



HAL
open science

Étude de l'évaluation de l'aptitude des cultures d'hiver à accueillir l'hivernation des ennemis naturels des ravageurs

Mélanie Mermet

► **To cite this version:**

Mélanie Mermet. Étude de l'évaluation de l'aptitude des cultures d'hiver à accueillir l'hivernation des ennemis naturels des ravageurs. Sciences du Vivant [q-bio]. 2015. hal-02795650

HAL Id: hal-02795650

<https://hal.inrae.fr/hal-02795650v1>

Submitted on 5 Jun 2020

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.

Rapport de stage

Stage de 5 mois réalisé dans le cadre du Master 2 EBEN Recherche

Etude de l'évaluation de l'aptitude
des cultures d'hiver à accueillir
l'hivernation des ennemis naturels
des ravageurs



Stage du 15 Janvier au 15 Juin 2015

A l'unité DYNAFOR (INRA – INPT UMR 1201)

Encadré par Mme Aude VIALATTE



Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier ma maîtresse de stage, Mme Aude VIALATTE (enseignante chercheuse à DYNAFOR) pour son accueil chaleureux et ses précieux conseils qu'elle m'a dispensé tout au long de mon stage. Elle a su me mettre à l'aise. Cela m'a permis de m'exprimer librement et d'avoir mes propres initiatives.

Je remercie également toute l'équipe de DYNAFOR. Merci à Michel GOULARD (chercheur à DYNAFOR) pour sa disponibilité, sa bonne humeur et sa précieuse aide pour les analyses statistiques. Merci à Laurent RAISON (chercheur à DYNAFOR) pour son aide dans l'identification des espèces Carabiques.

Je remercie également toute l'équipe de stagiaire de DYNAFOR c'est-à-dire Céline OTTOGALI, Nicolas RUDENT, Julien BATAILLE, Anne Sophie MOULD et Caroline MOURUT qui m'ont permis de travailler dans une ambiance chaleureuse et amicale.

Sommaire

Résumé	1
Introduction	2
Matériels et Méthodes	6
➤ Site de l'étude	6
➤ Dispositif expérimental	7
➤ Variables mesurées et calculées	7
a) Abondance et diversité des insectes dans les tentes à émergence	7
b) Diversité beta entre les parcelles et leurs bordures.....	8
c) Rapport d'abondance auxiliaires / ravageurs au sein des tentes à émergence.....	8
d) Rapport d'abondance auxiliaires hivernants / pucerons en plein champ.....	8
e) Variables paysagères autour des tentes à émergence	9
➤ Analyses statistiques	9
a) Effet du type de la culture et de la localisation (en plein champ ou en bordure) sur l'hivernation des auxiliaires	9
b) Effet du type de la culture sur les diversités beta	10
c) Etude du contrôle biologique : effet de l'abondance et de la diversité des auxiliaires de culture sur l'abondance printanière des pucerons.	10
d) Etude de l'influence du paysage sur l'hivernation des auxiliaires en parcelle.	10
Résultats	11
➤ Influence du type de la culture et de la localisation	11
a) Influence du type de la culture et de la localisation sur les abondances des auxiliaires de culture.....	11
b) Influence du type de la culture et de la localisation sur les diversités des ennemis naturels de puceron et les espèces Carabiques.....	12
c) Influence du type de la culture et de la localisation sur les rapports d'abondances d'émergence auxiliaires / ravageurs au sein des tentes à émergences.	13
➤ Résultats des diversités beta et Effet du type de la culture sur les diversités beta	15
➤ Etude du contrôle biologique : effet de l'abondance et de la diversité des auxiliaires de culture sur l'abondance printanière des pucerons.....	16
➤ Influence du paysage sur l'hivernation des auxiliaires dans les parcelles et le contrôle biologique.	17
a) Etude de l'influence du paysage sur l'abondance des Familles d'auxiliaires majeures pour le contrôle biologique du puceron.	17

b) Etude de l'influence du paysage sur la diversité des ennemis naturels de puceron et celle des espèces Carabiques dans les tentes à émergence.	17
c) Etude de l'influence du paysage sur les rapports d'abondance des ennemis naturels de puceron hivernants/ comptage de puceron en plein champ.	18
Discussion	19
Conclusion & Perspectives	22
Bibliographie	22
Annexes	24

