suite de la mort de son hôte et s'échappe une fois adulte. Dans le cas d'*A. melinus*, la femelle pond 1 à plusieurs œufs entre le bouclier protecteur et l'hôte, c'est un ectoparasite. Une fois éclos, les larves rentrent à l'intérieur de la cochenille et la consomment. Environ 2 semaines plus tard, les larves deviennent adultes et reproduisent le même cycle (Areflec). Trois générations se succèdent en moyenne à l'année (Vegephyl, 2011). Les adultes vivent un peu moins d'un mois, donc un grand nombre de cochenilles peut être parasité en une saison à la suite d'un lâcher.

C'est sur cet auxiliaire que nous avons basé notre lutte contre *A. aurantii*, le pou rouge de Californie. Un premier lâcher a été effectué le 02/06 sur le site S, à raison de 3 boîtes de 25 individus répartis dans l'ensemble du verger soit 75 ind / ha. Les lâchers suivants ont été réalisés sur le site M : une première dose le 30/6 de 330 ind / ha (50 ind / 1500m²), une dose le 28/7 de 500 ind / ha (75/1500m²) et une dernière dose le 25/8 de 500 ind / ha.

2.2 – *Rodolia cardinalis*

C'est une coccinelle prédatrice originaire d'Australie ; c'est un prédateur naturel de la cochenille australienne *Icerya purchasi*. Elle mesure en moyenne 3 à 4 mm, de couleur rouge vif tachetée de 5 points noirs et recouverte de poils (P. Fontaine, 2017). Les larves sont très ressemblantes à celles d'*I. purchasi* pour se confondre avec ses proies (Figure 14). Les œufs, rouges vifs, sont pondus à même l'ovisac de la cochenille. Les larves se développent et consomment l'ovisac rempli d'œufs (H. Martin, 2001). Une femelle peut pondre entre 150 et 200 œufs. Les œufs éclosent entre 4 à 7 jours après la ponte en conditions favorables (Anses, 2021). Le cycle de développement de la larve est très variable, de 3 semaines à 3 mois selon la saison. Les adultes vivent en moyenne 60 jours. Ainsi, 6 à 12 générations peuvent se succéder en une année (Vegephyl, 2011 ; Anses, 2021). Les larves comme les adultes sont voraces, et peuvent consommer un nombre important de cochenilles chaque jour.

Rodolia cardinalis est l'auxiliaire sélectionné pour lutter contre *I. purchasi*. Des lâchers ont été réalisés en 2020 sur le site M et le site S. Leur reconnaissance sur le terrain a permis de mesurer leur installation au sein des vergers sur le long terme.

Tableau III : Différentes classes d'infestation pour *A. aurantii* ; suivi spécifique. Source : personnelle

0	Absence de pou rouge
1	Faible < 10% colonisé – quelques cochenilles sont présentes de façon isolée
2	Moyen – moins de la moitié du rameau est colonisée
3	Fort > 50 % colonisé – plus de la moitié du rameau est colonisée
4	Rameau mort

Tableau IV : Différentes classes d'infestation pour *P. citrella* ; suivi spécifique. Source : personnelle.

0	Absence
1	1/4 feuilles de l'arbre touchées
2	1/2 feuilles de l'arbre touchées
3	3/4 feuilles de l'arbre touchées

3. Suivi spécifique et mesures d'efficacité

Le suivi spécialisé des trois ravageurs cibles s'est greffé au suivi standard dès avril 2023. Il a nécessité la mise en place de 10 arbres placettes sur les sites M et S respectivement (Figure 12). Les arbres ont été sélectionnés de façon homogène pour représenter la surface globale des vergers ; ainsi que pour la présence des ravageurs spécifiques pour le pou rouge sur le site S.

3.1 - Pou rouge de Californie

- Comptage du nombre d'arbres atteints 1 fois par mois pour mesurer la propagation ;
- Estimation des niveaux de populations et des dégâts tous les 15 jours sur les 10 arbres placettes. Estimation visuelle (Tableau II). Si les jeunes rameaux de l'année sont atteints, l'attaque n'est pas maîtrisée, si seuls les vieux rameaux sont touchés, l'attaque se calme.

3.2 - Cochenille australienne

- Relevé absence/ présence de la coccinelle *Rodolia cardinalis* tous les 15 jours.

3.3- Mineuse des agrumes

- Comptage tous les 15 jours du nombre d'individus au sein des pièges delta pour positionner les traitements ;
- Estimation des niveaux de populations et des dégâts tous les 15 jours sur 10 arbres placettes (Tableau III). Notation présence / absence de galeries sur jeunes feuilles, bourgeons axillaires et feuilles plus âgées.

IV –Analyse statistique

L'ensemble des données collectées ont été analysées à partir du logiciel de statistique Rstudio. Ces analyses ont nécessité l'utilisation de « modèles de lien cumulatif » ou clm pour l'analyse de l'intensité d'attaques des ravageurs, notée par classe, ainsi que de modèles linéaires

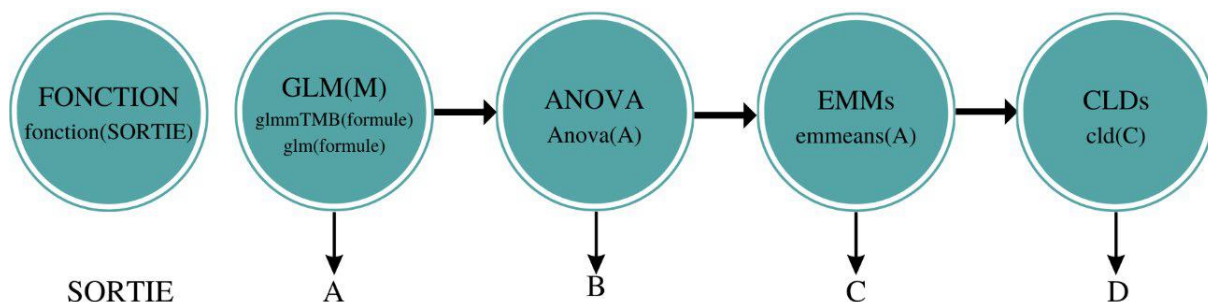


Figure 15 : Schéma récapitulatif de l'analyse statistique. Source : H. Sarthou

Tableau V : Résumé des tests statistiques utilisés

Tableau de donnée	Type de données	Package / fonction	Variables explicative	Variables à expliquer	Loi
Suivi sanitaire	Classe	ordinal / clm()	Ravageur+Année	Classe	
Suivi sanitaire	Présence/absence	glmmTMB / glm()	Ravageur+Année	Nombre d'arbre où présent	Binomiale
Suivi sanitaire	Classe	ordinal / clm()	Ravageur*Site	Classe	
Suivi sanitaire	Présence/absence	glmmTMB / glm()	Ravageur*Site	Nombre d'arbre où présent	Binomiale
Arbres placettes	Présence/absence	glmmTMB / glmmTMB()	Mois+Site	Nombre d'arbre où présent	Binomiale
Pou rouge loupe binoculaire	Comptage	glmmTMB / glm()	Mois*Site	Nombre de L1 mobiles	Poisson
Pou rouge loupe binoculaire	Comptage	glmmTMB / glm()	Mois*Site	Nombre de poux parasités	Poisson
Auxiliaires	Présence/absence	glmmTMB / glm()	Mois*Site	Nombre d'arbre où présent	Binomiale
Arbres placettes	Présence/absence	glmmTMB / glmmTMB()	Mois+Site	Nombre d'arbre où présent	Binomiale

généralisés, ou glm pour l'analyse de la fréquence d'observation des insectes. Les glm sont basés sur la loi de poisson pour les données de type comptage (stade L1 et taux de parasitisme du pou rouge), et sur la loi binomiale pour les données de type « présence/absence » (observation générale des ravageurs, observation du pou rouge et de la mineuse sur les arbres placettes, installation de *R. cardinalis*).

Lorsque les modèles ont indiqué des différences significatives entre les données, une anova de type II a été réalisée suivi d'une comparaison par paire avec la fonction emmeans(). Pour faciliter la compréhension, la fonction cld() a été utilisée afin de transformer ces résultats en groupe significatifs, représentés par des lettres (Figure 15). Pour rappel, deux lettres communes signifient l'absence de différence entre les modalités. L'ensemble des tests réalisés sont résumés dans le tableau VI. L'erreur statistique de rejet à tort de l'hypothèse nulle est $\alpha = 0,5$.

Enfin, la fonction data.summary (cf Annexe 1) a permis de calculer les écarts-type de chaque observation, représentés dans les barres d'erreurs des histogrammes.

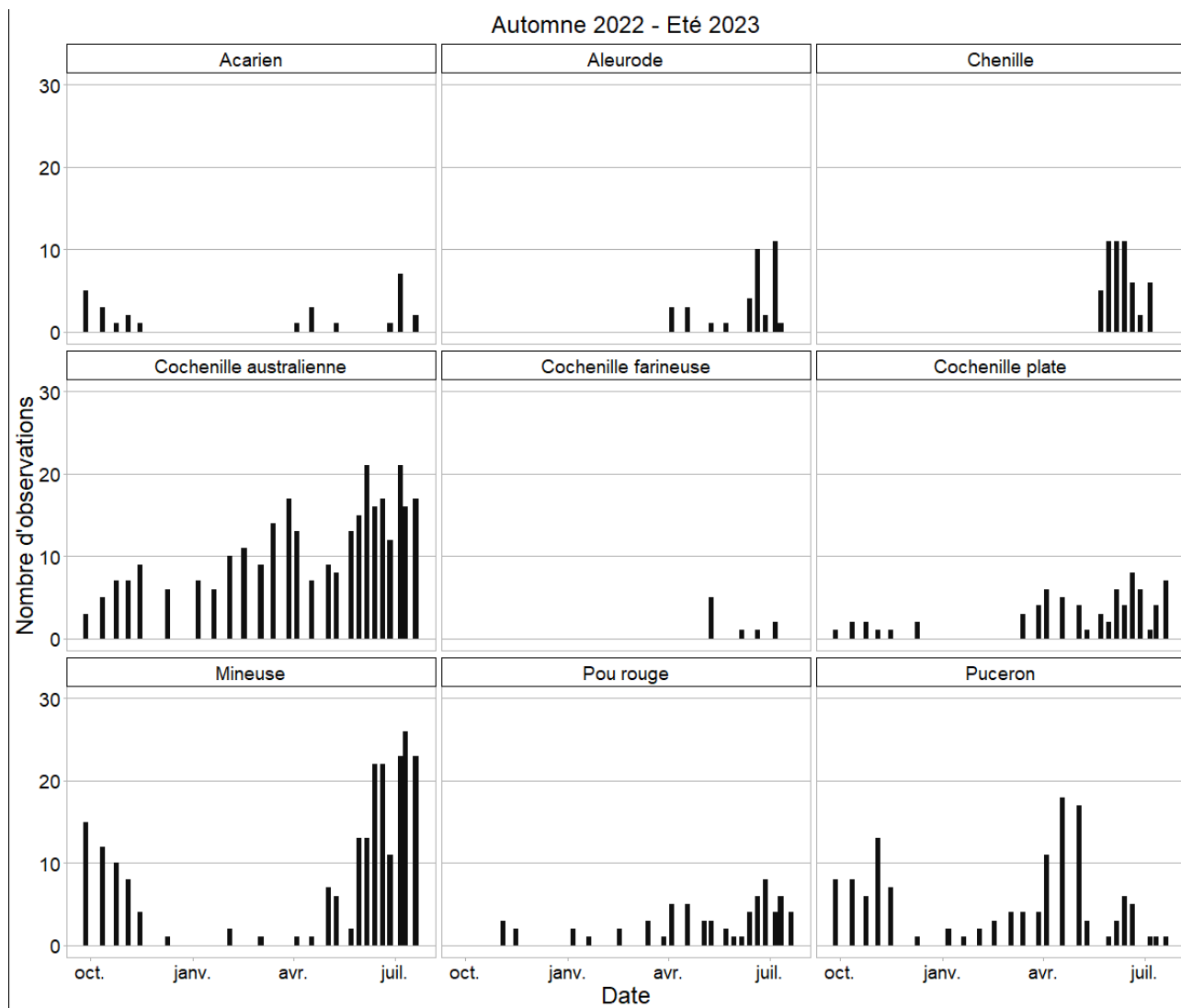


Figure 16 : Evolution de la fréquence des différents ravageurs rencontrés dans les vergers d'agrumes au cours de la période septembre 2022 à juillet 2023. $n=30$, le nombre d'arbres observés par observation, soit 10 arbres par site. $N=27$; le nombre d'observation réalisées durant cette période sur les 3 sites.



Figure 17 : Larves d'*Aleurothrixus floccosus* sur *Citrus*.

Résultats

I – Suivi sanitaire

1. Dynamique des populations pour l'année 2023

La présence des ravageurs n'est pas continue, en raison de leur cycle biologique et des conditions biotiques et abiotiques variables dans le milieu ; même sous abri. La figure 16 donne un aperçu de la fréquence d'observation des différents ravageurs au sein des vergers. Le **nombre d'observations** correspond au **nombre d'arbres observés sur lesquels on retrouve le ravageur à un instant t**.

