



HAL
open science

Prise en compte de l'environnement des cultures et des pratiques culturelles dans le développement de la protection intégrée en cultures de fraisiers

Delphine Chauvin

► **To cite this version:**

Delphine Chauvin. Prise en compte de l'environnement des cultures et des pratiques culturelles dans le développement de la protection intégrée en cultures de fraisiers. Biodiversité et Ecologie. 2021. dumas-03667585

HAL Id: dumas-03667585

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03667585>

Submitted on 13 May 2022

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

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

Mémoire de stage
Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement
Protection des Plantes et Environnement

Sur le thème

**Prise en compte de l'environnement des cultures et des pratiques
culturales dans le développement de la protection intégrée en
cultures de fraisières**

Par

Delphine CHAUVIN

Ecole de rattachement : Montpellier SupAgro

Stage réalisé à : AOPn Fraises de France
Agropôle – Bâtiment Agrotec
47931 AGEN
Avec :
UMR IGEPP

Sous la Direction de :
Anne Le Ralec
Yannick Outreman
Emeline Vanespen



Soutenu le 22 septembre 2021 à Montpellier, devant le jury composé de :

Présidente : Elena Kazakou

Membres : Jean-Claude Streito
Pierre-Eric Lauri
Romain Bonafos



Mémoire de stage
Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option Inter-Etablissement
Protection des Plantes et Environnement

Sur le thème

**Prise en compte de l'environnement des cultures et des pratiques
culturales dans le développement de la protection intégrée en
cultures de fraises**

Par

Delphine CHAUVIN

Ecole de rattachement : Montpellier SupAgro

Stage réalisé à : AOPn Fraises de France
Agropôle – Bâtiment Agrotec
47931 AGEN
Avec :
UMR IGEPP

Sous la Direction de :
Anne Le Ralec
Yannick Outreman
Emeline Vanespen



Soutenu le 22 septembre 2021 à Montpellier, devant le jury composé de :

Présidente : Elena Kazakou

Membres : Jean-Claude Streito
Pierre-Eric Lauri
Romain Bonafos



Remerciements :

Pour commencer, je souhaite remercier toutes les personnes qui ont participé et ont pris le temps de s'intéresser plus précisément à cette étude, que ce soit par une simple réponse à une de mes questions ou par quelques minutes d'échanges lors de nos rencontres sur le terrain.

Je remercie Anne et Yannick pour l'encadrement, l'accompagnement et les conseils qui m'ont permis de recentrer le stage et de lui donner une direction. Merci également pour leur disponibilité aux cours de nos réunions en distanciel, et merci pour l'accès aux différentes formations grâce auxquelles j'ai pu enrichir mon bagage de connaissances.

Je remercie aussi ma dernière encadrante au quotidien, Emeline, pour son aide et sa bonne humeur infaillible, et pour ses sujets de conversation... « gratinés ».

Je remercie Félix, Anne-Emmanuelle et Julie pour leur accueil dans l'équipe et les locaux de l'AOPn et de l'AIFLG; ainsi que Louise pour son intérêt pour le stage et pour sa compagnie. Merci à toute l'équipe pour leur bienveillance et pour les bons petits déjeuners !

Je remercie également Christelle pour ma formation à l'identification des pucerons puis son aide à la vérification de mes identifications, mais aussi pour son accueil et sa gentillesse lors de ma visite en Bretagne.

Je remercie Jean-Claude Streito pour son aide précieuse à l'identification des punaises.

Un grand merci à tous les techniciens, techniciennes et stagiaires des différentes organisations de producteurs pour le temps qu'ils et elles ont trouvés pour répondre à mes questions, m'assister dans la recherche de serres, me montrer plus précisément le fonctionnement technique des cultures etc... Ce stage n'aurait pas été aussi complet sans leur aide !

Un tout aussi grand merci aux producteurs et productrices qui ont pris le temps de participer à mon enquête et à celles et ceux qui ont pris le temps de me partager plus précisément sur leur culture, pratiques et leurs problématiques.

Merci à Estelle qui m'a accompagné et porté assistance lors de ma première semaine de terrain. Le terrain n'a été que plus agréable en sa compagnie.

Je n'oublie pas non plus Floriane, dont le travail préliminaire a bien débroussaillé les interrogations de notre combo de stages et m'a permis de rentrer plus vite dans le sujet. Merci aussi pour sa disponibilité pour éclaircir son travail et l'utilisation de QGIS.

Enfin, un ultime merci à mes ami-es Jean Yvon pour nos discussions parfois sérieuses, souvent pas, pour nos instants de confusion et pour les bons moments à distance ou en présence à Angers et à Montpellier, qui ont égayé ses six mois de stage.

Sommaire

Glossaire

Introduction	1
La lutte biologique comme moyen de lutte alternatif aux insecticides de synthèse.....	2
L'étude du paysage pour une lutte biologique par conservation en serre de fraises ?.....	3
La culture de fraise, ses problématiques et ses pratiques.....	6
Matériel et méthodes	8
Les serres étudiées et sessions d'échantillonnage.....	8
L'entomofaune des serres de fraisiers.....	9
Identification des pratiques culturales dans la serre.....	10
Caractérisation des bordures de serre.....	10
Identification du paysage environnant d'une serre.....	11
Analyse des données et statistiques.....	12
Résultats	14
Approche descriptive.....	14
Analyse statistique.....	18
Discussion	19
Les ravageurs des serres de fraisiers.....	19
Influence des pratiques.....	20
Influence des bordures.....	21
Influence du paysage.....	22
Effet de la variable temporelle.....	22
Limites des méthodes et des résultats.....	23
Conclusion	24
Perspectives	25
Bibliographie	26
Annexes	35

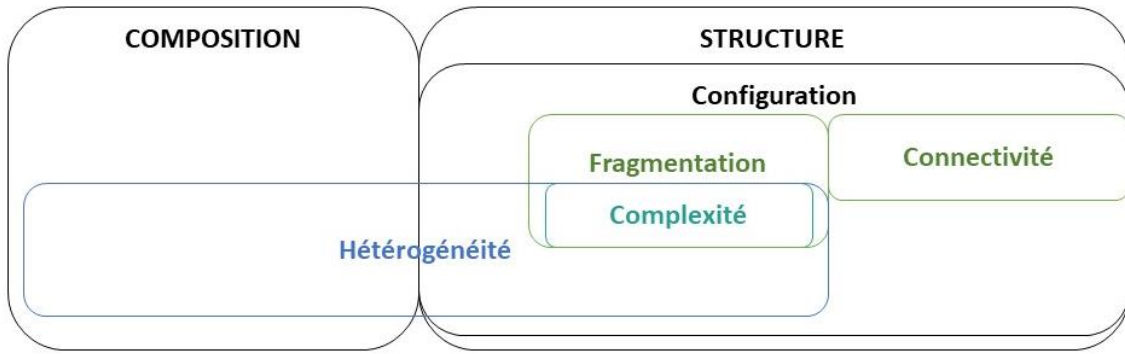


Figure 1 : Illustration de l'organisation et des rapprochements des termes descriptifs du paysage (production personnelle)

Glossaire :

- Configuration du paysage : un descripteur de la structure du paysage, décrit l'organisation spatiale des fragments (ex : taille des fragments ou « patches » en anglais, forme de ces patches, nombre de sommets partagés etc...(Haan, Zhang, Landis 2020)).
- Connectivité du paysage : un descripteur pour lequel il y a de la confusion, qui peut relever de la structure ou de la fonctionnalité du paysage, décrit le degré d'accessibilité des différents fragments de ressources du paysage pour les organismes se déplaçant dans celui-ci (Tischendorf, Fahrig 2000).
- Complexité du paysage : un descripteur de la structure du paysage, correspond à l'hétérogénéité de configuration du paysage et est souvent approximé par la quantité d'habitats semi-naturels (Duflot 2013), représente une échelle des paysages simples (avec de grands fragments, peu d'angles) aux paysages complexes (avec des fragments plus petits et plus anguleux) (Haan, Zhang, Landis 2020)
- Composition du paysage : Quantité ou diversité des différentes occupations du sol dans un paysage (Haan, Zhang, Landis 2020).
- Fragmentation du paysage (« patchiness ») : un descripteur de la structure du paysage, décrit la division des habitats en fragments plus ou moins nombreux, plus ou moins grands, ou plus ou moins isolés (Janin 2011).
- Hétérogénéité du paysage : un descripteur de la composition et/ou de la configuration du paysage, décrit la diversité en occupations du sol du paysage et/ou l'organisation spatiale de ces occupations du sol (Fahrig et al. 2010).
- Structure du paysage : terme utilisé pour réunir les notions de configuration et de connectivité du paysage.

Introduction et synthèse bibliographique :

La recherche scientifique et agronomique s'est intéressée au développement de méthodes alternatives de lutte contre les insectes ravageurs des cultures dès la mise en évidence des effets négatifs de la 1^{ère} génération d'insecticides organiques de synthèse (organochlorés) (Williams 1967 ; OILB/SROP 1975). Ainsi, les 1ers travaux scientifiques réellement construits sur la lutte biologique inondative, consistant en « des lâchers massifs et répétés de macro-organismes auxiliaires vivants (nématodes, acariens, insectes) dans la culture ou dans le sol afin de limiter les populations de ravageurs par prédation ou parasitisme » (Dulin, 2016), datent des années 50 (Huffaker, Kennett 1956 ; OILB-SROP 1975). Toutefois, l'apparition de nouvelles générations d'insecticides moins problématiques a freiné son adoption (Williams 1967). C'est pourquoi la lutte biologique inondative commence à être employée par des producteurs vingt à trente ans après les premiers travaux de recherche, soit vers les années 80.

C'est aussi dans les années 80 qu'un cadre conceptuel faisant appel à différentes sous-disciplines de l'écologie (dynamique des populations et modélisation, écologie des interactions, écologie du paysage, ...) est posé pour tenter d'améliorer l'efficacité de la lutte biologique. Il conduit notamment au développement d'une autre stratégie de lutte biologique, la lutte biologique par conservation. Le principe de cette lutte biologique par conservation est de « modifier l'environnement et/ou les pratiques existantes afin de protéger et favoriser les auxiliaires [...] spécifiques ou autres organismes permettant de réduire l'effet des ravageurs. Cette manipulation de l'environnement vise à améliorer la survie, la fécondité, la longévité et les comportements des ennemis naturels des ravageurs (ou auxiliaires) pour augmenter leur efficacité » (INRA 2016). Les premiers résultats de ces études aboutissent à des connaissances scientifiques concordantes entre elles dans les années 2000 (Bianchi, Booij, Tschamntke 2006 ; Chaplin-Kramer et al. 2011 ; Haan, Zhang, Landis 2020). Depuis, de nombreux travaux dans la recherche plus appliqués tentent d'étudier ces principes pour développer des méthodes de lutte biologique par conservation efficaces et envisageables pour les producteurs.

Les cultures sous serres constituent le domaine d'élection de l'utilisation de la lutte biologique inondative, tandis que la lutte biologique par conservation a essentiellement été étudiée dans un contexte de productions en plein champ. En effet, les serres sont souvent considérées comme des écosystèmes plus simples et moins diversifiés (Enkegaard, Brødsgaard 2006), plus isolés vis-à-vis des colonisations de ravageurs et de leurs ennemis naturels (Perdikis et al. 2011). Néanmoins, de nombreux ravageurs sont nuisent aux cultures sous serres (Messelink et al. 2012), notamment car ils y trouvent des conditions idéales pour leur développement (van Lenteren 2000). Dans la partie bibliographique suivante, nous allons revenir l'histoire du développement de la stratégie inondative sous abris et l'évolution progressive vers de nouvelles approches, plus proches de la lutte biologique par conservation.

Cultures	Années	1975-1979	1980	1981	1982	1983	
						Prévision	Réalisé
Tomate		3-5	8	16	35	100	240
Concombre		0,5-1	4	7	14	30	42

Tabl. 1 - Evolution des surfaces (ha) de cultures maraichères menées en France en lutte biologique avec *Encarsia formosa* (E.f.) et *Phytoseiulus persimilis* (P.p.) (ONILLON, 1985)

Figure 2 : Extrait d'un article de revue (Onillon 1985) montrant les premières années de la lutte biologique en France sous serres.

Lutte biologique et intégrée
en cultures protégées. (1984)



- Elevage d'auxiliaires. Stations de Recherches INRA
- ▲ Elevage d'auxiliaires. Expérimentations
- Elevage d'auxiliaires. Enseignement
- Production commerciale d'auxiliaires

Figure 3 : Répartition des premiers élevages d'auxiliaires pour la lutte biologique en France (Onillon 1985)

I. La lutte biologique comme moyen de lutte alternatif aux insecticides de synthèse

Historiquement, les premiers essais en lutte biologique sous serre abordés dans la littérature utilisaient *Encarsia formosa* contre *Trialeurodes vaporariorum* au Canada en 1926 (McLEOD 1940). D'autres études ont été menées dans les années 50-60, par exemple sur la fraise en Californie contre l'acarien *Steneotarsonemus pallidus* (Huffaker, Kennett 1956). En Europe, des travaux aux Pays-Bas ont permis de développer une lutte biologique sous serres d'abord développée sur arbres fruitiers, puis sur concombres. Cependant, le système le plus efficace répertorié à l'époque concerne la tomate avec *Encarsia formosa* contre la mouche blanche et *Phytoseiulus persimilis* contre *Tetranychus urticae* (OILB-SROP 1975).

En France, les premiers essais portent sur *P. persimilis* en 1970 et *E. formosa* en 1974 et les premiers résultats en serres sont observés en 1975 (Onillon 1985). Comme aux Pays-Bas, les premières cultures maraîchères françaises utilisant la lutte biologique sont la tomate et le concombre (Figure 2). La lutte biologique convint des techniciens et producteurs et on voit apparaître les premiers élevages d'agents de lutte biologique en France (Figure 3) devenus nécessaires pour assurer la qualité et la quantité d'auxiliaires disponibles (Onillon 1985 ; Jourdheuil et al. 1991).

Au début des années 90, la lutte biologique inondative a été adoptée en culture sous serre (Jourdheuil et al. 1991). La recherche dans les années 90 poursuit la même dynamique que dans les années 80 en étudiant toujours de nouveaux ravageurs et auxiliaires, par exemple les thrips et diverses espèces d'acariens (van Houten et al. 1995) ou *Orius laevigatus* (Frescata, Mexia 1996). Cependant, certains travaux cherchent à inclure des éléments du système dans la réflexion de la lutte biologique. Ainsi, certaines études prennent en compte des solutions innovantes telles que les filets insect-proof (Hanafi, Lacham 1999) ou les plantes-relais (Maisonneuve 1992 ; Fischer, Léger 1997).

Dans les années 2000, les études cherchent toujours à améliorer les méthodes de lutte biologique, notamment en travaillant sur plusieurs communautés de ravageurs et auxiliaires. En effet, les travaux de la fin des années 90 aux années 2000 abordent souvent différents ravageurs ou différents ennemis naturels, par exemple : contre *Bemisia tabaci* avec des combinaisons de parasitoïdes ou de prédateurs, également capable de réduire les populations de *Trialeurodes vaporariorum* (Gerling, Alomar, Arnò 2001), contre *Macrosiphum euphorbiae* avec le prédateur *Harmonia axyridis* et le parasitoïde *Aphelinus asychis* (Snyder et al. 2004) ou contre *T. vaporariorum* avec le champignon *Beauveria bassiana*, le prédateur *Dicyphus hesperus* et le parasitoïde *E. formosa* (Labbé et al. 2009). Une meilleure compréhension de leurs interactions, pour pouvoir efficacement les combiner, et de la lutte biologique par conservation sont alors des perspectives envisagées pour répondre aux attentes de durabilité de l'agriculture (Perdikis et al. 2008). Les années 2000 sont aussi la décennie de l'accélération de l'utilisation des outils génétiques telle que la PCR (Gariépy et al. 2007). Ils sont en effet devenus plus

accessibles, car plus rapides et moins chers, permettant ainsi de les utiliser couramment dans la recherche, par exemple, pour identifier des espèces proches ou pour connaître les proies consommées par analyse du contenu du tube digestif (Garipey et al. 2007). Enfin, les sujets de recherche sur l'utilisation de microorganismes, champignons et bactéries, se multiplient, par exemple avec *Trichoderma spp* (Hjeljord, Stensvand, Tronsmo 2000 ; Montealegre et al. 2005 ; Bal et al. 2006).

Dans la dernière décennie, les connaissances grandissantes en écologie ont permis une optimisation de la lutte biologique, par exemple, grâce à de la modélisation, notamment sous serre où l'écosystème plus simple facilite la création de modèles de décision (Moerkens et al. 2021). D'autre part, le paysage est de plus en plus considéré comme pouvant influencer le contrôle biologique en plein champ (Veres et al. 2013 ; Gurr et al. 2018 ; Perez-Alvarez, Nault, Poveda 2019), par exemple en étudiant l'influence de la gestion d'habitats proches des cultures sur les services écosystémiques fournis par les ennemis naturels (Phillips, Gardiner 2016). Néanmoins, cette influence a pour l'instant été encore peu considérée en culture sous serre, comme nous allons le voir.

II. L'étude du paysage pour une lutte biologique par conservation en serre de fraises ?

Les premières évocations de la nécessité de prendre en compte l'environnement proche des parcelles pour raisonner les méthodes de lutte contre les ravageurs apparaissent dans les années 60 (Way 1966). De premières études sont conduites et révèlent par exemple que les haies peuvent favoriser certains ravageurs (Lewis 1965 ; Way 1966). D'autres évaluent les effets de l'introduction de certaines espèces végétales pour le maintien d'un ennemi naturel (Dout et Nakata 1965 cité par Way 1966). Il est, dès alors, envisagé de manipuler la partie non cultivée du paysage pour favoriser les ennemis naturels et restreindre les populations de ravageurs afin de passer d'une lutte qui repose principalement sur des insecticides de synthèse à une lutte intégrée (Way 1966).

A la fin des années 70, la discipline naissante de l'écologie du paysage n'est pas encore suffisamment intégrée aux recherches en agriculture et devrait élargir son champ d'étude à l'écologie des populations d'après Hansson 1977. Les variables paysagères envisagées pour la construction d'un modèle prédictif de l'évolution d'une population de ravageur sont alors le pourcentage d'openfield, la distance aux habitats optimaux et sites de reproduction, le pourcentage de couverture des habitats, la hauteur des arbres, l'abondance de ressources alimentaires etc... (Hansson 1977)

A la fin des années 80, la lutte biologique inondative est bien installée mais la plupart des recherches se concentrent sur des notions économiques et de performance. Néanmoins, cette décennie marque l'intérêt des entomologistes pour l'écologie du paysage car elle fournit un cadre conceptuel à la compréhension des interactions entre les insectes et leur environnement. Le besoin d'approfondir la connaissance de l'écologie et des comportements des insectes à l'échelle du paysage est toujours présent (Samways 1989).

Dans les années 90, les études alliant étude du paysage et des communautés d'insectes se multiplient. Elles exposent les effets d'éléments linéaires tels que les routes et voies ferrées (Mader, Schell, Kornacker 1990), de la structure du paysage (Szeplińska 1990 ; Wiens et al. 1993) et de sa composition (Elliott et al. 1999). La théorie est encore considérée comme incomplète avec des améliorations possibles dans l'explicitation de l'espace et la définition des contextes écologiques et environnementaux (Wiens et al. 1993).

Au cours des années 2000, l'influence des zones d'habitats naturels et des structures paysagères plus fragmentées sur les populations de ravageurs et d'ennemis naturels et sur la régulation naturelle se confirme dans de nombreuses études. Il a pu être montré pour une majorité d'exemples choisis (75 %) que les populations d'ennemis naturels étaient plus nombreuses dans les paysages dits complexes (ie plus fragmentés et avec plus d'habitats non cultivés) et que leur activité était associée aux habitats herbacés dans 80 % des cas, aux forêts dans 71 % des cas et à la structure en patchs dans 70 % des cas (Bianchi, Booij, Tschardtke 2006). Les habitats non cultivés sont souvent des habitats favorables pour les ennemis naturels. Ils agissent comme une source depuis laquelle les terres cultivées et moins hospitalières sont colonisées. Néanmoins, dans les cas où ces ennemis naturels ont une préférence constante pour les plantes non cultivées, les zones d'habitats naturels peuvent aussi agir comme des puits. En réalité, un habitat peut être une source ou un puit selon sa qualité, sa taille et ce qui l'entoure. Enfin, l'influence positive des zones d'habitats naturels est relative car les zones non cultivées peuvent aussi servir de réservoirs de ravageurs (Bianchi, Booij, Tschardtke 2006). Pour estimer leurs bénéfices réels, des études de plus en plus nombreuses prennent en compte l'influence du paysage sur les interactions trophiques entre ennemis naturels, phytophages et producteurs primaires (intégrant ainsi les principes d'écologie du paysage et de lutte biologique par conservation). Pour conclure, même si l'influence de la composition du paysage sur la diversité et l'abondance en ennemis naturels est plutôt bien acquise, les répercussions sur le contrôle des ravageurs restent incertaines (Bianchi, Booij, Tschardtke 2006). De plus, les mécanismes et effets de la structure du paysage sur les populations restent encore mal compris (Asteraki et al. 2004).

A la fin des années 2000, la multiplication des études portant sur l'influence du paysage sur l'abondance et la diversité en ravageurs et ennemis naturels donne, comme précédemment, des résultats variables selon les systèmes étudiés mais avec une tendance générale : une augmentation de la complexité du paysage entraîne une augmentation de l'abondance en ennemis naturels (Chaplin-Kramer et al. 2011). Cependant, l'influence du paysage peut être plus ou moins forte selon le niveau trophique observé et la spécialisation du ravageur ou de l'ennemi naturel, les ennemis naturels spécialistes étant par exemple plus influencés par la complexité du paysage à petite échelle (de 300 à 1000 m) quand les généralistes sont impactés par cette variable sur des étendues plus (jusqu'à 3000 m) (Chaplin-Kramer et al. 2011).

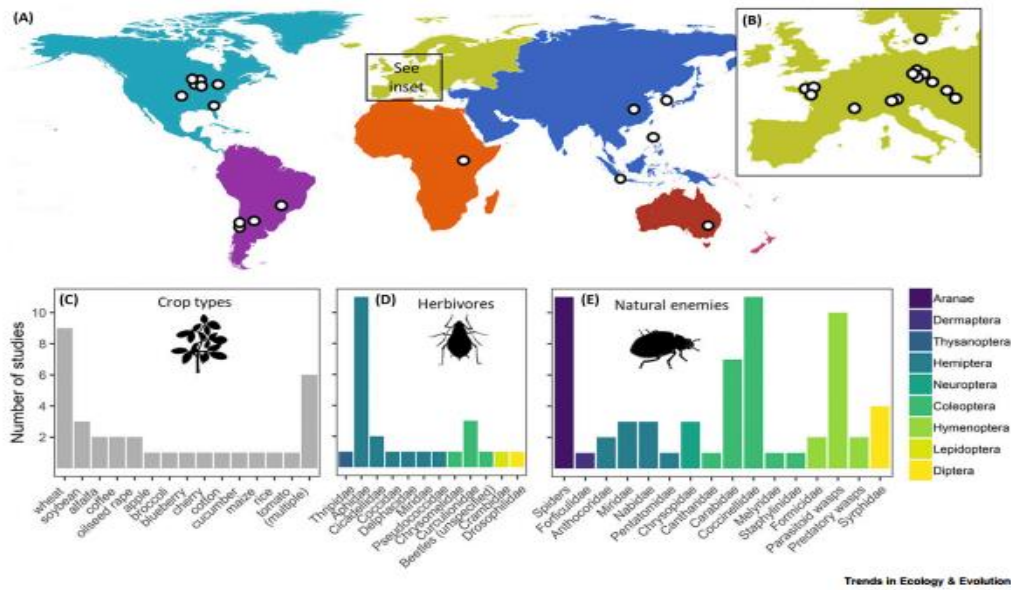


Figure 1. Overview of 33 Studies, 70% of Which Were Published since 2014, Testing Effects of Landscape Configuration on Agricultural Pest Suppression.
 (A) Studies we reviewed occurred on six continents and in 17 countries, but were biased toward Europe (B). Two studies are not depicted on the map; one of these was *in silico* [32] and the other was a pan-European synthesis [14]. (C) Configuration effects on pest suppression have been explored in an array of crop types, although more studies have taken place in wheat. (D) Most tests of how configuration affects pest densities have focused on aphids, while (E) effects on a wider range of natural enemies have been tested. In (D) and (E), bars represent insect families or functional groups, and are color coded by taxonomic order. See supplementary information online for additional details.

