Master 2ème Année

Biodiversité - Écologie - Évolution

Parcours Dynamique et Modélisation de la Biodiversité (DynaMO)

Suivi des essais de gestion agro-écologique des pucerons : aménager les cultures pour favoriser les ennemis naturels

Stage effectué par Ambroise Lahu

Au sein du Groupe de Recherche en Agriculture Biologique

Maison de la Bio
255 chemin de la Castelette
BP 11283
F 84 911 - AVIGNON Cedex 9 - FRANCE

Sous la responsabilité de Jérôme Lambion

Année universitaire 2018-2019

Université Grenoble Alpes - UFR de Chimie et de Biologie
B.P.53
38041 Grenoble Cedex 9

Sommaire

1 Introduction **3**

2 Matériel & Méthodes **5**

2.1 Sites d'études : 5

2.2 Suivi des populations et attribution des groupes fonctionnels : 6

2.3 Variables explicatives : 8

2.4 Evaluation des attaques de pucerons sur pommiers : 8

2.5 Analyses statistiques : 8

3 Résultats **10**

3.1 Identifier des plantes pour attirer des ennemis naturels : 10

3.2 Analyse de la dissimilarité des communautés fonctionnelles : 12

3.3 Des facteurs environnementaux pour expliquer la composition des communautés fonctionnelles : 15

3.4 Efficacité des bandes fleuries pour attirer les ennemis naturels : 16

3.5 Suivis des infestations de pucerons et des ennemis naturels en verger : 18

4 Discussion **18**

Références **23**

Résumé **26**

1 Introduction

L'agriculture est à la base du fonctionnement de nos sociétés sédentaires. Tout repose sur sa capacité à fournir à l'ensemble de la population de quoi subvenir à ses besoins énergétiques, permettant à une partie de la société d'effectuer d'autres tâches. L'humanité a connu une croissance démographique exponentielle depuis le début du XIXe siècle. Pour qu'un tel développement ait pu se maintenir sans se terminer en famine généralisée, il a fallu que l'agriculture suive ce rythme effréné. Ce défi a été relevé au cours de la seconde moitié du XXe siècle, grâce à l'adoption de nouvelles méthodes de production appelées « révolution verte ». Ces méthodes sont caractérisées par une utilisation massive d'intrants et de machines agricoles, couplé à une spécialisation des productions. Aujourd'hui, la révolution verte semble atteindre ses limites : les rendements plafonnent et de nombreux problèmes écologiques et sanitaires sont soulevés par l'agriculture conventionnelle [1, 2, 3]. La recherche d'alternatives ou d'améliorations du modèle agricole actuel semble alors nécessaire pour faire face à la fois au défi démographique (selon l'ONU, la population mondiale atteindra 9,7 milliards d'individus en 2050), et au défi environnemental [4].

L'agriculture écologiquement intensive s'inscrit parmi les alternatives à l'agriculture conventionnelle. Ce mode de production agricole se base sur une utilisation durable et optimale des services écosystémiques, tout en ayant un bon niveau de rendement [5]. Un levier essentiel sur lequel se base l'agriculture écologiquement intensive est le contrôle biologique des ravageurs [6]. Ce service écosystémique est en effet doublement délaissé par l'agriculture conventionnelle. L'installation de systèmes peu diversifiés prodigue d'une part une ressource alimentaire abondante et localement très concentrée pour les phytophages spécialistes, et d'autre part réduit l'accès aux ressources alimentaires complémentaires et aux habitats favorables aux prédateurs et aux parasitoïdes s'attaquant aux phytophages [7]. Ces animaux auxiliaires, que l'on nomment « ennemis naturels », sont donc impactés négativement dans ces systèmes de cultures simplifiés. La réintroduction dans les agro-écosystèmes d'un contrôle descendant via la lutte biologique se pose alors comme levier écologique prometteur [8]. Cependant, l'écologie intensive demande une compréhension fine des mécanismes écologiques qui règnent dans les agro-écosystèmes, et par conséquent fait le lien entre agronomes et écologues.

Dans les systèmes maraîchers et vergers méditerranéens, les pucerons font parti des ravageurs les plus préoccupants au printemps et au début de l'été. Les producteurs sont de plus en plus demandeurs de techniques alternatives permettant de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires tout en maintenant un contrôle efficace des pucerons. Les pucerons sont des Hemiptères suceur de sève (opophages), constituant la super-famille des Aphidoidea. Ils présentent une haute spécialisation à leur plante-hôte. Leurs cycles de vie sont relativement complexes et diversifiés, ainsi seulement quelques aspects de leur mode de vie seront indiqués

ici. Les pucerons peuvent adopter deux modes de reproduction : une reproduction sexuée et une reproduction parthénogénétique. Les femelles parthénogénétiques sont vivipares, capables d'engendrer des larves clonales directement aptes à se nourrir de sève. Cette voie asexuée de la reproduction donne aux Aphidoidea une forte capacité de pullulation (avec une formation de « foyer » de pucerons). Les femelles sexuées sont ovipares. Elles apparaissent généralement peu avant la mauvaise saison et vont pondre des œufs qui constitueront une forme de survie durant les conditions climatiques peu clémentes. Les femelles peuvent donner aussi bien naissance à des individus ailés, capables d'assurer la colonisation de nouvelles plantes hôtes à de longues distances, que des individus aptères ayant une capacité de dispersion très faible (on parle de polyphénisme, un phénomène de production de différents morphes par un même génotype).

L'optimisation du contrôle biologique passe par deux voies complémentaires : d'une part la pérennisation et l'augmentation de l'abondance des populations d'ennemis naturels, et d'autre part l'augmentation de la diversité des ennemis naturels. L'efficacité de cette seconde voie peut se justifier par différentes théories en écologie, notamment celles de la complémentarité de niche (la mortalité exercée par plusieurs espèces d'ennemis naturels sur les phytophages est égale (additive) ou supérieure (synergique) à l'addition des mortalités exercées par chaque espèce seule) et du modèle d'assurance (plus il y a d'espèces présentes, plus il y a de chances pour que l'on maintienne des effets positifs stables au dépend de la variabilité environnementale) [9]. Cependant, les effets positifs de la diversité peuvent être annihilés par le phénomène de prédation intra-guildes, cas où un prédateur consomme un autre ennemi naturel avec qui il partage une ou plusieurs proies communes [10]. La notion de diversité fonctionnelle, plutôt que de diversité spécifique est parfois évoquée comme plus pertinente pour comprendre comment ces différents mécanismes peuvent agir sur le contrôle biologique des phytophages dans les agro-écosystèmes [9].

Mon stage a pour sujet l'impact d'installations agro-écologiques sur la gestion des pucerons par le contrôle biologique. J'ai réalisé mon stage au GRAB (Groupe de Recherche en Agriculture Biologique). Le GRAB est une association loi 1901 établit à Avignon qui mène de nombreuses recherches en agriculture biologique dans le domaine du maraîchage et de l'arboriculture. Cette structure développe ses expérimentations pour les agriculteurs des trois régions du Sud-Est de la France métropolitaine (Provence Alpes Côte d'Azur, Languedoc-Roussillon et Rhône-Alpes), avec de nombreux partenaires techniques comme l'INRA (Institut National de Recherche en Agronomie) ou le CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement). Durant les six mois de mon stage (effectué de mars à août), j'ai participé à plusieurs activités du GRAB, et notamment deux projets de recherche sur lesquels portera l'essentiel de mon rapport de stage : le

projet PLACOHB (plante couvre-sol comme contribution au contrôle des adventices et à la promotion de la biodiversité) et le projet BFA (Bandes Fleuries en contexte Agroforestier). Le projet PLACOHB a pour objectif d'identifier des plantes propices à l'établissement de populations d'ennemis naturels dans les agro-écosystèmes. Il est soutenu financièrement par l'Agence Française pour la Biodiversité. Le projet BFA vise à évaluer l'efficacité de bandes fleuries pour favoriser la lutte biologique en vergers contre les pucerons des pommiers. La composition de ces bandes fleuries a été définie en fonction des premières observations réalisées dans le cadre du projet PLACOHB.
En me concentrant sur le contrôle des pucerons par ses ennemis naturels, je chercherai à répondre aux questions suivantes : (i) Parmi un éventail de 10 espèces d'herbacées naturellement présentes dans la région méditerranéenne, lesquelles sont les plus favorables à l'établissement de différents groupes fonctionnels d'ennemis naturels ? (ii) Est-il possible de déterminer des caractéristiques de la végétation pouvant expliquer la composition fonctionnelle des communautés d'ennemis naturels ? (iii) Les bandes fleuries permettent-elles de réduire les fréquences d'attaques de pucerons dans les vergers de pommiers via un apport plus important d'ennemis naturels ?