Les ravageurs les plus représentés tout au long de l'année sont la cochenille australienne, avec une moyenne de 8 arbres sur 30 touchés entre septembre et mars et une moyenne de 12 arbres sur 30 touchés entre avril et juillet. La mineuse des agrumes est aussi très présente avec un creux marqué entre janvier et avril correspondant à la période d'hivernation. Elle est retrouvée en moyenne 20 fois sur 30 à chaque observation entre juin et juillet.

Les acariens et les cochenilles farineuses et plates sont retrouvés de manière éparse au cours du temps dans les vergers. Généralement, seul un verger est atteint à la fois avec une faible intensité d'attaque. C'est aussi le cas des pucerons, dont les espèces n'ont pas été identifiées, mais avec une fréquence pouvant atteindre 18 arbres sur 30. Les populations diminuent sans qu'aucune solution de lutte n'ait été mise en place.

La chenille et l'aleurode sont deux ravageurs qui étaient encore peu observés jusqu'à respectivement avril et mai 2023. Il s'agirait de *Argyrotaenia citrana* pour le lépidoptère et *Aleurothrixus floccosus* (Figure 17) pour l'aleurode. Ces deux ravageurs ont été observés dans deux des trois vergers avec une fréquence d'observation relativement importante, mais la chenille n'est plus observée depuis le mois de juin et les populations d'aleurodes ont diminué.

Enfin, le pou rouge est peu observé lors des observations aléatoires sur les sites. Cependant, ce suivi n'est pas représentatif des populations observées sur le terrain, car ils forment des foyers très localisés.

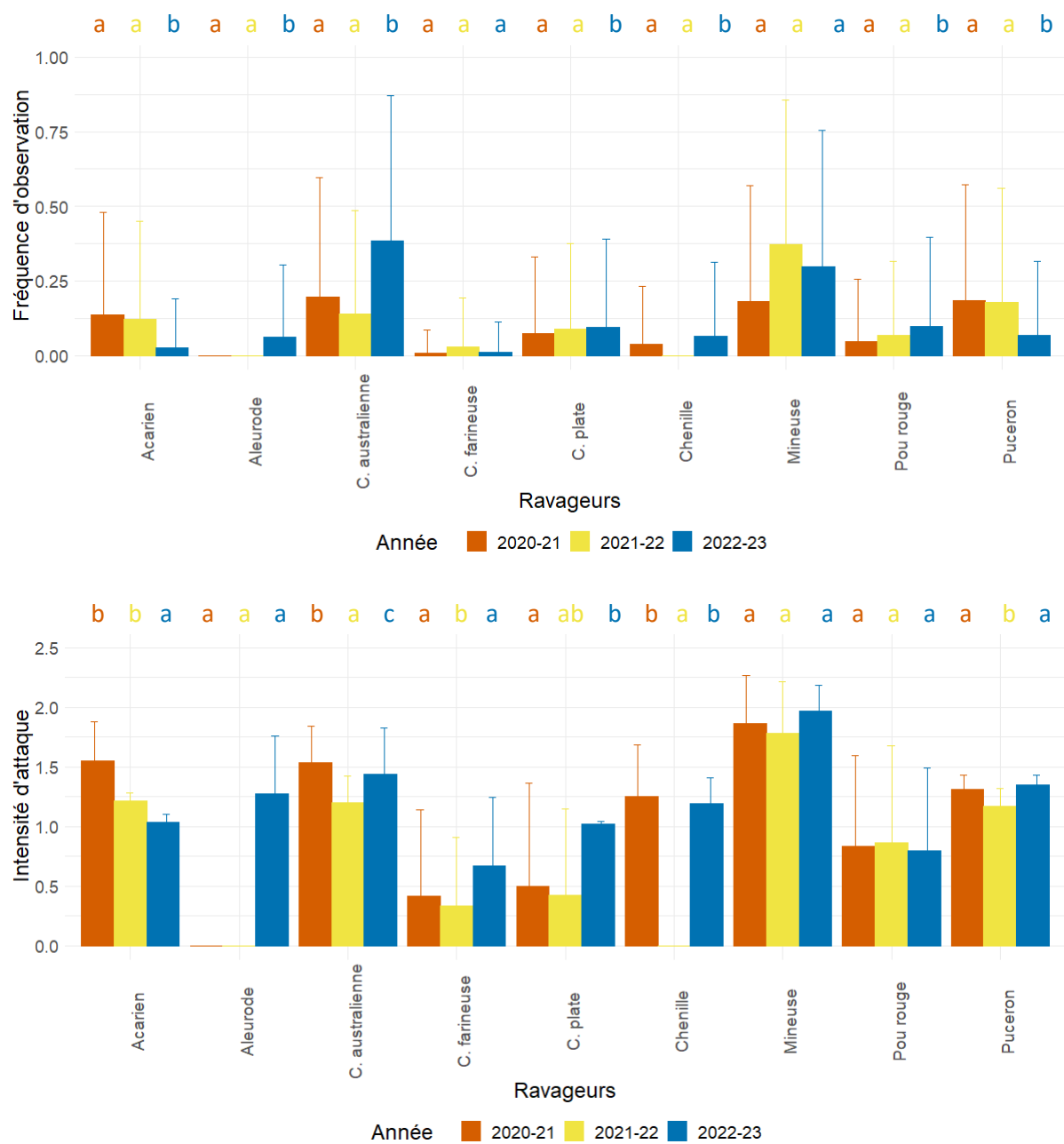


Figure 18 : Comparaison de la fréquence d'observation des ravageurs et de l'intensité des attaques entre les 3 années de suivi. $n_{Fréquence} = 1$; $n_{Intensité} = 3$.

2. Evolution comparative des années de suivi tout site confondu

La fréquence d'observation des ravageurs entre les années de suivi est très variable. Tous ravageurs confondus, elle est statistiquement différente sur la période 2022-23 en comparaison aux autres années de suivi ($p\text{-value} < 0.001$).

L'acarien et le puceron ont été significativement moins observés que les années précédentes (Figure 18), cependant, seul le puceron a une intensité d'attaque statistiquement supérieure à l'année 2021-22 et non-différente de l'année 2020-21. L'acarien quant à lui régresse chaque année, et devient l'un des ravageurs les moins observés dans les vergers.

Au contraire, la fréquence d'observation de la cochenille australienne est significativement supérieure sur la période 2022-23 à celle des deux autres années d'observation.

La note de d'intensité d'attaque sur les cultures est de 1.4/3, soit une augmentation de 0.5 par rapport à 2021-22. Cependant, les données de 2020-21, avec une note moyenne de 1,55/3, montrent que cette pression est peu variable au cours des années.

La mineuse des agrumes est très légèrement moins représentée cette année dans les vergers par rapport à 2021-22, avec une fréquence d'observation, de 0,3 contre 0,37 pour l'année précédente. Néanmoins, l'intensité des attaques n'est pas différente des années précédentes, avec une note comprise entre 1,78 et 1,97.

La fréquence d'observation de cochenille farineuse sur la période 2022-23 n'est pas différente de l'année 2020-21 et inférieure à l'année 2021-22 ; elle est globalement très peu représentée au sein des vergers. Le constat est semblable quant à l'intensité des attaques causés par ce ravageur avec une note de 0.45 en 2021-22 et de 0.7 en 2022-23. Cependant, un arbre a été noté 3/3 lors d'une observation sur le site S cette année. La cochenille s'est ensuite propagée aux arbres voisins, mais avec une intensité moindre, ce qui n'a donc pas causé de gros dégâts sur la culture.

La cochenille plate faisait aussi partie des ravageurs les moins observés en 2020-21, mais les populations grossissent peu à peu, et causent de plus en plus de dégâts sur les cultures avec une intensité d'attaque de 1/3 cette année, tandis qu'elle était de 0,5/3 en 2020-21.

Le pou rouge, apparu sur le site M cette année, est statistiquement plus observée sur la dernière année de suivi. Cependant, l'intensité moyenne des attaques reste constante.

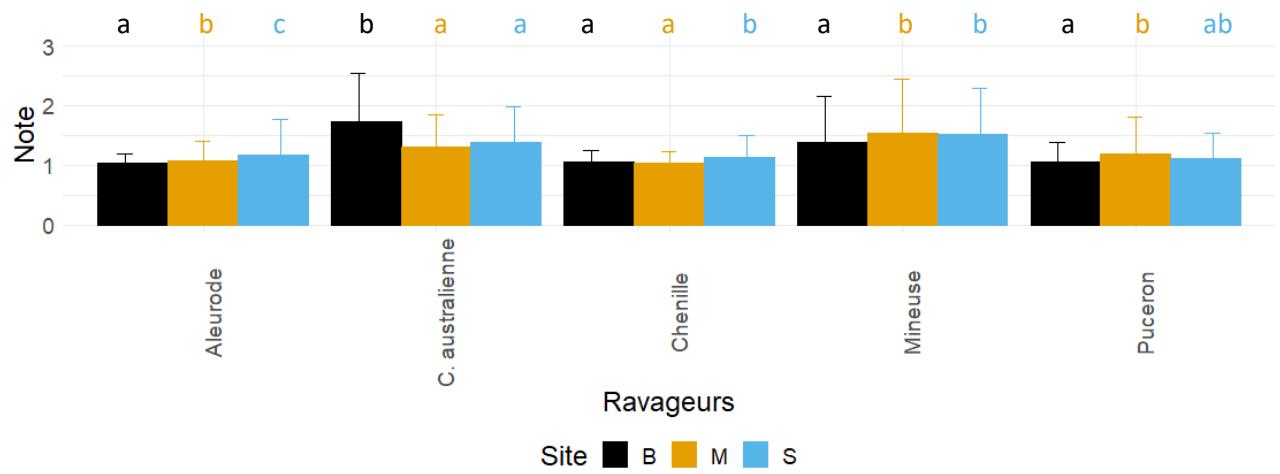


Figure 19 : Pression moyenne de ravageur observée sur les 3 sites de l'essai de septembre 2022 à juillet 2023.
n = 3.

La chenille et l'aleurode, représentés sur une très petite période avec une fréquence d'observation totale de 0.06, montrent des dégâts importants sur les cultures. Les deux ravageurs ont une intensité d'attaque estimée en moyenne à 1.2, ce qui est plus que certains autres ravageurs bien plus représentés dans les 3 vergers.

3. Comparaison des 3 sites sur la période 2022-23

Seuls les ravageurs observés plus de 10 fois lors d'au moins un comptage, correspondant à 33% des arbres observés, sont étudiés ici ; c'est-à-dire l'aleurode, la chenille, la cochenille australienne, la mineuse des agrumes et le puceron. Cela permet de se concentrer uniquement sur les ravageurs les plus observés.

La pression est une note intégrant la fréquence moyenne d'observation **et** la note d'intensité d'attaque (Figure 19). Le résultat du test statistique montre un effet du ravageur ($p\text{-value} < 0.001$), du site ($p\text{-value} < 0.001$) et une interaction significative entre les deux facteurs ($p\text{-value} < 0.001$) sur la pression générale.

La cochenille australienne est statistiquement supérieure ($p\text{-value} < 0.01$) sur le site B avec une note de pression de 1.74. Les sites M et S sont moins touchés avec une note respective de 1.31 et 1.39.

La mineuse des agrumes est la plus représentée sur le site S en comparaison aux autres sites, avec une note de 1.51 contre 1.37 sur le site B.

L'aleurode a une pression significativement plus élevée sur le site S, avec une note de 1.17 en comparaison au site B, qui possède une note de 1.03. Le site M, avec 1.08, ne se différencie pas statistiquement des deux autres sites.

Il en va de même pour la chenille tordeuse, qui est notée 1.13 sur le site S, et qui est significativement plus remarquée sur celui-ci en comparaison aux deux autres sites, qui ont une note de 1.02 à 1.04.

Enfin, le puceron tend à avoir une pression plus importante sur le site M avec une note de 1.19. Cette pression est statistiquement supérieure à celle retrouvée sur le site B (1.05), et le site S est non-différent des deux autres avec un risque d'erreur de 5%.

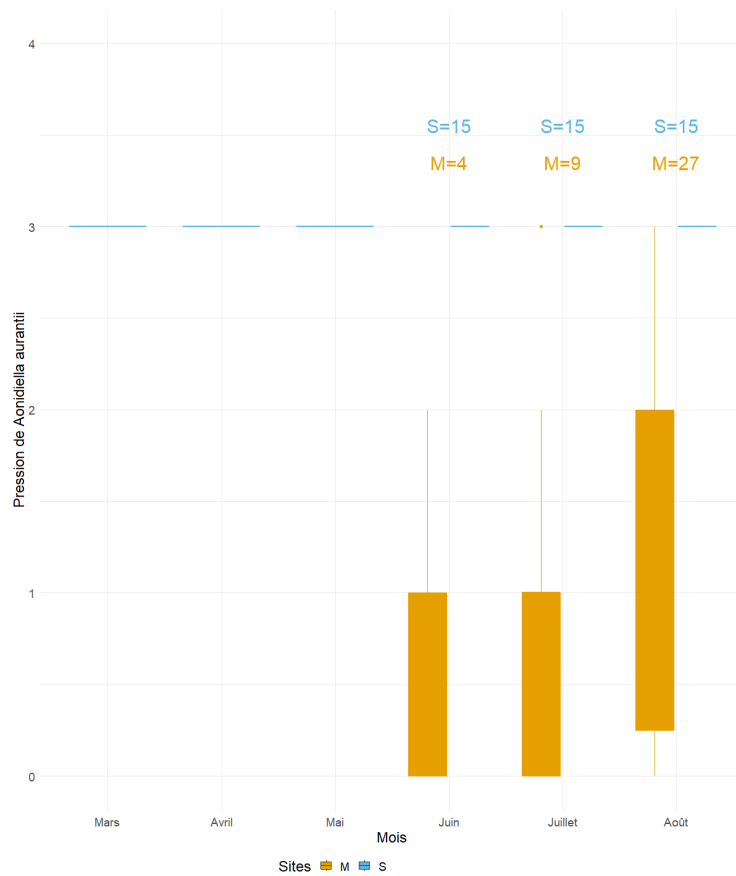


Figure 20 : Evolution de la pression de pou rouge sur les arbres placettes. Observation de mars à août 2023, soit $N = 11$ observations. Au-dessus des boîtes à moustache se trouve le nombre d'arbres recensés chaque mois touchés par *Aonidiella aurantii*.