Figure 4 : Répartition géographique, par culture, par ravageurs et par ennemis naturels étudiés d'un échantillon d'études récentes traitant des effets de la configuration du paysage sur le contrôle des ravageurs (Haan, Zhang, Landis 2020)

Tableau 1 : Récapitulatif des propriétés biologiques et écologiques des principaux insectes ravageurs des fraises (complété pour les auxiliaires en Annexe I)

Groupe	Espèces	Hôtes	Alimentation	Survie en hiver
Pucerons	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	200 plantes, 20 familles : Solanaceae, Brassicaceae, Asteraceae, Apiaceae, Cucurbitaceae, Liliaceae, Fabaceae, plantes à fleurs (Rosaceae...)...		Forme femelles parthénogénétiques dans les abris ou la nature OU œufs sur arbres ou arbustes
	<i>Acyrtosiphon malvae</i>	Fragaria, Malva, Geranium, Erodium		Œufs sur la même plante hôte
	<i>Chaetosiphon fragaefolii</i>	Fragaria sp (fraise cultivée et sauvage)		Forme femelles parthénogénétiques sur jeunes feuilles
	<i>Aphys gossypii</i>	Cucurbitacea (melon, courgette, concombre), Malvaceae, Rutaceae (<i>Citrus</i>)		Forme femelles parthénogénétiques
	<i>Rhodobium porosum</i>	<i>Rosa spp</i> et <i>Fragaria vesca</i>		Forme femelles parthénogénétiques
Punaises phytophages	<i>Liocoris tripustulatus</i>	Orties, concombres, aubergines, poivrons,		Adultes en diapause dans un litière de feuilles ou des orties séchées
	Genre <i>Lygus</i>	Brassicacées (radis sauvage, moutarde...), Astéracées (Senecio, Silybum), Malvacées (Malva), Fabacées (Lupinus)		Adultes en diapause sur la végétation
	Genre <i>Nezara</i>	Solanacées, Cucurbitacées, nombreuses espèces herbacées, Fabacées, Brassicacées, Poacées, Malvacées, Solanacées etc...		Adultes en diapause
Thrips	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Plus de 250 plantes, d'au moins 62 familles (concombre, coton, poivrons, tomates, nectarine, fraises ...)		Adultes en diapause sur la végétation
	<i>Thrips tabaci</i>	Concombre, coton, tomate, poivron, nectarine, pomme de terre, oignon ...		
	<i>Thrips intonsa</i>	Poivrons, coton, concombre		

Dans la dernière décennie, les études sur la faune des cultures et le paysage environnant ont également intégré la notion de pratiques dans cet environnement, comme par exemple la surface cultivée (Schneider et al. 2015), ou l'intensité d'utilisation de pesticides (Muneret et al. 2019 ; Ricci et al. 2019 ; Paredes et al. 2021). Il en ressort que l'utilisation intensive des pesticides dans l'environnement peut annuler l'effet positif des habitats naturels (Ricci et al. 2019 ; Haan, Zhang, Landis 2020).

De plus, de nouvelles études montrent que la configuration spatiale du paysage est aussi influente que la quantité d'habitats naturels vis-à-vis des ennemis naturels : ces derniers sont plus nombreux dans les paysages plus fragmentés et où les habitats semi-naturels sont mieux connectés aux cultures (Haan, Zhang, Landis 2020). Les études traitant cette problématique se sont multipliées internationalement, et ont couvert divers systèmes, avec une prépondérance pour le blé et les pucerons (Figure 4) (Haan, Zhang, Landis 2020).

Une préoccupation ressort des travaux sur l'influence du paysage : beaucoup se concentrent sur l'influence du paysage sur les ennemis naturels ou sur le taux de prédation ou de parasitisme seulement, or le paysage agit sur la « cascade trophique », donc les phytophages comme leurs ennemis naturels peuvent être influencés par le paysage. L'influence du paysage sur les réseaux trophiques reste donc toujours un champ à approfondir. Un autre point pour soutenir ce besoin est que les ennemis naturels répondent numériquement à l'abondance en proies, l'effet du paysage sur les ennemis naturels pourrait donc être trompeur et indirect (Haan, Zhang, Landis 2020)

Enfin, il faudrait également s'intéresser directement aux services écosystémiques, c'est-à-dire à la régulation des ravageurs, au sein des différents paysages. En effet, on ne connaît pas toujours l'ensemble des ennemis naturels et de leurs interactions, et cette diversité peut être difficilement prise en compte par les études. Néanmoins, il est toujours possible de mesurer le service de régulation des ravageurs directement, même sans connaître l'ensemble de la communauté des auxiliaires, pour déterminer l'influence positive ou négative du paysage sur cette variable (Redlich et al. 2018).

Parmi ces recherches sur l'influence du paysage sur les communautés d'insectes dans les cultures, peu s'intéressent aux systèmes sous abris. Seuls quatre exemples peuvent être cités : pour l'horticulture (Rodríguez et al. 2018), sur les tomates (Ardanuy et al. 2019 ; Ardanuy et al. 2021) sur les pastèques (Dong et al. 2019) et sur les fraises (Postic et al. 2020). Les serres de fraises sont soumises à de nombreuses problématiques de protection des cultures notamment contre les ravageurs. Les divers ravageurs et ennemis naturels qui les contrôlent présentent des cycles biologiques différents (Tableau 1, Annexe I). Ceux-ci vont les conduire à utiliser l'environnement différemment. Il serait donc intéressant de mieux appréhender les facteurs les plus influents sur leur présence dans les serres. De plus, sachant que les pratiques agricoles dans l'environnement peuvent influencer l'effet du paysage sur l'entomofaune, il peut en être de même pour les pratiques culturales dans les serres de fraises, notamment en matière de protection de plantes pour réguler cette entomofaune.

Répartition de la production française en 2018

● + de 9 000 tonnes
● de 6 000 à 9 000 tonnes
● de 3 000 à 6 000 tonnes
● - de 3 000 tonnes
 Source : Agreste - élaboration FranceAgriMer

Total France :
3 324 ha / 53 731 t

5 premiers départements producteurs

Lot-et-Garonne
 Dordogne
 Vaucluse
 Isère
 Finistère

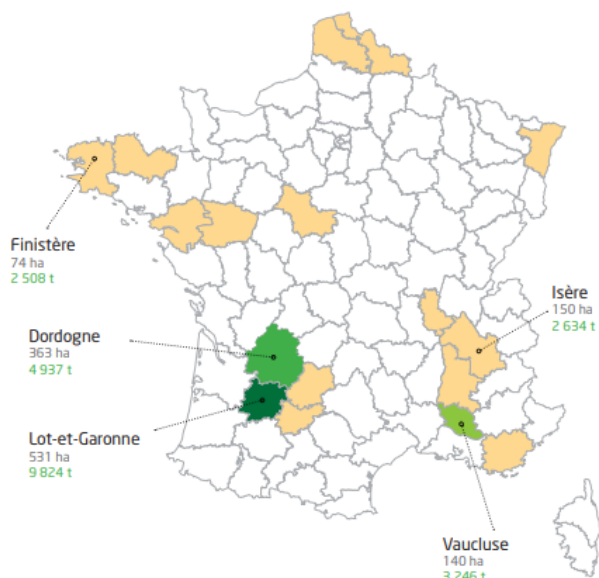


Figure 5 : Répartition de la production de fraise en France en 2018 (FranceAgriMer 2018)



Figure 6 : Photos d'exemples des différents types d'abris hauts, dans l'ordre : chenilles basses (crédit photo : <http://www.degrav-agri.fr/>), tunnels, multichapelle, serres verres (productions personnelles)

III. La culture de fraise, ses problématiques et ses pratiques

Le fraisier était initialement une plante ornementale parfumée dans les potagers européens, aussi utilisée pour ses propriétés curatives. Puis, la plante à fruits, telle qu'on la connaît aujourd'hui, fut obtenue au XVII^{ème} siècle par diffusion des espèces américaines *Fragaria virginiana* et *Fragaria chilonensis*. C'est une plante herbacée vivace de la famille des Rosacées, et de la sous-famille des Rosoïdées dans laquelle sont aussi classés la ronce, le framboisier et la rose (Fondazione Fojanini di Studi Superiori 2005).

En France, en 2021, la production de fraises occuperait une surface de près de 3 400 ha pour une quantité commercialisée de 56 000 tonnes, la plaçant à la 6^{ème} place européenne avec 5 % des quantités (Agreste 2021). Les premiers pays producteurs européens étant l'Espagne, la Pologne, l'Allemagne, l'Italie et le Royaume-Uni (Agreste 2021) (Annexe II). En France, la production se concentre principalement dans le bassin du sud-ouest mais les cultures de fraises se retrouvent sur l'ensemble du territoire (Figure 5) (FranceAgriMer 2018).

L'Association des Organisations de Producteurs nationale (AOPn) Fraises de France fédère une partie de cette production française. En effet, cette association regroupe près de 400 producteurs de fraises français répartis dans différentes régions, représentant environ 50 % de la production nationale (AOPn Fraises de France 2021).

La culture de ce fruit comprend une diversité de pratiques en termes de choix de variétés, d'abris, de support de culture, de méthodes de production etc... Les variétés se divisent en deux catégories selon leur cycle biologique : les variétés de printemps ou non remontantes, induites par les jours courts de l'automne et productives au printemps, et les variétés de saison ou remontantes, induites par les jours longs et productives de l'été à l'automne en continu ou discontinu selon les variétés (Bigey et al. 2003 ; Réseau GAB/FRAB 2015). Parmi les premières se trouve par exemple la fameuse Gariguette et la Ciflorette ; et dans les secondes la Mara des bois et la Charlotte (Réseau GAB/FRAB 2015). Les abris présentent également une diversité de tailles et d'ouvertures. On distingue les chenilles basses des abris hauts, parmi lesquels on compte les tunnels hauts, les multichapelles et les serres verres (Figure 6). En 2021, les surfaces de fraises sous abris hauts occupent 1438 ha soit environ 40 % des surfaces en fraises (Agreste 2021). Au sein même de ce groupe « abris hauts » il existe une diversité d'abris qui diffèrent par leur matière (verre, plastique), leur forme (hauteur, surface), leurs parois (doubles ou simples), et leur ouverture (sur la face supérieure et/ou les faces latérales). Pour le support de culture, les fraises peuvent être cultivées en pleine terre ou en jardins suspendus hors-sol, respectivement 60 % et 40 % des superficies en 2018 (Ambiaud et al. 2020). Enfin, les productions de fraises se distinguent aussi selon leur stratégie de lutte contre les maladies et ravageurs.

En effet, face à la diversité des problématiques que ces bioagresseurs engendrent, plusieurs méthodes et combinaisons de méthodes coexistent. Trois types d'intrants des serres visent la protection

de la culture : 1) les ennemis naturels issus d'élevage (parasitoïdes, prédateurs spécialistes, prédateurs généralistes) ; 2) les produits de biocontrôle (microorganismes, sels potassique et acides gras, soufre, maltodextrine etc...) et 3) les produits phytosanitaires de synthèse (Carmentran-Délias et al. 2021). Cependant, dans cette dernière catégorie, les produits autorisés sont de moins en moins nombreux, en réponse notamment aux ambitions du plan Ecophyto. Actuellement, quatre substances actives, soit cinq produits autorisés sur fraisiers, sont en cours de retrait à l'horizon 2022. Ils ont pour cibles les acariens, les cicadelles et punaises et l'oïdium (Carmentran-Délias et al. 2021).

Pour répondre à la disparition progressive des méthodes chimiques de lutte, les méthodes alternatives doivent être améliorées et combinées à de nouvelles méthodes. Dans le cadre de la lutte contre les ravageurs, la lutte biologique inondative est déjà bien mise en place en serre de fraises. En effet, actuellement, plusieurs ennemis naturels sont commercialisés et utilisés dont des parasitoïdes de pucerons, des prédateurs spécialistes des pucerons (*Aphidoletes aphidimiza* (Diptera : Cecidomyiidae), syrphes...), et des prédateurs spécialistes du thrips (*Amblyseuis swiirski* (Parasitifomes : Phytoseiidae), punaises *Orius*...). De plus, des projets de recherche (financés ou co-financés par l'AOPn), aboutis ou en cours, évaluent l'utilisation de plantes de services, telles que des céréales sur lesquelles peuvent être introduits des pucerons inoffensifs pour les fraisiers (Goillon et al. 2012 ; Invenio 2019). Cette méthode consiste à attirer les parasitoïdes de pucerons dans la culture avant qu'elle ne soit infestée par les pucerons du fraisier ici, afin que ces parasitoïdes se développent et puissent réguler ces pucerons directement dès leur arrivée ou le début de leur multiplication. Enfin, la lutte biologique par conservation sous abris pourrait être une voie intéressante d'amélioration de la protection des fraisiers, notamment parce que le milieu naturel peut offrir une plus grande diversité que les produits d'élevage commercialisés (Postic, 2020). La colonisation spontanée des serres de fraises par des ennemis naturels de pucerons a ainsi été récemment démontrée (Postic *et al.* 2020)

Finalement, ces méthodes de protection des cultures sont peut-être les premières à influencer l'entomofaune des serres puisqu'elles la cible directement. D'autres pratiques peuvent aussi conditionner l'entomofaune : les différents types d'abris ne présentent pas le même degré d'ouverture vers l'extérieur, ce qui peut influencer directement les flux donc la présence de certains insectes (Postic 2020), ainsi que la température et l'humidité qui influencent le développement des insectes selon leurs besoins biologiques; différentes variétés de fraises peuvent être plus ou moins attractives pour les ravageurs (Jamieson, Moreau, Fillmore 2016) etc...

Comme beaucoup d'autres, la culture de fraises en France, doit donc s'adapter à un contexte de réductions de l'utilisation des pesticides de synthèse. Une solution pour atténuer les conséquences du retrait de certains produits est la lutte biologique par lâchers d'ennemis naturels. Présente dans les serres françaises depuis de nombreuses années, cette solution est progressivement optimisée, mais pourrait être

combinée à une lutte biologique par conservation pour obtenir une efficacité supérieure. Cependant, contrairement à la lutte inondative, la lutte par conservation en serre a été encore peu étudiée, car les abris sont considérés comme des barrières isolant de l'environnement.

Le but de ce mémoire est de contribuer à répondre à ce manque de connaissances en s'intéressant à l'influence de l'environnement proche (bordures extérieures) et plus lointain (paysage) des abris sur les ravageurs et ennemis naturels des fraisiers. Les pratiques culturales mises en œuvre dans les serres seront également prises en compte, car elles peuvent aussi être responsables de la variabilité de la faune. Les questions auxquelles nous avons cherché à répondre sont les suivantes :

- Les pratiques culturales dans la serre ont-elles une influence sur la faune de la serre ?
- Quelles caractéristiques des bordures influencent la faune des serres et dans quelle mesure ? Y-a-t'il des critères sur lesquels travailler pour une meilleure gestion des populations ou pour prévoir les colonisations de la serre ?
- Quelles caractéristiques du paysage influencent la faune des serres et dans quelle mesure ?

Pour répondre à ces questions, nous avons collecté des données d'occurrence de différents groupes d'insectes ravageurs et ennemis naturels dans différents types d'abris dans le sud-ouest de la France et nous les avons confrontées à des données portant sur les pratiques culturales, la flore et l'entomofaune de leurs bordures extérieures et sur la composition et la structure du paysage environnant. Les méthodes utilisées pour obtenir ces données ont en partie été mises au point au cours d'un travail préliminaire réalisé durant l'automne et l'hiver 2020 (Cornué 2021). Elles ont été affinées durant le présent travail et les analyses de données ont été développées dans le but d'identifier des leviers de gestion potentiellement mobilisables par les producteurs.

Matériels et méthodes :

I. Les serres étudiées et sessions d'échantillonnage

Dans cette étude, 29 serres ont été considérées, serres réparties dans le bassin de production du Sud-Ouest : Lot-et-Garonne (21 serres), Dordogne (7 serres) et Gironde (1 serre, à la frontière du Lot-et-Garonne). La sélection des serres a eu pour base trois critères essentiels : l'accord du producteur, la diversité des paysages environnants et la typologie de la serre. La production de fraises peut être menée dans divers types de serres : les serres multi-chapelles, les tunnels et les serres verres. Cependant, la production de fraises sous serre verre est plutôt rare en France.

Tableau 2 : Echantillon de serres étudiées (les multichapelles marquées d'un * possèdent des bâches qui se soulèvent sur les côtés, permettant une plus grande ouverture)

Numéro de serre	Département	Type d'abris session 1	Type d'abris session 2	Culture
n1	24	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n2	47	Verre	Inchangée	Hors sol
n3	47	Verre	Inchangée	Hors sol
n4	47	Multichapelle*	Inchangée	Hors sol
n5	33	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n6	47	Verre	Inchangée	Hors sol
n7	47	Multichapelle	Tunnel	Hors sol
n8	47	Multichapelle*	Inchangée	Hors sol
n9	47	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n10	24	Tunnel	Tunnel	Hors sol
n11	47	Tunnel	Inchangée	Hors sol
n12	24	Tunnel	Inchangée	Hors sol
n14	24	Tunnel	Inchangée	Hors sol
n15	24	Tunnel	Inchangée	Hors sol
n16	24	Tunnel	Inchangée	Hors sol
n17	47	Tunnel	Multichapelle	Hors sol
n18	24	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n19	47	Multichapelle*	Inchangée	Hors sol
n20	47	Multichapelle*	Inchangée	Hors sol
n21	47	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n22	47	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n23	47	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n24	47	Tunnel	Inchangée	Hors sol
n25	47	Multichapelle	Multichapelle	Hors sol
n26	47	Tunnel	Inchangée	Sol
n27	47	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n28	47	Multichapelle	Inchangée	Hors sol
n29	47	Tunnel	Inchangée	Hors sol
n30	47	Verre	Inchangée	Hors sol

Le Tableau 2 présente les caractéristiques des abris finalement étudiés. La distance minimale entre 2 serres est de 750 m à vol d'oiseau pour les serres 3 et 6, puis 1,5 km pour les couples de serres 20/27 et 2/28.

Afin d'étudier la dynamique de l'entomofaune au sein des serres de fraisiers nous avons mené deux sessions d'échantillonnages en 2021 : en avril-mai (semaines 16, 17, 18) et en juin (semaines 23, 24, 25) en respectant le même ordre de visite des exploitations. Pour quatre exploitations, il a fallu considérer une autre serre à la 2nde session, car la culture avait été arrêtée sous la serre initiale (Tableau 2).

II. L'entomofaune des serres de fraisiers

Pour chaque serre de l'étude, nous avons procédé à un échantillonnage de 20 à 50 plants de fraisiers afin de relever l'entomofaune présente. Cet effort d'échantillonnage a varié selon le niveau d'infestation identifié dans la serre (en cas de très faible infestation, le nombre de plants échantillonnés était plus fort). Les plants échantillonnés ont été sélectionnés aléatoirement par tirage au sort d'un rang de la serre puis par des déplacements permettant de couvrir toute la surface de la serre. Pour chaque plant, la présence ou l'absence de ravageurs et d'auxiliaires a été notée. Dans cette étude, les groupes fonctionnels suivants ont été relevés :

- groupes de ravageurs : les pucerons, les thrips, les punaises, et les aleurodes ;
- groupes d'auxiliaires : les syrphes, les coccinelles, les chrysopes, les punaises prédatrices du genre *Orius* et les *Aeolothrips*, et les hyménoptères parasitoïdes de pucerons (présence de pucerons momifiés).

La culture de fraises pouvant être colonisée par des punaises phytophages, nous ferons la distinction comme suit : le terme « punaise » désignera les punaises phytophages alors que pour les punaises prédatrices, nous utiliserons le nom du genre, « punaise du genre *Orius* » par exemple.

Le niveau d'identification de l'entomofaune a varié selon les groupes d'espèces. Les pucerons et punaises ont été identifiés jusqu'à l'espèce alors que les thrips phytophages sont seulement discriminés des *Aeolothrips* auxiliaires. Pour les auxiliaires, le niveau d'identification a été la famille pour les coccinelles, les syrphes et les chrysopes. Les punaises prédatrices ont pu être identifiées en majorité jusqu'à l'espèce, sinon, au moins jusqu'au genre. Les *Aeolothrips* correspondent aux Thysanoptères observés dont les ailes antérieures présentent des bandes noires et blanches, par reprise du vocabulaire de terrain, mais ce niveau d'identification correspond plus précisément à la famille des Aeolothripidae, dans laquelle le genre *Aeolothrips* représentent environ quatre-vingt-dix espèces sur deux-cents (Mound, Tree 2012). La parasitoïdes de pucerons sont comptabilisés quand des momies sont présentes sur le plant échantillonné, sans précision de l'espèce.

Tableau 3 : Critères de description des bordures (en gras, les critères retenus par la suite)

Critère	Valeurs	Origine
Hauteur de végétation	Nu, Végétation basse, Végétation haute	Observation terrain
% végétation sur 5m	Valeur numérique de 0 à 100%	Stage précédent (Cornué, 2021)
% contact entre la serre et la végétation	Valeur numérique de 0 à 100%	Stage précédent (Cornué, 2021)
Largeur de bordure	<2m, [2 ; 5]m, >5m	Grilles du conservatoire des espaces naturelles d'Occitanie
% sol nu sans pierres	<10%, [10% ;20%], >20%	Grilles du conservatoire des espaces naturelles d'Occitanie
% recouvrement jeunes arbustes et buissons	<25%, [25% ;50%], >50%	Grilles du conservatoire des espaces naturelles d'Occitanie
Nombre d'espèces de fleurs visibles	<5, [5 ; 10], >10	Grilles du conservatoire des espaces naturelles d'Occitanie

A l'issue de ces échantillonnages, nous avons considéré deux types de variables résumant la diversité et la fréquences des insectes ravageurs et auxiliaires retrouvés dans les serres :

La probabilité de présence d'une espèce/d'un groupe donné dans une serre

Un indice de diversité englobant les différentes composantes de l'entomofaune. Ainsi, pour des groupes d'insectes (espèce, genre...) présentés plus loin, un indice de Shannon est calculé pour chaque serre à chaque session, selon la formule suivante :

$$H' = \sum_{i=1}^n \frac{p_i \log(p_i)}{\log(2)}$$

Où p_i est la fréquence d'une unité taxonomique donnée dans l'entomofaune relevée dans une serre.

Ces deux familles de variables (probabilité de présence et indice de diversité) seront analysées selon les différents facteurs étudiés dans le cadre de ce travail : les pratiques culturales, l'aménagement des bordures de serre et le paysage environnant la serre.

III. Identification des pratiques culturales dans la serre

L'objectif de cette partie est de décrire les conditions de cultures pouvant avoir un effet sur la dynamique de l'entomofaune dans une serre de fraisiers : la culture (variété(s) considérée(s), le type de plants, la date de plantation), la typologie des abris (degré d'ouverture, couverture de sol, chauffage...), et la protection des fraisiers (introductions d'ennemis naturels, traitements insecticides chimiques de synthèse et de biocontrôle, plantes de service, lutte physique...). La culture en place dans une serre (variété, date de plantation) pourrait influencer son attractivité vis-à-vis des ravageurs alors que le type d'abris pourrait lui influencer sur son accessibilité (degré d'ouverture de la serre). Enfin, les méthodes de protection des fraisiers mises en œuvre par l'exploitant ont pour but de gérer certaines espèces nuisibles ou de faciliter la présence d'auxiliaires. Pour recueillir ces informations, un questionnaire (Annexe III) a été transmis aux techniciens ou aux producteurs.

IV. Caractérisation des bordures de serre

1. Description de la végétation

La bordure de la serre est définie comme l'espace entre 0 et 5 m de la paroi de la serre. Les critères de description de la végétation des bordures de serre reprennent les critères utilisés dans un stage préliminaire (Cornué 2021). Ceux-ci sont complétés par des critères issus des grilles du conservatoire des espaces naturelles d'Occitanie, utilisés afin de caractériser l'état de conservation agroécologique autour des parcelles agricoles et un critère de description de la hauteur de végétation (Tableau 3).