2 Matériel & Méthodes

2.1 Sites d'études :

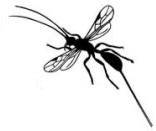
Le projet PLACOHB a été mis en place sous un tunnel plastique non chauffé de 50 m de long et 8 m de largeur. Les bords de la serre ont été divisés en 12 parcelles de 6 m de long et 1 m de largeur, espacées d'un mètre les unes des autres. Au sein des 12 parcelles, 10 espèces d'herbacées ont été installées en monoculture en mai 2018 : l'Absinthe (*Artemisia absinthium*), l'Achillée millefeuilles (*Achillea millefolium*), l'Alysse maritime (*Lobularia maritima*), la Centaurée jacée (*Centaurea jacea*), le Lotier (*Lotus corniculatus*), la Marguerite (*Leucanthemum vulgare*), la Paquerette (*Bellis perennis*), le Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*), le Souci (*Calendula officinalis*), et la Tanaisie (*Tanacetum vulgare*). Les deux parcelles restantes ont été laissées en jachère, sans fauche, pour être colonisées par un enherbement spontané (parcelles « témoins »). Les parcelles ont été irriguées au goutte-à-goutte. Aucun pesticide ou engrais n'a été épandu.
Le suivi des attaques de pucerons sur pommier et des ennemis naturels dans des bandes fleuries a été réalisé dans un verger maraîcher de la ferme pilote de la Durette, située à moins de 4 km de la station expérimentale du GRAB. La Durette est un projet de recherche expérimentale en agriculture biologique mené à l'échelle de l'exploitation, piloté par le GRAB en collaboration avec ses partenaires techniques (INRA, Bio de Provence, Chambre d'Agriculture).

La parcelle de pommiers est constituée de deux rangées de 14 arbres. Sur la moitié des deux rangées, une bande fleurie plurispécifique a été mis en place entre les pommiers en 2018. Sur la seconde moitié, les espaces entre pommiers ont été laissés en jachère (une fauche a été réalisée en mai pour contenir le développement de la végétation). Le mélange d'herbacées composant la bande fleurie est constitué des 5 espèces suivantes : l'Achillée, l'Alysse, la Centaurée, le Lotier, et le Souci.

2.2 Suivi des populations et attribution des groupes fonctionnels :

Les suivis des populations d'ennemis naturels dans les 12 parcelles sous tunnel plastique et dans les deux modalités d'enherbement du verger (bandes fleuries ou friche) on été conduits respectivement de mars à juillet et de février à juillet 2019.
Les communautés d'insectes et d'arachnides des installations agro-écologiques ont été échantillonnées au cours d'aspirations mensuelles. Pour le projet PLACOHB, une aspiration par type de parcelle a été réalisée chaque mois, soit 5 pseudo-réplications temporelles par parcelle. Pour le suivi des communautés des bandes fleuries en verger, quatre aspirations mensuelles ont été réalisées dans chaque modalité, soit 4 réplicats x 6 pseudo-réplications temporelles par modalité. Un échantillon correspond à une aspiration d'une durée de 5 secondes avec un débit de 170 litres d'air par seconde, réalisée avec un aspirateur «Solo Kleinmotoren Type 441». Les arthropodes ainsi capturés sont retenus au fond de sachet en tissu. Les individus sont par la suite conservés au congélateur. Puis, après observation sous loupe binoculaire, ils sont dénombrés et un groupe fonctionnel leur est attribué. L'affectation à un groupe fonctionnel a nécessité d'effectuer des identifications taxonomiques à des niveaux variés, allant de l'infra-ordre jusqu'au genre. Six groupes fonctionnels ont été définis (Tab.1). Ces groupes fonctionnels reflètent différents comportements de chasse, dont les particularités peuvent potentiellement impacter leur rôle dans la régulation des insectes phytophages (notamment du puceron), et impacter leurs interactions entre eux. Les araignées sont reconnues comme étant particulièrement sensible à la structure de la végétation[11], par conséquent deux groupes fonctionnels leur ont été spécialement décernés : le groupe des araignées tisseuses de toile et le groupe des araignées chassant activement leurs proies (Tab.1). Dans les bandes fleuries en verger, la distinction entre araignées tisseuses et araignées chasseuses n'a pas pu être réalisée.

Table 1: Propriétés et taxons des groupes fonctionnels.

Groupe Fonctionnel	Propriétés	Taxons
Prédateurs Aphidiphages	Insectes reconnus comme se nourrissants, durant au moins un stade de leur existence, préférentiellement de pucerons. Ces prédateurs ont tendance à pondre leurs œufs dans les colonies de pucerons les plus populeuses[12]. Ce groupe fonctionnel peut donc potentiellement jouer un rôle important dans la régulation des foyers de pucerons.	*Adalia*, *Coccinella*, Chrysopidae, Hemerobiidae, *Hippodamia*, *Propylea*, Scymninae, Syrphidae.
Prédateurs Généralistes	Arthropodes dont le régime alimentaire est, durant au moins un stade de leur existence, insectivore ou zoophytophages.	Aeolothripidae, Anthocoridae, Carabidae, *Deraeocoris*, *Dicyphus*, Forficulidae, *Geocoris*, *Macrolophus*, Nabidae, *Nesidiocoris*, Opiliones, Reduviidae, Staphylinidae.
Parasitoïdes de pucerons	Hyménoptères endo-parasitoïdes primaires de pucerons. Ces micro-hyménoptères sont capables de repérer des pucerons dispersés dans les cultures[13], et ainsi potentiellement prévenir l'apparition de foyer de pucerons.	Aphelinidae, *Aphidius*, *Ephedrus*, *Praon*.
Parasitoïdes 	Hyménoptères parasitoïdes dont les hôtes n'ont pas été déterminés. Le rôle écologique que joue ce groupe fonctionnel dans la régulation des ravageurs ne peut pas être clairement établi, ces hyménoptères pouvant aussi bien être des parasitoïdes de phytophages que d'ennemis naturels.	Tenebrantes
Araignées Tisseuses	Araignées construisant des toiles pour capturer leurs proies. Les proies ainsi piégées sont généralement des insectes volants, se qui fait des araignées tisseuses des potentielles prédatrices des pucerons lors de leur stade ailé.	Agelenidae, Araneidae, Linyphiidae, Segestriidae, Theridiidae, Uloboridae.
Araignées Chasseuses	Araignées chassant leurs proies à l'affût ou en parcourant la végétation, sans tisser de piège passif. Les araignées chasseuses sont de potentielles prédatrices des pucerons, y compris lors de leur stade aptère.	Clubionidae, Corinnidae, Gnaphosidae, Liocranidae, Lycosidae, Oxyopidae, Philodromidae, Pisauridae, Salticidae, Thomisidae.

2.3 Variables explicatives :

Dans le cadre du projet PLACOHB, nous cherchons à identifier des plantes capables d'accueillir des populations d'ennemis naturels. La composition spécifique de la végétation est un facteur approprié pour déterminer la composition des communautés d'arthropodes[14]. Cependant il peut aussi être pertinent d'utiliser d'autres variables explicatives, comme la structure de la végétation ou la quantité de ressources trophiques disponibles[15, 16]. Par conséquent, deux approches ont été utilisées pour analyser les communautés fonctionnelles des ennemis naturels : une approche utilisant la composition spécifique des parcelles, et une approche se focalisant sur l'impact de variables environnementales. Quatre variables environnementales ont été retenues pour cette seconde démarche :

- Deux variables caractérisant la structure de la végétation : la hauteur moyenne et le recouvrement de la végétation.
- Deux variables caractérisant la disponibilité en ressource florale et en proies : le nombre de plants en fleur et l'abondance en pucerons (les données d'abondance de pucerons proviennent des échantillonnages par aspiration).

Les mesures des variables de la structure de la végétation et du nombre de plant en fleur n'ont pas été réalisés au sein des deux parcelles «témoins». Ces deux parcelles ont donc été exclues lors de ces analyses.

2.4 Evaluation des attaques de pucerons sur pommiers :

Les attaques de pucerons ont été suivies sur 8 pommiers encadrés de bandes fleuries et 8 pommiers encadrés par l'enherbement spontané. Les suivis ont eu lieu toutes les deux semaines, du 15 mai au 27 juillet 2019 (soit un total de 6 suivis). Pour évaluer l'état sanitaire d'un arbre, 50 rameaux ont été inspectés et une classe leur a été attribué à chacun (classe 0 : absence de puceron ; classe 1 : présence de pucerons). Enfin, le nombre d'ennemis naturels présents sur les rameaux ont été comptabilisés.

2.5 Analyses statistiques :

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R 3.6.1.
La composition et la similarité des communautés fonctionnelles (CF) des ennemis naturels au sein des différentes modalités d'enherbement ont été analyées en utilisant l'ordination NMDS (Nonmetric Multidimensional Scaling). L'analyse a été accomplie avec la fonction metaMDS du package 'vegan', en utilisant la mesure de distance de Bray-Curtis. Les NMDS ont été

projetées en K = 2 dimensions (avec des valeurs de stress inférieures à 0.2). La covariance des variables environnementales avec la variation de la composition des CF a été visualisée avec la fonction envfit (package 'vegan'). Des analyses de la variance par permutation ont été effectuées pour tester l'impact du type d'enherbement et l'influence du mois de suivi sur les CF.