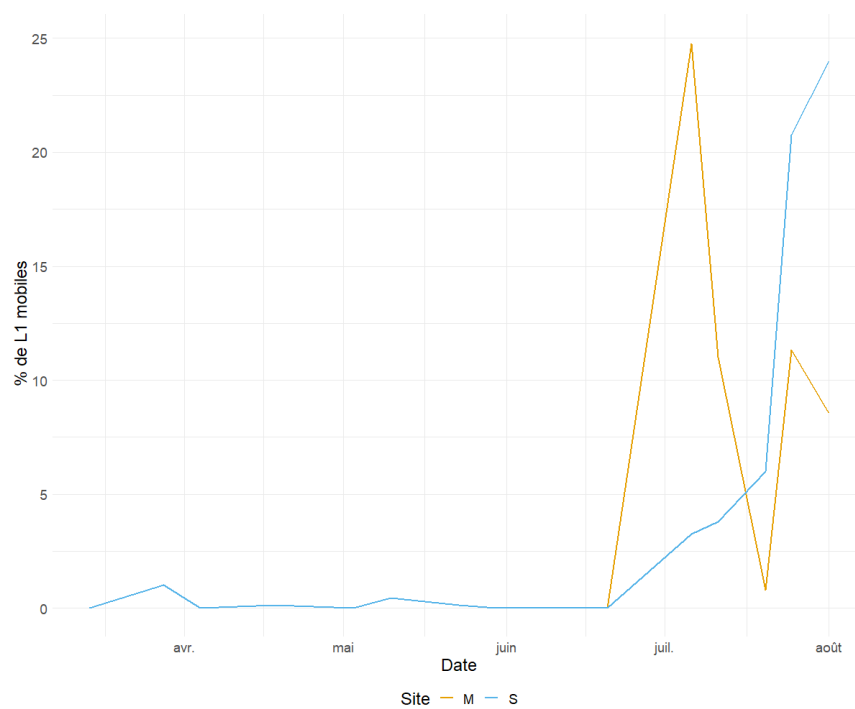


Figure 21 : Evolution des stades L1 mobiles de mars à août 2023. $N_{\text{Site}_S} = 15$; $N_{\text{Site}_M} = 5$.

II – Stratégie de lutte

1. Suivi du pou rouge

1.1 - Evolution des populations de *Aonidiella aurantii*

Le verger du site M a été suivi pour le pou rouge à partir du mois de juin 2023 en raison d'une explosion dans les populations de pou rouge, qui se sont rapidement étendues dans le verger. Le nombre d'arbres touchés par le ravageur augmente de façon conséquente chaque mois, passant de 4 arbres au mois de juin à 27 arbres touchés par le pou lors du dernier comptage au mois d'août. La pression sur le site M, avec 75% des arbres inférieurs ou égaux à la classe 1 au début des observations, tend à grimper à 2 au mois d'août (Figure 20). L'intensité des attaques et la fréquence d'observation est plus importante, ce qui revient à une pression générale supérieure.

Au contraire, la population de pou rouge vieillissante sur le site S est facilement constatable avec une pression linéaire, à 3/4, et une absence de colonisation supplémentaire du milieu. Les raisons de ce vieillissement sera analysé en discussion. Il y a, tout mois confondu, une différence significative de population entre les deux sites ($p\text{-value} < 0.001$).

1.2 - Suivi des larves de stade L1 mobiles

Le suivi des larves de stade L1 a permis la détermination des périodes de migration et ainsi l'application de traitement aux périodes adéquates pour réduire le plus efficacement ces nouvelles générations de pou rouge. Sur le site M, la première génération de jeunes mobiles semble être arrivée mi-juin (Figure 21). La première notation montre 24,75% de larves mobiles observées sur l'ensemble des rameaux prélevés. À la suite du premier traitement de success réalisé le 1 juillet, la courbe de population décroît rapidement jusqu'à atteindre un creux le 20 juillet avec 1% de larves mobiles observées. Ensuite, elle remonte dès la semaine suivante à 11%.

Sur le site S, la première génération apparaît plus tardivement, à la fin du mois de juillet lors du second pic sur le site M. Le pic d'apparition monte jusqu'à 24% lors de la dernière observation le 25 juillet sur l'ensemble des rameaux prélevés. L'analyse statistique a montré une différence entre les deux sites ($p\text{-value} < 0.01$).

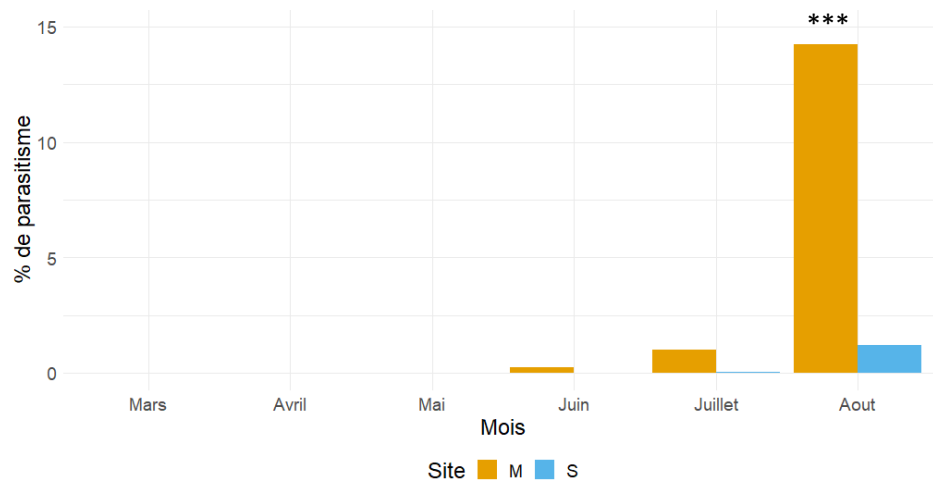


Figure 22 : Evolution du parasitisme de *Aonidiella aurantii* par *Aphytis melinus* de mars à aout 2023.
 $N_{\text{Site}_S} = 15$; $N_{\text{Site}_M} = 5$.

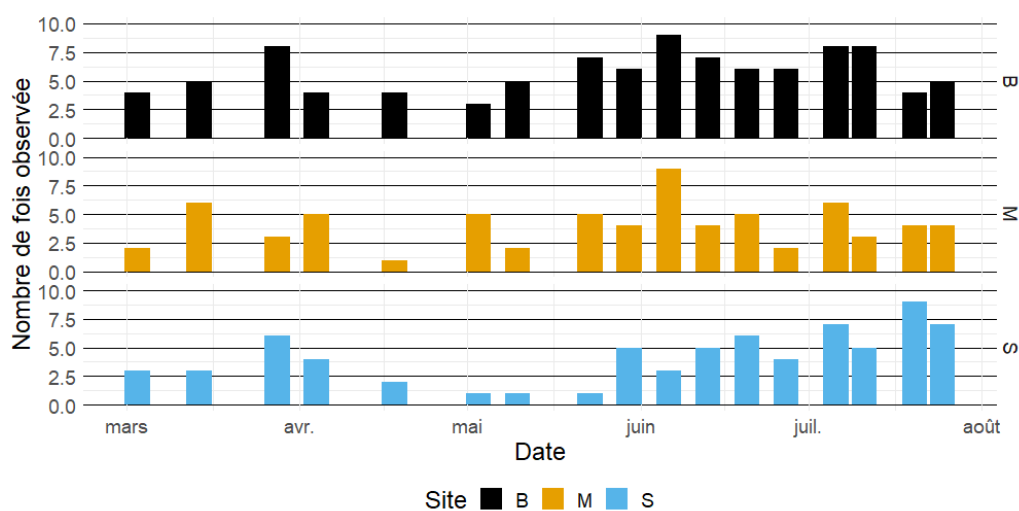


Figure 23 : Evolution de la fréquence d'observation de *Icerya purchasi* sur les 3 sites de mars et juillet 2023.
 $N = 16$.

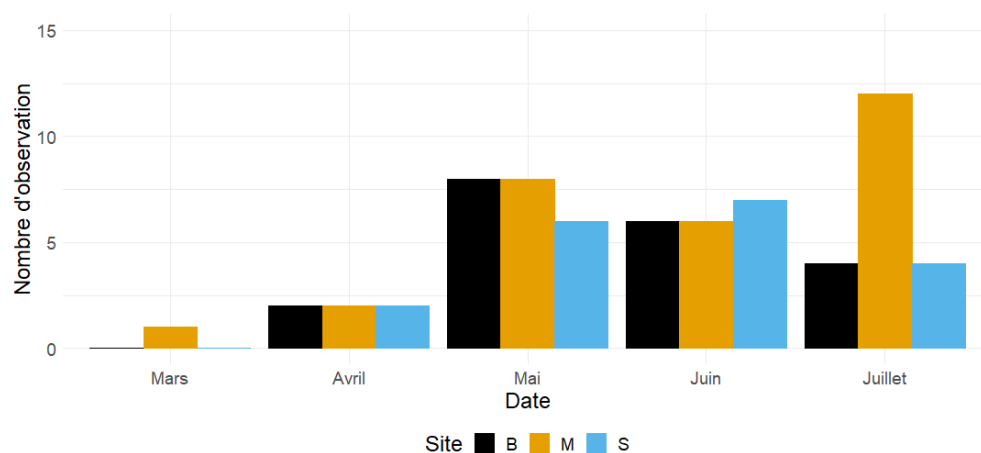


Figure 24 : Comptage de *Rodolia cardinalis* de mars à juillet 2023 ; larves, nymphes et adultes. $N=11$.

1.3 – Taux de parasitisme observé par *Aphytis melinus*

L'analyse statistique montre une différence significative entre les sites M et S ($p\text{-value}<0.01$) et entre les mois de prélèvement ($p\text{-value}<0.001$), avec une interaction significative entre ces deux facteurs ($p\text{-value}<0.001$).

Sur le site M, les parasitoïdes sont significativement plus observés au fur et à mesure des mois avec une différence visible des mois de juin, juillet et août (Figure 22). Au mois d'août, un pic à 14% d'individus observés parasités montre l'acclimatation d'*Aphytis melinus* dans le verger.

Sur le site S, aucune différence n'est observée au cours des mois. Cependant, au mois de juillet, un prélèvement a permis d'observer un parasitisme exceptionnel du pou rouge par *Comperiella bifasciata*, un auxiliaire indigène.

2. Suivi de la cochenille australienne

2.1 - Evolution des populations de *Icerya purchasii*

La représentation graphique (Figure 23) de la dynamique de population de la cochenille australienne montre qu'elle est présente tout au long de la période de suivi, avec un creux de densité entre avril et juin. La cochenille australienne est notamment présente sur le site B avec une fréquence moyenne d'observation de 50%. Cependant, comme vu précédemment, l'intensité des attaques est souvent de 1/3, ce qui en fait un ravageur à surveiller, mais sans risques importants de dégâts sur la culture.

2.2 – Installation de *Rodolia cardinalis* dans les vergers

On constate graphiquement (Figure 24) une tendance à la hausse de la population à partir du mois de mai. Cependant, l'analyse statistique montre qu'il n'existe aucune différence qu'au mois de juillet ($p\text{-value}<0.01$), et uniquement pour le site M. La présence de la coccinelle prédatrice est donc constante entre les mois de mars à juin, et tend à augmenter en juillet.

La coccinelle semble s'être correctement installée dans les vergers à la suite des premiers lâchers en 2020. Il ne peut cependant pas être prouvé qu'il ne s'agissent pas d'individus arrivés naturellement dans les vergers.