Tableau 4 : Classification des occupations du sol observées, basée sur la classification de (Dong et al. 2019)

Céréales	Maïs, Blé, Avoine, Orge
Légumineuses	Féverole, Trèfle
Oléagineux	Tournesol, Colza
Maraichage	Pomme de terre, Betterave, Poivron/Piment, Tomate, Aubergine, Framboise, Myrtille, Fruits rouges, Courgettes, Salade, Fraise,
Arboriculture	Noix, Noisette, Châtaigne, Verger, Kiwi, Vigne, Sylviculture, Pépinières d'arbres
Habitat semi-naturel et Prairie	Prairie, Zone enherbée, Friche, Mélange fleuri
Bois	Surface boisée
Nu	Sol nu
Eau	Cours d'eau, Réservoirs, Bassins, Mares
Anthropisation non agricole	Espaces pavillonnaires, Milieu urbain, Zones industrielles
Autre	Tabac
NA	Terrain non accessible

Au-delà de l'utilisation de cette grille, la composition floristique des bordures de serre a été décrite en analysant les familles botaniques présentes dans un quadrat de 1 m² positionné aléatoirement à chaque côté de la serre. Le recouvrement des différentes familles botaniques ainsi que le sol nu et le sol couvert de mousses et lichens ont été relevés en pourcentage et avec l'aide de l'application PlantNet pour l'identification. A partir de ces données, nous avons calculé un indice de Shannon afin de déterminer la diversité floristique de chaque bordure pour une serre donnée.

2. Identification de l'entomofaune présente sur les bordures

Pour caractériser la faune présente dans les bordures de serre, nous avons prélevé les arthropodes présents en aspirant la végétation sur un transect linéaire de 5 m (transect comprenant le quadrat pour l'étude de la végétation), à l'aide d'un aspirateur-souffleur (STHIL SH 86 C) à puissance maximale. Le prélèvement a ensuite été conservé dans l'alcool à 70° pour une observation ultérieure sous loupe binoculaire. Les groupes faunistiques notés sont moins précis que pour la partie entomofaune sur fraisiers, car les arthropodes sont déconnectés de leur plante hôte. Ils ont donc été classés par grands groupes taxonomiques : pucerons, hyménoptères (hors fourmis), punaises, thrips, *Aeolothrips*, coccinelles, syrphes, chrysopes, fourmis, autres insectes et araignées. Ces identifications ont permis de construire une variable explicative appropriée à chaque modèle selon le groupe observé : soit un pourcentage de bordure présentant le groupe concerné (ex : pourcentage de bordures avec des pucerons), soit un indice de richesse en familles du groupe concerné (ex : comptage de famille de ravageurs dans les bordures).

V. Identification du paysage environnant d'une serre

A partir des cartes du site Géoportail ou du travail mené dans le cadre du stage préliminaire (Cornué 2021) pour le recouvrement agricole, l'occupation effective du sol entre les deux sessions de relevés et les linéaires de haies ont été annotés sur papier (impressions des cartes) puis retranscrits sur des cartographies grâce au logiciel QGIS (QGIS.org, 2021). Dans notre étude, l'aire décrite correspond à un cercle de 500 m de rayon dont le centre est situé au centre de la première serre visitée pour un site donné. L'aire étudiée est donc de 78,5 ha et comprend les serres de l'exploitation, dont celle(s) échantillonnée(s). Pour identifier les cultures environnantes, parfois au stade plantule, l'application Plant Net a été utilisée.

Chaque surface d'occupation du sol uniforme annotée est représentée par un polygone appelé « patch » et dont les limites sont tracées sur une photo de référence de Google Earth de 2017, ce qui permet d'en calculer ensuite la surface avec la fonction « area » de QGIS. Ces surfaces permettent d'obtenir les surfaces de chaque type d'occupation du sol selon la classification utilisée par Dong et al. (2019) et lors du stage préliminaire (Cornué 2021), adaptée aux données disponibles (Tableau 4). Les patches sont dessinés sur une couche vecteur et colorés grâce à un code, selon la nature de l'occupation du sol. Les routes, chemins et bordures de parcelles ne sont pas pris en compte

mais les cours d'eau sont considérés comme une occupation du sol par l'eau et mesurés comme des surfaces. Les zones urbaines (bâtis, jardins...) sont également relevés et classées dans une catégorie « Anthropisation non-agricole » (Tableau 4). Certaines zones étaient inaccessibles, par absence de route ou chemin publique ou par enfermement par des bois ou par des cours d'eau. Elles sont notées comme « Terrain non-accessible » (seulement 6 % des surfaces au total).

Les surfaces relevées ont été utilisées pour calculer un indice de diversité du paysage grâce à l'indice de Shannon où p_i est la surface couverte par une culture, les bois ou les surfaces semi-naturelles et prairies (ne sont pas pris en compte les surfaces dans ce calcul « Sol nu », « Anthropisation non agricole », « Eau » et « Terrain non accessible »). Le nombre de patchs, leur surface moyenne et le nombre de types d'occupation du sol ont aussi été extraits pour chaque cartographie. Enfin, les cartographies nous ont permis d'extraire les longueurs des haies avec la fonction « length » de QGIS. A partir de ces valeurs, nous avons calculé la longueur totale des haies et obtenu le nombre total de haies.

VI. Analyse des données et statistiques

1. Approche descriptive

Cette approche descriptive doit permettre de résumer les données d'entomofaune mais aussi de sélectionner les variables indépendantes, explicatives et pertinentes pour la modélisation des données d'entomofaune. Comme il n'est pas envisageable de considérer l'ensemble des variables explicatives relevées (pratiques culturales, caractérisation des bordures et structure et composition du paysage environnant), cette partie descriptive doit permettre une sélection de ces variables selon deux critères : leur représentation et leur corrélation. En effet, d'une part nous éliminons les variables pour lesquelles la variabilité est trop faible (i.e. évènements rares). D'autre part, nous évitons de mettre des variables corrélées dans la modélisation pour ne pas créer des problèmes de colinéarité, très préjudiciables dans une modélisation statistique.

a. L'entomofaune de la serre

Pour étudier l'entomofaune présente dans les serres, nous avons envisagé deux types de variables : les indices de diversité (i.e. trois indices de diversité : diversité des pucerons, des ravageurs et des auxiliaires) et les probabilités de présence sur un plant d'une espèce/d'un groupe donné (dix probabilités étudiées : celle des pucerons, de *M. euphorbiae*, de *A. malvae*, de *C. fragaefolii*, des momies de pucerons, des punaises, de *L. tripustulatus*, des thrips, de *Aeolothrips*, des prédateurs de pucerons : coccinelles, syrphes, chrysopes (CSC)). Pour décrire ces variables d'intérêt, nous avons effectué une Analyse en Composantes Principales (ACP) afin d'étudier leurs corrélations et leur variation selon les sessions d'échantillonnage et proposé des représentations graphiques.

Tableau 5 : Ensemble des variables à expliquer qui ont été modélisées dans l'analyse statistique de notre étude.

Diversité	Ravageurs			
	Pucerons			
	Auxiliaires			
Probabilité	Pucerons	<i>M. euphorbiae</i>	<i>A. malvae</i>	<i>C. fragaefolii</i>
	Punaises			<i>L. tripustulatus</i>
	Thrips			
	Prédateurs de pucerons (coccinelles, syrphes, chrysopes : CSC)			
	Parasitoïdes de pucerons (au stade de momies)			
	<i>Aeolothrips</i>			

b. Les pratiques dans la serre

Pour les pratiques, les variables étudiées (issues du questionnaire) sont essentiellement qualitatives, à l'exception du nombre de traitements insecticides entre la plantation et la seconde session d'échantillonnage.

c. Les bordures des serres

Afin de décrire les caractéristiques floristiques des bordures de serre, nous avons effectué une ACP, considérant les trois familles floristiques les plus fréquentes (présentes dans 50 à 80 % de l'ensemble quadrats observés sur les deux sessions : Poacées, Fabacées, et Astéracées), le sol nu et le sol couvert de mousse et lichen, la diversité floristique représentée par l'indice de Shannon, la densité de végétation représentée par le pourcentage de végétation sur 5m à partir de la paroi de la serre et le pourcentage de contact entre la serre et la bordure. Cette ACP a pour but d'identifier les variables dites fortes, c'est-à-dire représentant le plus de variabilité entre les individus (serres x sessions) dans le plan le plus représentatif 1 / 2, et les corrélations entre ces variables, pour éviter d'intégrer de la colinéarité dans les modélisations.

d. Le paysage autour des serres

Pour cette partie, nous avons construit une nouvelle ACP, dans laquelle sont prises en compte les variables suivantes : la diversité de l'occupation du sol (indice de Shannon), le nombre de types d'occupation du sol, le nombre de patchs, la surface moyenne de ces patchs, la longueur totale de haie, le nombre de haies, les surfaces couvertes par les céréales, les oléagineux, le maraîchage, l'arboriculture, les zones semi-naturelles et prairies, les zones boisées, les zones urbaines, le sol nu et l'eau. Comme pour les bordures, cette ACP permet de sélectionner les variables responsables de la variabilité entre les serres et peu corrélées entre elles.

2. Modélisation statistique

L'objectif de cette modélisation statistique est d'identifier si les variables associées aux conditions de culture, aux bordures des serres et au paysage environnant influencent la diversité de l'entomofaune retrouvée dans les serres et la fréquence de ses composantes. Comme indiqué plus-haut, les variables à expliquer concernent les ravageurs et les auxiliaires retrouvés dans les serres et sont de deux natures : les indices de diversité et les probabilités de présence d'une espèce/d'un groupe dans une serre. Le Tableau 5 liste ces variables à expliquer. Concernant les variables explicatives considérées dans la modélisation, leur sélection a été effectuée à l'issue de la description des données (voir ci-dessus). La modélisation statistique mise en œuvre dépend du type de variable analysée. Les indices de diversité suivant une loi normale, ils ont été analysés en utilisant un modèle linéaire général (GLM). Les probabilités de présence d'une espèce/d'un groupe donné suivant une loi binomiale, ces variables à expliquer ont été analysées en utilisant un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) avec une erreur binomiale et une fonction de lien logit. Concernant ces modèles généralisés, nous avons intégré la

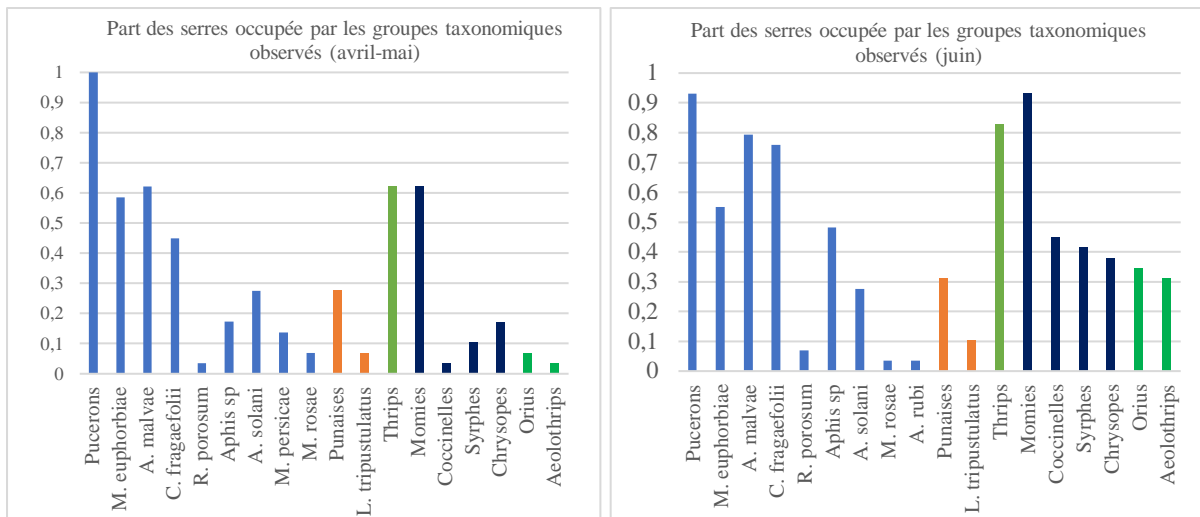


Figure 7 : Part des serres occupées par les groupes taxonomiques observés (gauche : session 1 en avril-mai, droite : session 2 en juin).

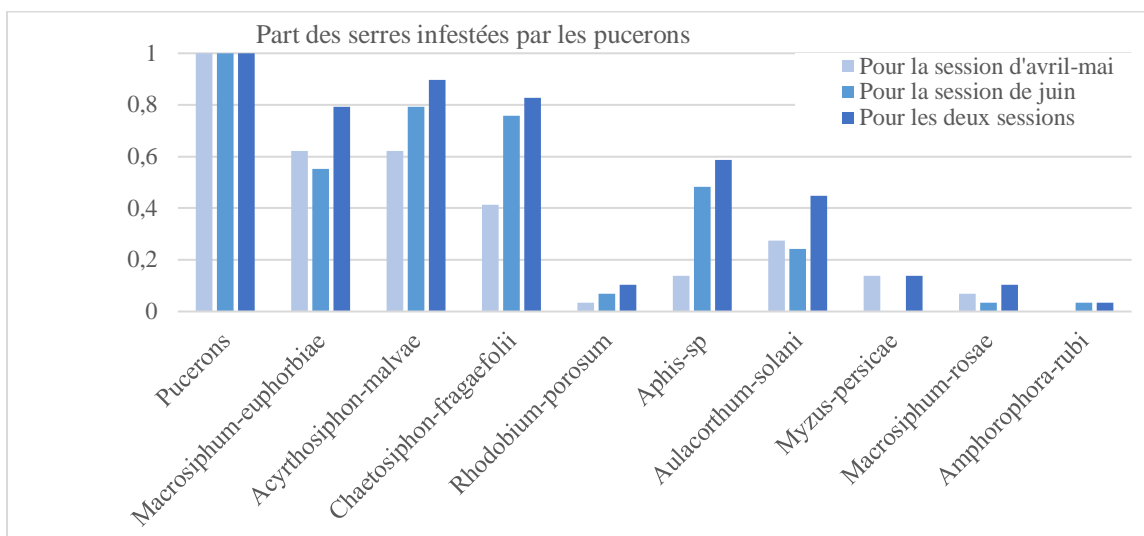


Figure 8 : Part des serres présentant les différentes espèces de pucerons pour les deux sessions.

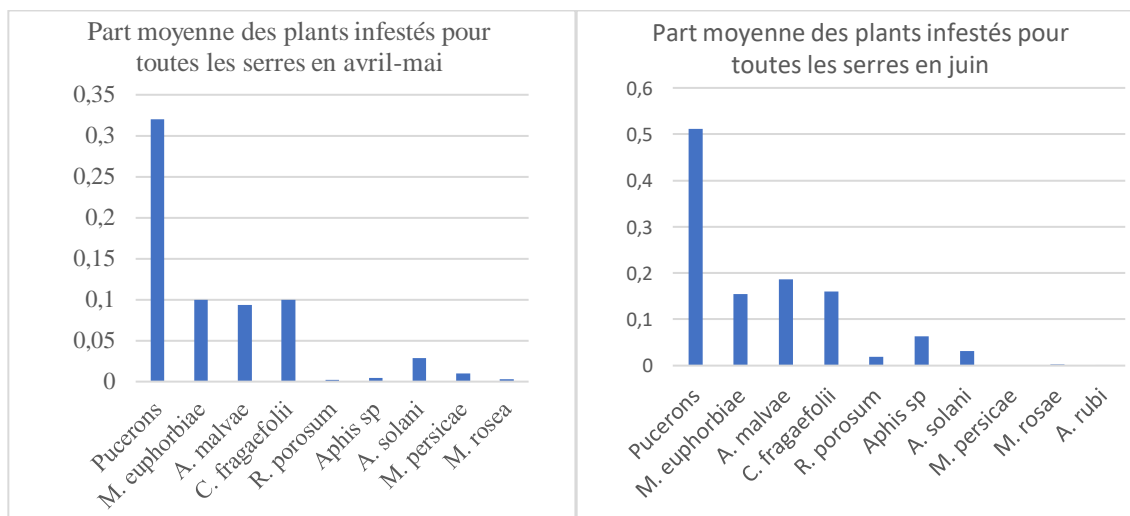


Figure 9 : Part moyenne de plants sur lesquels les pucerons ont été observés, calculée pour l'ensemble des 29 serres en avril-mai (gauche) et en juin (droite).

dépendance entre les données (i.e. toutes les données issues d'une même serre sont dépendantes), en intégrant le facteur 'serre' comme variable aléatoire dans la modélisation.

Quelle que soit la variable analysée, la modélisation était conduite comme suit. Le modèle initial comportait l'ensemble des variables explicatives à tester (sans interaction), puis nous avons procédé à l'élimination progressive des variables non significatives (i.e. backward selection model). Pour un modèle linéaire général, la significativité d'un terme du modèle avait pour base un test de Fisher alors que pour un modèle linéaire généralisé mixte, la significativité d'un terme a été évalué par un test de rapport de vraisemblance. Une fois le modèle candidat identifié (i.e. modèle comprenant uniquement des variables significatives), nous analysons les coefficients du modèle associés à chacune de ces variables significatives afin d'identifier le sens des effets (i.e. effets positifs ou négatifs sur les valeurs de la variable analysée). Pour chaque modèle linéaire général, nous avons vérifié la validité des hypothèses d'application : la stabilité de la variance et la normalité des résidus.

Sachant que nous avons analysés 13 variables réponses, et donc avons mis en œuvre 13 modélisations, il faut considérer cette multiplicité de tests et donc utiliser la correction de Bonferroni afin de maintenir un risque de 1^{ère} espèce de 0,05. En d'autres termes, nous considérerons un effet significatif d'une variable donnée si elle présente une significativité inférieure ou égale à 0,05/13 soit 0,0038. Si cette correction est très conservatrice (ie. elle réduit le nombre d'effets significatifs), elle limite les erreurs.

Résultats

I. Approche descriptive

1. L'entomofaune des serres

Les pucerons sont les ravageurs observés dans la plus grande proportion des serres : 100 % à la première session et 93 % à la seconde. Les thrips infestent 62 % puis 83 % des serres, et les punaises 28 % puis 31 %. Les parasitoïdes de pucerons sont les auxiliaires les plus récurrents avec 62 % puis 93 % des serres occupées. Les chrysopes occupent 17 % puis 38 % de serres, ce sont les prédateurs observés dans la plus grande part de serres en avril-mai. Pour juin, ce sont les coccinelles avec 45 % des serres occupées contre seulement 3 % en avril-mai (Figure 7).

a. Les pucerons observés

Les trois espèces de pucerons les plus observées, à la fois par la part des serres qu'elles ont colonisées (Figure 8) et la part moyenne de plants infestés sur l'ensemble de l'échantillonnage (Figure 9) sont : *Acyrtosiphon malvae*, *Macrosiphum euphorbiae* et *Chaetosiphon fragaefolii*. Pour les deux sessions, toutes les serres étaient occupées par au moins une espèce de pucerons. Les espèces observées dont les fréquences d'observation diminuent entre avril et juin sont : *M. euphorbiae*, *Aulacorthum solani*, *Myzus persicae* et *Macrosiphum rosae*. Au contraire, *A. malvae*, *C. fragaefolii*, *Rhodobium*

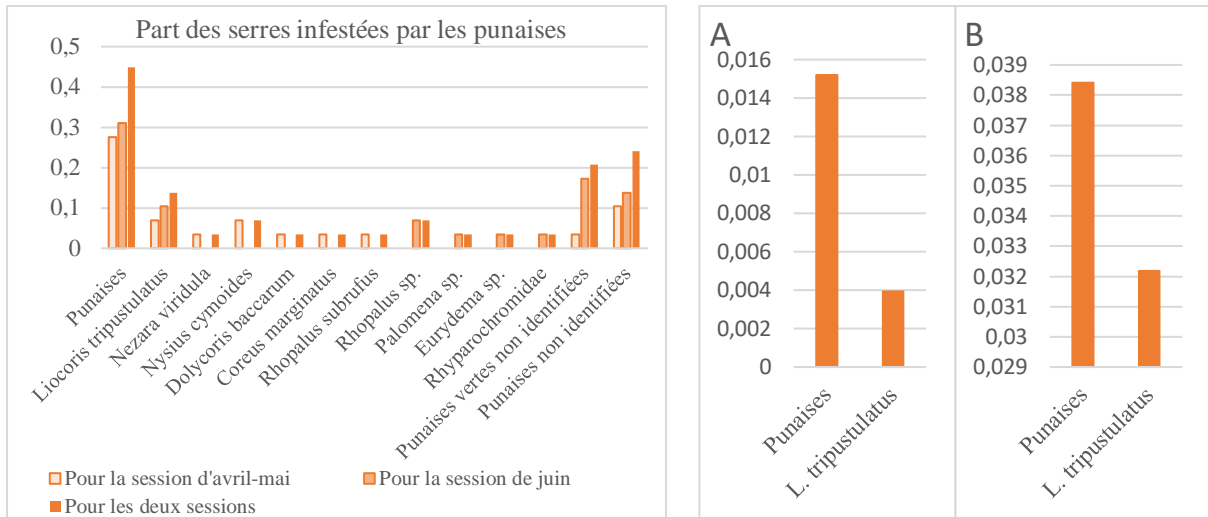


Figure 10 (gauche) : Part des serres présentant les différentes espèces de punaises pour les deux sessions. Figure 11 (droite) : Part moyenne de plants sur lesquels les punaises phytophages ont été observées, calculée pour l'ensemble des 29 serres en avril-mai (A) et en juin (B)

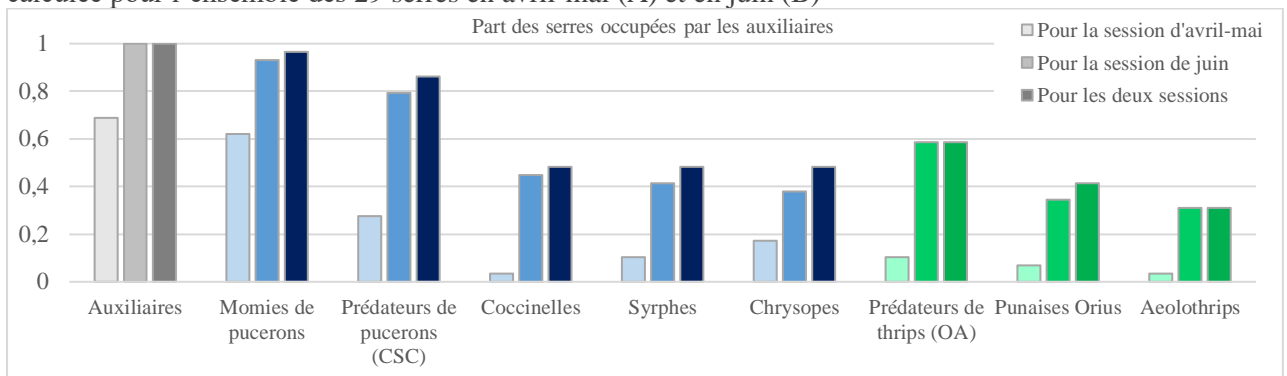


Figure 12 : Part des serres présentant les différents auxiliaires observés pour les deux sessions.