Des modèles linéaires généralisés à effets mixtes (GLMM) ont été ajustés pour évaluer séparément l'effet de la composition végétale et l'effet des variables environnementales sur l'abondance des groupes fonctionnels au sein des parcelles PLACOHB. Le même type de modèle a été utilisé pour évaluer l'impact des bandes fleuries en contexte agro-forestier sur l'abondance des groupes fonctionnels, sur la fréquence des attaques de pucerons du pommier, et sur le nombre d'ennemis naturels retrouvés sur les pommiers. La vérification de l'adéquation entre la loi de distribution des erreurs du GLMM et les données a été effectuée en utilisant la méthode proposée par Ben Bolker. Le R^2 marginale (R^2_m) qui décrit la proportion de variance expliquée par le ou les facteurs fixes et le R^2 conditionnel (R^2_c) qui décrit la proportion de variance expliquée par les facteurs fixes et aléatoires ont été calculés[17].

Les variables environnementales ont subi des transformations : le recouvrement, calculé en pourcentage, a subi une transformation arc-sinus de sa racine carrée. Les deux variables de ressources trophiques étant très étendues, elles ont subi une transformation logarithmique ($log(x+1)$). Enfin l'ensemble des variables à effet fixe ont été centrées et réduites pour éviter des problèmes de précision numérique lors de l'ajustement des modèles.

Construction des GLMM pour analyser les communautés fonctionnels des parcelles PLACOHB :

L'ensemble des GLMM traitant les données d'abondance des groupes fonctionnels d'ennemis naturel ont été construits en utilisant une loi binomiale négative de distribution des erreurs (utilisation du package 'glmmADMB'). Pour chaque groupe fonctionnel, deux GLMM ont été construits. Le premier modèle contient le type de parcelle en variable factorielle à effet fixe et le mois de suivi en variable factorielle à effet aléatoire. Ce modèle a été utilisé pour comparer l'attrait des dix espèces végétales pour les ennemis naturels par rapport à la modalité «témoin». Le second modèle contient les variables environnementales (variables quantitatives) en effet fixe. Les interactions entre les variables de ressources trophiques et entre les variables de la structure de la végétation ont été elles aussi ajoutées en effet fixe. Le mois de suivi et la modalité d'enherbement ont été ajoutés en effets aléatoires croisés. La fonction dredge du package 'MuMIn' a été utilisée pour tester les combinaisons de variables à effet fixe permettant d'obtenir le modèle le plus parcimonieux (utilisation du critère d'information d'Akaike (AIC)).

Construction des GLMM pour analyser l'effet des bandes fleuries sur les communautés fonctionnelles et les attaques de pucerons en contexte agro-forestier : La comparaison des abondances des groupes fonctionnels entre les bandes fleuries et les friches au pied des arbres a été réalisée avec des GLMM utilisant une loi binomiale négative. La modalité d'enherbement a été placée en variable factorielle à effet fixe et le mois de suivi en variable factorielle à effet aléatoire. Les pommiers sont répartis sur deux rangées séparées d'une dizaine de mètres, dont les cultures annexes varient. Par conséquent, la rangée où a été échantillonné le groupe fonctionnel a été ajoutée comme effet aléatoire croisé avec celui du mois de suivi.
Pour analyser l'impact des bandes fleuries sur le nombre d'ennemis naturels retrouvés sur les pommiers, une loi binomiale négative a été employée. Pour modéliser l'impact de l'installation de bandes fleuries sur la proportion de rameaux infectés par les pucerons, un GLMM suivant une loi de distribution quasibinomiale a été construit avec la fonction glmmPQL du package 'MASS'. Pour ces deux GLMM, la modalité d'enherbement est utilisée comme variable à effet fixe, et l'identité de l'arbre, le type de rangée, et le mois de suivi ont tous les trois été placés en variables à effets aléatoires croisés.

3 Résultats

3.1 Identifier des plantes pour attirer des ennemis naturels :

La Centaurée accueille significativement plus de **Prédateurs Aphidiphages** que le témoin (+109 % ± 74 % s.e.) (Tab.2 & Fig.1 B). Le Souci attire plus de **Prédateurs Généralistes** que le témoin (+541 % ± 107 % s.e.) (Tab.2 & Fig.1 D). Plusieurs espèces se sont révélées meilleures pour accueillir des populations de **Parasitoïdes de pucerons** : l'Achillée (+1100 % ± 514 % s.e.), la Centaurée (+2300 % ± 1315 % s.e.), le Lotier (+1300 % ± 795 % s.e.) et la Marguerite (+2900 % ± 1665 % s.e.) (Tab.2 & Fig.1 F). En revanche aucune des plantes testées n'a permis d'attirer significativement plus de **Parasitoïdes**, d'**Araignées Tisseuses** ou d'**Araignées Chasseuses** (Tab.2 & Fig.1 H, J & L).

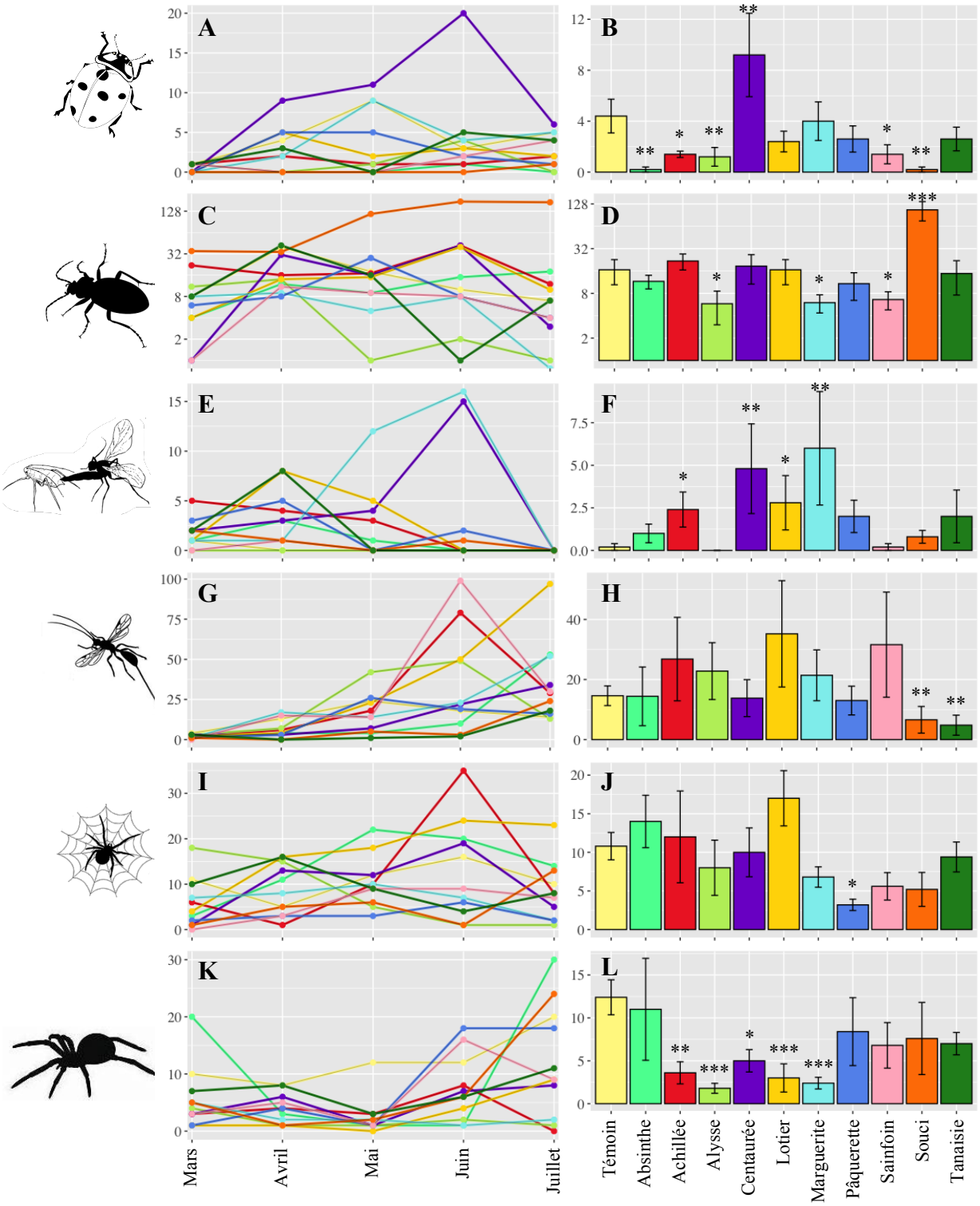


Figure 1: Évolution des densités des groupes fonctionels dans les parcelles au cours du temps & comparaison des abondances moyennes avec le témoin ($\pm s.e.$, n=5). Les astérisques indiquent des moyennes significativement différentes du témoin (*p $\leq$ 0.05; **p $\leq$ 0.01; ***p $\leq$ 0.001). Axe y des graphiques C & D à échelle *log*.

Table 2: Résumé des GLMM comparants l'efficacité des 10 espèces sélectionnées pour le projet PLACOHB a attirer des populations d'ennemis naturels. Les espèces sont comparées au témoin (enherbement spontané). Les valeurs p indiquants des écarts significatifs avec le témoin sont surlignées (vert : densité supérieure; rouge: densité inférieure).