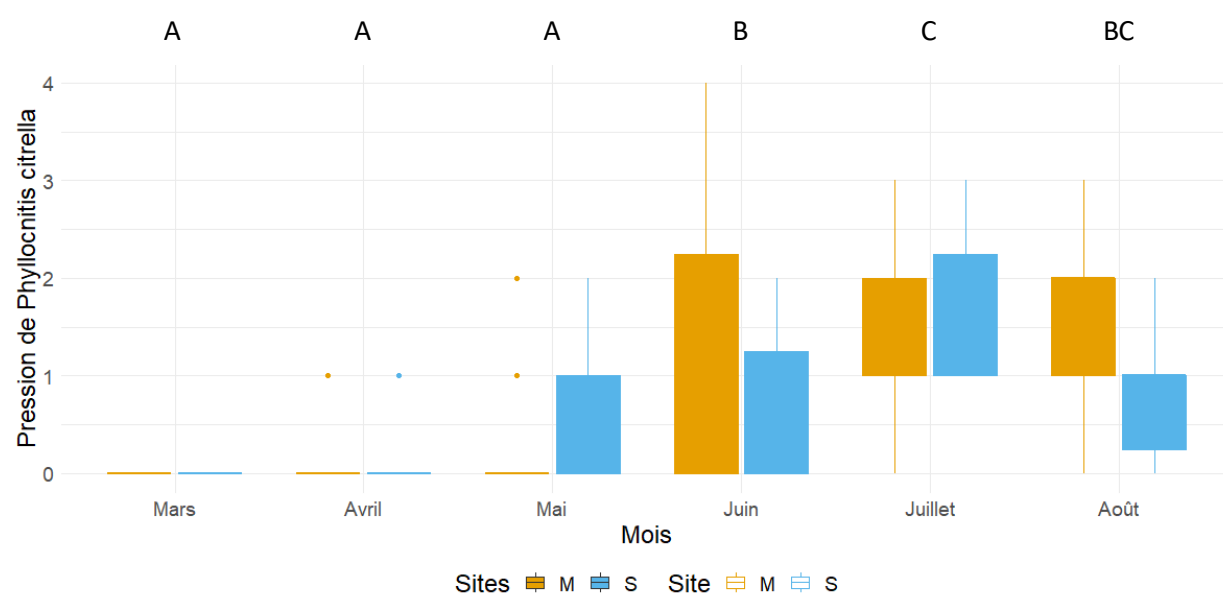


Figure 25 : Evolution de la pression de *Phyllocnitis citrella* sur les arbres placettes de mars à juillet 2023. N = 15.

3. Suivi de la mineuse des agrumes

Tout comme pour le pou rouge, la pression de mineuse est estimée à partir des observations spécifiques sur la période mars-août 2023 (Figure 25). De mars à mai, très peu de larves sont observées dans les feuilles des arbres. La première génération arrive en mai sur le site S, tandis qu'elle émerge en juin sur le site M, avec un nombre d'arbres attaqués plus important. L'analyse statistique montre un effet significatif de la date ($p\text{-value} < 0.001$).

De mars à mai, on ne retrouve pas de différence de fréquence d'observation sur les deux sites, avec seulement quelques individus retrouvés de manière éparse. A partir du mois de juin, une première génération apparaît avec un pic au mois de juillet. Il existe une différence significative de fréquence d'observation entre les mois de juin et de juillet. Le mois d'août n'est pas différent statistiquement des deux mois précédents. Il n'existe pas de différence statistique entre les sites.



Figure 26 : Photographie de feuilles de Citrus recouverte de momies dorées



Figure 27 : Photographie d'une feuille de Citrus infestée par du puceron. Des larves d'Aphidoletes sp (orange) sont présentes un peu partout sur la feuille.

Discussion & Perspectives

I – Suivi sanitaire

1. Dynamique des populations pour l'année 2023

Les observations confirment la sélection préalable au début de l'essai. Les ravageurs les plus retrouvés sont la cochenille australienne, la mineuse des agrumes, le pour rouge ainsi que le puceron dans une moindre mesure. Le suivi a permis d'observer la régulation quasi-systématique et automatique des populations de cochenille et de puceron par leurs prédateurs et parasitoïdes naturels présents dans les vergers.

A chaque pic de puceron, avec une infestation forte, on retrouvait 2 à 3 semaines plus tard une importante quantité de momies dorées (Figure 26) et de momies de Praon. Cela explique que les populations ne s'installent pas dans le temps grâce à une bonne régulation naturelle permise par la faune indigène. On retrouve entre autres des larves de cécidomyies, des larves et imago de coccinelles de nombreuses espèces, ainsi que des parasitoïdes (Figure 27).

La cochenille australienne est à son tour régulée, supposément par *Rodolia cardinalis*. Les populations de cochenille ne disparaissent que rarement en raison de la propagation rapide des larves sur la surface entière d'un arbre, ce qui limite l'élimination totale des populations. Cependant, elles sont maintenues à un stade faiblement dommageable pour la culture. De plus amples observations pourraient être réalisées sur les ravageurs émergents, parmi lesquels :

- Le nouvel aleurode recensé sur les sites M et S, *Aleurothrixus floccosus*. Ce ravageur produit une grande quantité de miellat qui induit l'apparition de fumagine. En l'absence de prédateur, la croissance de la population est importante. Il est facilement reconnaissable sur agrumes par la couleur orangé du corps des adultes, et l'aspect floconneux / duveteux des larves sur les feuilles. Des lâchers d'hyménoptères parasitoïdes de la famille des Aphelinidae comme *Cales noacki* How. sont envisageables. En Guadeloupe, un taux de parasitisme proche de 100% est constaté et plusieurs travaux de recherches en Europe sont concluants (Onillon, 1973. Leblanc et Le Bellec, 2005). Aussi, « une dizaine d'entomophages » comme des chrysopes, des coccinelles et autres coléoptères prédatent cet aleurode (Abbassi, 1975).

- La cochenille plate *Coccus hesperidum*. Bien qu'observée depuis 2020, cette cochenille est de plus en plus observable dans les vergers. Les populations sont souvent réunies sur un rameau qu'elles colonisent jusqu'à l'assèchement. Une explosion démographique, comme observée pour le pou rouge de Californie pourrait causer de gros dégâts sur les cultures. Cette hypothèse est renforcée par leur mode de reproduction parthénogénétique (Fredon Corse, 2021), c'est-à-dire que les mâles ne sont pas nécessaires pour la reproduction.

Plusieurs hyménoptères du genre *Metaphycus* (Blumberg et DeBach, 1981) et *Coccophagus* (Muegge et Lambdin, 1989) sont utilisés pour parasiter la cochenille. Il existe aussi des prédateurs comme *Chilocorus nigritus* de la famille des Coccinellidae (Ponsonby et Copland, 2007) qui consomment cette cochenille. Des lâchers pourraient être envisagés pour empêcher la prolifération de l'insecte.

- La chenille tordeuse des agrumes *Argyrotaenia citrana*. Ce lépidoptère de la famille des Tortricidae cause un enroulement des feuilles qui entrave la capacité photosynthétique. Aussi, les larves forment des cocons entre les sépales et les fruits, puis creusent dans les fruits qui pourrissent et tombent (Ladaniya, 2023). Ce ravageur est donc d'intérêt économique dans les vergers. Des mesures préventives comme la pose d'un filet anti-insecte avec des mailles adaptées à la tordeuse, entre les mois de mai et juin, permettrait de réduire les dégâts causés par ce ravageur. D'autres méthodes préventives existent, telles que la confusion sexuelle ou le piégeage des mâles, deux méthodes utilisant des phéromones qui empêchent les mâles de féconder les femelles et donc qui empêchent l'arrivée de nouvelles chenilles.

En méthode de lutte, il existe des prédateurs et parasitoïdes tels que *Exochus nigripalpus subobscurus* (Flaherty et Wilson, 1999) ou l'utilisation de Bt. Des PPP sont aussi envisageables.

2. Evolution comparative des années de suivi tout site confondu

La comparaison entre les 3 années de suivi montre qu'il y avait une régularité au niveau des dégâts observés sur les cultures, avec des ravageurs prédominants peu problématiques en raison de l'absence d'explosion démographique des populations. Ainsi, les dommages sur les cultures sont rarement impactant sur le rendement. En termes de commercialisation, le choix

de la vente directe permet un écoulement des produits qui pourraient ne pas être conformes dans un autre circuit de commercialisation. Cependant, certaines populations comme la cochenille plate grossissent peu à peu et doivent être surveillées ; tout comme l'aleurode nouvellement observé.

La tordeuse des agrumes était absente sur la période 2021-22 et est apparue sur une très brève période cette année. Une étude bibliographique à son sujet pourrait permettre d'améliorer les connaissances face à ce ravageur et de déterminer plus précisément les conditions et les périodes d'apparition dans les vergers sous abri (cf : Discussion & Perspective – I - 1).

De plus, la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* a été observée dans un verger de l'étang de Berre, en dehors du projet DACAPPO. Ce diptère pique les fruits pour y pondre ses larves sous la peau via son ovipositeur. Les larves se nourrissent de la chair, ce qui entraîne une putréfaction. L'adulte peut pondre jusqu'à 80 œufs dans un fruit, et jusqu'à 500 à 600 œufs au cours de sa vie. Six à sept générations peuvent se succéder dans l'année, ce qui en fait un ravageur très problématique (INRAE, 2018. SudArbo, 2017). De plus, l'hivernation a lieu dans le sol, ce qui réduit les périodes de lutte. Il n'existe pour l'instant aucune méthode de lutte, hormis le piégeage massif. C'est pour cela qu'il est important de prévenir son apparition pour contrôler sans délai les populations. La mise en place d'une tente malaise ou piège malaise à l'extérieur de l'abri est un moyen efficace de contrôler les insectes volants autour du verger, et ainsi de prévenir l'arrivée de la mouche.

3. Comparaison des 3 sites sur la période 2022-23

La comparaison des 3 sites tout au long de l'année a permis de confirmer le meilleur site candidat pour les lâchers. Le protocole réalisé au préalable programmait un type de lâcher sur chaque site. Cependant, le manque d'entretien important sur le site B a pénalisé la tâche, et conduit à une faible pression de ravageur, il n'a donc pas été étudié spécifiquement contrairement aux deux autres sites. Des carences importantes dans le verger ont réduit fortement la reprise végétative et l'apport de nutriments pour les phytophages. D'autres facteurs évoqués plus tôt sont rentrés en compte dans la modification de la méthodologie envisagée pour cette étude (cf : Matériel et méthodes – III-1.1).



Figure 28 : Colonisation d'un fruit et de feuilles de Citrus par A. aurantii. Source : personnelle

Cette comparaison permet au moins de dresser un profil des 3 vergers et leurs sensibilités respectives à certains ravageurs. Il est probable que cette différence soit due à de nombreux facteurs. On peut cependant supposer que la conduite de culture en bio ou en conventionnel a un impact sur la pression de ravageur. Le verger du site M, conduit en conventionnel, subit moins les attaques de ravageurs car l'utilisation de PPP réduit radicalement les infestations, mais conduit aussi à la perte de certains auxiliaires. Cependant, la présence de nombreuses cultures maraichères sous le même abri ont un rôle de banque qui permet un retour rapide des auxiliaires dans les agrumes. L'enherbement du sol, sur les sites M et S joue aussi un rôle important, d'après une précédente étude dans le cadre du projet DACAPPO : Evaluation de la diversité de l'entomofaune épigée (cf: Annexe 2). Celle-ci conclut que les sites avec enherbement favorisent une faune diversifiée. Aussi, la méthode d'irrigation joue un rôle dans le contrôle de certains ravageurs sensibles à l'humidité. Le choix de l'aspersion, de la micro-aspersion ou du goutte-à-goutte joue un rôle important dans l'agrumiculture. L'aspersion, qui arrose le feuillage, est un bon moyen de lutte contre les acariens. Cependant, une trop forte humidité de l'air peut favoriser l'apparition de maladies comme le Phytophthora (Laville, 1974), le chancre citrique causé par *Xanthomonas citri* (Porino *et al*, 2022), *Sclerotinia sclerotiorum* et bien d'autres maladies. Enfin, l'entretien des cultures par la taille, le nettoyage des rameaux favorise l'accès à la lumière, et donc la photosynthèse, et permet de rétablir leur état sanitaire.

Cette première étude a permis de conclure que seuls la mineuse des agrumes, le pou rouge, et dans une moindre mesure la cochenille plate, la tordeuse des agrumes et la cochenille australienne sont d'importance économiques au sein des vergers et qu'il est d'intérêt de surveiller ces populations pour limiter les dégâts occasionnés.

II – Stratégie de lutte

1. Suivi du pou rouge

Les données récoltées sur l'évolution des populations de *A. aurantii* ont été influencées par l'arrivée soudaine du ravageur sur le site M. Ce facteur a permis plusieurs constatations. L'installation rapide et la colonisation par le pou rouge sur le site M en comparaison au site S permet de supposer que ce ravageur s'installe sur de jeunes arbres de moins de trois ans,



Figure 29 : Photographie d'un arbre du site S infesté par *A. aurantii* après une taille importante. Source : personnelle

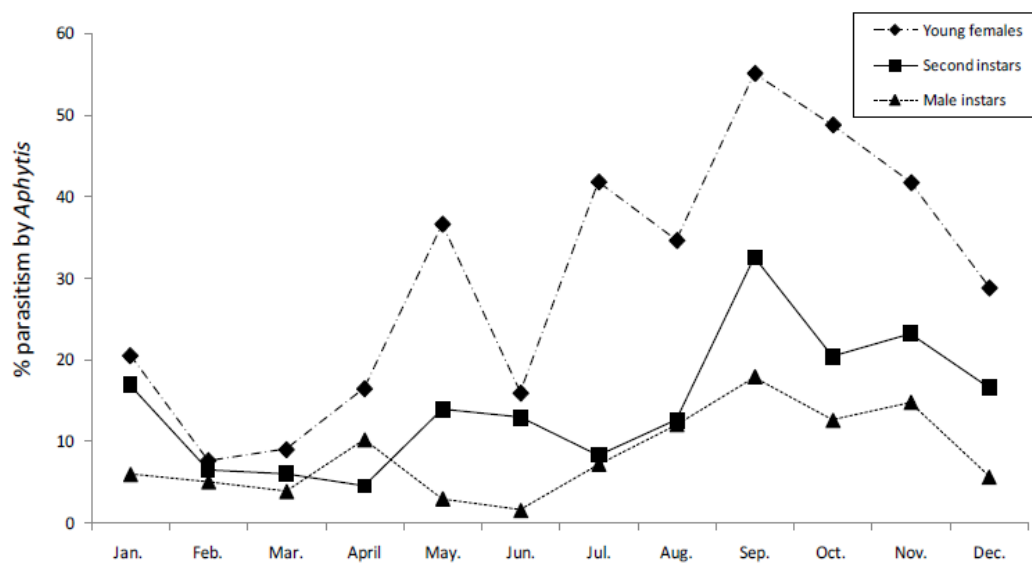


Figure 30 : Efficacité du parasitoïde *Aphytis melinus* au cours du temps. Répétition de 2006 à 2008. Source : J.J Sorribas Mellado, 2011.

principalement sur feuilles et fruits (Figure 28) qui sont les organes les plus concentrés en nutriments (Negri, 2022). Ils se dispersent ensuite dans le milieu pour coloniser plus d'arbres, puis migrent au fur et à mesure des générations sur les rameaux, moins nutritifs. Ce phénomène peut être expliqué par la densité importante de population qui pousse ces cochenilles à migrer en dehors de leur zone préférentielle. Sur rameau, comme observé sur le site S, les populations de *A. aurantii* sont moins agressives, et les dégâts semblent diminués. Pour autant, ce n'est pas un ravageur à négliger, il a notamment causé la mort de plusieurs charpentières sur le site S. Il est possible que ce ravageur se développe sous abri de manière exponentielle jusqu'à un pic de croissance, puis s'affaiblisse progressivement en raison du manque de nutriment et du développement de fumagine.