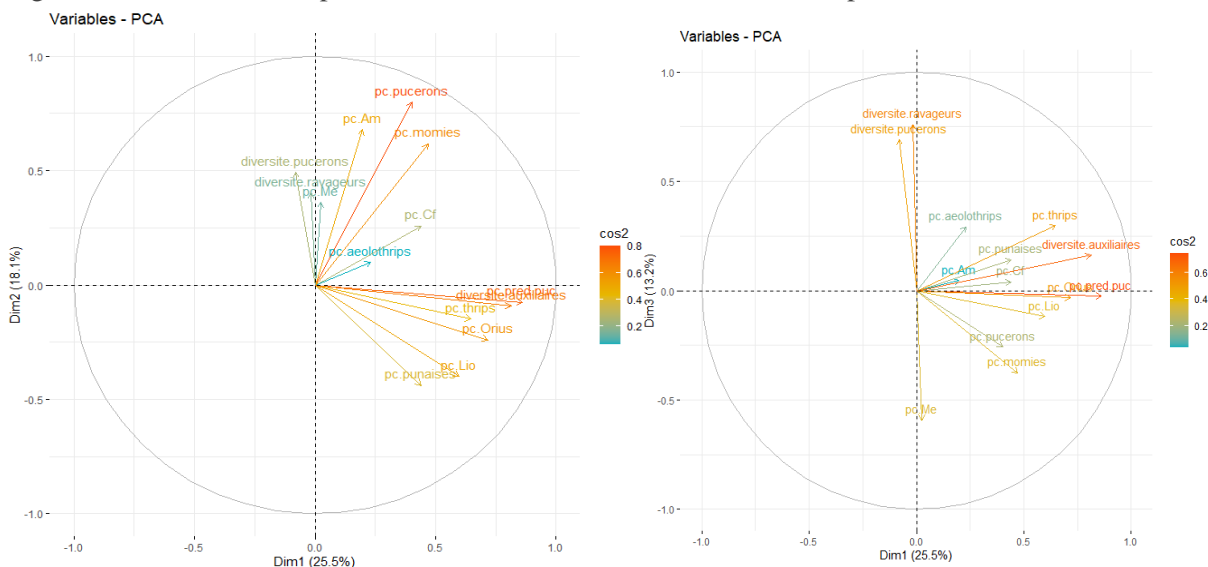


Figure 13 : Représentation de l'ACP sur les variables de la faune dans les serres de fraises sur les plans 1/2 (gauche) et 1/3 (droite). La valeur du \cos^2 indique la qualité de représentation de la variable sur l'axe. (Me : *M. euphorbiae*, Am : *A. malvae*, Cf : *C. fragaefolii*, Lio : *L. tripustulatus*, pc : fréquence). Les variables qui se superposent sur l'axe 1 sont la fréquence de prédateurs de pucerons et la diversité d'auxiliaires (plan 1 / 2, à gauche) et la fréquence de prédateurs de pucerons et la fréquence d'Orius (plan 1 / 3, à droite). Obtenus avec R Studio. (Agrandissement de la figure disponible en Annexe IV)

porosum, et les pucerons du genre *Aphis* ont colonisé plus de serres en juin que sept semaines auparavant, avec une multiplication par 3,5 pour les *Aphis* et presque 2 pour *C. fragaefolii* (Figure 8).

b. Les punaises observées

Les punaises phytophages suivantes ont été identifiées dans les serres : *Liocoris tripustulatus*, *Nezara viridula*, *Nysius cymoides*, *Dolycoris baccarum*, *Coreus marginatus*, *Rhopalus subrufus*, *Palomena sp.*, *Eurydema sp.*, et *Rhopalus sp.* Aucune punaise du genre *Lygus* n'a été trouvée durant les deux sessions d'échantillonnage. Des punaises n'ont pas pu être capturées et donc identifiées, il s'agissait pour une partie de punaises vertes, semblables à *Nezara viridula* et *Palomena sp.* Pour ne pas sous estimer les fréquences en punaises phytophages, elles sont décomptées dans cette catégorie. Pour les punaises phytophages identifiées, *L. tripustulatus* est celle qui colonise le plus de serres : 13 % sur l'ensemble des deux sessions (Figure 10). C'est aussi celle qui a été identifiée sur le plus de plants : 3,9 % en avril-mai et 3,2 % en juin (Figure 11).

c. Les thrips observés

Les thrips ont colonisé 62 % des serres en avril-mai et 83 % en juin (Annexe V). En moyenne, ils infestent 15 % des plants pour la 1^{ère} session et 34 % pour la 2^{nde} (Annexe VI).

d. Les auxiliaires observés

Sur l'ensemble des deux sessions, toutes les serres ont été occupées par au moins un auxiliaire à un moment d'observation. Les momies de pucerons témoignent de la présence de leurs parasitoïdes dans pratiquement toutes les serres (une seule serre sans momies) (Figure 12). Cette serre était colonisée par du puceron, respectivement 23 % et 12 % des plants observés en avril-mai et juin. Les coccinelles, les syrphes et les chrysopes sont indépendamment retrouvés dans 48 % des serres pour l'ensemble des deux sessions, les punaises du genre *Orius* 41 % et les *Aeolothrips* 31 % (Figure 12). Deux autres punaises prédatrices ont été identifiées : une de la tribu Dicyphini, suspectée d'être du genre *Macrolophus* (4 occurrences dans une même serre en juin) ; et une autre du genre *Anthocoris* (1 occurrence en juin).

e. Étude des variables à expliquer

L'ACP considérant les 13 variables à modéliser (3 indices des diversité et 10 variables de fréquence) rapporte que le premier axe, expliquant 25,5 % de la variance, est associé aux variables décrivant les auxiliaires (pourcentage de présence de prédateurs de pucerons (CSC) et diversité d'auxiliaires dans la serre). Le deuxième axe (18,1 % de la variance) est associé à la fréquence de présence de pucerons et le troisième axe (13,2 % de la variance) à la diversité en pucerons et en ravageurs (Figure 13, Annexe IV). Cependant, il faut noter que la diversité en ravageurs est corrélée à la diversité en pucerons ($R^2=0,75$) car les pucerons représentent le groupe le plus divers (jusqu'à 5 espèces pour une même serre pour une session). Les variables restantes correspondent à la présence des espèces les plus anecdotiques et donc

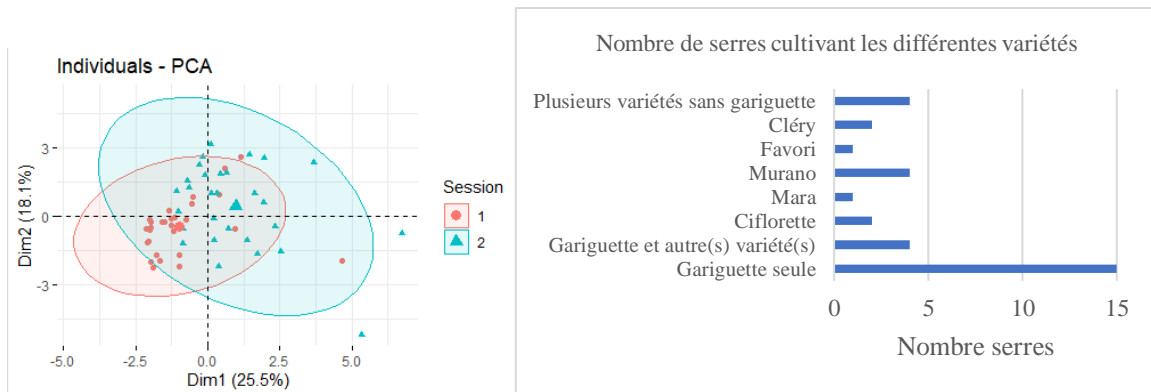


Figure 14 (gauche) : Représentation des serres sur les axes 1/2 de l'ACP sur la faune dans les serres de fraises selon la session d'observation. Les ellipses des valeurs représentent un intervalle de confiance de 95 % autour des centroïdes. Obtenus avec R Studio.

Figure 15 (droite) : Nombre de serres utilisées pour la culture des différentes variétés de fraises.

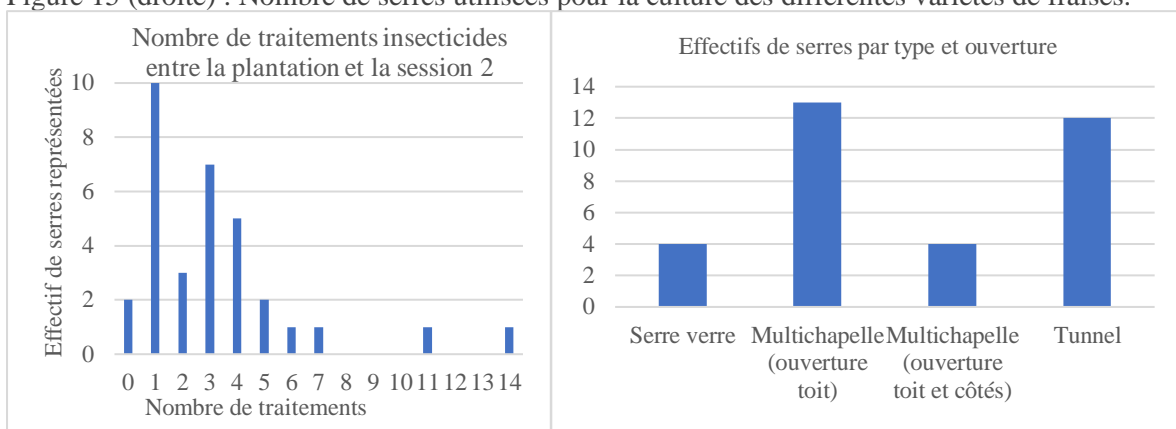


Figure 16 (gauche) : Nombre de traitements insecticides de synthèse et/ou de biocontrôle réalisés par serre entre la plantation et la 2nde session d'échantillonnage.

Figure 17 (droite) : Nombre de serres par type d'abris et d'ouverture dans notre échantillon.

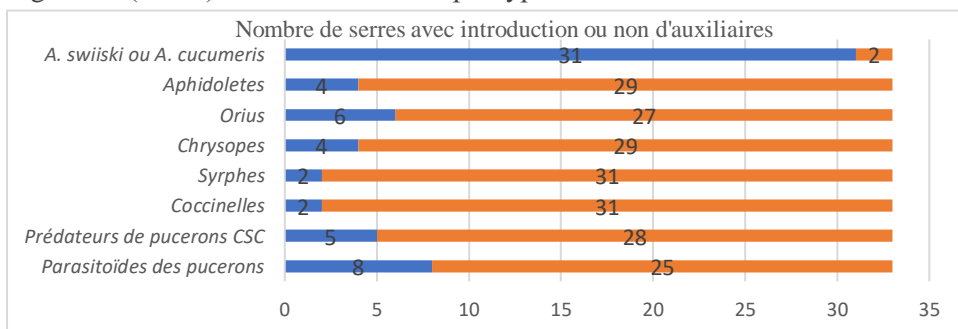


Figure 18 : Nombre de serres avec introduction (bleu) ou non (orange) d'auxiliaires (prédateurs de pucerons CSC: coccinelles, syrphes, et/ou chrysopes)



Figure 19 : Photos comparatives des ouvertures vers l'environnement pour les tunnels, les multichapelles ouvertes sur le toit et les côtés, les multichapelles ouvertes sur le toit uniquement et les serres verres (production personnelle).

présentant des fréquences de présence moins variables entre les serres ; d'où une représentation sur les derniers axes de l'ACP.

En distinguant les relevés de la session 1 et de la session 2, nous constatons un glissement dans les propriétés de l'entomofaune dans les serres (Figure 14). Le changement de morphologie du nuage de points suggèrent des augmentations d'occurrences des pucerons et des auxiliaires illustrés respectivement dans les figures (Figure 9 ; Figure 12).

2. Les pratiques culturales de la serre

Pour la qualité de la modélisation, nous devons procéder à l'élimination des facteurs ayant des modalités très rares. Par exemple, certaines variétés de fraises sont produites chez de rares exploitants (Figure 15).

Pour les variables de la protection des cultures, il peut être noté que la majorité des serres n'ont eu qu'une application d'insecticide (de synthèse ou de biocontrôle) entre la plantation et la deuxième session, et que seulement deux serres ont été traitées plus de dix fois (Figure 16). Les auxiliaires les plus couramment introduits sont des acariens prédateurs spécialistes du thrips, *A. swiiski* et/ou *A. cucumeris* (94 % des serres d'étude). Les parasitoïdes sont introduits dans 24 % des serres, les *Orius* 18 %, les chrysopes 12 %, les *Aphidoletes* 12 %, les syrphes 6 %, les coccinelles 6 % et pour 15 % des serres au moins un des prédateurs de pucerons (CSC) a été introduit (Figure 18).

Les types de serres les plus rencontrés sont les tunnels et les multichapelles ouvertes uniquement sur le toit (Figure 17). Pour obtenir une variable équilibrée et qui ait du sens, nous avons réuni les multichapelles ouvertes sur les côtés avec les tunnels (ouverture considérée « toit et côté ») et les serres verres avec les multichapelles ouvertes uniquement sur le toit (ouverture « toit »). Cette division semble avoir du sens vis-à-vis du degré d'ouverture avec l'environnement local (Figure 19).

A l'issue de cette approche descriptive des principales variables décrivant les pratiques culturales et les conditions de cultures, nous avons retenu les variables qualitatives suivantes : la position des ouvertures (toit ou toit et côté) ou « degré d'ouverture », l'introduction ou non des parasitoïdes de pucerons, des prédateurs des thrips (*A. swiirski*, *A. cucumeris*, *Orius*), des prédateurs des pucerons (*Aphidoletes*, coccinelles, syrphes, chrysopes), et la variable quantitative du nombre de traitements insecticides (de synthèse et/ou de biocontrôle) entre la plantation et la seconde session d'échantillonnage. Deux cas amènent à une adaptation de ces variables : pour la diversité en auxiliaires, nous utilisons un indice de richesse en auxiliaires introduits considérant le nombre de types d'auxiliaires introduits (parasitoïdes, *Orius*, coccinelles, syrphes, chrysopes) et pour la probabilité de prédateurs du pucerons (CSC), l'introduction de prédateurs des pucerons ne prend en compte que les familles relevées (coccinelles, syrphes, et chrysopes, sans *Aphidoletes*).

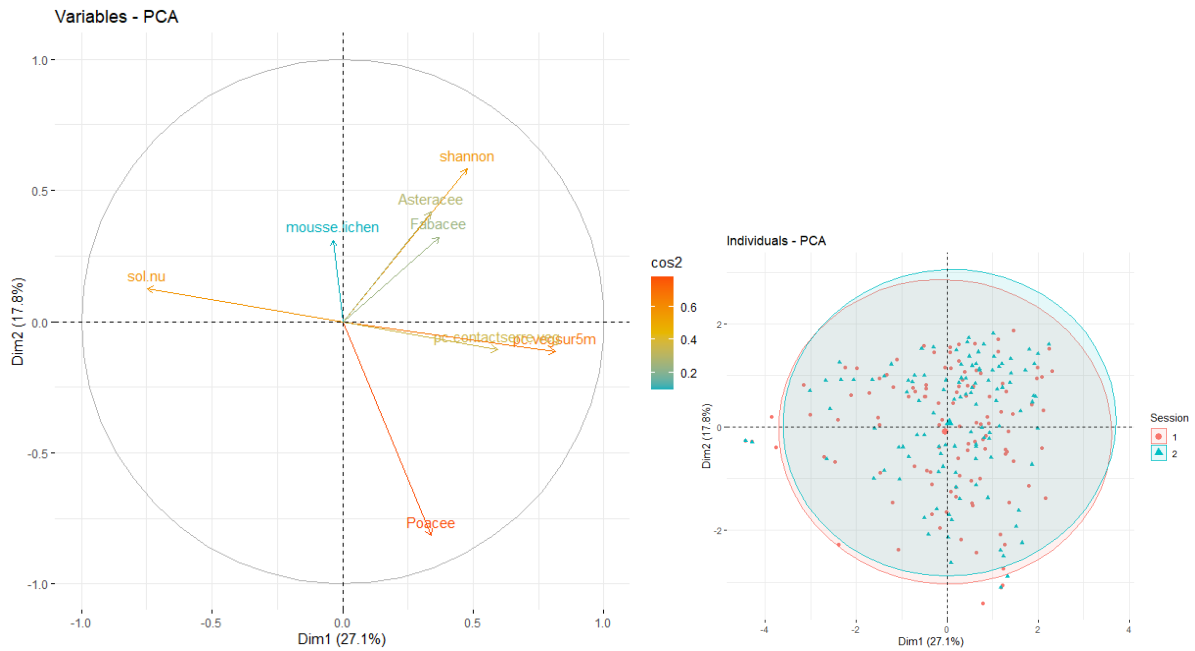


Figure 20 (gauche): Représentation de l'ACP sur les variables de bordures sur le plan 1/2. Les variables qui se superposent sur l'axe 1 sont le pourcentage de contact entre la serre et sa bordure et le pourcentage de végétation sur les 5 m de la bordure. La valeur du \cos^2 indique la qualité de représentation de la variable sur l'axe. Obtenus avec R Studio.

Figure 21 (droite) : Représentation des serres dans le plan 1/2 de l'ACP des variables de bordures, selon leur session d'observation. Les ellipses des valeurs représentent un intervalle de confiance de 95 % autour des centroïdes. Obtenus avec R Studio.

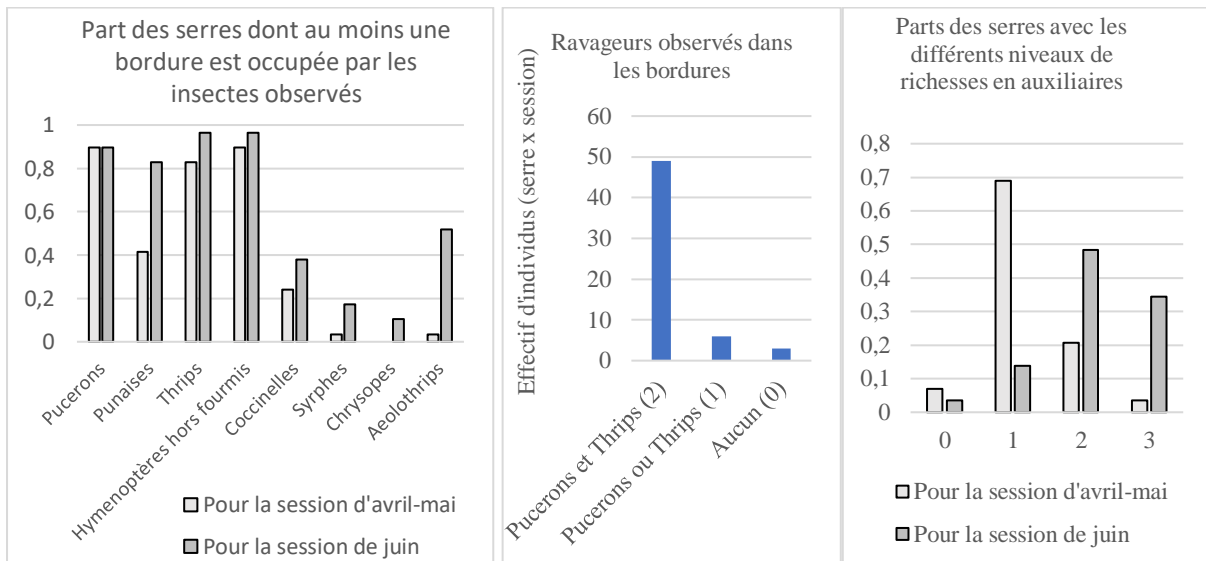


Figure 22 (gauche) : Part des serres pour lesquelles les insectes sont observés sur au moins une des bordures.

Figure 23 (milieu) : Effectifs des individus (une serre à une session) selon leur indice de richesse en famille de ravageurs pucerons et thrips.

Figure 24 (droite) : Parts des serres présentant les différents niveaux de richesse en auxiliaires dans leurs bordures (sont pris en compte : coccinelles, syrphes, chrysopes, *Aeolothrips* et hyménoptères hors fourmis)

3. Identification des bordures

a. Flore des bordures

Globalement, les bordures sont denses en végétation : 50 % des serres ont en moyenne sur leur quatre bordures (de 0 à 5 m de la serre) au minimum 74,4 % de sol couvert par la végétation (Annexe VII).

L'ACP sur les variables floristiques décrit quatre variables bien représentées sur ses deux premiers axes, expliquant respectivement 27,1 et 17,8 % de la variance. Le premier axe illustre plus particulièrement le pourcentage de végétation sur 5 m autour de la serre et le pourcentage de sol nu, corrélés négativement entre eux, expliquant ainsi la densité de végétation. Le deuxième axe illustre principalement l'indice de Shannon et le pourcentage de Poacées (Figure 20), il représente donc une approximation de la diversité floristique de la bordure. La représentation des individus serres selon la session d'échantillonnage, suggère une certaine stabilité des caractéristiques floristiques en bordure des serres (Figure 21).

Cette analyse des données suggère la sélection suivante des variables caractérisant les bordures pour la modélisation de l'entomofaune : la végétation sur 5m pour la densité de végétation, mieux représentée sur l'axe 1, et l'indice de Shannon, pour la diversité de végétation.

b. Faune des bordures

Les pucerons sont observés dans au moins une des bordures de 90 % des serres pour chaque session. Pour les punaises cette fréquence est de 40 % à la 1^{ère} session puis 83 % à la 2^{nde}, et pour les thrips elle est de 83 % puis 97 %. Les hyménoptères (hors fourmis) sont présents dans les bordures de 90 % puis 96 % des serres. Les prédateurs sont moins présents, mais nous pouvons relever qu'en juin les *Aeolothrips* se retrouvaient dans les bordures de 52 % des serres (Figure 22). Une grande majorité de serres ont des thrips et des pucerons dans leurs bordures (Figure 23) et les richesses des bordures en auxiliaires semblent augmenter entre les deux sessions (Figure 24).

Pour les modélisations, l'indice de richesse en familles de ravageurs (Figure 23) est utilisé pour le modèle de la diversité en ravageurs, l'indice de richesse en auxiliaires (Figure 24) pour celui de la diversité en auxiliaires ; et pour tous les autres modèles, c'est le pourcentage de bordures avec le groupe faunistique le plus proche de celui observé dans les serres qui est choisi (par exemple, pour *A. malvae* : les pucerons des bordures, pour les parasitoïdes : les hyménoptères hors fourmis des bordures, pour les *Aeolothrips* : les *Aeolothrips* des bordures etc...).

4. Caractérisation du paysage environnant

Les paysages étudiés présentent principalement des surfaces en céréales, avec une valeur médiane de 13,14 ha sur les 78,5 ha de l'aire autour de la serre et des zones enherbées semi-naturelles ou des prairies avec une valeur médiane de 8,93 ha (Annexe VIII). A partir de l'exploration préliminaire des

Tableau 6 : Résumé des variables modélisées ou non pour chaque modèle de diversité envisagé

Y'	Diversité des ravageurs	Diversité des pucerons	Diversité des auxiliaires
Position des ouvertures	OUI	OUI	OUI
Nombre de traitements	OUI	OUI	OUI
Nombre d'auxiliaires introduits	Non	Non	OUI (Parmi parasitoïdes, coccinelles, syrphes, chrysopes, <i>Orius</i>)
Introduction de prédateurs de pucerons (1)	OUI	OUI	Non
Introduction de prédateurs de thrips (2)	OUI	Non	Non
Introduction de parasitoïdes de pucerons	OUI	OUI	OUI
Indice de Shannon bordure (Diversité)	OUI	OUI	OUI
Végétation sur 5m (Densité)	OUI	OUI	OUI
Indice de richesse de Y' en bordures	OUI (Y' : Thrips, Pucerons)	Non	OUI (Y' : Hyménoptères, <i>Aeolothrips</i> , coccinelles, syrphes, chrysopes)
Pourcentage de bordures avec Y'	Non	OUI (Y' : pucerons)	Non
Indice de Shannon paysage (Diversité)	OUI	OUI	OUI
Nombre de patchs (Structure : Fragmentation)	OUI	OUI	OUI
Nombre de haies	OUI	OUI	OUI
Session (si 2)	OUI	OUI	OUI

Tableau 7 : Résumé des variables modélisées ou non pour chaque modèle de probabilité de présence. (Y' : les pucerons pour les pucerons et chaque espèces de pucerons, les punaises pour les punaise et *L. tripustulatus*, les thrips pour les thrips, les prédateurs coccinelles, syrphes et/ou chrysopes (CSC) pour les prédateurs CSC, les hyménoptères hors fourmis pour les momies, et les *Aeolothrips* pour les *Aeolothrips*)

Y'	Pucerons	<i>M. euphorbiae</i>	<i>A. mahvae</i>	<i>C. fragaefolii</i>	Punaises	<i>L. tripustulatus</i>	Thrips	Prédateurs de pucerons (CSC)	Momies	<i>Aeolothrips</i>
Position des ouvertures	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Nombre de traitements	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Introduction de prédateurs de pucerons (CSC, <i>Aphidoletes</i>)	OUI	OUI	OUI	OUI	Non	Non	Non	(Sans <i>Aphidoletes</i>)	Non	Non
Introduction de prédateurs de thrips (<i>Orius</i> , <i>A. swirski</i> , <i>A. cucumeris</i>)	Non	Non	Non	Non	Non	Non	OUI	Non	Non	Non
Introduction de parasitoïdes de pucerons	OUI	OUI	OUI	OUI	Non	Non	Non	Non	OUI	Non
Indice de Shannon bordure (Diversité)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Végétation sur 5m (Densité)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Pourcentage de bordures avec Y'	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Indice de Shannon paysage (Diversité)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Nombre de patchs (Structure : Fragmentation)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Nombre de haies	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Surface des zones semi naturelles et prairies	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Surface en céréales	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Surface des zones boisées	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Session	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI

données, les occupations du sol de catégories « Autre » et « Légumineuses » ne sont pas conservées car trop peu représentées dans l'échantillon.