	Prédateurs Aphidiphages		Prédateurs Généralistes		Parasitoïdes de pucerons		Parasitoïdes		Araignées Tisseuses		Araignées Chasseuses	
Modalité	Z	Pr(>|z|)	Z	Pr(>|z|)	Z	Pr(>|z|)	Z	Pr(>|z|)	Z	Pr(>|z|)	Z	Pr(>|z|)
Absinthe	-2.92	0.004	-0.58	0.563	1.21	0.227	-1.34	0.181	0.61	0.543	-0.79	0.430
Achillée	-2.41	0.016	0.82	0.410	2.06	0.039	0.37	0.709	0.20	0.845	-2.71	0.007
Alysse	-2.63	0.008	-2.09	0.036	-0.02	0.985	0.51	0.608	-0.63	0.529	-3.88	<0.001
Centaurée	2.61	0.009	0.10	0.917	2.74	0.006	-1.07	0.283	-0.23	0.816	-2.33	0.020
Lotier	-1.57	0.116	0.03	0.980	2.12	0.034	0.65	0.514	1.11	0.267	-3.51	<0.001
Marguerite	-0.31	0.753	-2.11	0.035	2.98	0.003	0.18	0.859	-1.09	0.275	-3.45	0.001
Pâquerette	-1.42	0.156	-0.83	0.406	1.83	0.068	-0.95	0.341	-2.66	0.008	-1.46	0.145
Sainfoin	-2.47	0.014	-2.01	0.044	-0.07	0.946	0.79	0.429	-1.56	0.119	-1.75	0.079
Souci	-2.92	0.004	4.65	<0.001	1.09	0.277	-2.84	0.004	-1.67	0.095	-1.75	0.080
Tanaisie	-1.40	0.163	0.25	0.801	1.71	0.087	-3.10	0.002	-0.30	0.764	-1.50	0.133

3.2 Analyse de la dissimilarité des communautés fonctionnelles :

L'ordination par NMDS des CF des parcelles PLACOHB montre globalement une forte dissimilarité entre les pseudo-réplicats temporels d'un même type de parcelle (Fig.2 A), et une influence visible du mois de suivi (Fig.2 C). Les tests de permutation confirment la présence d'une influence significative des deux variables factorielles sur la variance des CF (effet de la végétation : R^2=0.301, $p < 0.001$; effet de la mois : R^2=0.276, $p < 0.001$). La visualisation du barycentre des positions des pseudo-réplicats peut permettre de mieux visualiser la spécificité des CF d'une même espèce végétale (Fig.2 B).

L'ordination par NMDS des CF dans les installations agro-écologiques en verger montre une forte dissimilarité entre les communautés des bandes fleuries et celles observées dans les enherbements spontanés, mais aussi une forte influence du mois de suivi (Fig.3 A & B). Les tests de permutations confirment cette impression (effet de la végétation : $R^2 = 0.294$; $p < 0.001$; effet du mois: $R^2 = 0.417$; $p < 0.001$).

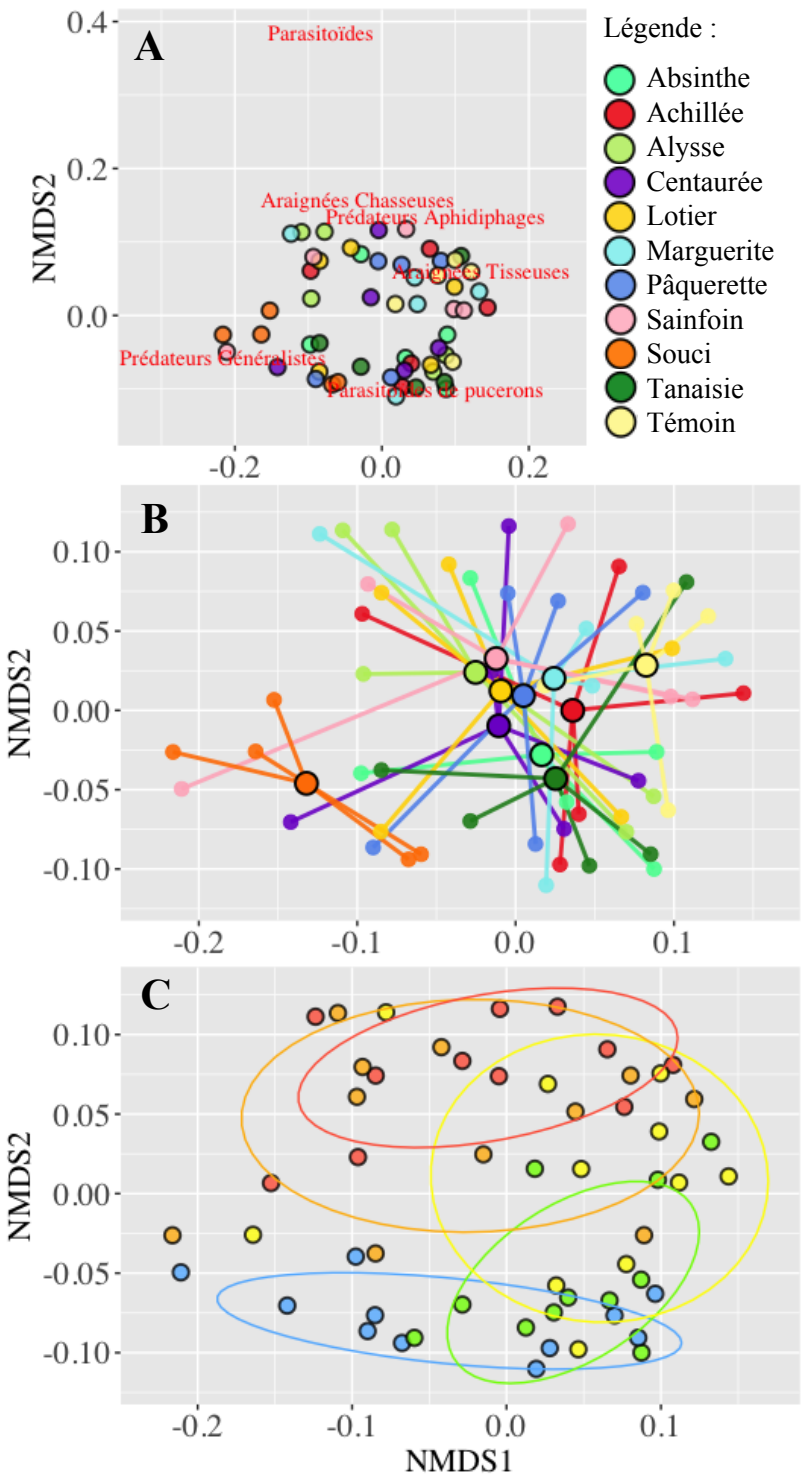


Figure 2: Analyse multivariée non paramétrique de la dissimilarité des communautés fonctionnelles des ennemis naturels. A : coloration en fonction du type de parcelle (voir légende). B : Barycentres des communautés d'une même placette. C : coloration en fonction du mois de suivi (bleu: mars, vert: avril, jaune: mai, orange: juin, rouge: juillet).

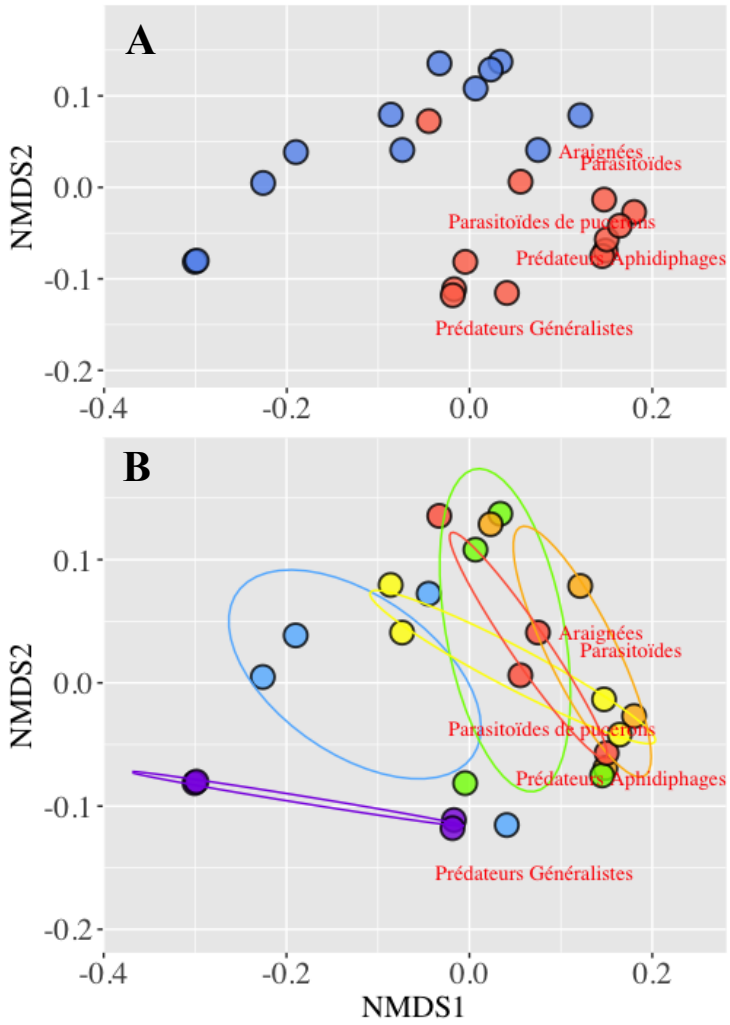


Figure 3: Analyse multivariée non paramétrique de la dissimilarité des communautés fonctionnelles des ennemis naturels en verger-maraîcher. A : coloration en fonction du type d'enherbement (bleu: friche, rouge: bande fleurie). B : coloration en fonction du mois de récolte (violet: février, bleu: mars, vert: avril, jaune: mai, orange: juin, rouge: juillet).