Les résultats de cette étude ne permettent pas de se soustraire à la biosurveillance, et ont au contraire montré une grande variabilité temporelle dans l'arrivée des générations de pou rouge. Cette étude ne permet donc pas d'établir un cycle biologique précis fiable pour le positionnement des traitements par les producteurs en agrumiculture sans biosurveillance.

La mise en place de l'essai, plus particulièrement des lâchers d'*A. melinus*, a été modifiée au cours de l'année en raison de l'apparition d'une nouvelle population sur le site M. Aussi, les arbres fortement attaqués sur le site S, estimés pour la plupart au stade 4 d'intensité de dégâts, ont été vivement taillés à l'automne-hiver 2022 (Figure 29), ce qui a affaibli les populations déjà vieillissantes de ce second site. Les quatre lâchers auraient dû être réalisés sur le site S. Pour résumer, trois des quatre lâchers sont réalisés sur le site M, car l'urgence sanitaire était plus conséquente sur cette parcelle nouvellement infestée en raison de la virulence de la population ; plus vigoureuse en comparaison au site S.

De plus, le premier lâcher, sur le site S, a été effectué par le producteur lui-même, dilué dans l'ensemble du verger, donc avec une dose bien inférieure à celle prévue au départ. Le deuxième lâcher, autrement dit le premier sur le site M, a aussi été moins concentré que les suivants en raison d'un manque d'approvisionnement de la part du fournisseur (50 individus au lieu de 75).

Cependant, le parasitisme a tout de même pu être observé, dès le 7 juillet soit une semaine après les lâchers. Il est probable que le second lâcher sur le site M, qui a eu lieu le 28 juillet avec une concentration plus importante (500 ind / ha), ait entraîné une augmentation du taux de parasitisme visible en août. Les résultats restent insuffisants par rapport aux résultats supposés supérieurs à 65% tous stades confondus (Figure 30) au début du projet d'après la



Figure 31 : Photographie d'un foyer de Icerya purchasi. Source : personnelle

bibliographie sur le taux de parasitisme par *Aphytis melinus* (Sorribas Mellado, 2011).

Un biais important a conduit à de nombreuses questions lors de cette étude quant au prélèvement de rameaux pour l'observation des populations de pou rouge. En effet, le prélèvement conduit à un appauvrissement mécanique des populations, ce qui a, de fait, entraîné une baisse de densité des populations. Au total, l'estimation du nombre de pou prélevé sur le site S est de 18 000 individus, et de 6 000 individus sur le site M. Ce biais conduit aussi à une réduction de la population de *A. melinus*. Cela concerne les individus en cours de parasitismes retrouvés au sein des poux, mais aussi de leurs générations futures, car en l'occurrence, ils ne se seront pas installés dans le verger. Une méthode de comptage directement au verger sans soulèvement des poux permettrait de d'éviter de perturber les populations, mais elle ne serait pas aussi fiable car de nombreux individus de taille et couleur conformes à leurs homologues sous loupe binoculaire se sont avérés morts. Aussi, le taux de parasitisme ne serait évalué que par la présence d'un orifice de sortie de l'hyménoptère parasitoïde, ce qui reviendrait à sous-évaluer ce parasitisme en omettant les individus se développant sous les carapaces et à surévaluer les poux déjà comptabilisés lors des observations précédentes.

Aphytis melinus est donc un hyménoptère parasitoïde potentiellement efficace contre *A. aurantii* en conditions sous abri, dans le périmètre de l'étang de Berre (13). L'approvisionnement est cependant délicat en raison de son coût élevé et de la priorité accordée à la Corse.

Au total, le nombre de génération de *A. aurantii* monte à quatre par an en condition plein champ (Fredon Corse, 2021), et ce chiffre n'a pas pu être vérifié sous abri (2 maximum jusqu'à début août). Le nombre de génération d'*Aphytis melinus* est de 3, avec 5 à 25 œufs par femelle.

Une reprise du suivi l'an prochain pourrait permettre d'évaluer l'installation du parasitoïde dans le verger, ainsi que de vérifier le taux maximal de parasitisme, encore en hausse actuellement.

2. Suivi de la cochenille australienne

L'étude des populations de cochenille australienne, pareillement au pou rouge de Californie et à la mineuse des agrumes, aurait dû être réalisée sur des arbres placettes sur le site B. Toutefois, comme évoqué plus tôt, en raison d'un manque de temps du producteur dédié au verger, celui-ci se trouve aujourd'hui comme à l'abandon. Aucun traitement ni aucune



Figure 32 : Echantillon des coccinelles Rodolia cardinalis aperçues dans les vergers. Source : personnelle.

fertilisation n'ont été réalisée depuis l'automne 2022. De ce fait, les arbres perdent en vigueur et jaunissent, avec des symptômes de carences, supposées en fer, azote et magnésium. Les ravageurs ne sont donc pas attirés par le verger, mais plutôt par les adventices qui remplissent les inter-rangs. Enfin, le manque de nettoyage conduit à un temps d'observation beaucoup plus long, parce qu'il devient délicat de distinguer les insectes morts de ceux vivants. Toutes ces raisons ont conduit à l'abandon de cette partie du projet, laissant place à un suivi plus général.

Ce suivi a malgré tout permis de constater que la cochenille australienne était naturellement régulée au sein des 3 vergers. De manière générale, les foyers observés se concentrent sur une à deux branches d'un arbre (Figure 31), et bougent peu de celui-ci. Les larves sont préférentiellement retrouvées sur les feuilles, tandis que les adultes occupent les rameaux. Des œufs, des larves, des nymphes et des imagos de *Rodolia cardinalis* (Figure 32) ont été observés tout au long du suivi à proximité de la cochenille. Il n'est pas exclu que d'autres facteurs soient en partie responsables de cette régulation.

Nous pouvons conclure que *Rodolia cardinalis* s'est installée dans les trois vergers à la suite de lâchers, et qu'elle permet – au moins partiellement – la régulation de la cochenille australienne *Icerya purchasi*.

3. Suivi de la mineuse des agrumes

La mineuse des agrumes aurait dû être suivie sur les trois sites, mais le site B a été exclu en raison de sa très faible reprise végétative qui aurait faussé les analyses. En plus du suivi des larves sur les arbres placettes, des pièges delta avec phéromones ont été disposés dans les multichapelles. Cependant, aucun adulte n'a été attiré par les phéromones. La biosurveillance des premiers vols n'a donc pas permis de constater l'arrivée du ravageur sur les sites, et l'infestation a été rapide et forte. L'utilisation ou le développement d'une autre molécule (s'il en existe) pourrait être envisagée, ou bien d'autres méthodes de lutttes préventives.

La pose d'un filet de protection avec des mailles inférieures à la taille du papillon peut être proposée, mais doit prendre en compte le coût conséquent pour des filets avec des mailles très serrées ; malgré un amortissement au cours des années ; et l'aspect limitant quant à la taille, le suivi ou autres opérations sur le verger. L'hyménoptère parasitoïde *Agéniaspis citricola*, non homologué en France, pourrait être étudié s'il était finalement autorisé.

Conclusion

Les ravageurs les plus problématiques en agrumiculture sous abri ont été déterminés et des moyens de lutte raisonnés ont été expérimentés pour réduire la pression des ravageurs au verger.

La première partie de cette étude a permis de classer les ravageurs observés en fonction de leur impact sur les trois vergers étudiés. Les ravageurs considérés comme les plus problématiques sont : la mineuse des agrumes et le pou rouge de Californie, ainsi que la cochenille australienne à un degré inférieur. Trois des neuf ravageurs observés cette année doivent aussi être surveillés car ils pourraient jouer un rôle extrêmement dommageable, ce sont : la cochenille plate, la tordeuse des agrumes et l'aleurode floconneux. Le suivi sur ces 3 années de projet a permis néanmoins de relativiser ces observations, car l'intensité moyenne des attaques de ces ravageurs n'excède pas 2/3, et les pics d'intensité d'attaque sont souvent brefs.

La seconde partie de l'étude a permis une étude plus spécifique des 3 ravageurs les plus importants. Le nombre de générations pour chacun de ces ravageurs n'a pas pu être déterminé et demande une étude plus approfondie. La mineuse des agrumes n'a pas été attirée par les phéromones censées piéger les mâles et ainsi indiquer les périodes de reproduction. Une autre molécule pourrait être testée. La période d'essai n'a pas été assez longue pour déterminer le nombre de générations du pou rouge de Californie sous abri, et la population étudiée à la base n'a pas permis un suivi fiable. Aussi, les périodes de migration des premiers stades larvaires ne peuvent pas être définies avec certitude car elle dépendent vraisemblablement du site, et donc de plusieurs paramètres abiotiques comme l'humidité de l'air et la température moyenne sous l'abri. Une nouvelle année de suivi permettrait d'améliorer nos connaissances sur ce ravageur sous abri. Cependant, l'efficacité d'*Aphytis melinus* a été prouvée avec un taux de parasitisme de 14% au bout de 5 semaines, et le dernier lâcher le 25 août ainsi que les générations à venir (du parasitoïde) devraient faire au moins doubler ce taux.

Enfin, cette étude a permis de confirmer l'installation de *Rodolia cardinalis* dans les vergers suite à des lâchers réalisés en 2020. Celle-ci est probablement responsable de la régulation des populations de *Icerya purchasi* présentes sur les trois sites.

De nombreuses contraintes se sont ajoutées au fur et à mesure de la mise en place de l'essai. Une amélioration du dispositif expérimental, plus malléable face au caractère aléatoire des essais systèmes, pourra permettre de répondre à ces questions.

Bibliographie

- Abbassi, M. 1975. « Présence au Maroc d'une nouvelle espèce d'aleurode *Aleurothrixus floccosus* MASKELL (homoptera, aleurodidae) ». *Fruits* 30 (3). [file:///C:/Users/Matagne-Monnier/Downloads/CIRADjournals,+document_414571%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Matagne-Monnier/Downloads/CIRADjournals,+document_414571%20(1).pdf).
- Alboukadel. 2019a. « GGPlot Background du Thème : Couleur et Quadrillage ». *Datanovia* (blog). 19 novembre 2019. <https://www.datanovia.com/en/fr/blog/ggplot-background-du-theme-couleur-et-quadrillage/>.
- . 2019b. « Liste Géniale de 657 Noms de Couleur dans R : A Connaitre ». *Datanovia* (blog). 19 novembre 2019. <https://www.datanovia.com/en/fr/blog/liste-geniale-de-657-noms-de-couleur-dans-r/>.
- Allemand, Marie. 2021. « Rapport d'activité 2020 ». DRAAF PACA. https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport_Activite_2020_lecture_ecran_p_38_a_79_cle0e87f1.pdf.
- Anonyme. 2014. « Parasitoïde de cochenilles ». Herbea.org. 2014. <https://www.herbea.org/fr/fiches/7125/Parasito%C3%AFde-de-cochenilles>.
- . 2017. « SudArbo17_Ceratite_CRAO_0218.pdf ». https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/SudArbo17_Ceratite_CRAO_0218.pdf.
- . 2018. « Prunier d'Ente - Mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) ». 2018. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23777/Prunier-d-Ente-Mouche-mediterraneenne-des-fruits-Ceratitis-capitata>.
- . 2020. « Aphelinidae (Chalcidoidea) ». Ephytia INRAe. 12 août 2020. <https://ephytia.inra.fr/fr/C/26773/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Aphelinidae>.
- . 2023. « CLÉMENTINE - RNM - prix cours marché - Fruits et Légumes ». RNM FranceAgriMer. 26 janvier 2023. <https://rnm.franceagrimer.fr/prix?CLEMENTINE>.
- . s. d. « Définitions : parasitoïde ». In *Larousse*. Consulté le 1 février 2023. <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/parasito%C3%AFde/58028>.
- Avelin, Christine. 2022. « Les chiffres-clés de la filière Fruits & Légumes frais et transformés en 2020 ». FranceAgriMer. https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/68531/document/BIL_FEL_Chiffres_cles_Fruits%26Legumes_2020_.pdf?version=4.
- Awalekar, Ramchandra, Priyanka Mohire, Navanath Valekar, Shams Usmani, Shilpa Salunkhe, Dattatray Jamale, Shankar Hangirgekar, Govind Kolekar, et Prashant Anbhule. 2020. « A Total and Convergent Synthesis of (7Z,11Z,13E)-7,11,13-Hexadecatrienal, the Major Sex Pheromone Component of the Citrus Leafminer, *Phyllocnistis Citrella* ». *Chemical Data Collections* 30 (décembre): 100567. <https://doi.org/10.1016/j.cdc.2020.100567>.