Le premier axe de l'ACP résumant les caractéristiques des paysages décrits représente 25 % de la variance, et les variables les plus associées à cet axe sont la diversité (indice de Shannon et nombre de types d'occupation du sol) et la structure du paysage (nombre et surface des patchs) (Annexe IX). Le deuxième axe (environ 16 % de la variance) est principalement associé aux haies présentes dans les paysages (nombre et longueur totale). Le 3^{ème} axe (environ 14 % de la variance) est associé aux différentes surfaces enherbées « Habitat semi-naturel et Prairie ». Enfin, la variable « Surface en céréales » est moyennement représentée sur chacun de ces trois axes.

A l'issue de cette approche descriptive des paysages environnants, nous avons retenu les variables suivantes pour expliquer l'entomofaune présente dans les serres : l'indice de Shannon pour la diversité et le nombre de patchs pour la structure, les surfaces en céréales, en zones semi-naturelles et prairies et en zones boisées.

Ainsi, à l'issue de cette analyse descriptive des pratiques culturales, des conditions de culture, des bordures de serre et du paysage environnant, nous avons retenu les variables suivantes pour la modélisation des différentes variables caractérisant l'entomofaune retrouvée dans les serres (Tableau 6, Tableau 7).

II. Analyse statistique

Les tableaux en Annexe X et Annexe XI résument la significativité des variables testées dans les modèles et, en cas de significativité, le sens de l'effet sur les valeurs de la variable expliquée (effet positif (orange) ou négatif (bleu)).

Peu de nos variables testées donnent des résultats significatifs dans les modèles construits. Aucune variable du paysage n'a été retenue. Pour l'aspect 'pratiques' seul le degré d'ouverture des serres a donné un résultat significatif. Les variables descriptives de la bordure interviennent dans quatre des treize modèles finals. Le détail des résultats pour chaque modèle envisagé a été résumé dans les paragraphes suivants.

1. Les modèles de diversité

La diversité spécifique en pucerons n'est pas significativement expliquée par les variables choisies.

Pour le modèle de diversité des auxiliaires, la session semble avoir un effet significatif positif sur cette variable, mais les critères de validation ne sont pas remplis. Ce résultat peut s'expliquer par les valeurs prises par la diversité en auxiliaires : pour 26 observations sur 58, cette diversité vaut 0 par absence d'auxiliaires ou présence d'un seul auxiliaire dans la serre (les parasitoïdes).

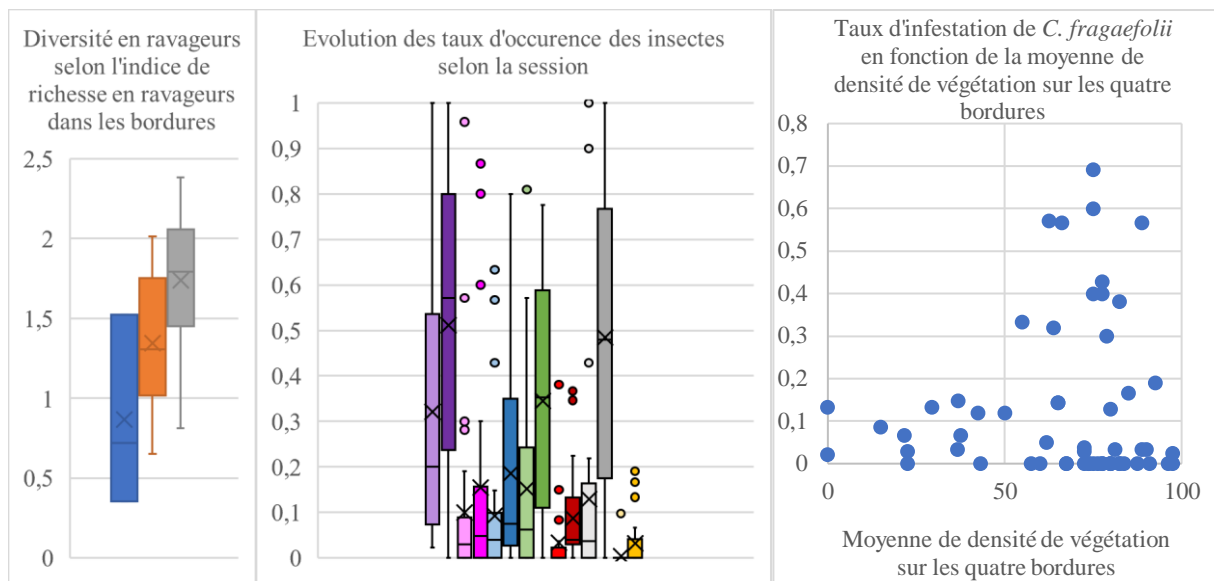


Figure 25 (gauche) : Effet de la richesse en ravageurs dans la bordure (bleu : ni thrips ni pucerons, orange : thrips ou pucerons, gris : thrips et pucerons) sur la diversité en ravageurs dans la serre.
 Figure 26 (milieu) : Evolution des taux d'occurrence entre les sessions 1 (claire) et 2 (foncée) : des pucerons (violet), de *M. euphorbiae* (rose), de *A. malvae* (bleu), des thrips (vert), des prédateurs de pucerons CSC (rouge), des parasitoïdes au stade momies (gris) et des *Aeolothrips* (jaune).
 Les boîtes représentent 50% des valeurs, la barre centrale représente la moyenne et la croix représente la médiane, les extrémités des moustaches représentent les valeurs minimales et maximales.
 Figure 27 (droite) : Taux d'infestation de *C. fragaefolii* en fonction de la moyenne de densité de végétation sur les quatre bordures de la serre

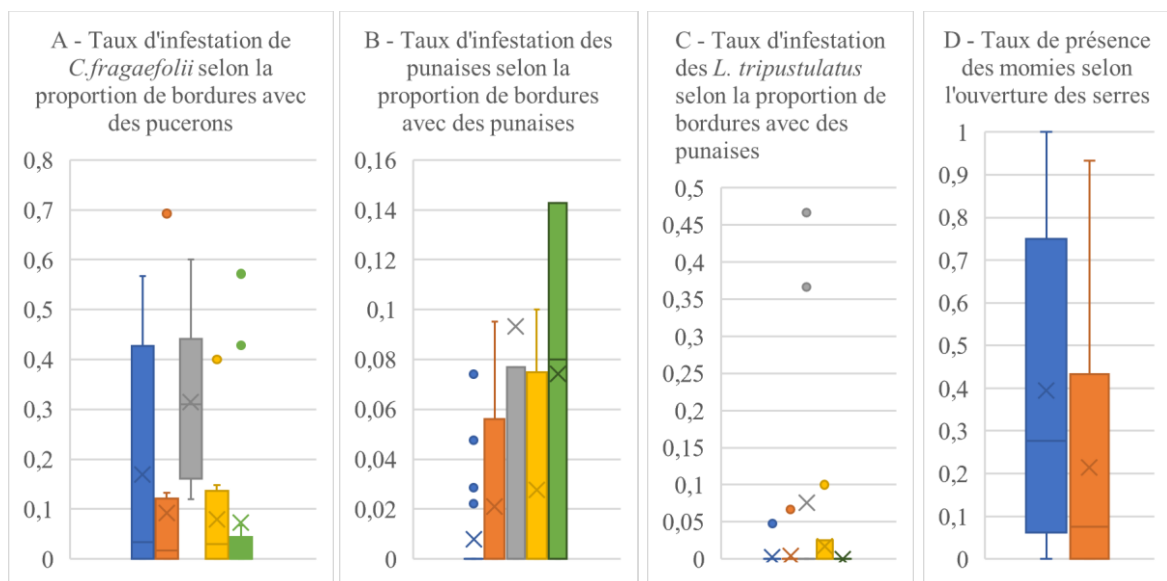


Figure 28 (A) : Taux d'infestation de *C. fragaefolii* en fonction de la proportion de bordures avec des pucerons (0 % bleu, 25 % orange, 50 % gris, 75 % jaune, 100 % vert).
 Figure 29 (B, C) : Taux d'infestation des punaises (B) et de *L. tripustulatus* (C) selon la proportion de bordures avec des punaises (0 % bleu, 25 % orange, 50 % gris, 75 % jaune, 100 % vert).
 Figure 30 (D) : Taux de présence des parasitoïdes au stade momies selon l'ouverture des serres (bleu : serres verres et multichapelles ouvertes sur le toit uniquement, orange : tunnels et multichapelles ouvertes sur le toit et les côtés).
 Les boîtes représentent 50% des valeurs, la barre centrale représente la moyenne et la croix représente la médiane, les extrémités des moustaches représentent les valeurs minimales et maximales.

Notre approche statistique montre que la présence de ravageurs dans les bordures de serre a un effet significativement positif sur la diversité en ravageurs au sein d'une serre (Annexe X, Figure 25).

2. Les modèles de probabilités de présence sur un plant

Pour les pucerons, *M. euphorbiae*, *A. malvae*, les thrips, les prédateurs de pucerons (CSC), les parasitoïdes (au stade momies) et les *Aeolothrips*, la probabilité de les rencontrer était plus forte en juin qu'en avril-mai (Annexe XI, Figure 26). Les taux moyens de présence ont été respectivement multipliés par 1,6 pour les pucerons, 1,5 pour *M. euphorbiae*, 2 pour *A. malvae*, 2,3 pour les thrips, 2,6 les prédateurs de pucerons (CSC), 3,6 pour les momies de parasitoïdes des pucerons et 9,3 pour les *Aeolothrips*.

La probabilité de présence de *C. fragaefolii* est positivement corrélée à la densité de végétation dans la bordure (Annexe XI, Figure 27) et négativement à la présence de pucerons en bordure (Annexe XI, Figure 28).

Notre modélisation montre que la probabilité de présence de punaises au sein d'une serre est positivement liée à la présence de punaises dans les bordures, et de même pour la probabilité de *L. tripustulatus* (Annexe XI, Figure 29).

Enfin, la probabilité de présence de parasitoïdes des pucerons (au stade momie) est négativement corrélée au degré d'ouverture des serres. Les serres plus ouvertes vers l'extérieur (tunnels et multichapelles à ouvertures sur le toit et les côtés) ont des probabilités de présence de momies 1,8 fois plus faibles (Annexe XI, Figure 30).

Discussion :

L'étude que nous avons conduite avait pour objectif d'identifier les facteurs pouvant influencer la composition de la faune d'insectes ravageurs et auxiliaires présent dans les serres de fraisiers. Les facteurs considérés sont les pratiques culturales dans la serre, la végétation et la faune des bordures et la composition et structure des paysages. Nous avons collecté des données sur de nombreuses variables de ces trois volets, puis avons sélectionné celles expliquant le plus de variance entre les serres observées. Les variables sélectionnées ont participées à la construction de plusieurs modèles sur l'entomofaune des serres ayant pour objet une diversité ou une probabilité de présence. Finalement, peu des variables des pratiques, de la bordure et du paysage ont donné de résultats significatifs dans notre analyse statistique.

I. Les ravageurs des serres de fraisiers

Les trois espèces de pucerons trouvés le plus fréquemment dans les serres ont été : *Acyrtosiphon malvae*, *Chaetosiphon fragaefolii* et *Macrosiphum euphorbiae*. Ces espèces faisaient déjà partie des quatre espèces les plus observées dans des serres de fraises en France dans une étude précédente (Postic

et al. 2020), en revanche l'espèce *Rhodobium porosum* était plus rare. Il semble donc y avoir un maintien interannuel de ces trois espèces dans et/ou autour des serres.

L'espèce de punaise la plus fréquemment observée est *Liocoris tripustulatus*. Aucune punaise du genre *Lygus* n'a été observée, alors qu'elle est souvent citée comme une des punaises problématiques en serres de fraises dans le bassin de production considéré ici (Bray, Graciet 2020). Cependant, notre résultat semble être en accord avec les observations effectuées cette année dans les serres de fraisiers (Chambre d'Agriculture Nouvelle Aquitaine 2021).

II. Influence des pratiques

Entomofaune auxiliaire : introduite ou naturelle ?

Les parasitoïdes ont été détectés dans 62 % des serres en avril-mai puis 93 % en juin. En 2017 et 2018, entre 42 % et 100 % des serres du sud-ouest présentaient des parasitoïdes de pucerons (Postic et al. 2020). Notre estimation d'occurrence est donc équivalente.

Les parasitoïdes sont aussi les auxiliaires les plus fréquemment lâchés parmi ceux observés dans cette étude, et la seule serre où aucun parasitoïde n'a été observé n'a fait l'objet d'aucun lâcher. Néanmoins, toutes les autres serres sans lâchers de parasitoïdes ont été colonisées par des parasitoïdes. De plus, il avait été constaté que les parasitoïdes lâchés par les producteurs étaient rarement retrouvés sur les fraisiers (Postic et al. 2020). Les colonisations de parasitoïdes depuis l'environnement extérieur participent donc clairement au parasitisme des pucerons dans la serre.

Pour les prédateurs, les syrphes ont toujours été observés dans les serres où des lâchés ont été réalisés. Ce n'est pas le cas des coccinelles qui ont été observées seulement dans une des deux serres où elles ont été lâchées, les chrysopes dans une sur quatre et les punaises *Orius* dans quatre sur six. Ceci peut s'expliquer par les hypothèses suivantes : soit le nombre de plants observés était insuffisant pour observer les espèces présentes en faible densité, soit ces prédateurs introduits ne se sont pas installés après leur introduction. De plus, des auxiliaires appartenant à tous les groupes considérés ont été observés dans des serres où ils n'ont pas été lâchés, ce qui confirme l'existence d'une colonisation naturelle, déjà confirmée pour les parasitoïdes (Dong et al. 2019 ; Postic et al. 2020) et constatée pour des prédateurs dont les coccinelles, les syrphes et les chrysopes (Li et al. 2021), et *M. pygmaeus* (Ardanuy et al. 2019 ; Ardanuy et al. 2021). Nos modélisations statistiques suggèrent que la présence des ennemis naturels de pucerons (i.e. prédateurs et parasitoïdes) dans une serre n'est pas influencée par les événements de lâchers de ces auxiliaires, confortant ainsi la contribution importante des colonisations naturelles dans la diversité de l'entomofaune retrouvée dans les serres.

L'ouverture des serres diminue la probabilité de momies de pucerons : effet direct ou indirect à étudier

Concernant l'activité des insectes parasitoïdes de pucerons, notre modélisation suggère que le degré d'ouverture des serres diminue la probabilité de présence de ces auxiliaires. Deux hypothèses

peuvent expliquer ce résultat : 1) les serres ouvertes présentent des conditions abiotiques moins favorables à la dynamique des populations des pucerons et de parasitoïdes ou 2) les serres ouvertes permettant l'arrivée des insectes hyperparasitoïdes (Postic et al., 2021), les parasitoïdes subissent leur pression parasitaire. Des données quantitatives sur les pucerons dans ces serres seraient nécessaires afin de savoir si l'influence de l'ouverture est directe ou indirecte par diminution de l'abondance en proies, variable à laquelle les ennemis naturels répondent (Haan, Zhang, Landis 2020).

III. Influence des bordures

Une diversité en ravageurs dans les serres en relation avec l'entomofaune phytophage des bordures.

L'indice de richesse en insectes phytophages, potentiellement ravageurs, dans les bordures (0 : ni thrips ni pucerons, 1 : thrips ou pucerons, 2 : thrips et pucerons) influence la diversité en ravageurs dans une serre. Il semble donc qu'il existe des flux de ravageurs entre cette bordure et la serre. Une identification au niveau espèce des ravageurs potentiels dans les bordures est nécessaire pour confirmer cette hypothèse. Une étude sur une plus longue période et des relevés plus fréquents pourraient révéler les rôles respectifs de la serre et de la bordure en tant que sources, puits, lieux de survie à l'hiver ou corridors, et l'évolution de ces rôles au cours du temps. Ce genre d'études a déjà abouti à des résultats pour des cultures de plein champ (Rashid, Johnson, Bernhardt 2006; Fleury et al. 2010). Une telle étude devrait identifier les ravageurs à l'espèce, puisque ces rôles (sources, puits, lieux de survie, corridors) varient selon les espèces considérées (Marshall, Moonen 2002).

***C. fragaefolii* est favorisé par des bordures denses, mais qu'en est-il de ses parasitoïdes ?**

La probabilité de présence de *C. fragaefolii* dépend de la densité de végétation et du pourcentage de bordures abritant des pucerons.

Les bordures plus denses augmentent cette probabilité, donc on peut supposer que cette végétation permet à *C. fragaefolii* de se multiplier puis de coloniser les serres. En effet, l'espèce est spécialiste du genre *Fragaria* mais elle peut aussi utiliser les genre *Rosa* (Blackman et al. 1987) et *Potentilla* comme hôtes (Batra 1979 ; Blackman et al. 1987), or le genre *Potentilla* a été observé dans les bordures des serres de notre étude.

De plus, le pourcentage de bordures abritant des pucerons diminue la probabilité de *C. fragaefolii* dans la serre. Cette espèce n'étant parasitée que par *Aphidius eglanteriae* (Postic et al. 2020), on peut faire l'hypothèse que certains pucerons de bordure sont des *C. fragaefolii* qui attirent *A. eglanteriae* et que ceux-ci colonisent ensuite la serre. En effet, il a pu être observé que la ressource disponible en pucerons dans les bordures participe au maintien d'abondances plus fortes en parasitoïdes et prédateurs (Ramsden et al. 2015). Cependant, peu d'échanges de parasitoïdes entre les bordures et les cultures ont été constatés, mais dans les cas où les pucerons de ces bordures ne sont pas des ravageurs de la culture (Derocles et al. 2014). Il est aussi possible de faire l'hypothèse que la forte présence de

pucerons en bordures correspond à des conditions défavorables pour *C. fragaefolii* : moins de présence de ses hôtes au profit d'autres espèces et compétition interspécifique des phytophages plus forte.

Les probabilités de présences des punaises et de *L. tripustulatus* sont en relation avec la présence des punaises en bordures.

Pour les deux modèles, sur les punaises et sur les *L. tripustulatus*, les bordures abritant des punaises (non identifiées) augmentent la probabilité de cette famille et de cette espèce dans la serre. Les bordures semblent donc jouer un rôle de source en punaises. Cependant, les deux variables descriptives de nos bordures ne permettent pas d'expliquer les probabilités de présence de punaises en général, et de *L. tripustulatus* en particulier. Néanmoins, nos résultats sont cohérents avec d'autres études sur l'influence des bordures sur les pressions en punaises phytophages : la présence de punaises phytophages a été constatée dans les bordures et l'environnement proche de cultures de plein champ (Rashid, Johnson, Bernhardt 2006 ; Fleury et al. 2010), et des migrations ont aussi pu être observées (Reeves 2009 ; Fleury et al. 2010). Selon les espèces, la présence d'une bordure de végétation spontanée a pu être corrélée avec une abondance de punaises phytophages supérieure dans la culture (Outward, Sorenson, Bradley 2008).

IV. Influence du paysage

Le paysage environnant ne semble pas influencer l'entomofaune des serres.

Après la construction de nos modèles, aucune variable descriptive du paysage n'a été conservée. Cela tient en partie à notre choix d'être conservateur et de réduire le seuil de significativité demandé pour garder un risque de 1^{ère} espèce de 0,05 sur l'ensemble des modélisations. Avec moins de modèles construits, plus d'effets significatifs auraient pu être conservés. D'autres choix de variables descriptives du paysage auraient aussi pu aboutir à des résultats significatifs. Par exemple, les variables et données utilisées n'ont pas permis d'expliquer la diversité en pucerons, alors que le stage précédent était parvenu à un modèle dans lequel les surfaces boisées et en céréales (non testées pour nos modèles de 'diversité') augmentaient la diversité en pucerons. Les données utilisées dans ce travail concernaient dix-neuf exploitations du sud ouest en 2017 et 2018 (Cornué 2021).

V. Effet de la variable temporelle

La dynamique temporelle du cortège des ravageurs et auxiliaires.

Si dans notre étude, le paysage environnant n'influence par la diversité et la présence des ravageurs dans une serre, nos résultats montrent qu'il existe une dynamique temporelle de l'entomofaune ! Les probabilités de présence des pucerons en général, et plus particulièrement de *M. euphorbiae* et de *A. malvae*, des thrips, des prédateurs de pucerons (coccinelles, syrphes, chrysopes), des parasitoïdes (au stade momie) et des *Aeolothrips* augmentent entre avril et juin. Ce résultat suggère des colonisations et/ou des multiplications en continu entre le printemps et l'été. Cet accroissement n'est pas observé pour les punaises, en particulier *L. tripustulatus*, ce qui peut s'expliquer par une étendue

temporelle d'échantillonnage trop faible. En effet, *L. trispustulatus* a un cycle de vie d'environ 85 jours à 15 °C et de 36 jours à 25 °C (Jaccard, Fischer 2016), donc les 7 semaines, soit 49 jours peuvent être insuffisants pour observer un accroissement des populations.

VI. Limites des méthodes et des résultats

Régionalité des résultats

Dans notre étude, nous avons considéré un seul bassin de production : le sud-ouest de la France. Ils seront donc utiles dans une optique d'application technique de ces résultats dans la région, mais, pour une extrapolation à un plus grand territoire, il faut envisager des différences régionales. Cependant, concernant les pucerons et leurs parasitoïdes, il a déjà été montré que les assemblages d'espèces étaient similaires entre différentes régions françaises productrices de fraises (Postic et al. 2020).

Niveau de précision d'identification

Le niveau d'identification des insectes limite l'interprétation des résultats obtenus. Les thrips par exemple ne sont identifiés qu'au niveau de la famille, or, avec l'exemple des pucerons on constate que des résultats différents peuvent être obtenus selon l'espèce : la présence des pucerons en général ne dépend que de la session d'échantillonnage alors que l'espèce *C. fragaefolii* en particulier dépend des variables de la bordure. Les identifications d'insectes des bordures sont également limitées à la famille, car ceux-ci sont déconnectés de leur plante hôte et que nous ne disposons pas du temps et des méthodes nécessaire pour ces identifications par exemple, méthodes de séquençage nouvelle génération et de génomique environnementale (Shokralla et al. 2012 ; Wachi et al. 2017).

Pour palier à cette limite, il faudrait recentrer l'étude sur une famille de ravageurs, pour réduire le nombre d'identifications, ou développer et intégrer des méthodes de génomique environnementale.

La prise en compte des pratiques : précision des réponses et variabilité entre serres

Les pratiques ont été l'aspect le plus compliqué à prendre en compte dans cette étude car certaines des questions ne donnaient pas toujours lieu à des réponses précises, par exemple, concernant l'entretien des bordures. Cette réponse aurait pu être intéressante car pour des punaises, la fréquence de tonte a déjà été associée à des captures plus nombreuses (Fleury et al. 2010). Pour certaines variables acquises, les serres de l'échantillon présentaient peu de variabilité : 1) une majorité des abris sont des multichapelles ouvertes sur le toit ou des tunnels, les multichapelles à ouvertures latérales et serre verre sont sous-représentées ; 2) les introductions d'ennemis naturels sont semblables : les prédateurs de thrips sont, par exemple, introduits pour toutes les observations (serre x session) sauf trois d'entre elles. De plus, seuls les traitements entre la plantation et la 2^{ème} session d'échantillonnage ont pu être obtenus. Cette variable ne représente donc qu'un indice d'intensité d'utilisation d'insecticides. Il aurait été préférable de disposer des dates d'applications pour déterminer précisément l'influence de l'utilisation de ces insecticides sur les populations. Enfin, la nature même des produits utilisés, de spectre large ou

spécifique, pourrait modifier les résultats observés : le questionnaire aurait du être adapté pour obtenir cette information.

Redéfinition des variables de bordures

Les variables descriptives de la végétation des bordures ont donné peu de résultats mais il serait possible d'améliorer certaines variables. Par exemple, la variable « Nombre d'espèces de fleurs visibles » avec des réponses en classes (<5, [5 ;10], >10) n'a pas permis d'observer suffisamment de variabilité entre les serres. Une estimation du pourcentage de couverture des espèces de fleurs visibles pourrait permettre d'approcher la disponibilité de la ressource en pollen et nectar dans la bordure pour les auxiliaires et ravageurs qui l'utilisent. Il faudrait également s'intéresser aux espèces de ces fleurs, puisqu'il a été démontré que des bandes fleuries adjacentes aux serres diminuaient les abondances en ravageurs dans la serre par attraction d'ennemis naturels (Ramsden et al. 2015 ; Li et al. 2021).