3.3 Des facteurs environnementaux pour expliquer la composition des communautés fonctionnelles :

La covariance des variables environnementales avec la variation de la composition des CF est significative pour les quatre variables utilisées (Fig.4). Certaines de ces variables sont corrélées avec les densités de un ou plusieurs groupes fonctionnels particuliers (Tab.3). Le nombre de pucerons est significativement corrélé avec l'abondance des **Prédateurs Aphidiphages**, des **Prédateurs Généralistes**, des **Parasitoïdes de pucerons** et des **Araignées Tisseuses**. Une fourniture plus importante en ressources florales est corrélée avec une augmentation du nombre de **Parasitoïdes** et d'**Araignées Tisseuses**. Le recouvrement de la végétation est lui aussi corrélé positivement avec la densité en **Parasitoïdes** et en **Araignées Tisseuses**. Enfin une interaction positive significative entre le nombre de plant en fleurs et le nombre de pucerons a pu être établie pour modéliser l'abondance en **Parasitoïdes de pucerons**.

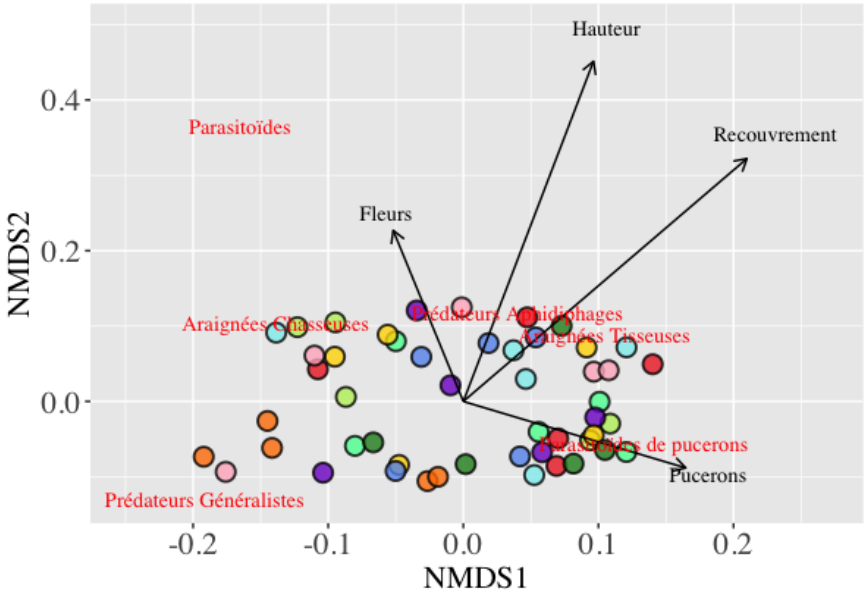


Figure 4: Ajustement des vecteurs environnementaux sur l'ordination des communautés fonctionnelles des parcelles PLACOHB (Hauteur : $R^2 = 0.21$, $p = 0.004$; Recouvrement : $R^2 = 0.16$, $p = 0.017$; Fleurs : $R^2 = 0.20$, $p = 0.005$; Pucerons : $R^2 = 0.16$, $p = 0.016$).

Table 3: Résumé des GLMM analysants l'influence de quatre variables environnementales (l'abondance en pucerons, le nombre de plant en fleurs, le taux de recouvrement et la hauteur de la végétation) sur les densités des ennemis naturels dans les parcelles du projet PLACOHB. Les valeurs p indiquants des corrélations significatives entre les variables sont surlignées. Les valeurs p des variables retenues dans le modèle final (AIC le plus performant) sont indiquées en gras.

	Prédateurs Aphidiphages		Prédateurs Généralistes		Parasitoïdes de pucerons		Parasitoïdes		Araignées Tisseuses		Araignées Chasseuses	
Facteur	X^2	p	X^2	p	X^2	p	X^2	p	X^2	p	X^2	p
Pucerons	7.97	**0.005**	7.90	**0.005**	31.9	**<0.001**	0.34	0.562	6.55	**0.011**	0.00	0.960
Fleurs	0.16	0.693	2.87	**0.090**	0.23	0.629	14.1	**<0.001**	4.11	**0.043**	2.51	0.113
Recouvrement	0.49	0.482	0.00	0.938	0.00	0.982	4.58	**0.032**	5.01	**0.025**	0.36	0.546
Hauteur	0.01	0.926	0.09	0.760	0.03	0.869	1.12	0.290	0.03	0.867	0.53	0.467
Pucer:Fleurs	0.00	0.995	2.30	0.129	8.07	**0.005**	3.22	0.073	2.11	0.146	1.02	0.313
Recouv.:Haut	0.68	0.408	0.57	0.451	1.56	0.212	0.67	0.412	0.22	0.640	1.76	0.185

Table 4: Comparaison de la capacité de l'espèce végétale et des variables environnementales a expliquer la variance des densités d'ennemis naturels dans les parcelles du projet PLACOHB. R^2_m décrit la proportion de variance expliquée par les facteurs fixes et R^2_c décrit la proportion de variance expliquée par les facteurs fixes et les facteurs aléatoires.

	Prédateurs Aphidiphages		Prédateurs Généralistes		Parasitoïdes de pucerons		Parasitoïdes		Araignées Tisseuses		Araignées Chasseuses	
	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c
Espèces végétales	0.324	0.423	0.492	0.568	0.836	0.907	0.196	0.757	0.282	0.299	0.297	0.506
Variables environnementales	0.187	0.468	0.208	0.687	0.645	0.662	0.200	0.818	0.432	0.463	0.080	0.284

3.4 Efficacité des bandes fleuries pour attirer les ennemis naturels :

Les populations de l'ensemble des groupes fonctionnels d'ennemis naturels sont significativement plus abondantes dans les bandes fleuries, comparées aux populations des friches (**Prédateurs Aphidiphages** : +200 % ± 63 % s.e., **Prédateurs Généralistes** : +441 % ± 107 % s.e., **Parasitoïdes de puceron** : +116 % ± 81 % s.e., **Parasitoïdes** : +81 % ± 40 % s.e., **Araignées** : +32 % ± 15 % s.e.) (Tab.5 & Fig.5).

Table 5: Résumé des GLMM analysant l'efficacité des bandes fleuries a attirer des populations d'ennemis naturels. Les densités en ennemis naturels sont comparées à celles observées dans les friches.

	Prédateurs Aphidiphages		Prédateurs Généralistes		Parasitoïdes de pucerons		Parasitoïdes		Araignées	
	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c	R^2_m	R^2_c
	0.155	0.481	0.524	0.579	0.638	0.600	0.476	0.837	0.596	0.566
Modalité	X^2	p	X^2	p	X^2	p	X^2	p	X^2	p
Bande fleurie	14.6	<0.001	63.6	<0.001	7.95	0.005	12.6	<0.001	6.51	0.011