- Barbier, Jean-Marc, Claude Baury, Patrick Bertuzzi, Alberte Bondeau, Vincent Couderc, François Courbet, Thomas Curt, et al. 2016. « La Phénologie Des Plantes Pérennes Dans Un Contexte de Changement Climatique ». <http://www.grec-sud.fr/article-cahier/les-articles-du-cahier-agriculture-et-foret/lagriculture-regionale-face-au-defi-climatique/la-phenologie-des-plantes-perennes-dans-un-contexte-de-changement-climatique/>.
- Baury, Claude, Patrick Bertuzzi, Alberte Bondeau, Vincent Couderc, François Courbet, Thomas Curt, Laurence Dalstein-Richier, et al. 2016. « Risques et opportunités pour l’agriculture en région Provence-Alpes-Côte d’Azur ». <http://www.grec-sud.fr/article-cahier/les-articles-du-cahier-agriculture-et-foret/lagriculture-regionale-face-au-defi-climatique/risques-et-opportunites-pour-lagriculture-en-region-provence-alpes-cote-dazur/>.
- Biobee. s. d. *BioAphytis*. Consulté le 7 février 2023. <https://www.biobee.com/solutions/bioaphytis/>.
- Blumberg, Daniel, et Paul DeBach. 1981. « Effects of temperature and host age upon the encapsulation of *Metaphycus stanleyi* and *Metaphycus helvolus* eggs by brown soft scale *Coccus hesperidum* ». *Journal of Invertebrate Pathology* 37 (1): 73-79. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(81\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0022-2011(81)90057-4).
- Bonafos, Romain, Nicolas Desneux, et Nicolas Ris. 2021. « Avis relatif à une demande d’autorisation d’introduction dans l’environnement d’un macro-organisme non indigène utile aux végétaux. Souche non indigène de *Rodolia cardinalis*. » MO20-020. ANSES. https://www.anses.fr/fr/system/files/RODOLIACAR_MO20-020_Ans.pdf.
- Bonnamour, Kevin. 2022. « Cochenille australienne *Icerya purchasi* ». Insectosphere. 2022. <https://www.insectosphere.fr/cochenille-australienne-icerya-purchasi>.
- Bottani, Dominique. 2021. « La Provence-Alpes-Côte-d’Azur, terre de contrastes et de savoir-faire ». Ministère de l’Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. 25 février 2021. <https://agriculture.gouv.fr/la-provence-alpes-cote-dazur-terre-de-contrastes-et-de-savoir-faire>.
- Bouguet, Vincent. 2020. « Pièges à phéromones ». 2020. <https://www.insectosphere.fr/pieges-a-pheromones>.
- Busson, Marieke, Julien Chetty, Marie-Hélène Robin, et Jean-Noel Aubertot. 2016. « Biocontrôle ». In *Dictionnaire d’Agroécologie*. <https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/biocontrole/>.
- Cavin, Laura, et Lauriane Morel. 2019. « Changement climatique et adaptations agricoles sur le territoire de la crau ». Chambre d’agriculture Bouches-du-Rhône. https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/FICHES_web.pdf.
- Chamont, S. 2018. « Diaspididae ». *Ephytia* INRAe. 1 août 2018. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/11704/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Diaspididae>.
- Charrier, Guillaume. 2021. « Quand les arbres fruitiers perdent le nord mais en subissent le froid ! » INRAE Institutionnel. 15 avril 2021. <https://www.inrae.fr/actualites/quand-arbres-fruitiers-perdent-nord-subissent-froid>.

- Colombani, Joseph. 2017. « Bulletin de Santé du Végétal Corse Agrumes - Kiwi ». 2. https://corse.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Corse/077_Inst_Corse/Espace_regional/Agro_Ecologie/Documents/Bulletin_de_sante_du_vegetal/Agrumes_et_kiwi/BSV_Agrumes_Kiwi_2_08juin2017.pdf.
- . 2018. « Bulletin de Santé du Végétal Corse Agrumes - Kiwi ». 2. https://corse.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Corse/077_Inst_Corse/Espace_regional/Agro_Ecologie/Documents/Bulletin_de_sante_du_vegetal/Agrumes_et_kiwi/2018/BSV_Agrumes_Kiwi_2_18juillet2018.pdf.
- Cuchet, Gérard. 2010. *Icerya purchasi*. <https://www.galerie-insecte.org/galerie/fiche.php?ref=62650>.
- Dehaumont, P, et L Roy. s. d. *Arrêté du 26 février 2015 établissant la liste des macro-organismes non indigènes utiles aux végétaux, notamment dans le cadre de la lutte biologique dispensés de demande d'autorisation d'entrée sur un territoire et d'introduction dans l'environnement - Légifrance*. Consulté le 22 novembre 2022. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000030511750/2022-07-27>.
- Della Vedova, Claire. 2018a. « Comparaison de deux pourcentages avec le logiciel R - DellaData ». 21 mars 2018. <https://delladata.fr/comparaison-de-deux-pourcentages-avec-le-logiciel-r/>.
- . 2018b. « ANOVA à un facteur : partie 2 - la pratique - DellaData ». 30 mai 2018. <https://delladata.fr/anova-a-un-facteur-partie-2-la-pratique/>.
- . 2018c. « Introduction à l'ANOVA à 2 facteurs - DellaData ». 28 août 2018. <https://delladata.fr/introduction-anova-a-2-facteurs/>.
- . 2018d. « Introduction aux GLM - DellaData ». 23 novembre 2018. <https://delladata.fr/introduction-aux-glm/>.
- . 2019. « Introduction aux GLMM avec données de proportion - DellaData ». 12 avril 2019. <https://delladata.fr/introduction-aux-glmm-avec-donnees-de-proportion/>.
- . 2022. « ANOVA non paramétrique à 2 facteurs ou le test de Scheirer-Ray-Hare - DellaData ». 18 mars 2022. <https://delladata.fr/anova-non-parametrique/>.
- Dubreuil, N. 2019. « Test d'efficacité du Delfin® contre la mineuse des agrumes (*Phyllocnistis citrella*) ». *Areflec*, février.
- Dubreuil, N, P Kreiter, et G Tison. 2015. « Lutte par confusion sexuelle contre la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera ; Gracillariidae) : troisième année d'essais », 12.
- Dubreuil, N, et A Leboulanger. 2016. « Comparaison de quatre itinéraires techniques en agriculture biologique contre le Pou Rouge de Californie (*Aonidiella aurantii*) ». Compte rendu d'essai. *Areflec*.
- Dubreuil, Noémie, et Alice Leboulanger. 2019. « Lutte contre le Pou Rouge de Californie, *A. aurantii*, ravageur des agrumes en Corse – Evaluation de plusieurs méthodes alternatives aux

produits phytopharmaceutiques de synthèse. » AREFLEC. <https://areflec.fr/wp-content/uploads/2020/09/CR-OEC-POU.pdf>.

FAOSTAT. s. d. « Cultures et produits animaux ». Consulté le 11 janvier 2023. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL>.

Favre, C. 2011. « Méthode d'essai d'efficacité au champ des préparations insecticides destinées à lutter contre les cochenilles en arboriculture fruitière ». Végéphyt. <file:///O:/PROJETS/FAM/DACAPPO%20agrumes%20n%C2%B0939730/WP2%20-%20Equilibre%20biologique/3-%20L%C3%A2chers%20d'auxiliaires/M151%20Cochenilles%20en%20arboriculture.pdf>.

Flaherty, D. L., et L. T. Wilson. 1999. « CHAPTER 33 - Biological Control of Insects and Mites on Grapes ». In *Handbook of Biological Control*, édité par Thomas S. Bellows et T. W. Fisher, 853-69. San Diego: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012257305-7/50080-1>.

Fontaine, Paul. 2017. « Faune - 921 - *Rodolia cardinalis* (Mulsant, 1850) ». septembre 2017. <https://phrygana.eu/Fauna/Coleoptera/Coccinellidae/Rodolia-cardinalis/Rodolia-cardinalis.html>.

Fortier, Jean-François. 2020. « Parasitoïde : définition et explications ». In *AquaPortail*. <https://www.aquaportail.com/definition-4181-parasitoide.html>.

Fraval, Alain. 2012. « Un insecte à la plage ». 157. <http://www.insectes.xyz/pdf/i157fraval1.pdf>.

Fredon. 2021. « La cochenille plate | FREDON Corse ». 2021. <https://fredon.fr/corse/techniques/ravageurs/la-cochenille-plate>.

———. s. d. « La mineuse des agrumes | FREDON Corse ». Consulté le 24 octobre 2022a. <https://fredon.fr/corse/techniques/ravageurs/la-mineuse-des-agrumes>.

———. s. d. « Le Pou rouge de Californie | FREDON Corse ». Consulté le 26 octobre 2022b. <https://fredon.fr/corse/techniques/ravageurs/le-pou-rouge-de-californie>.

Gerbeaud. 2010. « Tordeuse ». 4 octobre 2010. <https://www.gerbeaud.com/jardin/fiches/tordeuse.php>.

Goyaud, Christian, et Richard Lemarié. 2016. « Premières observations de la Coccinelle *Rodolia cardinalis* (Mulsant, 1850) en Vendée (France) », n° 12 (septembre): 75-77.

Grafton-Cardwell, Beth. 2002. *Stages of the Cottony Cushion Scale (Icerya Purchasi) and Its Natural Enemy, the Vedalia Beetle (Rodolia Cardinalis)*. 8051. University of California, Agriculture and Natural Resources. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8051>.

Gros, Pierre. 2016. *Icerya purchasi* juvénile. <https://www.galerie-insecte.org/galerie/fiche.php?ref=158732>.

———. 2018a. *Phyllocnistis citrella*. <https://www.galerie-insecte.org/galerie/esp-page.php?gen=Phyllocnistis&esp=citrella>.

———. 2018b. *Phyllocnistis citrella*. <https://www.galerie-insecte.org/galerie/fiche.php?ref=221151>.

- Gullan, Penny J. 1997. « Relationship with ants ». In *Soft Scale Insects*, Elsevier, 351-73. <https://www.elsevier.com/books/soft-scale-insects/ben-dov/978-0-444-89303-1>.
- Johnson, Daniel. 2023. « GLM in R: Generalized Linear Model with Example ». 27 mai 2023. <https://www.guru99.com/r-generalized-linear-model.html>.
- Kreiter, Philippe. 2021. « Cochenille à bouclier, à carapace ou à corps mou ? » Chambre d'agriculture Provence-Alpes-Côte d'Azur. https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/020_Inst_Paca/CA06/Images/actualite/2021/Innovation_Ast_Fiches_cochenilles_Cochorti_Juin_2021.pdf.
- . 2022. « Quelques bases de gestion des ravageurs du clémentinier en Corse ». INRAe. https://corse.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Corse/077_Inst_Corse/Espace_regional/Actualites_images_utiles/2022/2eme_trimestre/2022_JT_AGRUMES_31_MAI_INRAE_Kreiter_La_lutte_contre_les_ravageurs_en_agrumiculture_Corse.pdf.
- Ladaniya, Milind. 2023. « Chapter 4 - Preharvest factors ». In *Citrus Fruit (Second Edition)*, édité par Milind Ladaniya, 113-44. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99306-7.00010-4>.
- Laville, E. 1974. « Les maladies à Phytophthora des agrumes en Corse E. LA1 ILLE i ». *Fruits* 29 (4).
- Leal, Walter S., Ana Lia Parra-Pedrazzoli, Allard A. Cossé, Yasuhiro Murata, José Maurício S. Bento, et Evaldo F. Vilela. 2006. « Identification, Synthesis, and Field Evaluation of the Sex Pheromone from the Citrus Leafminer, *Phyllocnistis Citrella* ». *Journal of Chemical Ecology* 32 (1): 155-68. <https://doi.org/10.1007/s10886-006-9358-7>.
- Leblanc, F, P Fournier, J Etienne, et Fabrice Le Bellec. 2005. « Cochenille australienne / Protection raisonnée des vergers (maladies, ravageurs et auxiliaires) / Production Fruitière Intégrée ». CIRAD. http://caribfruits.cirad.fr/production_fruitiere_integree/protection_raisonnee_des_vergers_maladies_ravageurs_et_auxiliaires/cochenille_australienne.
- Leboulanger, Alice, et Mathieu Hulak. s. d. « Aphytis melinus de Bach ». Consulté le 24 octobre 2022. <https://areflec.weebly.com/aphytis-melinus.html>.
- Lethrosne, Maël Theulière & Murielle. s. d. *Chapitre 8 Les thèmes | Valoriser ses données avec R*. Consulté le 2 août 2023. https://mtes-mct.github.io/parcours_r_module_datavisualisation/les-th%C3%A8mes.html.
- Martin, Heather, Sara Diamond, et Stephanie Fabritius. 2001. « *Rodolia cardinalis* (vedalia) ». Animal Diversity Web. 2001. https://animaldiversity.org/accounts/Rodolia_cardinalis/.
- Massé, Antoine. s. d. « Aide à l'utilisation de R - Ajouter des barres d'erreur à un diagramme en barres ». Consulté le 2 août 2023a. <https://sites.google.com/site/rgraphiques/realiser-des-graphiques-avec-le-logiciel-r/diagrammes-en-barres/ajouter-des-barres-derreur-%C3%A0-un-diagramme-en-barres>.