Dynamique du paysage, utilisation de pesticides et adaptation de la cartographie

L'observation du paysage ne tient pas compte de la dynamique de ce même paysage : le paysage connu est celui accessible le jour de la visite de terrain, or, certaines des cultures n'étaient peut-être pas mises en lors de la première session de relevés. L'influence de certaines occupations du sol ne se constate potentiellement qu'à certains moments de la culture, notamment après la récolte : par exemple, certains thrips colonisent les choux après la récolte du blé ou de l'avoine (Shelton 1995). De plus, l'occupation du sol de l'année précédente a pu conditionner les populations entrées en hibernation : l'évolution des surfaces d'une année sur l'autre, par exemple, peut influencer la pression en ravageurs sur une parcelle (Schneider et al. 2015).

Par ailleurs, certaines études ont montré que l'utilisation de pesticides au sein d'un paysage pouvait changer l'influence de ce paysage (Ricci et al. 2019 ; Paredes et al. 2021), ce pourrait être un critère à prendre en compte pour mieux appréhender leur influence.

Enfin, notre cartographie a considéré les cours d'eau comme une occupation du sol. Ceux-ci sont étudiés comme barrières aux migrations pour d'autres groupes taxonomiques (primates, amphibiens...) mais la rupture végétative pourrait aussi freiner certains insectes. De plus, il pourrait être intéressant d'intégrer les routes en tant qu'élément linéaires, car elles constituent des obstacles à la dispersion de certains arthropodes (Mader, Schell, Kornacker 1990).

Conclusion :

Nous sommes parti du constat que la lutte biologique par inondation en serre doit être améliorée, et que la lutte biologique par conservation est une solution à explorer. Nous avons pu constater que les insectes phytophages ou auxiliaires présents dans la serre provenaient en partie du milieu extérieur, et notamment des bordures, confirmant ainsi l'existence de flux entre la serre et son environnement. Nous n'avons pas pu établir de lien significatif entre les caractéristiques des bordures et du paysage et les

auxiliaires. L'étude d'autres variables sera nécessaire pour déterminer comment orienter leurs flux vers l'intérieur de la serre.

En revanche, la densité de végétation de la bordure a été révélée comme favorable à la présence des pucerons *C. fragaefolii*. Ce résultat pourrait dépendre de la composition en espèces végétales de la bordure et plus particulièrement de la présence d'hôtes alternatifs.

Les abris plus ouverts ont présenté une probabilité de présence des parasitoïdes des pucerons plus faible, ce qui peut s'expliquer par des conditions abiotiques défavorables ou un hyperparasitisme accru.

La dynamique temporelle des diversités et de la présence des insectes a aussi été démontrée.

Nous n'avons pas pu révéler d'influence des pratiques et du paysage sur l'entomofaune des serres.

Perspective :

L'étude du lien entre les bordures et certains ravageurs (*C. fragaefolii*, punaises, *L. tripustulatus*) doit être approfondie.

Les résultats sur la diversité en ravageurs et la probabilité de présence de punaises, notamment *L. tripustulatus*, permettent d'envisager la mise en place de surveillance de ces bordures, potentiellement associées à des méthodes de gestion de ces bordures pour prévenir et réduire les colonisations de la serre. Il faudrait tester par exemple si la détection de ravageurs dans les bordures précède la détection de ces mêmes ravageurs dans les serres, comme cela a pu être montré pour d'autres cultures (Rashid, Johnson, Bernhardt 2006 ; Reeves 2009). Il pourrait aussi être envisageable de tester des méthodes de plantes pièges dans les bordures (Jaccard, Fischer 2016) dans le but de réduire les colonisations de la serre.

Dans la situation spécifique du puceron *C. fragaefolii*, pour lequel aucun parasitoïde n'est commercialisé, il serait intéressant de prélever des *Potentilla* et *Rosa* en bordure de serres pour déceler sur ceux-ci sa présence (Batra 1979 ; Blackman et al. 1987) et celle de son parasitoïde *A. eglanteriae* (Postic et al. 2020). Une autre option peut être de chercher un lien entre la couverture du sol par ces deux familles et la probabilité de présence de *C. fragaefolii* ou son taux de parasitisme dans les serres.

Enfin, pour les communautés d'insectes ravageurs et auxiliaires des serres de fraisiers, il faudrait réaliser des identifications plus précises et des suivis plus réguliers, pour déterminer les rôles (sources, puits, lieux de survie, corridors) empreintés par la serre et son environnement au cours du cycle de la culture, comme cela a été réalisé pour d'autres cultures (Shelton 1995 ; Rashid, Johnson, Bernhardt 2006 ; Reeves 2009 ; Fleury et al. 2010).

Bibliographie

- AGRESTE, 2021. *Une récolte de fraises estimée en baisse en 2021* [en ligne]. 2021. Agreste Infos Rapides. [Consulté le 12 août 2021]. Consulté à l'adresse: <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/IraLeg1059/detail/>
- AMBIAUD, Éric, BALLETT, Bertrand, BARRY, Catherine, BEAUFILS, Françoise, BERNADETTE, Laurent, BULLOT, Matthieu, CHAMPAGNOL, ... PRÉVOT, Denis, 2020. L'agriculture, la forêt, la pêche et les industries agroalimentaires. *Graph 'Agri 2020*. 2020. P. 220.
- AOPN FRAISES DE FRANCE, 2021. Filière de production. *Fraises de France* [en ligne]. 2021. [Consulté le 2 avril 2021]. Consulté à l'adresse: <https://fraisesdefrance.fr/production-francaise/filiere-de-production/>
- ARDANUY, A., FIGUERAS, M., MATAS, M., MADEIRA, F., ARNÓ, J., ALOMAR, Ò, ALBAJES, R. et GABARRA, R., 2019. Local and landscape context influence precocity of tomato greenhouse colonization by predatory mirid bugs. *IOBC/WPRS Bulletin*. 2019. Vol. 147, p. 62-68.
- ARDANUY, Agnès, FIGUERAS, Martí, MATAS, Montserrat, ARNÓ, Judit, AGUSTI, Nuria, ALOMAR, Oscar, ALBAJES, Ramon et GABARRA, Rosa, 2021. Banker plants and landscape composition influence colonisation precocity of tomato greenhouses by mirid predators. *Journal of Pest Science*. 27 mai 2021. P. 1-13. DOI [10.1007/s10340-021-01387-y](https://doi.org/10.1007/s10340-021-01387-y).
- ASTERAKI, E. J, HART, B. J, INGS, T. C et MANLEY, W. J, 2004. Factors influencing the plant and invertebrate diversity of arable field margins. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 avril 2004. Vol. 102, no. 2, p. 219-231. DOI [10.1016/j.agee.2003.07.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.07.003).
- BAL, U. et ALTINTAS, S., 2006. Effects of *Trichoderma harzianum* on the yield and fruit quality of tomato plants (*Lycopersicon esculentum*) grown in an unheated greenhouse. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 9 février 2006. Vol. 46, no. 1, p. 131-136. DOI [10.1071/EA04003](https://doi.org/10.1071/EA04003).
- BATRA, S. W. T., 1979. Insects Associated with Weeds in the Northeastern United States. II. Cinquefoils, *Potentilla norvegica* and *P. recta* (Rosaceae). *Journal of the New York Entomological Society*. 1979. Vol. 87, no. 3, p. 216-222.
- BIANCHI, F. J. J. A., BOOIJ, C. J. H. et TSCHARNTKE, T., 2006. Sustainable Pest Regulation in Agricultural Landscapes: A Review on Landscape Composition, Biodiversity and Natural Pest Control. *Proceedings: Biological Sciences*. 2006. Vol. 273, no. 1595, p. 1715-1727.
- BIGEY, Joëlle, LONGUESSERRE, Jacques, NAVATEL, Jean-Claude, POMMIER, Jean-Jacques et RAYNAL, Christiane, 2003. *La culture du fraisier sur substrat*. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. Hortipratic.
- BIOBEST, sans date. Fiche technique Orius-System. [en ligne]. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: https://www.biobestgroup.com/public/uploads/linkedfile/f53da107b8e3602.58642251_Orius-System.pdf
- BLACKMAN, Roger, EASTOP, V., FRAZER, B. et RAWORTH, D., 1987. The strawberry aphid complex, *Chaetosiphon* (Pentatrachopus) spp. (Hemiptera: Aphididae): Taxonomic significance of variations in karyotype, chaetotaxy and morphology. *Bulletin of Entomological Research - BULL ENTOMOL RES*. 1 juin 1987. Vol. 77. DOI [10.1017/S0007485300011688](https://doi.org/10.1017/S0007485300011688).

- BLANCHARD, D. et RYCKEWAERT, P., 2021. Tropiléq - Punaises (Nezara viridula, etc.). [en ligne]. 2021. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23160/Tropileq-Punaises-Nezara-viridula-etc>
- BRAY, Olivier et GRACIET, Dominique, 2020. BSV Nouvelle Aquitaine Petits fruits - Bilan Fraise 2020. . 2020. P. 8.
- CABI, 2019. Nezara viridula (green stink bug). [en ligne]. 2019. [Consulté le 14 août 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/36282>
- CARMENTRAN-DÉLIAS, Myriam, VU, Minh, FERRERA, Sara, VANESPEN, Emeline et CACHENAUT, Louise, 2021. *FRAISE -Produits de traitement 2021-2022*. 2021.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE CENTRE-VAL DE LOIRE, sans date. *Les chrysopidés, des prédateurs opportunistes* [en ligne]. [Consulté le 30 mars 2021 a]. Consulté à l'adresse: https://centre-valdeloire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Centre-Val-de-Loire/122_Inst-Centre-Val-de-Loire/Agro_environment/Paysages_biodiversite/Documents/Fiches_descriptives_faune/2_Chrysopes.pdf
- CHAMBRE D'AGRICULTURE CENTRE-VAL DE LOIRE, sans date. *Les Syrphes Des pollinisateurs auxiliaires des cultures* [en ligne]. [Consulté le 30 mars 2021 b]. Consulté à l'adresse: https://centre-valdeloire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Centre-Val-de-Loire/122_Inst-Centre-Val-de-Loire/Agro_environment/Paysages_biodiversite/Documents/Fiches_descriptives_faune/10_Syrphes.pdf
- CHAMBRE D'AGRICULTURE NOUVELLE AQUITAINE, 2021. *BSV Nouvelle Aquitaine Petits fruits n°15 04/08/2021* [en ligne]. 2021. [Consulté le 2 septembre 2021]. Consulté à l'adresse: https://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/BSV_PETITS_FRUITS_NA_15_20210804_cle03fb9a.pdf
- CHAMBRE D'AGRICULTURE OCCITANIE, 2015. *Fiche Orius laevigatus* [en ligne]. 2015. [Consulté le 1 avril 2021]. Consulté à l'adresse: https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/076_Inst-Occitanie/Documents/Productions_techniques/Agriculture_biologique/Espace_ressource_bio/Maraichage_bio/Pluri-espece/Sante-des-plantes/OriusLaevigatus-RhoneAlpes-2015.pdf
- CHAMBRE D'AGRICULTURE PICARDIE, sans date. *Les Syrphes... contre pucerons, cochenilles etc - Réseau agriculture durable*.
- CHAMBRE RÉGIONALE D'AGRICULTURE DE PICARDIE, sans date. *La coccinelle - Fiche Auximore* [en ligne]. [Consulté le 15 mars 2021]. Consulté à l'adresse: https://arena-auximore.fr/wp-content/uploads/2014/12/coccinelle_WEB.pdf
- CHAMONT, S., 2018. Hypp : encyclopédie en protection des plantes - Les coccinelles (Coccinellidae). [en ligne]. 2018. [Consulté le 30 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <http://ephytia.inra.fr/fr/C/11530/Hypp-encyclopedie-en-protection-des-plantes-Les-coccinelles-Coccinellidae>
- CHAPLIN-KRAMER, Rebecca, O'ROURKE, Megan E., BLITZER, Eleanor J. et KREMEN, Claire, 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*. 2011. Vol. 14, no. 9, p. 922-932. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01642.x>.

- CORNUÉ, Floriane, 2021. *Prise en compte de l'environnement des cultures et des pratiques culturales dans le développement de la protection intégrée en cultures de fraisiers - Acquisition de données préliminaires*. 2021.
- DEROCLES, Stephane A. P., RALEC, Anne Le, BESSON, Mathilde M., MARET, Marion, WALTON, Alan, EVANS, Darren M. et PLANTEGENEST, Manuel, 2014. Molecular analysis reveals high compartmentalization in aphid–primary parasitoid networks and low parasitoid sharing between crop and noncrop habitats. *Molecular Ecology*. 2014. Vol. 23, no. 15, p. 3900-3911. DOI [10.1111/mec.12701](https://doi.org/10.1111/mec.12701).
- DONG, Zhaoke, MEN, Xingyuan, LIU, Shuang et ZHANG, Zhiyong, 2019. Food web structure of parasitoids in greenhouses is affected by surrounding landscape at different spatial scales. *Scientific Reports*. 11 juin 2019. Vol. 9, no. 1, p. 8442. DOI [10.1038/s41598-019-44857-1](https://doi.org/10.1038/s41598-019-44857-1).
- DULIN, I., 2016. Lutte biologique inondative. <http://ephytia.inra.fr/> [en ligne]. 2016. [Consulté le 2 septembre 2021]. Consulté à l'adresse: <http://ephytia.inra.fr/fr/C/23198/Tropileg-Lutte-biologique-inondative>
- ELLIOTT, Norman C., KIECKHEFER, Robert W., LEE, Jang-Hoon et FRENCH, Bryan W., 1999. Influence of within-field and landscape factors on aphid predator populations in wheat. *Landscape Ecology*. 1 juin 1999. Vol. 14, no. 3, p. 239-252. DOI [10.1023/A:1008002528345](https://doi.org/10.1023/A:1008002528345).
- ENKEGAARD, Annie et BRØDSGAARD, Henrik F., 2006. BIOCONTROL IN PROTECTED CROPS: IS LACK OF BIODIVERSITY A LIMITING FACTOR? In: EILENBERG, J. et HOKKANEN, H.M.T. (éd.), *An Ecological and Societal Approach to Biological Control* [en ligne]. Dordrecht: Springer Netherlands. p. 91-112. *Progress in Biological Control*. [Consulté le 9 septembre 2021]. ISBN 978-1-4020-4401-4. Consulté à l'adresse: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4401-4_7
- EPPO, 2002. *Frankliniella occidentalis*. *EPPO Bulletin*. 2002. Vol. 32, no. 2, p. 281-292. DOI <https://doi.org/10.1046/j.1365-2338.2002.00584.x>.
- FAHRIG, Lenore, BROTONS, Lluís, BUREL, Françoise, CRIST, Thomas, FULLER, Robert, SIRAMI, Clélia, SIRIWARDENA, Gavin et MARTIN, Jean-Louis, 2010. Functional Landscape Heterogeneity and Animal Biodiversity in Agricultural Landscapes. *Ecology letters*. 1 novembre 2010. Vol. 14, p. 101-12. DOI [10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x).
- FISCHER, Serge et LÉGER, A., 1997. Lutte biologique contre les pucerons du concombre en serre au moyen de plantes banques. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*. 1997. Vol. 29, no. 2, p. 119-126.
- FLEURY, Dominique, MAUFFETTE, Yves, METHOT, Steve et VINCENT, Charles, 2010. Activity of *Lygus lineolaris* (Heteroptera: Miridae) adults monitored around the periphery and inside a commercial vineyard. *European Journal of Entomology*. 20 octobre 2010. Vol. 107, p. 527-534. DOI [10.14411/eje.2010.060](https://doi.org/10.14411/eje.2010.060).
- FONDAZIONE FOJANINI DI STUDI SUPERIORI, 2005. *La culture des fraises*. Editions De Vecchi. Paris.
- FRANCEAGRIMER, 2018. *Les chiffres clés de la filière Fruits et Légumes frais et transformés* [en ligne]. 2018. [Consulté le 12 août 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/63689/document/chiffres%20cl%C3%A9s%20FL%202018.pdf?version=1>
- FRESCATA, Carlos et MEXIA, António, 1996. Biological Control of Thrips (Thysanoptera) by *Orius laevigatus* (Heteroptera: Anthocoridae) in Organically-Grown Strawberries. *Biological*

Agriculture & Horticulture. 1 janvier 1996. Vol. 13, no. 2, p. 141-148.
DOI [10.1080/01448765.1996.9754773](https://doi.org/10.1080/01448765.1996.9754773).

- GARIEPY, T. D., KUHLMANN, U., GILLOTT, C. et ERLANDSON, M., 2007. Parasitoids, predators and PCR: the use of diagnostic molecular markers in biological control of Arthropods. *Journal of Applied Entomology*. 2007. Vol. 131, no. 4, p. 225-240.
DOI <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01145.x>.
- GERLING, Dan, ALOMAR, Òscar et ARNÒ, Judit, 2001. Biological control of Bemisia tabaci using predators and parasitoids. *Crop Protection*. 1 novembre 2001. Vol. 20, no. 9, p. 779-799.
DOI [10.1016/S0261-2194\(01\)00111-9](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(01)00111-9).
- GOILLON, Claire, GINEZ, Anthony, TAUSSIG, Catherine, TERRENTROY, Anne, CAMOIN, Laurent, TROTTIN-CAUDAL, Yannie, BAFFERT, Véronique, LEYRE, Jean-Michel et JORY, Participation de Stéphane, 2012. Protection intégrée contre les pucerons en culture sous abri 2012. . 2012. P. 10.
- GURR, Geoff M., REYNOLDS, Olivia L., JOHNSON, Anne C., DESNEUX, Nicolas, ZALUCKI, Myron P., FURLONG, ... YOU, Minsheng, 2018. Landscape ecology and expanding range of biocontrol agent taxa enhance prospects for diamondback moth management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 16 avril 2018. Vol. 38, no. 3, p. 23.
DOI [10.1007/s13593-018-0500-z](https://doi.org/10.1007/s13593-018-0500-z).
- HAAN, Nathan L., ZHANG, Yajun et LANDIS, Douglas A., 2020. Predicting Landscape Configuration Effects on Agricultural Pest Suppression. *Trends in Ecology & Evolution*. 1 février 2020. Vol. 35, no. 2, p. 175-186. DOI [10.1016/j.tree.2019.10.003](https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.10.003).
- HANAFI, A. et LACHAM, A., 1999. *Lutte intégrée contre le thrips californien (Frankliniella occidentalis) en culture de poivron sous serre dans la région du Souss*. 1999. Cahiers Options Méditerranéenne.
- HANSSON, Lennart, 1977. Landscape ecology and stability of populations. *Landscape Planning*. 1 janvier 1977. Vol. 4, p. 85-93. DOI [10.1016/0304-3924\(77\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0304-3924(77)90006-5).
- HJELJORD, Linda Gordon, STENSVAND, Arne et TRONSMO, Arne, 2000. Effect of Temperature and Nutrient Stress on the Capacity of Commercial Trichoderma Products to Control Botrytis cinerea and Mucor piriformis in Greenhouse Strawberries. *Biological Control*. 1 octobre 2000. Vol. 19, no. 2, p. 149-160. DOI [10.1006/bcon.2000.0859](https://doi.org/10.1006/bcon.2000.0859).
- HUFFAKER, C. B. et KENNETT, C. E., 1956. Experimental Studies on Predation: Predation and Cyclamen-mite Populations on Strawberries in California. *Hilgardia* [en ligne]. 1956. Vol. 26, no. 4. [Consulté le 31 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19580500595>
- INRA, 2016. Guide Eco-Fruits - Lutte biologique par conservation. [en ligne]. 2016. [Consulté le 2 septembre 2021]. Consulté à l'adresse: <http://ephytia.inra.fr/fr/C/21466/Guide-Eco-Fruits-Lutte-biologique-par-conservation>
- INVENIO, 2019. Site Invenio Ste Livrade - FragaSyst | Ecophytopic. [en ligne]. 2019. [Consulté le 31 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <https://ecophytopic.fr/dephy/concevoir-son-systeme/site-invenio-ste-livrade-fragasyst>
- JACCARD, Gaëtan et FISCHER, Serge, 2016. Etude et gestion de la punaise Liocoris tripustulatus, ravageur émergent des fraises. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* [en ligne]. 2016. Vol. 48, no. 4. [Consulté le 5 août 2021]. Consulté à l'adresse: https://www.revuevitiarbohorti.ch/wp-content/uploads/2016_04_f_845.pdf

- JAMIESON, A. R., MOREAU, D. L. et FILLMORE, S. A. E., 2016. Evaluation of Strawberry Genotypes for *Chaetosiphon fragaefolii* (Strawberry Aphid) Preference. *International Journal of Fruit Science*. 30 novembre 2016. Vol. 16, no. sup1, p. 188-193. DOI [10.1080/15538362.2016.1219295](https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1219295).
- JANIN, Agnès, 2011. *Évaluer la connectivité en paysage fragmenté: de l'écologie comportementale à la biologie de la conservation*. Sciences agricoles. Université Claude Bernard - Lyon I.
- JOURDHEUIL, Pierre, GRISON, Pierre et FRAVAL, Alain, 1991. La lutte biologique : un aperçu historique. *Courrier de la Cellule Environnement de l'INRA*. 1991. No. 15, p. 37-60.
- KOPPERT BIOLOGICAL SYSTEMS, 2014a. Aeolothrips - Biocontrol - Activités entomophages. [en ligne]. 2014. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20001/Biocontrol-Activites-entomophages>
- KOPPERT BIOLOGICAL SYSTEMS, 2014b. Liocoris tripustulatus (Punaise de l'ortie) - Biocontrol. [en ligne]. 2014. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19291/Biocontrol-Liocoris-tripustulatus-Punaise-de-l-ortie>
- KOPPERT BIOLOGICAL SYSTEMS, 2014c. Nezara viridula - Biocontrol - Biologie. [en ligne]. 2014. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19724/Biocontrol-Biologie>
- LABBÉ, R. M., GILLESPIE, D. R., CLOUTIER, C. et BRODEUR, J., 2009. Compatibility of an entomopathogenic fungus with a predator and a parasitoid in the biological control of greenhouse whitefly. *Biocontrol Science and Technology*. 1 avril 2009. Vol. 19, no. 4, p. 429-446. DOI [10.1080/09583150902803229](https://doi.org/10.1080/09583150902803229).
- LEE, Gwan-Seok, LEE, Joon-Ho, KANG, Sang-Hun et WOO, Kun-Suk, 2001. Thrips species (Thysanoptera: Thripidae) in winter season and their vernal activities on Jeju island, Korea. [en ligne]. 2001. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.cabi.org/isc/abstract/20023047108>
- LEWIS, T., 1965. The effects of an artificial windbreak on the aerial distribution of flying insects. *Annals of Applied Biology*. 1965. Vol. 55, no. 3, p. 503-512. DOI [10.1111/j.1744-7348.1965.tb07963.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1965.tb07963.x).
- LI, Shu, JAWORSKI, Coline C., HATT, Séverin, ZHANG, Fan, DESNEUX, Nicolas et WANG, Su, 2021. Flower strips adjacent to greenhouses help reduce pest populations and insecticide applications inside organic commercial greenhouses. *Journal of Pest Science*. 1 juin 2021. Vol. 94, no. 3, p. 679-689. DOI [10.1007/s10340-020-01285-9](https://doi.org/10.1007/s10340-020-01285-9).
- MADER, H. J., SCHELL, C. et KORNACKER, P., 1990. Linear barriers to arthropod movements in the landscape. *Biological Conservation*. 1 janvier 1990. Vol. 54, no. 3, p. 209-222. DOI [10.1016/0006-3207\(90\)90052-Q](https://doi.org/10.1016/0006-3207(90)90052-Q).
- MAISONNEUVE, J. C., 1992. Augmentation de l'efficacité de *Praon volucre*, parasitoïde de *Macrosiphum euphorbiae* sur tomate de serre, grâce à une plante relais, le rosier1. *EPPO Bulletin*. 1992. Vol. 22, no. 3, p. 513-519. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1992.tb00538.x>.
- MARSHALL, Edward et MOONEN, A.C., 2002. Field margins in northern Europe: Their functions and interactions with agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 1 avril 2002. Vol. 89, p. 5-21. DOI [10.1016/S0167-8809\(01\)00315-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00315-2).
- MCLEOD, J. H., 1940. Biological Control of Greenhouse Insect Pests. *Report of the Entomology Society of Ontario* [en ligne]. 1940. Vol. 70. [Consulté le 31 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19410500538>