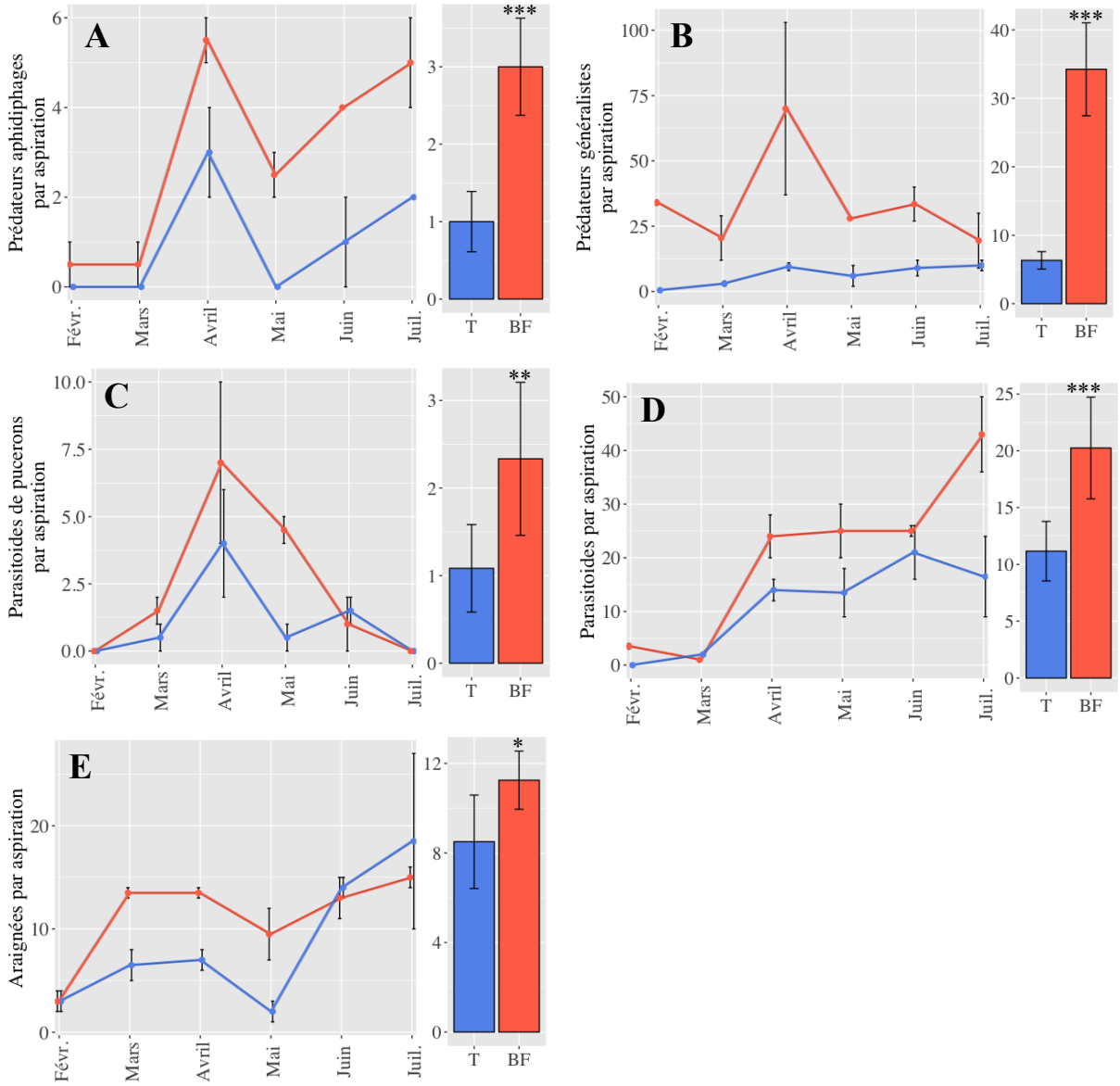


Figure 5: Évolution des densités des groupes fonctionels dans les friches (T) et les bandes fleuries (BF) & comparaison des abondances moyennes entre les deux modalités ($\pm s.e.$, n=12). Les astérisques indiquent les moyennes significativement différentes de celles observées dans les friches (*p $\leq$ 0.05; **p $\leq$ 0.01; ***p $\leq$ 0.001).

3.5 Suivis des infestations de pucerons et des ennemis naturels en verger :

La situation dans les pommiers est semblable quel que soit le type d'enherbement. Aucune différence significative n'a pu être établie entre le nombre d'ennemis naturels retrouvés dans les pommiers encadrés de bandes fleuries et ceux entourés de friches (Fig.6 A). Il en va de même pour la fréquence d'attaque des pucerons (Fig.6 B).

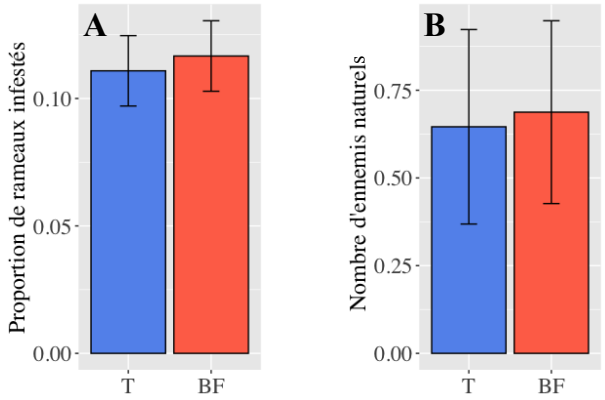


Figure 6: Suivi des infestations de pucerons et de la présence des ennemis naturels dans les pommiers ($\pm s.e.$, n=8). Aucune différence significative entre les friches (T) et les bandes fleuries (BF).

4 Discussion

Le GRAB travail en lien étroit avec les agriculteurs, qui sont demandeurs de techniques alternatives pour la régulation des ravageurs. Le premier objectif des projets suivis durant mon stage est donc d'identifier des plantes capables de fournir un service écosystémique de contrôle biologique. L'intensification du contrôle descendant dans les agro-écosystèmes passe par un renforcement des communautés d'ennemis naturels. Le projet PLACOHB propose d'identifier des plantes particulièrement attirantes pour certains groupes fonctionnels d'arthropodes prédateurs ou parasitoïdes (Tab.1). Les dix espèces végétales ont été sélectionnées préalablement par le GRAB suite à des observations de leur capacité à attirer des auxiliaires et leur compétitivité par rapport aux adventices. Nos résultats montrent qu'une bande d'enherbement spontanée en bord intérieur de serre peut représenter un habitat favorable pour les ennemis naturels : sur les dix espèces végétales pré-sélectionnées, cinq ne présentent aucun groupe fonctionnel significativement plus abondant que dans les parcelles témoins (il s'agit des parcelles d'Absinthe, d'Alysse, de Pâquerette, de Sainfoin et de Tanaisie ; voir Tab.2). Il est fréquent que les agriculteurs recouvrent les bords intérieurs de leurs serres

d'une bâche, empêchant le développement des adventices. La présence d'ennemis naturels dans l'enherbement spontané peut cependant justifier la préservation de ces modestes habitats semi-naturels. D'autres espèces végétales ont montré un attrait significativement plus élevé pour certains groupes fonctionnels, comparativement aux témoins. Quatre plantes ont notamment permis de renforcer les populations de **Parasitoïdes de pucerons**, qui sont très peu présentes dans les aspirations de l'enherbement spontané (Fig.1 F). Parmi ces plantes se trouve la Centaurée, qui a aussi hébergé d'importantes populations de **Prédateurs Aphidiphages** (Fig.1 B). Enfin la parcelle de Souci a fourni un grand nombre de **Prédateurs Généralistes** (Fig.1 D). L'Achillée, la Centaurée, le Lotier, la Marguerite et le Souci peuvent dès lors être recommandés pour faciliter l'établissement de ces trois groupes fonctionnels.

Cela dit, on peut souligner l'importance des variations temporelles de la densité des groupes fonctionnels. La Centaurée et la Marguerite ont prodigué les meilleures abondances moyennes de **Parasitoïdes de pucerons**, mais les abondances de ces ennemis naturels étaient plutôt basses au mois de mars, avant de connaître un pic de densité en juin (Fig.1 E). Cette instabilité temporelle de la composition des CF est présente dans toutes les parcelles. Cela conduit globalement à des rapprochements des CF de parcelles différentes (par exemple, la CF de l'Alysse au mois de juin et très similaire de celle de la Marguerite au mois de juillet, voir Fig.2 A & C).

Pérenniser et augmenter l'abondance des ennemis naturels dans les agro-écosystèmes passe par la maîtrise des mécanismes régulant leur présence. L'identification et la compréhension de ces processus est par conséquence indispensable pour améliorer le service écosystémique de la lutte biologique. Dans notre étude, plusieurs facteurs semblent influencer la variabilité des CF. La composition floristique est considérée comme un facteur essentiel pour expliquer la composition des communautés d'arthropodes[14]. Son impact est effectivement nettement visible lorsque on compare la dissimilarite des CF des friches avec celle des bandes fleuries (Fig.3 A). De plus, on peut voir au sein des parcelles PLACOHB que même si les CF de deux espèces végétales évoluent au cours du temps, elles n'empruntent pas nécessairement le même « chemin » (on peut reprendre l'exemple de l'Alysse et de la Marguerite qui présente deux communautés proches mais à des mois différents). On notera aussi que les CF du Souci restent relativement similaires entre elles en comparaisons à la variabilité temporelle présente dans les autres placettes (Fig.2 B). Les communautés du Souci sont marquées par la présence forte des **Prédateurs Généralistes**, représentés essentiellement par une punaise zoophytophage : *Macrolophus pygmaeus*. Cette punaise a été trouvée uniquement sur les Soucis, qui lui sont particulièrement appétants[18] et lui servent de lieu d'hibernation[19].

Toutefois, un pattern temporel est lui aussi visible, avec des communautés échantillonnées un même mois qui tendent à être similaires (Fig.2 C & Fig.3 B). Le cas des bandes fleuries en verger-maraîcher est assez éloquent : les densités en ennemis naturels y sont presque constamment supérieures à celles des friches, mais les CF des deux modalités d'enherbement suivent des évolutions temporelles analogues (Fig.5).