- . s. d. « Aide à l'utilisation de R - Opérations statistiques de base ». Consulté le 2 août 2023b. <https://sites.google.com/site/rgraphiques/4--stat/op%C3%A9rations-statistiques-de-base>.
- . s. d. « Aide à l'utilisation de R - Superposition d'informations ». Consulté le 3 août 2023c. <https://sites.google.com/site/rgraphiques/realiser-des-graphiques-avec-le-logiciel-r/les-graphiques/superposition-d'informations>.
- Météo France. 2023. « Fiche climatologique ». Données publiques - Météo France. 6 janvier 2023. https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=117&id_rubrique=39.
- Muegge, M. A., et P. L. Lambdin. 1989. « OPTIMAL LENGTH OF COCCUS HESPERIDUM L. (HOMOPTERA: COCCIDAE) FOR PARASITISM BY COCCOPHAGUS LYCIMNIA (WALKER) (HYMENOPTERA: APHELINIDAE) ». *Journal of Entomological Science* 24 (1): 96-100. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-24.1.96>.
- Negri, M. 2022. « Tropifruit - Pou rouge de Californie (Aonidiella aurantii) ». 9 août 2022. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23527/Tropifruit-Pou-rouge-de-Californie-Aonidiella-aurantii>.
- Onillon, J.c. 1973. « Possibilités de Régulation Des Populations d'Aleurothrixus Floccosus Mask. (Homopt., Aleurodidae) Sur Agrumes Par Cales Noacki How. (Hymenopt, Aphelinidae) ». *EPPO Bulletin* 3 (1): 17-24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1973.tb02284.x>.
- Pilon, Claude. 2012. « Les cochenilles du Québec ». *Bulletin de l'entomofaune*, n° 44 (décembre): 1-5.
- . 2013a. « Cochenilles à bouclier Diaspididae ». Entomofaune. 2013. http://entomofaune.qc.ca/entomofaune/cochenilles/cochenilles_diaspididae.html.
- . 2013b. « Cochenilles à carapace Coccidae ». Entomofaune. 2013. http://entomofaune.qc.ca/entomofaune/cochenilles/cochenilles_coccidae.html.
- Ponsonby, D. J., et M. J. W. Copland. 2007. « Aspects of Prey Relations in the Coccidophagous Ladybird Chilocorus Nigritus Relevant to Its Use as a Biological Control Agent of Scale Insects in Temperate Glasshouses ». *BioControl* 52 (5): 629-40. <https://doi.org/10.1007/s10526-006-9066-9>.
- Rossignol, Rémi. s. d. « La cochenille australienne | FREDON Corse ». Consulté le 24 octobre 2022. <https://fredon.fr/corse/techniques/ravageurs/la-cochenille-australienne>.
- Suissa, Sandrine. 2023. « Cultures corses ». Chambre d'agriculture Corse. 26 janvier 2023. <https://corse.chambres-agriculture.fr/lagriculture-corse/cultures-corses/>.
- Zach. 2022. « How to Fix in R: Object Not Found ». *Statology* (blog). 7 avril 2022. <https://www.statology.org/r-object-not-found/>.

Annexe

1. Fonction data.summary

```
data_summary <- function(data, varname, groupnames){  
  require(plyr)  
  summary_func <- function(x, col){  
    c(mean = mean(x[[col]], na.rm=TRUE),  
      sd = sd(x[[col]], na.rm=TRUE))  
  }  
  data_sum<-ddply(data, groupnames, .fun=summary_func,varname)  
  data_sum <- rename(data_sum, c("mean" = varname))  
  return(data_sum) }  
}
```

2. Evaluation de la diversité de l'entomofaune épigée



Agrumes sous abri

Evaluation de la diversité de l'entomofaune épigée

2020 - 2021

Pauline DUVAL, Mila MATAGNE-MONNIER, Léa MARTIN, Julie USO - APREL
Sabrina DELLAROSA - CETA de Berre (13)
Christophe MAZZIA – Université d'Avignon (84)
Essai réalisé dans le cadre du projet DACCAPPO

CONTEXTE & OBJECTIFS

La biodiversité d'un milieu contribue à la régulation naturelle de bioagresseurs et à la qualité d'un écosystème. L'objectif de cet essai est de caractériser la biodiversité des sols des exploitations suivies à partir des communautés d'arthropodes épigées, qui se déplacent au sol. Les arachnides étant reconnus comme d'excellents indicateurs écologiques, une première analyse sera réalisée uniquement à partir de ceux-ci. Une seconde sera réalisée sur le reste des arthropodes piégés.

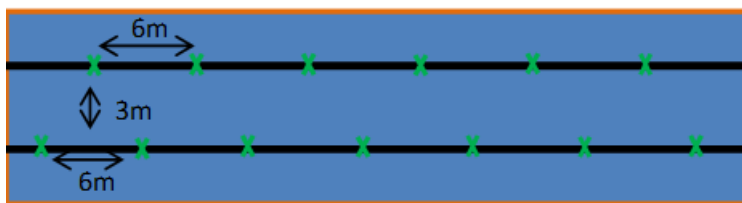
MATERIEL & METHODES

1. Sites d'implantation – modalités

	Site 1	Site 2	Site 3
Localisation	Berre (13)	Gignac (13)	Rognac (13)
Abris	Serre verre non chauffée	Serre non chauffée	Multichapelle plastique
Conduite	AB	AB	Conventionnel
Modalité	Enherbé	Ex-Hors-sol	Association de culture
Date de plantation	03/2018 et 02/2020	03/2019 et 09/2020	07/2020
Surface	10 000 m ²	10 000 m ²	1500 m ²
Irrigation	GAG + Aspersión	GAG	GAG + Aspersión
Acronyme	S	B	M

2. Piégeage

Les arthropodes ont été collectés par la méthode des pièges Barber. Sur chaque site, 12 à 13 pots remplis de polyéthylène de glycol ont été positionnés sur l'ensemble de la parcelle au pied des agrumes pendant 4 semaines.



Six séries de piégeage ont été réalisées au cours de la saison 2020-2021 tous les 2-3 mois environ :

1. 23 novembre 2020
2. 9 février 2021
3. 2 avril 2021
4. 28 mai 2021
5. 24 août 2021
6. 16 novembre 2021

3. Identification

Lors de la récupération des arthropodes, ceux-ci sont triés en laboratoire. Les arachnides sont séparés du reste des arthropodes. L'identification des arachnides est réalisée par le spécialiste Christophe Mazzia à l'université d'Avignon. L'appareil reproducteur étant essentiel à l'identification de l'espèce, seuls les adultes sont identifiés jusqu'à ce niveau-là ; les juvéniles sont identifiés jusqu'au genre. Autrement, le reste des arthropodes est identifié par l'équipe de l'APREL jusqu'à la famille ou l'ordre. Les cloportes et fourmis sont en grande partie écartés des effectifs. Les individus restants sont tout de même comptabilisés dans l'analyse.

4. Analyses de données

L'analyse des données sur les arachnides est portée sur les effectifs d'araignées et opilions en intégrant l'ensemble des juvéniles et adultes. Seules les espèces où les effectifs sont supérieurs à 10 sur l'ensemble des campagnes de prélèvement sont retenues pour l'analyse.

En ce qui concerne le reste des arthropodes, l'identification taxonomique ne permettant pas d'aller jusqu'à l'espèce, les taxons retenus sont l'ordre ou la famille. Comme pour l'analyse des arachnides, seuls les taxons retenus sont ceux dont les effectifs sont supérieurs à 10. Une classification des taxons selon leur rôle fonctionnel a également été réalisée via les modalités : ravageurs, auxiliaires, décomposeurs ou neutres.

En plus de l'abondance (nombre d'individus) et de la richesse taxonomique (nombre de taxons), différents indices de biodiversité ont été calculés de la façon suivante.

➤ Indice de Shannon-Weaver H'

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

où S = richesse taxonomique

$$H_{max} = \log_2 S$$

p_i = n_i/N proportion d'individus d'un taxon

L'indice de Shannon-Weaver (H') permet d'exprimer la diversité spécifique d'un peuplement étudié. Si H' est égal à 0, cela signifie que tous les individus appartiennent à un seul et même ordre, la population est alors homogène. L'indice est maximal lorsqu'il y a une part égale d'individus pour chaque ordre étudié.

➤ Indice de Piélou J

$$J = \frac{H'}{H_{max}}$$

L'indice d'équitabilité de Piélou (J) représente le rapport de H à l'indice maximal théorique dans le peuplement. Il varie de 0 à 1. C'est une mesure d'équitabilité qui permet de mettre en valeur la présence d'espèces rares dans les observations. Il est maximal quand les espèces ont des abondances

identiques dans le peuplement et il est minimal lorsqu'il y a un déséquilibre où un seul ordre domine tout le peuplement.

Une analyse en composante principale est également réalisée pour caractériser la diversité des taxons sur chaque site étudié. Elle est réalisée sur R version 4.1.1 avec le package ade4.

RESULTATS

1. Caractérisation de la diversité des arachnides

Sur l'ensemble des campagnes de prélèvement, 2342 arachnides ont été collectées dont 396 individus d'opilions et 1946 individus d'araignées. Parmi les araignées, 19 familles, 49 genres et 69 espèces ont été identifiées. Deux nouvelles espèces non présentes en France ont été identifiées : *Gnaphosidae Marinarozelotes adriaticus* et *Hanhiidae Cicurina japonica*.

Tableau 1. Effectifs d'individus et d'espèces cumulées sur l'ensemble des campagnes de prélèvement

Site	Effectifs araignées adultes	Effectifs araignées juvéniles	Effectifs opilions	Abondance	Richesse
M	644	327	91	1062	63
S	289	191	303	783	63
B	332	163	2	497	58
TOTAL	1265	681	396	2442	113

L'analyse des données s'est portée seulement sur les espèces où les effectifs sur l'ensemble des campagnes de prélèvement sont supérieurs ou égaux à 10 ($n \geq 10$).

Tableau 2. Données similaires au tableau précédent en prenant en compte $n \geq 10$

Site	Effectifs araignées adultes	Effectifs araignées juvéniles	Effectifs opilions	Abondance	Richesse
M	611	175	91	999	24
S	242	297	303	720	25
B	290	140	2	432	21
TOTAL	1143	612	396	2151	29

Tableau 3. Indices de biodiversité moyens pour un piège Barber ($n \geq 10$)

Site	Abondance	Richesse spécifique	Indice de Shannon	Indice de Piélou
M	13.8	4.7	1.65	0.74
S	10	3.9	1.46	0.74
B	5.8	2.3	0.82	0.53

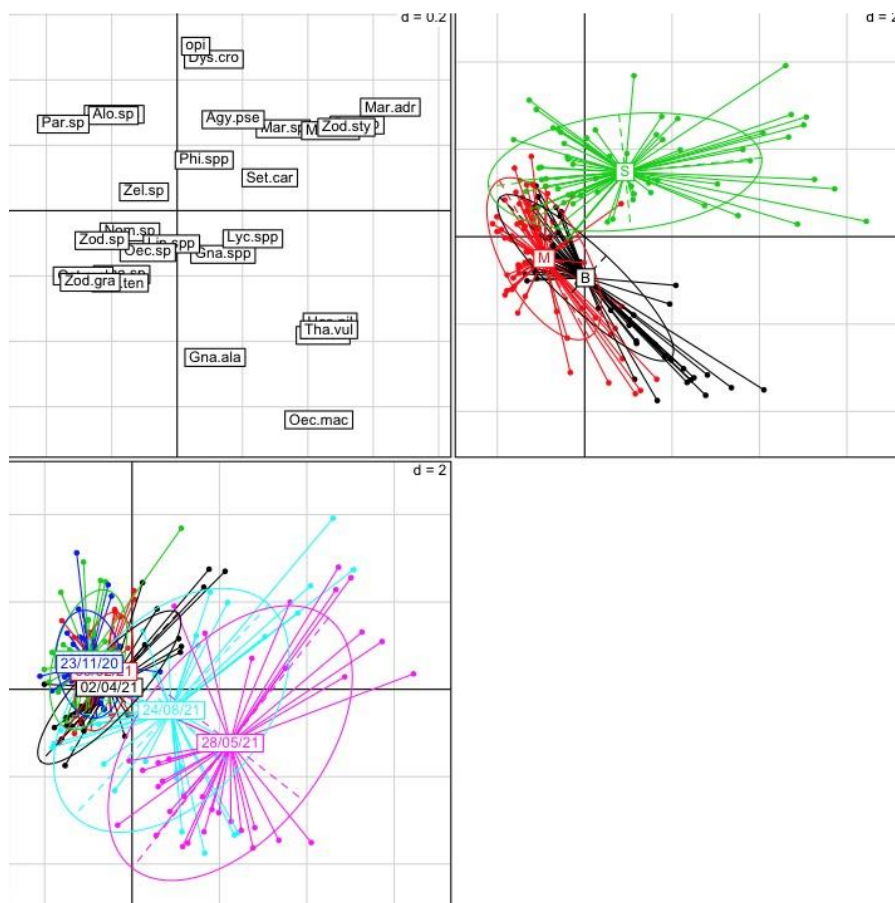


Figure 2. ACP projetée sur les deux premiers axes (% d'inertie expliquée). Les variables correspondent aux espèces identifiées. Un point correspond à un piège Barber. Une première projection d'ellipses est réalisée selon les sites ; une seconde selon les campagnes de prélèvements.