- MESSELINK, Gerben, SABELIS, M. et JANSSEN, Arne, 2012. Generalist Predators, Food Web Complexities and Biological Pest Control in Greenhouse Crops. In: *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A-accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment - NUCL INSTRUM METH PHYS RES A*. ISBN 978-953-51-0050-8.
- MOERKENS, R., JANSSEN, D., BRENARD, N., REYBROECK, Eva, DEL MAR TELLEZ, Maria, RODRÍGUEZ, Estefania, BOSMANS, L., LEIRS, H. et SLUYDTS, V., 2021. Simplified modelling enhances biocontrol decision making in tomato greenhouses for three important pest species. *Journal of Pest Science*. 1 mars 2021. Vol. 94, no. 2, p. 285-295. DOI [10.1007/s10340-020-01256-0](https://doi.org/10.1007/s10340-020-01256-0).
- MONTEALEGRE, Jaime R., HERRERA, Rodrigo, VELÁSQUEZ, Juan Carlos, SILVA, Polyana, BESOAIN, Ximena et PÉREZ, Luz María, 2005. Biocontrol of root and crown rot in tomatoes under greenhouse conditions using *Trichoderma harzianum* and *Paenibacillus lentimorbus*: Additional effect of solarization. *Electronic Journal of Biotechnology*. décembre 2005. Vol. 8, no. 3, p. 0-0.
- MOUND, Laurence et TREE, Desley, 2012. Aeolothripidae. *ozthrips.org* [en ligne]. 2012. [Consulté le 24 août 2021]. Consulté à l'adresse: <http://www.ozthrips.org/terebrantia/aeolothripidae/>
- MUNERET, Lucile, AURIOL, Arthur, THIÉRY, Denis et RUSCH, Adrien, 2019. Organic farming at local and landscape scales fosters biological pest control in vineyards. *Ecological Applications*. 2019. Vol. 29, no. 1, p. e01818. DOI [10.1002/eap.1818](https://doi.org/10.1002/eap.1818).
- OILB/SROP, 1975. *Méthodes de lutte intégrée et de lutte biologique en agriculture - Conditions et possibilités de développement*. 1975.
- ONILLON, Jean-Claude, 1985. La lutte biologique contre les ravageurs des parties aériennes sous serre. *Les Colloques de l'INRA*. 10 janvier 1985. Vol. 34, p. 59-77.
- OUTWARD, Randy, SORENSON, C.E. et BRADLEY, J.R., 2008. Effects of Vegetated Field Borders on Arthropods in Cotton Fields in Eastern North Carolina. *Journal of Insect Science*. 1 février 2008. Vol. 8. DOI [10.1673/031.008.0901](https://doi.org/10.1673/031.008.0901).
- PAREDES, Daniel, ROSENHEIM, Jay A., CHAPLIN-KRAMER, Rebecca, WINTER, Silvia et KARP, Daniel S., 2021. Landscape simplification increases vineyard pest outbreaks and insecticide use. *Ecology Letters*. 2021. Vol. 24, no. 1, p. 73-83. DOI [10.1111/ele.13622](https://doi.org/10.1111/ele.13622).
- PERDIKIS, Dionysios, KAPAXIDI, Eleftheria et PAPADOULIS, Georgios, 2008. Biological Control of Insect and Mite Pests in Greenhouse Solanaceous Crops. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*. 2008. No. 1, p. 20.
- PERDIKIS, Dionysios, FANTINO, Argyro et LYKOURESSIS, D., 2011. Enhancing pest control in annual crops by conservation of predatory Heteroptera. *Biological Control*. 1 octobre 2011. Vol. 59, p. 13-21. DOI [10.1016/j.biocontrol.2011.03.014](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.03.014).
- PEREZ-ALVAREZ, Ricardo, NAULT, Brian A. et POVEDA, Katja, 2019. Effectiveness of augmentative biological control depends on landscape context. *Scientific Reports*. 17 juin 2019. Vol. 9, no. 1, p. 8664. DOI [10.1038/s41598-019-45041-1](https://doi.org/10.1038/s41598-019-45041-1).
- PHILLIPS, Benjamin W. et GARDINER, Mary M., 2016. Does local habitat management or large-scale landscape composition alter the biocontrol services provided to pumpkin agroecosystems? *Biological Control*. 1 janvier 2016. Vol. 92, p. 181-194. DOI [10.1016/j.biocontrol.2015.10.001](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.10.001).
- POSTIC, Estelle, 2020. *Ecologie des interactions et lutte biologique : voies d'amélioration du contrôle des pucerons du fraisier sous abri*. Rennes, France: AGROCAMPUS OUEST.

- POSTIC, Estelle, LE RALEC, Anne, BUCHARD, Christelle, GRANADO, Caroline et OUTREMAN, Yannick, 2020. Variations in community assemblages and trophic networks of aphids and parasitoids in protected crops. *Ecosphere*. 1 mai 2020. Vol. 11. DOI [10.1002/ecs2.3126](https://doi.org/10.1002/ecs2.3126).
- QGIS.ORG, 2021. QGIS - Système d'Information Géographique Libre et Open Source. [en ligne]. 2021. [Consulté le 6 septembre 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.qgis.org/fr/site/>
- RAMSDEN, Mark W., MENÉNDEZ, Rosa, LEATHER, Simon R. et WÄCKERS, Felix, 2015. Optimizing field margins for biocontrol services: The relative role of aphid abundance, annual floral resources, and overwinter habitat in enhancing aphid natural enemies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 janvier 2015. Vol. 199, p. 94-104. DOI [10.1016/j.agee.2014.08.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.024).
- RASHID, T., JOHNSON, D. T. et BERNHARDT, J. L., 2006. Sampling Rice Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae) in and Around Rice Fields. *Environmental Entomology*. 1 février 2006. Vol. 35, no. 1, p. 102-111. DOI [10.1603/0046-225X-35.1.102](https://doi.org/10.1603/0046-225X-35.1.102).
- REDLICH, Sarah, MARTIN, Emily A. et STEFFAN-DEWENTER, Ingolf, 2018. Landscape-level crop diversity benefits biological pest control. *Journal of Applied Ecology*. 2018. Vol. 55, no. 5, p. 2419-2428. DOI [10.1111/1365-2664.13126](https://doi.org/10.1111/1365-2664.13126).
- REEVES, Richard, 2009. *Spatial-temporal variation of the density and distribution of stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) in cotton, Gossypium hirsutum (L.), as part of a diverse agroecosystem* [en ligne]. Clemson University. [Consulté le 25 août 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www.proquest.com/openview/4fc6beb39c1635a947b4dad9df99af09/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>
- RÉSEAU GAB/FRAB, 2015. Les fiches techniques du réseau GAB/FRAB - Fraisier. [en ligne]. 2015. [Consulté le 12 août 2021]. Consulté à l'adresse: https://www.agrobio-bretagne.org/wp-content/uploads/2017/07/FICHE_FRAISIER_BD.pdf
- RICCI, B., LAVIGNE, C., ALIGNIER, A., AVIRON, S., BIJU-DUVAL, L., BOUVIER, J. C., CHOISIS, J.-P., ... PETIT, S., 2019. Local pesticide use intensity conditions landscape effects on biological pest control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 12 juin 2019. Vol. 286, no. 1904, p. 20182898. DOI [10.1098/rspb.2018.2898](https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2898).
- RODRÍGUEZ, E., GONZÁLEZ, M., PAREDES, D., CAMPOS, M. et BENÍTEZ, E., 2018. Selecting native perennial plants for ecological intensification in Mediterranean greenhouse horticulture. *Bulletin of Entomological Research*. octobre 2018. Vol. 108, no. 5, p. 694-704. DOI [10.1017/S0007485317001237](https://doi.org/10.1017/S0007485317001237).
- SAMWAYS, M. J., 1989. Insect conservation and the disturbance landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1 novembre 1989. Vol. 27, no. 1, p. 183-194. DOI [10.1016/0167-8809\(89\)90084-4](https://doi.org/10.1016/0167-8809(89)90084-4).
- SCHNEIDER, Gudrun, KRAUSS, Jochen, RIEDINGER, Verena, HOLZSCHUH, Andrea et STEFFAN-DEWENTER, Ingolf, 2015. Biological pest control and yields depend on spatial and temporal crop cover dynamics. *Journal of Applied Ecology*. 2015. Vol. 52, no. 5, p. 1283-1292.
- SHELTON, Anthony M., 1995. Temporal and Spatial Dynamics of Thrips Populations in a Diverse Ecosystem: Theory and Management. In: PARKER, Bruce L., SKINNER, Margaret et LEWIS, Trevor (éd.), *Thrips Biology and Management* [en ligne]. Boston, MA: Springer US. p. 425-432. NATO ASI Series. [Consulté le 8 septembre 2021]. ISBN 978-1-4899-1409-5. Consulté à l'adresse: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-1409-5_67

- SHOKRALLA, Shadi, SPALL, Jennifer L., GIBSON, Joel F. et HAJIBABAEI, Mehrdad, 2012. Next-generation sequencing technologies for environmental DNA research. *Molecular Ecology*. 2012. Vol. 21, no. 8, p. 1794-1805. DOI [10.1111/j.1365-294X.2012.05538.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05538.x).
- SILVA, Estevão Alves, LIMA, Elison Fabricio B., MARULLO, Rita et LAFUENTE, Arturo Goldaracena, 2021. Collecting and Sampling Methods for Thrips. In: SANTOS, Jean Carlos et FERNANDES, Geraldo Wilson (éd.), *Measuring Arthropod Biodiversity* [en ligne]. Cham: Springer International Publishing. p. 315-337. [Consulté le 10 mars 2021]. ISBN 978-3-030-53225-3. Consulté à l'adresse: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-53226-0_13
- SNYDER, William E., BALLARD, Stacey N., YANG, Suann, CLEVENGER, Garrett M., MILLER, Terry D., AHN, Jeong J., HATTEN, Timothy D. et BERRYMAN, Alan A., 2004. Complementary biocontrol of aphids by the ladybird beetle *Harmonia axyridis* and the parasitoid *Aphelinus asychis* on greenhouse roses. *Biological Control*. 1 juin 2004. Vol. 30, no. 2, p. 229-235. DOI [10.1016/j.biocontrol.2004.01.012](https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2004.01.012).
- SZEFLIŃSKA, D., 1990. The influence of the structure of agricultural landscape on the density and diversity of Thysanoptera. *Proceedings of the Third International Symposium on Thysanoptera. Held at Kazimierz Dolny in Poland June 11-16, 1990*. 1990. P. 72-76.
- TISCHENDORF, Lutz et FAHRIG, Lenore, 2000. On the Usage and Measurement of Landscape Connectivity. *Oikos*. 1 juillet 2000. Vol. 90, p. 7-19. DOI [10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x](https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x).
- TRDAN, Stanislav, ANDJUS, Ljiljana, RASPUDIĆ, Emilija et KAČ, Milica, 2005. Distribution of *Aeolothrips intermedius* Bagnall (Thysanoptera: Aeolothripidae) and its potential prey Thysanoptera species on different cultivated host plants. *Journal of Pest Science*. 1 février 2005. Vol. 78, p. 217-226. DOI [10.1007/s10340-005-0096-3](https://doi.org/10.1007/s10340-005-0096-3).
- TROUVÉ, C, 2008. Fiche technique - Auxiliaires. *Alter Agri*. 2008. No. 87, p. 20-21.
- TURPEAU, Evelyne, HULLÉ, Maurice et CHAUBET, Bernard, 2010a. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - *A. gossypii*. [en ligne]. 2010. [Consulté le 12 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Pucerons/Aphis/A.-gossypii>
- TURPEAU, Evelyne, HULLÉ, Maurice et CHAUBET, Bernard, 2010b. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - *M. euphorbiae*. [en ligne]. 2010. [Consulté le 11 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Pucerons/Macrosiphum/M.-euphorbiae>
- TURPEAU, Evelyne, HULLÉ, Maurice et CHAUBET, Bernard, 2011. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - Parasitoïdes. [en ligne]. 2011. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Parasitoides>
- TURPEAU, Evelyne, HULLÉ, Maurice et CHAUBET, Bernard, 2012. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - *C. fragaefolii*. [en ligne]. 2012. [Consulté le 12 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Pucerons/Chaetosiphon/C.-fragaefolii>
- TURPEAU, Evelyne, HULLÉ, Maurice et CHAUBET, Bernard, 2015a. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - *A. malvae*. [en ligne]. 2015. [Consulté le 12 mars 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Pucerons/Acyrtosiphon/A.-malvae>
- TURPEAU, Evelyne, HULLÉ, Maurice et CHAUBET, Bernard, 2015b. Encyclop'Aphid : l'encyclopédie des pucerons - *R. porosum*. [en ligne]. 2015. [Consulté le 12 mars 2021].

Consulté à l'adresse: <https://www6.inrae.fr/encyclopedie-pucerons/Especies/Pucerons/Rhodobium/R.-porosum>

- VAN HOUTEN, Yvonne M., VAN RIJN, Paul C. J., TANIGOSHI, Lynell K., VAN STRATUM, Pam et BRUIN, Jan, 1995. Preselection of predatory mites to improve year-round biological control of western flower thrips in greenhouse crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 1 mars 1995. Vol. 74, no. 3, p. 225-234. DOI [10.1111/j.1570-7458.1995.tb01895.x](https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1995.tb01895.x).
- VAN LENTEREN, Joop, 2000. Van Lenteren JC. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? *Crop Protection*. *Crop Protection*. 1 juillet 2000. Vol. 19, p. 375-384. DOI [10.1016/S0261-2194\(00\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00038-7).
- VERES, Andrea, PETIT, Sandrine, CONORD, Cyrille et LAVIGNE, Claire, 2013. Does landscape composition affect pest abundance and their control by natural enemies? A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 15 février 2013. Vol. 166, p. 110-117. DOI [10.1016/j.agee.2011.05.027](https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.027).
- WACHI, Nakatada, MATSUBAYASHI, Kei et MAETO, Kaoru, 2017. Application of next-generation sequencing to the study of non-model insects. *Entomological Science*. 1 septembre 2017. Vol. 21. DOI [10.1111/ens.12281](https://doi.org/10.1111/ens.12281).
- WILLIAMS, Carroll M., 1967. Third-Generation Pesticides. *Scientific American*. 1967. Vol. 217, no. 1, p. 13-17.
- WAY, M. J., 1966. The Natural Environment and Integrated Methods of Pest Control. *Journal of Applied Ecology*. 1966. Vol. 3, p. 29-32. DOI [10.2307/2401441](https://doi.org/10.2307/2401441).
- WIENS, John A., STENSETH, Nils Chr., VAN HORNE, Beatrice et IMS, Rolf Anker, 1993. Ecological Mechanisms and Landscape Ecology. *Oikos*. 1993. Vol. 66, no. 3, p. 369-380. DOI [10.2307/3544931](https://doi.org/10.2307/3544931).
- ZALOM, F. G., BOLDA, M. P., DARA, S. K. et JOSEPH, S. V., 2018. Lygus Bugs (Western Tarnished Plant Bug). [en ligne]. 2018. [Consulté le 13 août 2021]. Consulté à l'adresse: <https://www2.ipm.ucanr.edu/agriculture/strawberry/lygus-bug/>

Annexes

Annexe I : Récapitulatif des propriétés biologiques et écologiques des principaux insectes ravageurs des fraises et de leurs ennemis naturels

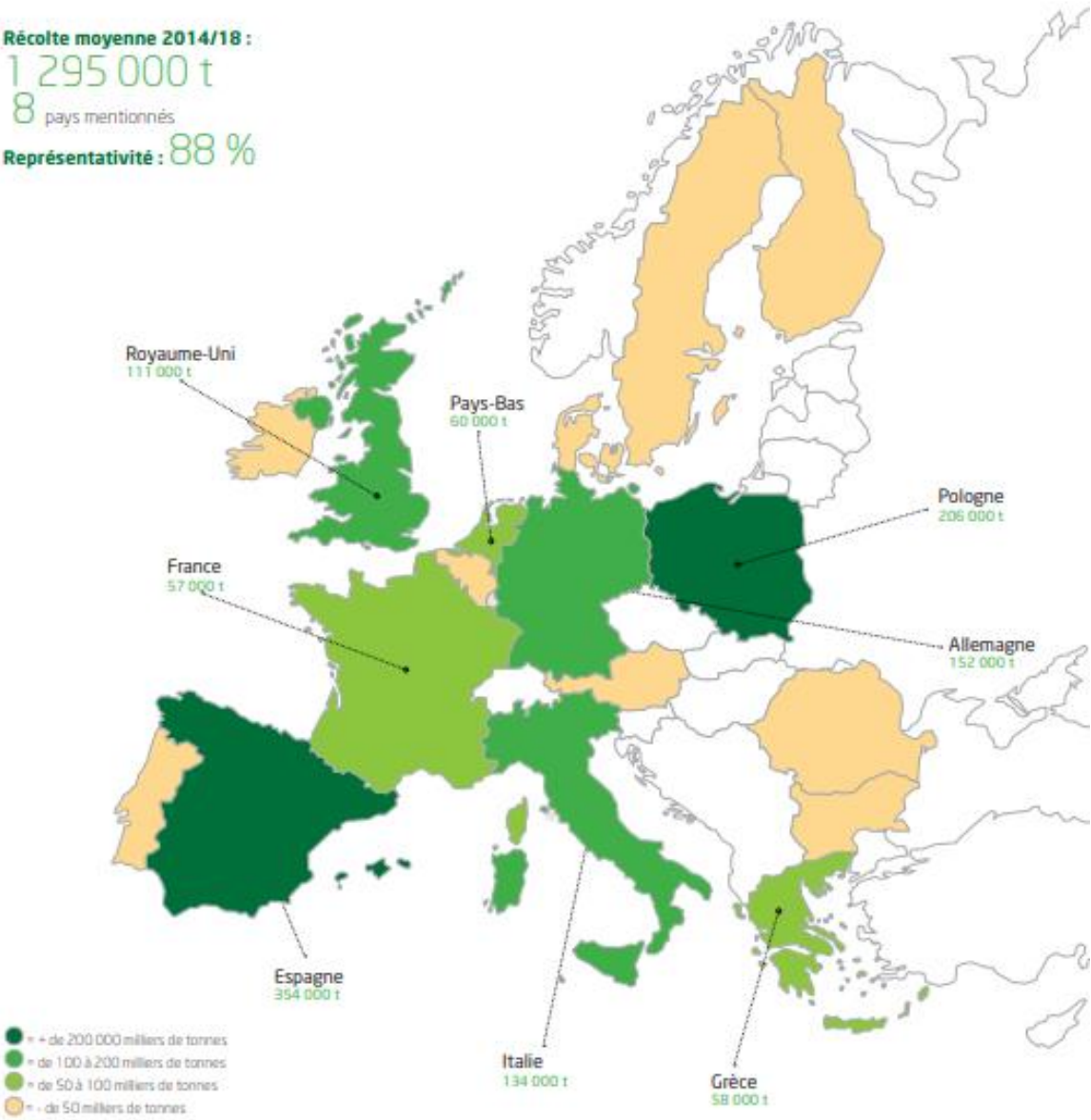
Groupe	Espèces	Hôtes	Alimentation	Survie en hiver
Pucerons	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	200 plantes, 20 familles : Solanaceae, Brassicaceae, Asteraceae, Apiaceae, Cucurbitaceae, Liliaceae, Fabaceae, plantes à fleurs (Rosaceae...)...		Forme femelles parthénogénétiques dans les abris ou la nature OU œufs sur arbres ou arbustes
	<i>Acyrtosiphon malvae</i>	Fragaria, Malva, Geranium, Erodium		Œufs sur la même plante hôte
	<i>Chaetosiphon fragaefolii</i>	Fragaria sp (fraise cultivée et sauvage)		Forme femelles parthénogénétiques sur jeunes feuilles
	<i>Aphys gossypii</i>	Cucurbitacea (melon, courgette, concombre), Malvaceae, Rutaceae (<i>Citrus</i>)		Forme femelles parthénogénétiques
	<i>Rhodobium porosum</i>	<i>Rosa spp</i> et <i>Fragaria vesca</i>		Forme femelles parthénogénétiques
Punaises phytophages	<i>Liocoris tripustulatus</i>	Orties, concombres, aubergines, poivrons,		Adultes en diapause dans un litière de feuilles ou des orties séchées
	Genre <i>Lygus</i>	Brassicacées (radis sauvage, moutarde...), Astéracées (Senecio, Silybum), Malvacées (Malva), Fabacées (Lupinus)		Adultes en diapause sur la végétation
	Genre <i>Nezara</i>	Solanacées, Cucurbitacées, nombreuses espèces herbacées, Fabacées, Brassicacées, Poacées, Malvacées, Solanacées etc...		Adultes en diapause
Thrips	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Plus de 250 plantes, d'au moins 62 familles (concombre, coton, poivrons, tomates, nectarine, fraises ...)		Adultes en diapause sur la végétation
	<i>Thrips tabaci</i>	Concombre, coton, tomate, poivron, nectarine, pomme de terre, oignon ...		
	<i>Thrips intonsa</i>	Poivrons, coton, concombre		
Parasitoïdes de pucerons	2 familles : Aphelinidae et Braconidae	Plusieurs cultures et espèces parasités selon le parasitoïde		Adultes ou larves en diapause selon les espèces
<i>Aeolothrips</i>	30 plantes de 16 familles		Thrips , Pollen	
Chrysopes	Milieux semi-naturels (haies, jachères etc...) parcelles agricoles (maïs, sorgho)		Larves d'Arthropodes, nectar et pollen	Adultes en diapause dans les bâtiments
Coccinelles	Selon les espèces : Pucerons et/ou cochenilles, acariens Nectar et pollen			Adultes en diapause dans les haies et sous-bois
<i>Orius</i> (punaise prédatrice)	Aubergine, courgettes, fraisiers, melon, poivrons		Thrips , pollen, acariens, pucerons, aleurodes...	Adultes en diapause
Syrphes	Forêts ou milieux ouverts		Selon les espèces : Pucerons, et/ou larves et chenilles, Pollen et nectar	Adultes, larves ou pupes en diapause selon les espèces

(sources : Pucerons (Turpeau, Hullé, Chaubet 2010a,b,2012, 2015a,b ; Postic 2020) ; Punaises : (Koppert Biological Systems, 2014 b, c ; Zalom et al. 2018 ; CABI 2019 ; Blanchard, Ryckewaert 2021) ; Thrips : (Lee et al. 2001 ; EPPO 2002 ; Silva et al. 2021) ; Parasitoïdes de pucerons : (Trouvé 2008 ; Turpeau, Hullé, Chaubet 2011) ; *Aeolothrips* : (Trdan et al. 2005 ; Koppert Biological Systems 2014a) ; Chrysopes : (Chambre d'Agriculture Centre-Val de Loire sans date a) ; Coccinelles : (Chamont 2018 ; Chambre régionale d'Agriculture de Picardie sans date b) ; *Orius* : (Chambre d'Agriculture Occitanie 2015 ; Biobest sans date) ; Syrphes : (Chambre d'Agriculture Centre-Val de Loire sans date b ; Chambre d'Agriculture Picardie sans date a)

Annexe II : Répartition de la production de fraise en Europe pour la période 2014-2018 (FranceAgriMer 2018)

FRAISE / Répartition de la production européenne (moyenne 2014/18)

Récolte moyenne 2014/18 :
1 295 000 t
8 pays mentionnés
Représentativité : **88 %**



Annexe III : Questionnaire sur les pratiques des producteurs de fraises

Historique de la parcelle :

- 1) Dans les 5 dernières années, quels ont été les 2 ravageurs les plus problématiques sur la parcelle ?
- 2) Dans les 5 dernières années, quel a été le ravageur le plus difficile à contrôler ? pourquoi ? (ex : pas de produit / auxiliaire contre ce ravageur, de forte pression etc...)

Ouverture de l'abris :

Si : Multi chapelle ou serre verre :

- 3) quel type d'ouvrant est présent sur la serre ?
- 4) est-ce que leur ouverture est automatique ?
- 5) quels critères décident de l'ouverture des ouvrants ? (température ? humidité ? dans l'air ? dans le sac ?)