Enfin, l'ajustement de vecteurs environnementaux sur l'ordination des CF révèle une covariation de la composition fonctionnelle avec à la fois la structure de la végétation et la disponibilité en ressources trophiques (Fig.4). Les deux variables décrivant la structure de la végétation (hauteur et recouvrement de la végétation) augmente significativement au cours du temps (Fig.7). Or ces deux variables sont capables d'avoir une influence sur la composition des communautés d'arthropodes, en particulier sur les araignées[20, 21]. Les successions des CF au cours des mois pourraient ainsi s'expliquer en partie par la croissance de la végétation qui grandit et s'étend sur les parcelles. L'effet de l'évolution de la végétation s'ajoutant aux successions d'origine purement temporelle des CF. Les analyses de corrélation entre les variables environnementales et les densités des groupes fonctionnels permettent d'aller plus loin dans l'explication de la variabilité des CF (Tab.3). On retrouve dans ces analyses une corrélation entre le recouvrement de la végétation et la densité en **Araignées Tisseuses**. Etant donné le lien étroit qui unit les tisseuses de toile et la végétation lors de l'installation de leur piège, cette influence n'est pas étonnante. Le taux de recouvrement de la végétation pourrait être spécialement influant sur l'abondance des *Linyphiidae* (famille représentant à elle seule plus du tiers des effectifs du groupe des **Araignées Tisseuses**), qui ont la particularité de tendre des toiles en nappe par dessus la végétation. Un recouvrement important peut alors représenter un habitat favorable à de forte densité de *Linyphiidae* (cette hypothèse est à étayer par une analyse plus précise de l'influence des facteurs environnementaux sur les groupes taxonomiques).

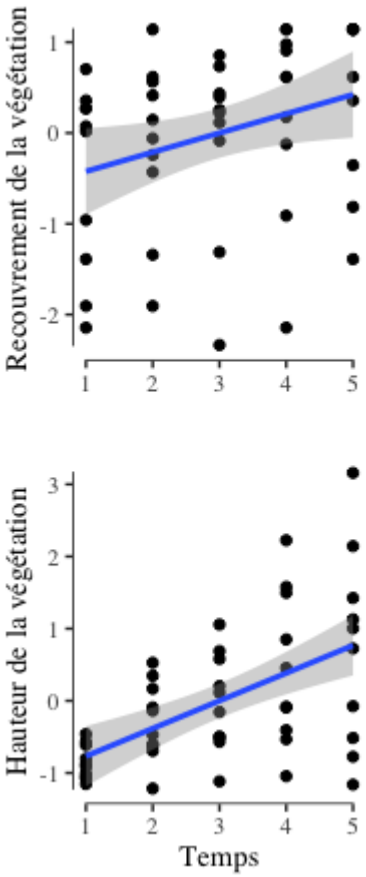


Figure 7: Évolution de la structure de la végétation au cours du temps. Régression linéaire avec les variables tranformées (voir Matériel & Méthode). Recouvrement : $p = 0.03$; Hauteur : $p < 0.001$.

Une corrélation positive moins prévisible est présente entre le taux de recouvrement et la densité des **Parasitoïdes**. Le recouvrement pourrait ici exercer une influence indirecte via l'augmentation du nombre d'insectes phytophages (pucerons exclus), qui profite logiquement d'une plus forte couverture de la végétation. L'augmentation du nombre d'hôtes peut, de cette façon, expliquer la forte présence des **Parasitoïdes** dans les parcelles à taux de recouvrement élevé (Fig.8). Le nombre de plants en fleurs représente lui aussi un facteur favorable à l'établissement des **Parasitoïdes**. Ce résultat était attendu : les micro-hyménoptères parasitoïdes ont besoin d'hôtes pour la reproduction, mais aussi de ressources florales pour leur nutrition au stade adulte[22]. Ces liens trophiques sont aussi visibles pour le groupe des **Parasitoïdes de puceron**, comme l'attestent les corrélations entre le nombre de pucerons et l'interaction positive entre le nombre d'hôtes et l'abondance en ressource florale. La présence des hôtes des **Parasitoïdes de puceron** est indispensable à leur développement, et la présence de nectar floral renforce ce développement en agissant comme une ressource complémentaire. Une étude suggère notamment que le nectar permet d'augmenter l'efficacité des femelles parasitoïdes via un allongement de la longévité des adultes[23]. Ainsi, l'attrait des **Parasitoïdes de puceron** pour la Marguerite s'explique par la présence d'une infestation de pucerons débutant conjointement avec la période de floraison (Fig.9).

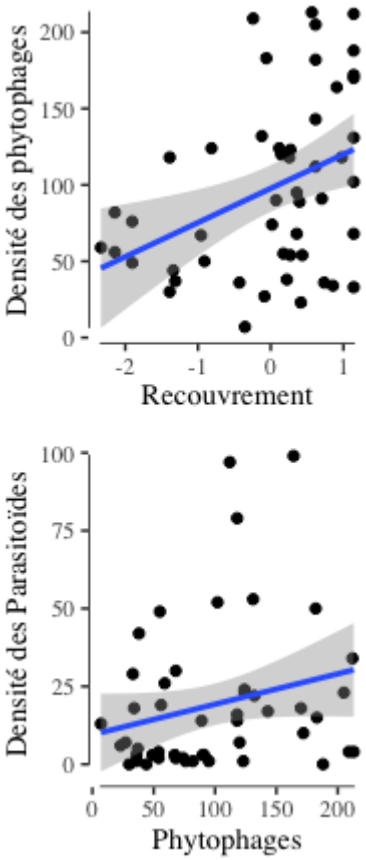


Figure 8: Corrélations entre le recouvrement de la végétation et l'abondance en insectes phytophages (pucerons exclus), et entre des phytophages et la densité des Parasitoïdes. Phytophages : $p = 0.005$; Hauteur : $p = 0.098$.

Les fleurs ont aussi un effet positif sur les densités d'**Araignées Tisseuses**. Deux explications complémentaires peuvent éclaircir ce phénomène. Premièrement, la présence de fleurs peut attirer des insectes volants (comme on vient de le voir à l'instant avec les micro-hyménoptères). Il serait donc stratégique pour les **Araignées Tisseuses** de placer leurs pièges proches des ressources florales. Seulement, nos données ne permettent pas de mettre en évidence une présence plus forte d'insectes volants dans les parcelles riches en fleurs. Une seconde explication se trouve dans la propriété électrostatique des toiles. Les toiles des araignées sont capables de se déformer légèrement en direction des objets chargés d'électricité statique, ce qui facilite l'interception des insectes volants, mais aussi des grains de pollen[24]. à cela s'ajoute le fait que le pollen peut constituer une part importante de l'alimentation

des araignées, et peut même devenir leur principale source de nourriture lorsque les proies viennent à manquer[25] (les grains de pollen sont métabolisés lors de la réingurgitation de la soie). Enfin, le nombre de plants en fleurs est aussi retenu pour prédire les densités de **Prédateurs Généralistes**, illustrant le régime polyphage de ce groupe fonctionnel. Les pucerons semblent eux aussi constituer une ressource trophique importante : des fortes abondances en pucerons favorisent l'établissement de trois groupes fonctionnels de prédateurs sur quatre.

Les facteurs environnementaux présentent un intérêt pour la compréhension des mécanismes sous-jacents expliquant la variation des CF. Cependant il ne s'agit pas forcément des meilleurs prédicteurs de la densité des ennemis naturels. La comparaison des R^2 marginaux obtenue en utilisant soit les données de compositions floristiques, soit les variables environnementales comme prédicteurs de l'abondance des groupes fonctionnels (Tab.4) montre en effet des efficacités limitées. La variance du modèle expliquée par les variables environnementales est plus faible ou similaire à celle expliquée par la composition floristique dans tous les cas, à l'exception du groupe des **Araignées Tisseuses**. La différence entre le R^2_m et le R^2_c d'un même modèle nous rappelle la part souvent importante de la variance expliquée par les variables à effet aléatoire, dont la principale est le mois de suivi.

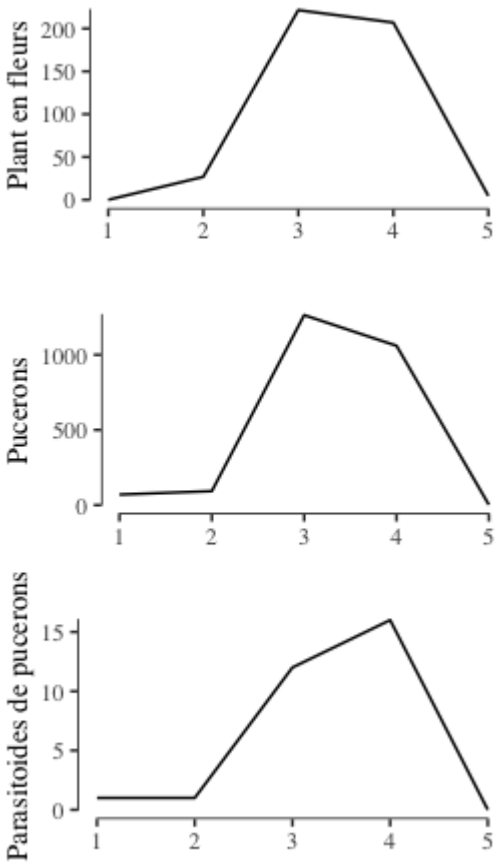


Figure 9: L'apparition simultanée des ressources florales et des pucerons dans la parcelle des Marguerite bénéficient aux Parasitoïdes de pucerons.