Concernant la richesse spécifique et l'abondance, l'exploitation B anciennement en hors sol reste de loin celle qui a le moins d'espèces et effectifs présents. La richesse spécifique est plus ou moins semblable pour les sites M et S, sites présentant un enherbement mais avec un mode de production différent. L'abondance reste la plus élevée sur l'exploitation M, site en association culturale.

Les indices de Shannon et Pielou de l'exploitation B sont également bien inférieurs aux deux autres sites. Cela signifie que les effectifs sont inégalement répartis entre les différentes espèces identifiées sur l'exploitation B : certaines espèces sont plus prédominantes que d'autres. Alors que sur les exploitations S et M, les effectifs sont plus équitablement répartis entre espèces, la dominance d'espèces est moindre.

Les sites S et M étant tous les deux enherbés, l'enherbement contribue à une plus grande diversité d'habitats et donc à une biodiversité plus importante.

L'analyse en composante principale permet de mettre en avant que les espèces identifiées sont plus ou moins semblables sur les sites M et B ; alors que sur le site S, les espèces diffèrent des deux premiers sites.

La comparaison des espèces identifiées par campagne de prélèvement montre également que les espèces identifiées en mai et août diffèrent totalement de celles des autres dates. Cela met en avant la présence de saisonnalité dans le recensement des espèces.

2. Caractérisation de la diversité des autres arthropodes

Ici, l'identification taxonomique est réalisée au plus loin jusqu'à la famille et si ce n'est le cas jusqu'à l'ordre. Les résultats sont donc moins précis et donnent seulement des informations indicatives. Aucune saisonnalité n'a été observée dans les taxons retenus (figure 2).

Les tendances dégagées par les indices de biodiversité sont similaires à celles observées avec les arachnides. L'abondance et la richesse taxonomique moyennes de l'exploitation B sont bien inférieures à celles des exploitations S et M. Il en est de même pour les indices de Shannon et Piélou (tableau 5).

Les sites M et S se démarquent du site B (figures 2, 3 et 4) par leur importance particulière de cloportes, fourmis et forficules qui jouent un rôle important dans la décomposition de la matière organique du sol. Ils nous indiquent que le taux d'humus/MO nécessaire à la fertilité des sols semble bon.

Le site B présente très peu de décomposeurs, mais il se caractérise par un pourcentage de ravageurs et auxiliaires assez élevé. En effet, il héberge une part de pucerons et lépidoptères plus importante que les sites M et S, ce qui explique un pourcentage élevé d'auxiliaires attiré par leurs proies. Ceux-ci correspondent en grande partie aux carabes. Ces coléoptères prédateurs jouent un rôle essentiel dans la régulation des bioagresseurs du sol présents dans les vergers.

Tableau 4. Données brutes sur l'ensemble des campagnes de prélèvement

Site	Effectifs -	Richesse taxonomique
M	2178	16
S	2171	18
B	1739	16
TOTAL	6088	18

Tableau 5. Indices de biodiversité moyens pour un piège Barber

Site	Abondance	Richesse taxonomique	Indice Shannon	de	Indice de Piélou
M	27.8	4.9	1.76		0.78
S	28.2	5.5	1.86		0.78
B	22.3	3.7	1.32		0.69

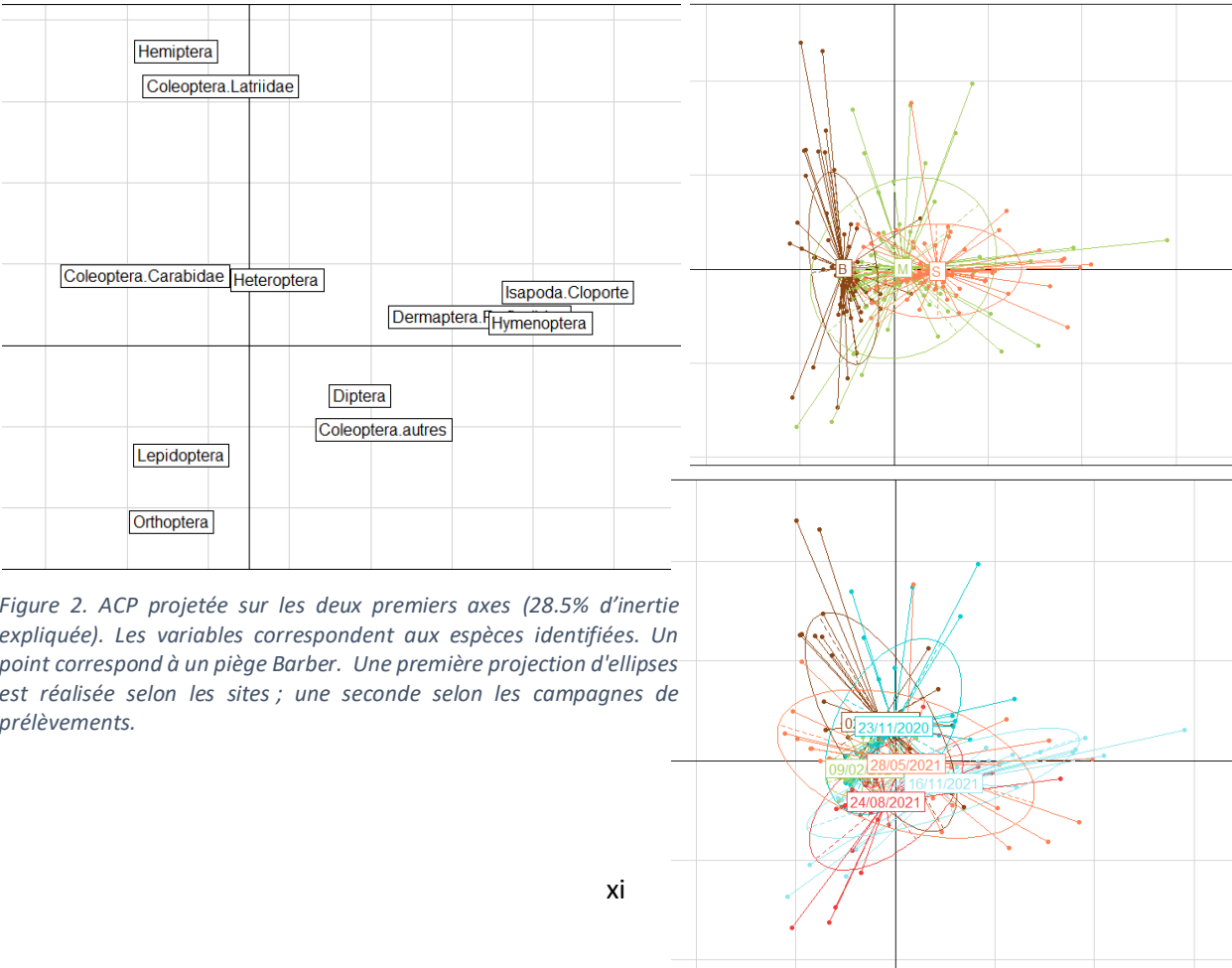


Figure 2. ACP projetée sur les deux premiers axes (28.5% d'inertie expliquée). Les variables correspondent aux espèces identifiées. Un point correspond à un piège Barber. Une première projection d'ellipses est réalisée selon les sites ; une seconde selon les campagnes de prélèvements.

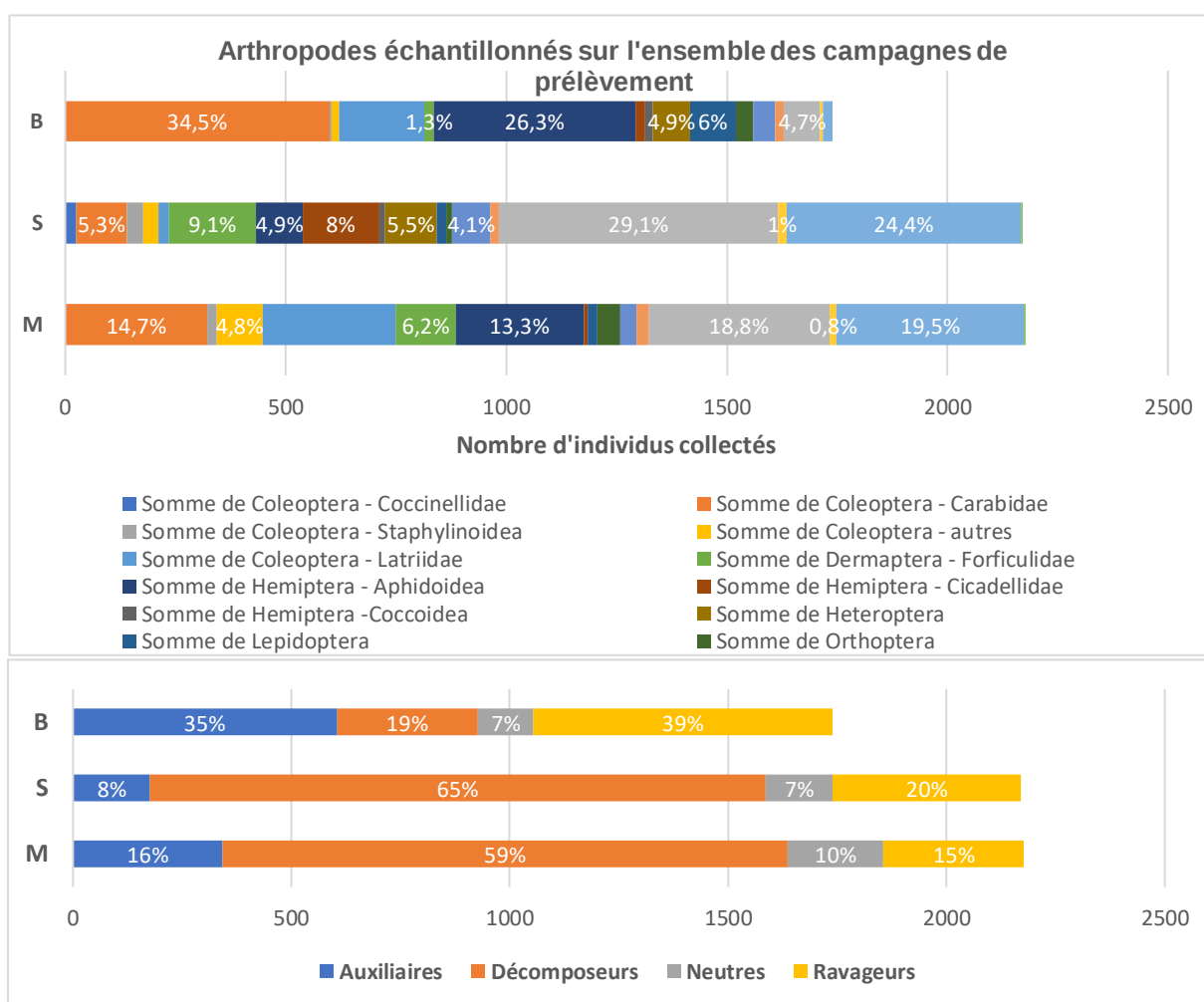


Figure 3. Pourcentage de taxons présents et classification par rôle fonctionnel

CONCLUSION

Les données présentées montrent une plus grande diversité d'arthropodes dans les cultures enherbées (sites S et M). Peu de différences ont été observées entre le site en agriculture conventionnelle (M) et agriculture biologique (S). Aucun lien avec l'association culturale n'a été également démontré. Ainsi dans notre cas, seul le critère de l'enherbement joue un rôle en faveur de la biodiversité.

Cette niche écologique influence le microclimat du sol qui permet des variations de températures moins importantes et moins extrêmes, ce qui favorise l'installation des arthropodes. La biodiversité complexifie l'écosystème et lui permet d'être plus résilient aux attaques de bioagresseurs. Une analyse croisée avec le suivi BSV des cultures permettra de confirmer la résilience des sites étudiés. Cette biodiversité contribue également à la décomposition de la matière organique et l'enrichissement du sol. Les réseaux racinaires de l'enherbement et les réseaux créés par la macrofaune du sol augmentent la porosité du sol, l'apport de MO et favorise la vie biologique du sol.

Les exploitations en hors sol souhaitant changer leur mode de production leur activité agricole ont tout intérêt à repenser leur parcelle pour favoriser et enrichir la vie du sol, élément indispensable pour la pérennité de la culture.

Réalisé avec le soutien financier de :



Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



Renseignements complémentaires auprès de :

Action A551

Pauline DUVAL - APREL, 13210 Saint-Rémy de Provence - tél 04 90 92 32 52, duval@aprel.fr