Si : Tunnel :

- 5) est-ce que les ouvertures sont parfois refermées ?
- 5') selon quels critères ?

La culture :

- 6) Quelle(s) variété(s) est/sont présente(s) dans la serre ?
 - 7) Quels types de plants sont utilisés ?
 - 8) A quelle date sont-ils plantés dans la serre ?
 - 9) A quelle date la culture est-elle arrêtée ?
 - 10) Est-ce qu'un vide sanitaire est réalisé entre 2 saisons de culture ? à quel moment ? et avec quelle méthode ? (solarisation ? autre ?)
- Si multi chapelle ou serre verre
- 11) Est-ce que la serre est chauffée ?
 - 12) Est-ce que la serre est alimentée en CO2 ?
 - 13) Quel type de substrat est utilisé ?
 - 14) Comment est gérée la couverture du sol ?
 - 15) Comment sont gérés les déchets de cultures ? ex : laissés en bords de serre, déchetterie/compost, ... pour combien de temps ? etc

Protection des fraisiers

- 16) Quelles méthodes de prophylaxie sont mises en œuvre ? (ex : variété moins sensible, suppression des déchets de culture, nettoyage des structures, effeuillage, gestion de l'irrigation fertilisante et du drainage)
- 17) Quelles informations permettent de décider de l'application d'un produit phytosanitaire ou de biocontrôle ? / quelle est la règle de décision, ex : dès qu'un foyer est repéré par un cueilleur, par passage dans les rangs et recherche de foyer, avec un seuil de tolérance càd dès qu'on dépasse un certain nombre de ravageurs sur un plant etc ...
- 18) Quels auxiliaires sont introduits pour la lutte biologique / la PBI ? comment est prise la décision de les introduire ? (ex : tous les « tant de » semaines, de manière préventive, après détection d'un foyer par un technicien etc)
- 18') Est-ce que vous observez la présence et l'entrée d'auxiliaires « naturels » ? si oui lesquels ?
- 19) Est-ce que des plantes de service* ont été utilisées ? si oui lesquelles ? en quelle proportion ? à l'extérieur ou l'intérieur de la serre ? *ex : plante relais avec introduction de pucerons des céréales, plantes attractives ou répulsives
- 20) Est-ce que des moyens de lutte physique sont mis en place ? (ex : filets, pièges)

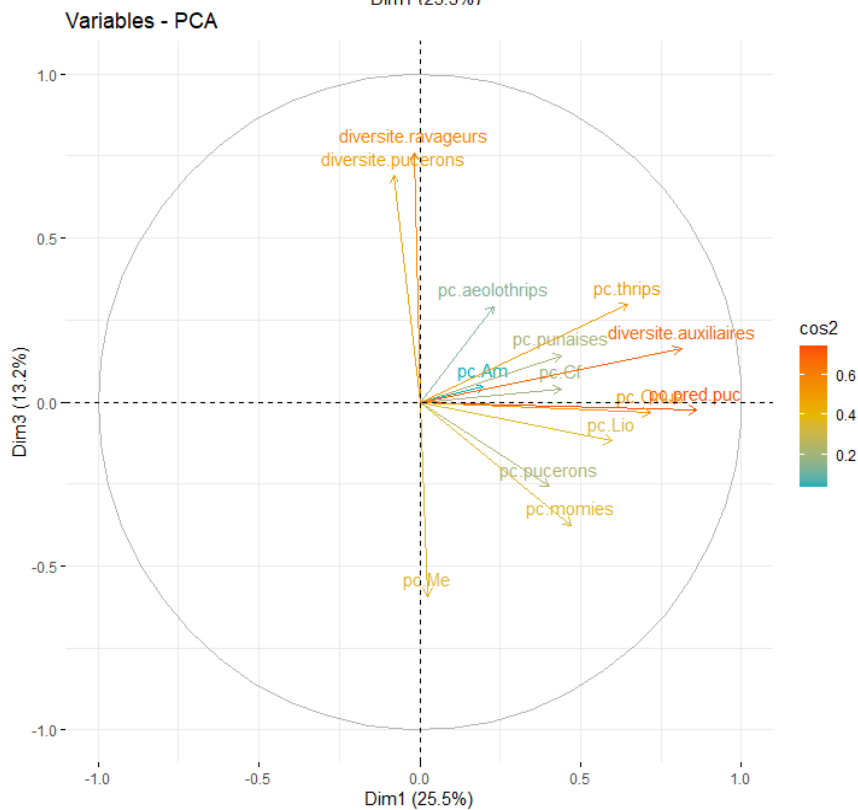
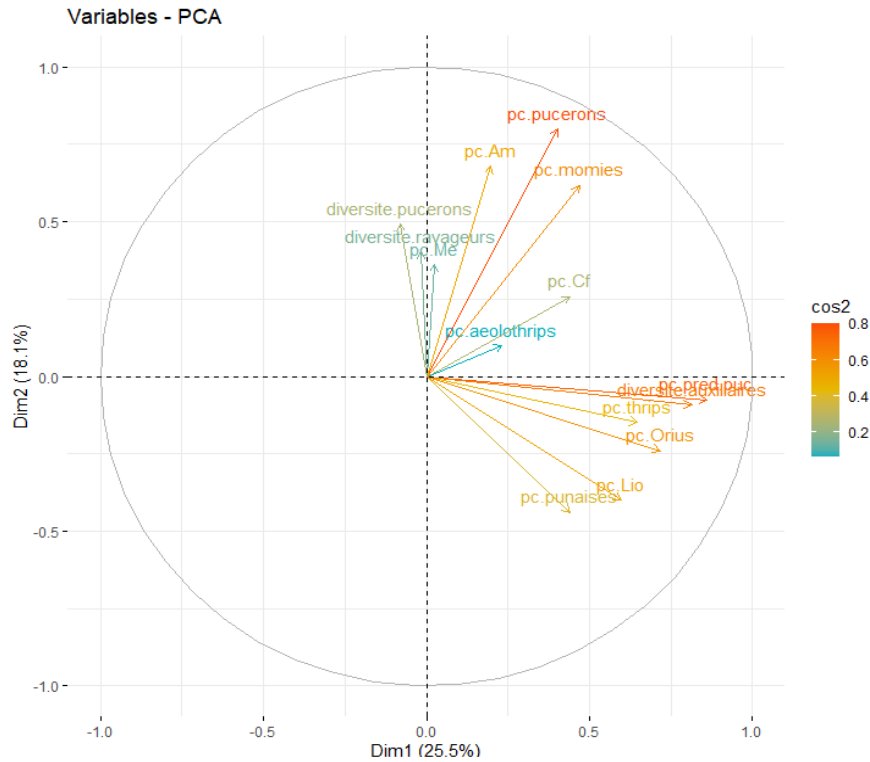
Bordure de serres :

- 21) Est-ce que toutes les bordures sont gérées de la même manière ?
- 22) Comment est-ce que les bordures sont gérées ? (ex : tonte, fauche, désherbage)
- 23) Est-ce que des plantes ont été semées ou ajoutées en bordures ? si oui lesquelles ?

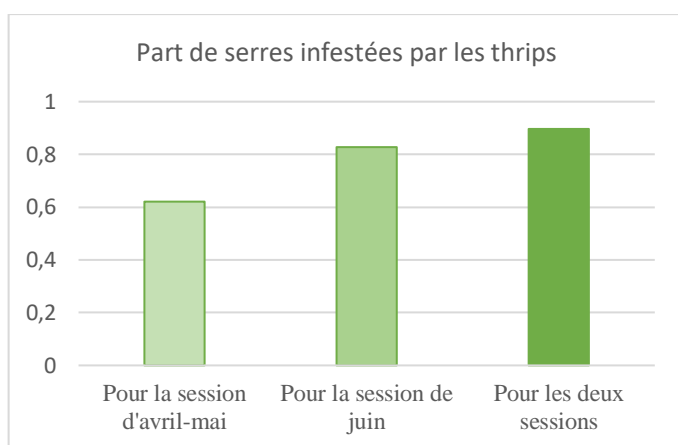
+ Cahiers de cultures pour répondre aux questions suivantes :

- Avez-vous réalisé un traitement phytosanitaire préventif en début de culture ou de saison ? (type Movento)
- Avez-vous utilisé des produits phytosanitaires plus tard en saison ? (lesquels ? quand ?)
- Avez-vous utilisé des produits des biocontrôles ? (lesquels ? quand ?)

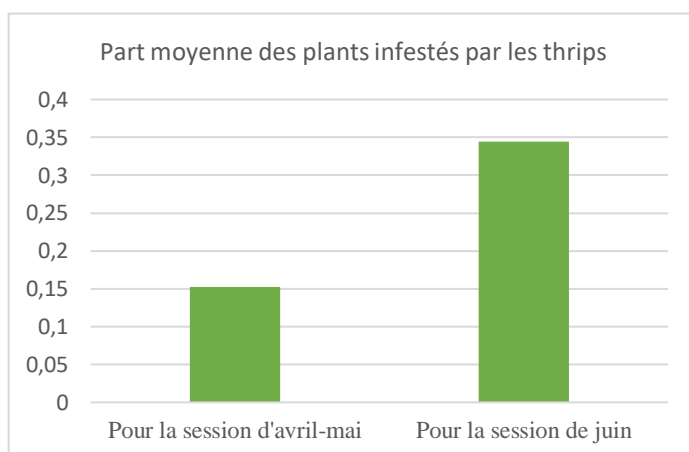
Annexe IV : Représentation de l'ACP sur les variables de la faune dans les serres de fraises sur les plans 1/2 (gauche) et 1/3 (droite). La valeur du \cos^2 indique la qualité de représentation de la variable sur l'axe. (Me : *M. euphorbiae*, Am : *A. malvae*, Cf : *C. fragaefolii*, Lio : *L. tripustulatus*, pc : fréquence). Les variables qui se superposent sur l'axe 1 sont la fréquence de prédateurs de pucerons et la diversité d'auxiliaires (plan 1 / 2) et la fréquence de prédateurs de pucerons et la fréquence d'*Orius* (plan 1 / 3). Obtenus avec R Studio.



Annexe V: Part des serres infestées par les thrips aux deux sessions.



Annexe VI : Part moyenne de plants sur lesquels les thrips ont été observés, calculée pour l'ensemble des 29 serres.



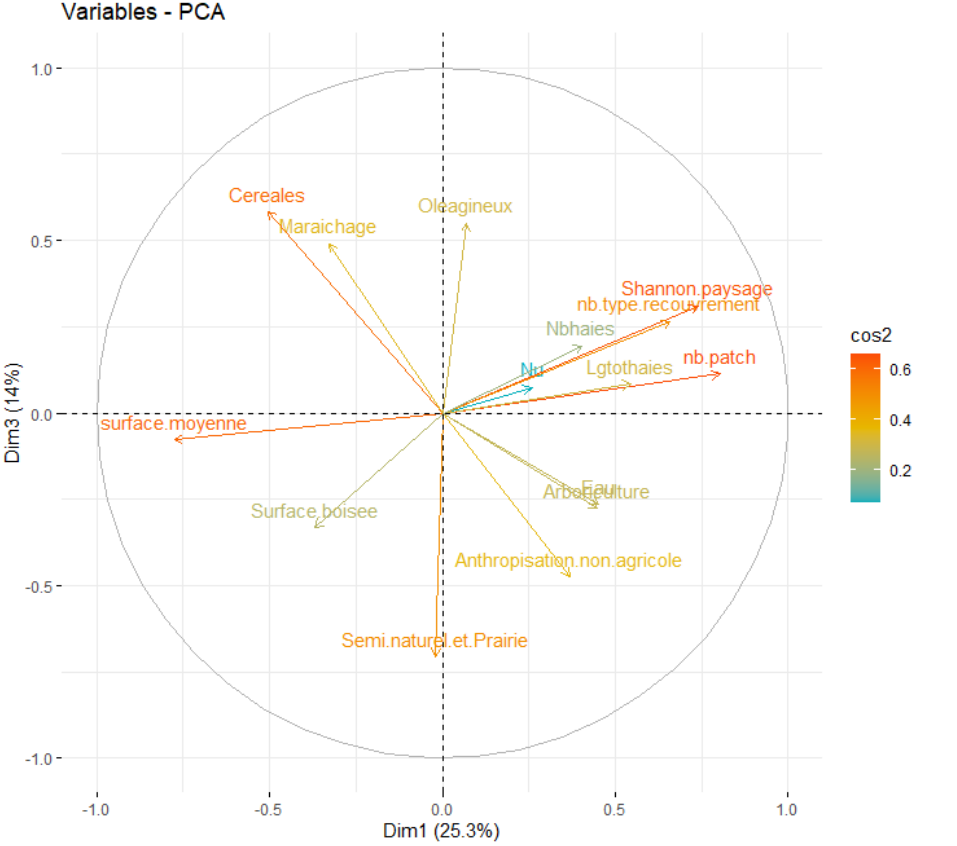
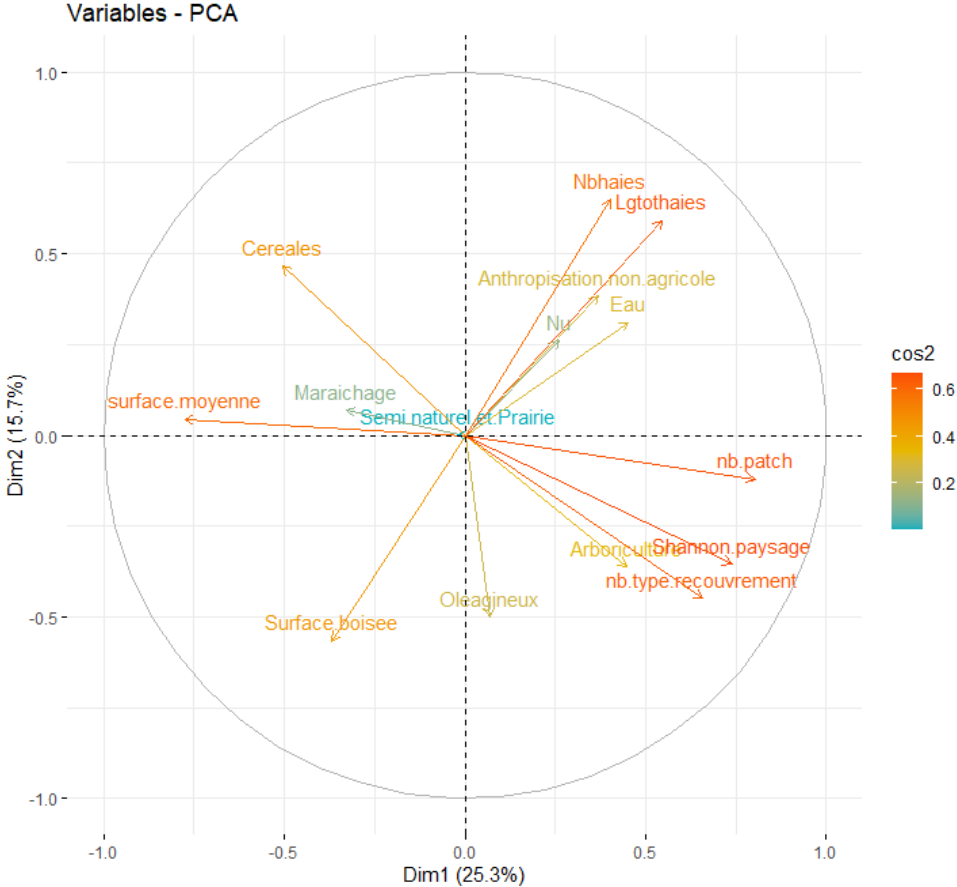
Annexe VII : Récapitulatif des données floristiques pour l'ensemble des serres et des sessions (Les valeurs données sont calculées sur les moyennes par serre et par session, soit 56 valeurs pour chaque variable)

	Minimum	Médiane	Maximum
Indice de Shannon bordure	0	0,41	0,68
Pourcentage de couverture en Poacées	0	24,4	81,3
Pourcentage de couverture en Fabacées	0	10	66,3
Pourcentage de couverture en Astéracées	0	10,5	45
Pourcentage de couverture en sol nu	0	16	100
Pourcentage de couverture en mousses et lichen	0	0,63	53,3
Pourcentage de végétation sur 5 m	0	74,4	97,5
Pourcentage de contact entre la végétation et la serre	0	60	100

Annexe VIII : Tableau récapitulatif de l'occupation du sol dans les paysages observés

Surfaces couvertes (ha)	Minimum	Médiane	Maximum
Céréales	0	13,14	39,20
Légumineuses	0	0	9,64
Oléagineux	0	0	19,20
Maraichage	0,11	3,05	18,37
Arboriculture	0	2,92	29,8
Semi-naturel et Prairie	0,78	8,93	32,93
Surfaces boisées	0	3,51	32,15
Anthropisation non agricole	1,2	6,05	21,81

Annexe IX : Représentation de l'ACP sur les variables du paysage dans les plans 1 / 2 et 1 / 3. La valeur du \cos^2 indique la qualité de représentation de la variable sur l'axe. Obtenus avec R Studio.



Annexe X : Résumé des significativités (pvalue du test de Fischer) des variables modélisées ou non (Nm) pour chaque modèle de diversité (Ns : effet non significatif, orange : effet positif, bleu : effet négatif)

Y'	Ravageurs	Pucerons	Auxiliaires
Position des ouvertures	0,54	0,88	0,23
Nombre de traitements	0,75	0,62	0,31
Nombre d'auxiliaires introduits	Nm	Nm	0,42
Introduction de prédateurs de pucerons (1)	0,19	0,21	Nm
Introduction de prédateurs de thrips (2)	0,57	Nm	Nm
Introduction de parasitoïdes de pucerons	0,026	0,20	Nm
Indice de Shannon bordure (Diversité)	0,52	0,84	0,88
Végétation sur 5m (Densité)	0,43	0,0055	0,48
Indice de richesse de Y' en bordures	0,00028	Nm	0,23
Pourcentage de bordures avec Y'	Nm	0,61	Nm
Indice de Shannon paysage (Diversité)	0,52	0,68	0,86
Nombre de patches (Structure : Fragmentation)	0,67	0,76	0,11
Nombre de haies	0,34	0,26	0,16
Session (si 2)	0,35	0,23	2,0.10 ⁻⁵

Annexe XI : Résumé des significativités (pvalue) des variables modélisées ou non (Nm) pour chaque modèle de probabilités de présence (Ns : effet non significatif, orange : la variable augmente la probabilité de Y, bleu : la variable diminue la probabilité de Y).

Y	Pucerons	<i>M. euphorbiae</i>	<i>A. malvae</i>	<i>C. fragaefolii</i>	Punaises	<i>L. tripustulatus</i>	Thrips	Prédateurs de pucerons (CSC)	Momies	<i>Aeolothrips</i>
Position des ouvertures (si toit côté)	0,016	0,025	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	0,0031	0,31
Nombre de traitements	0,061	0,34	Ns	Ns	Ns	0,23	Ns	0,26	0,050	Ns
Introduction de prédateurs de pucerons (CSC, <i>Aphidoletes</i>)	0,0040	0,11	0,24	Ns	Nm	Nm	Nm	0,20	Nm	Nm
Introduction de prédateurs de thrips (<i>Orius</i> , <i>A. swirski</i> , <i>A. cucumeris</i>)	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	0,20	Nm	Nm	Nm
Introduction de parasitoïdes de pucerons	Ns	Ns	0,038	Ns	Nm	Nm	Nm	Nm	0,56	Nm
Indice de Shannon bordure (Diversité)	Ns	Ns	0,13	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	0,049	0,080
Végétation sur 5m (Densité)	0,0060	Ns	0,12	0,00041	Ns	Ns	Ns	0,26	0,097	Ns
Pourcentage de bordures avec Y'	0,036	0,0099	0,25	4,1 e-15	5,2 e-6	1,0 ^e -5	0,0049	0,022	0,91	Ns
Indice de Shannon paysage (Diversité)	0,024	Ns	Ns	0,15	Ns	Ns	Ns	Ns	0,49	0,49
Nombre de patches (Structure : Fragmentation)	Ns	Ns	Ns	0,22	Ns	Ns	Ns	Ns	0,093	0,27
Nombre de haies	Ns	Ns	Ns	Ns	0,14	0,23	Ns	Ns	0,85	0,13
Surface des zones semi naturelles et prairies	Ns	0,15	0,20	Ns	0,12	Ns	0,17	Ns	0,27	Ns
Surface en céréales	0,014	Ns	Ns	0,18	Ns	Ns	0,17	0,21	0,39	Ns
Surface des zones boisées	Ns	Ns	Ns	0,098	0,044	0,27	0,031	Ns	0,036	0,27
Session	<2,2 e-16	6,1 e-7	3,0 e-16	0,036	0,18	Ns	<2,2 e-16	2,0 e-7	<2,2 e-16	0,00017

Nom et Prénom de l'auteur : **Chauvin Delphine**

Titre du mémoire : **Prise en compte de l'environnement des cultures et des pratiques culturales dans le développement de la protection intégrée en cultures de fraisières**

Ecole d'inscription : **MSA**

Lieu du stage : AOPn Fraises de France Agropôle – Bâtiment Agrotec 47931 Agen, France

RESUME

Les ambitions de réduction d'utilisation de pesticides nécessitent la recherche de nouvelles méthodes de gestion de ravageurs. Actuellement, la lutte biologique par inondation fait partie intégrante de la protection des cultures de fraises en France. Néanmoins, elle peut manquer d'efficacité et la lutte biologique par conservation est une voie possible d'amélioration de la protection des cultures, même si elle a été encore peu étudiée pour les cultures sous serres. Nous avons étudié l'influence des bordures des serres (0-5 m) et du paysage (0-500 m), sur l'entomofaune des serres de fraisières. Nous avons également pris en compte les pratiques culturales dans ces serres. Deux types de variables ont été analysées statistiquement par modélisation : des diversités et des probabilités de présence d'insectes. Peu de nos variables ont révélé des effets significatifs. Néanmoins nos résultats ont attesté de l'existence de flux naturels de ravageurs et d'auxiliaires (parasitoïdes et prédateurs) vers la serre. Nous avons aussi observé une dynamique temporelle de l'entomofaune des serres. Plus particulièrement, nous avons montré que : 1) la présence de ravageurs en bordure a un effet positif sur la diversité de ravageurs dans la serre, 2) le degré d'ouverture de la serre diminue la probabilité des parasitoïdes des pucerons, 3) la densité de végétation de la bordure augmente la probabilité de présence de *Chaetosiphon fragaefolii* mais 4) la présence de pucerons en bordure diminue cette probabilité, et enfin 5) la présence de punaises en bordure augmente les probabilités de présence des punaises phytophages et de *Liocoris tripustulatus*. Ces résultats ouvrent des perspectives de recherche fondamentale ou appliquée pour la gestion des *C. fragaefolii* et des punaises phytophages, dont *L. tripustulatus*.

Mots-clés : Lutte biologique par conservation – Bordures – Paysage – Pratiques culturales – Cultures sous abris

ABSTRACT

The ambition for a pesticides use reduction requires reasearch for new methods of pest management. Currently, augmentation biocontrol is an integral part of crop protection in strawberry production in France. However, it may lack efficiency and conservation biocontrol may contribute in improving crop protection, even though it is rarely investigated for greenhouses. We investigated the influence of strawberries greenhouses margins (0-5 m) and landscape at a radius of 500 m, on greenhouses entomofauna. We also integrated greenhouses agricultural pratices. We stastically analysed two types of variables through modelling : diversities and probability of presence of insects. Only few of our variables gave significant results. However, our results prove the existence of natural fluxes of pests and beneficial insects (parasitoids and predators) towards greenhouses. We also showed a temporal dynamicof greenhouses entomofauna. In particular, we saw that 1) presence of pests in the margins positively affected greenhouses pest diversity, 2) greenhouses degrees of opening negatively affected probability of aphids parasitoids, 3) margins vegetation density positively affected probability of *Chaetosiphon fragaefolii* but 4) presence of aphids in margins negatively affected probability of *C. fragaefolii*, and finally 5) presence of bugs in margins positively affected probabilities of herbivorous bugs and of *Liocoris tripustulatus*. Our results offer prospects for applied and basic research in the management of *C. fragaefolii* and herbivorous bugs, including *L. trispustulatus*.

Keywords : Conservation biocontrol – Margins – Landscape – Agricultural pratices – Protected crops