En verger-maraîcher, les bandes fleuries se sont montrées particulièrement efficaces pour renforcer les populations de l'ensemble des groupes fonctionnels (Tab.5 & Fig.5). La composition florale des bandes fleuries comprend des plantes qui se sont montrées individuellement remarquablement efficaces pour attirer des ennemis naturels. Cependant ceci n'explique pas l'abondance plus grande des **Araignées** et des **Parasitoïdes** (dont les densités n'étaient pas significativement supérieures en dehors des parcelles témoins du projet PLAVOHB (Tab.2)). La combinaison des plantes semble donc favorable au CF. Par exemple, l'Alysse, qui fournit durablement de grande quantités de ressources florales , aurait

pu alimenter en ressources complémentaires les **Araignées Tisseuses** et les **Parasitoïdes** des bandes fleuries.
Néanmoins, malgré les bons résultats de l'installation des bandes fleuries sur les densités des ennemis naturels, aucun impact n'a été visible dans les pommiers. Les arbres proches des friches ne présentent pas plus d'infestation de pucerons ni moins d'ennemis naturels (Fig.6). Le transfert des auxiliaires vers les pommiers est insuffisant : ennemis naturels de la bande fleurie semble inféodés à la strate herbacée. Il serait intéressant d'identifier les ennemis naturels des vergers et d'adapter en conséquence la nature des aménagements favorables aux ennemis naturels. L'étude de l'écologie et de l'éthologie des ennemis naturels est primordiale pour l'intensification écologique de l'agriculture.

Références

[1] L Bisault. Les rendements du blé et du maïs ne progressent plus. Agreste Primeur, 210, 2008.

[2] Brian Moss. Water pollution by agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 363(1491):659–666, 2007.

[3] SN Naik, R Prasad, et al. Pesticide residue in organic and conventional food-risk analysis. Journal of Chemical Health and Safety, 13(6):12–19, 2006.

[4] Sandra Díaz, Josef Settele, Eduardo Brondízio, H Ngo, M Guèze, J Agard, A Arneth, P Balvanera, K Brauman, S Butchart, et al. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services. 2019.

[5] Sylvie Bonny. L'agriculture écologiquement intensive: nature et défis. Cahiers Agricultures, 20(6):451–462, 2011.

[6] Lucas A Garibaldi, Néstor Pérez-Méndez, Michael PD Garratt, Barbara Gemmill-Herren, Fernando E Miguez, and Lynn V Dicks. Policies for ecological intensification of crop production. Trends in ecology & evolution, 34(4):282–286, 2019.

[7] Oliver Balmer, Lukas Pfiffner, Johannes Schied, Martin Willareth, Andrea Leimgruber, Henryk Luka, and Michael Traugott. Noncrop flowering plants restore top-down herbivore control in agricultural fields. Ecology and Evolution, 3(8):2634–2646, 2013.

[8] Anicet Gbeblonoudo Dassou and Philippe Tixier. Response of pest control by generalist predators to local-scale plant diversity: a meta-analysis. Ecology and evolution, 6(4):1143–1153, 2016.

[9] Lessando M Gontijo, Elizabeth H Beers, and William E Snyder. Complementary suppression of aphids by predators and parasitoids. Biological Control, 90:83–91, 2015.

[10] Robert F Denno, Margaret S Mitter, Gail A Langellotto, Claudio Gratton, and Deborah L Finke. Interactions between a hunting spider and a web-builder: consequences of intraguild predation and cannibalism for prey suppression. Ecological Entomology, 29(5):566–577, 2004.

[11] Cynthia L Hatley and James A Macmahon. Spider community organization: seasonal variation and the role of vegetation architecture. Environmental entomology, 9(5):632–639, 1980.

[12] Marcos Miñarro, Jean-Louis Hemptinne, and E Dapena. Colonization of apple orchards by predators of dysaphis plantaginea: sequential arrival, response to prey abundance and consequences for biological control. BioControl, 50(3):403–414, 2005.

[13] Philippe Louâpre, Cécile Le Lann, and Thierry Hance. When parasitoids deal with the spatial distribution of their hosts: consequences for both partners. Insect science, 26(5):923–931, 2019.

[14] André P Schaffers, Ivo P Raemakers, Karlè V Sỳkora, and Cajo JF Ter Braak. Arthropod assemblages are best predicted by plant species composition. Ecology, 89(3):782–794, 2008.

[15] JM Holland, L Winder, C Woolley, CJ Alexander, and JN Perry. The spatial dynamics of crop and ground active predatory arthropods and their aphid prey in winter wheat. Bulletin of Entomological Research, 94(5):419–431, 2004.

[16] Per Milberg, Karl-Olof Bergman, Erik Cronvall, Åsa I Eriksson, Anders Glimskär, Azra Islamovic, Dennis Jonason, Zandra Löfqvist, and Lars Westerberg. Flower abundance and vegetation height as predictors for nectar-feeding insect occurrence in swedish semi-natural grasslands. Agriculture, Ecosystems & Environment, 230:47–54, 2016.

[17] Shinichi Nakagawa and Holger Schielzeth. A general and simple method for obtaining r2 from generalized linear mixed-effects models. Methods in ecology and evolution, 4(2):133–142, 2013.

[18] Barbara L Ingegno, Marco G Pansa, and Luciana Tavella. Plant preference in the zoophytophagous generalist predator macrolophus pygmaeus (heteroptera: Miridae). Biological Control, 58(3):174–181, 2011.

[19] J Lambion. Flower strips as winter shelters for predatory miridae bugs. In II International Symposium on Organic Greenhouse Horticulture 1041, pages 149–156, 2013.

[20] Michael J Costello and Kent M Daane. Influence of ground cover on spider populations in a table grape vineyard. Ecological Entomology, 23(1):33–40, 1998.

[21] Peter Dennis, Mark R Young, and Christopher Bentley. The effects of varied grazing management on epigeal spiders, harvestmen and pseudoscorpions of nardus stricta grassland in upland scotland. Agriculture, ecosystems & environment, 86(1):39–57, 2001.

[22] MA Jervis, NAC Kidd, MG Fitton, T Huddleston, and HA Dawah. Flower-visiting by hymenopteran parasitoids. Journal of natural history, 27(1):67–105, 1993.

[23] Jana C Lee and George E Heimpel. Floral resources impact longevity and oviposition rate of a parasitoid in the field. Journal of animal ecology, 77(3):565–572, 2008.

[24] Victor Manuel Ortega-Jimenez and Robert Dudley. Spiderweb deformation induced by electrostatically charged insects. Scientific reports, 3:2108, 2013.

[25] Risa B Smith and Thomas P Mommsen. Pollen feeding in an orb-weaving spider. Science, 226(4680):1330–1332, 1984.

RÉSUMÉ : Durant mon stage effectué au Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, j'ai opéré des suivis de populations d'arthropodes dans des installations agro-écologiques. Ces aménagements ont pour objectif de renforcer le contrôle descendant des insectes phytophages dans les agro-écosystèmes via l'apport d'ennemis naturels (notamment pour la régulation du puceron, un important ravageur dans les cultures maraîchères du Sud-Est de la France). Un suivi de plusieurs parcelles de végétation monospécifique sous serre a permis d'identifier des plantes propices à l'établissement de certains groupes fonctionnels d'ennemis naturels. Un second suivi de bandes fleuries en contexte agro-forestier a démontré l'aptitude de ces installations à accueillir d'importantes populations d'auxiliaires. Bien que la composition floristique soit un outil pertinent pour prédire la distribution des arthropodes, plusieurs facteurs influençant la composition des communautés fonctionnelles d'ennemis naturels ont été mis en évidence. Un schéma temporel montre l'existence d'un phénomène de succession des communautés au cours du temps. Des variables environnementales de structure de la végétation et de disponibilité en ressources trophiques ont permis de mieux appréhender les mécanismes à l'origine des variations de la composition des communautés fonctionnelles. L'intensification du service écosystémique de régulation des insectes ravageurs nécessite une compréhension fine des mécanismes écologiques qui règnent dans les agro-écosystèmes.

ABSTRACT : During my internship at the Organic Agriculture Research Group, I followed up natural enemies populations in agro-ecological infrastructures. The purpose of these facilities is to strengthen the regulation ecosystem services of phytophagous insect by creating natural enemies-friendly habitat. Several plants have been identified as favorable for the installation of populations of natural enemies. A mix of these species has been used successfully in an agroforestry context to attract predators and parasitoids. Although floristic composition has a major impact on arthropod community composition, several other factors have been highlighted by our analysis. Functional communities succeed one another temporally. Vegetation structure and food resource availability appears to be key factors in understanding the variability of functional communities. Studying the ecology of natural enemies and their prey is required for to intensify top-down control of herbivores.