Résumé

Dans les systèmes de grandes cultures, la lutte biologique par conservation des populations naturelles d'auxiliaires présents dans l'agroécosystème apparaît comme une voie prometteuse d'un contrôle des ravageurs répondant aux exigences environnementales actuelles de la production agricole française. Le but de l'étude est d'appréhender la thématique ravageur-enemis naturels d'un point de vue agroécologique du système. Elle consiste à évaluer l'aptitude des cultures d'hiver à accueillir l'hivernation des auxiliaires de culture à l'aide de tentes à émergence placées en parcelle et en bordure de champs et d'évaluer leur potentiel de contrôle biologique sur la dynamique populationnelle du puceron au printemps suivant. L'influence du paysage environnant et de trois cultures différentes ont été envisagés. Nos résultats indiquent un fort potentiel d'accueil d'hivernation des ennemis naturels du puceron dans les parcelles en comparaison des bordures, tant pour leur abondance que leur diversité. Cet accueil est associé à une régulation significative des populations de puceron au printemps dans ces mêmes parcelles, liée à une prédation ayant eu lieu à l'automne. Le contrôle biologique réalisé par les auxiliaires hivernants est plus influencé par les champs cultivés dans le paysage agricole que des habitats semi-naturels. Ainsi, la considération d'une lutte biologique automnale et printanière associé à des modes de gestion favorisant les auxiliaires de culture optimise le contrôle biologique des ravageurs.

Mots clés : *Lutte biologique, Agroécosystèmes, Insectes bénéfiques, Émergence au printemps, Structure du paysage.*

Abstract

In systems of large farming, biological control by conservation of natural populations of auxiliary present in the agro-ecosystem appears as a promising way of controlling pests answering to current environmental requirements of French agricultural production. The purpose of the study is to apprehend thematic pest–natural enemies with agroecological point of view of the system. It measures the ability of winter crops to overwintering auxiliary crop using emergence tents placed in field and field margin and evaluates their potential for biological control on populational dynamics of aphid next spring. The influence of the surrounding landscape and three different crops were considered. Our results indicate a high potential for overwintering of natural enemies of aphids in field compared field margin, both for their abundance and diversity. This home is associated with a significant regulation of aphid populations in spring in those field linked to predation occurring in autumn. Biological control performed by overwintering auxiliary is more influenced by fields in the agricultural landscape than semi-natural habitats. Thus, consideration autumn and spring biological control associated with management methods promoting auxiliary crop optimizes the biological control of pests.

Key words: *Biological control, Agroecosystems, Beneficial insects, Spring emergence, Landscape structure.*

Introduction

Dès les années 1950, l'agriculture intensive a été mise en place dans de nombreux pays afin d'augmenter les rendements agricoles. Elle nécessite un usage intensif d'intrants externes, ce qui la rend très dépendante de l'intervention humaine. L'utilisation privilégiée par exemple d'insecticides afin de protéger les cultures contre les ravageurs contrecarre les processus naturels de régulation, ce qui engendre de nombreuses conséquences néfastes pour l'environnement. Dès lors, les agrosystèmes sont devenus de véritables écosystèmes artificiels simplifiés caractérisés par un déclin rapide de leur biodiversité (Bianchi *et al.*, 2006).

Or, la biodiversité a un rôle crucial dans les écosystèmes en fournissant de nombreux services écosystémiques (MEA 2003). Dans les agroécosystèmes, la biodiversité apporte en premier lieu une production d'aliment. Elle participe également au recyclage des nutriments et à la régulation d'organismes indésirables comme les ravageurs de culture (Altieri, 1999). La persistance de ces services écosystémiques est dépendante du maintien de l'intégrité biologique et de la diversité dans les agroécosystèmes (Altieri, 1994). Ainsi, lorsque ces services naturels sont perdus, les coûts économiques et environnementaux peuvent être très importants.

De ce fait, le développement des technologies et des systèmes qui mettent l'accent sur la conservation et sur la restauration de la biodiversité dans les agroécosystèmes est crucial afin de rétablir ou de maintenir un équilibre naturel favorisant la durabilité de la production agricole (Altieri, 1999). Pour cela, la lutte biologique par conservation est une solution écologique clé mobilisant une diversité biologique fonctionnelle présente dans les agrosystèmes. Cette méthode vise à lutter contre les ravageurs de culture au moyen d'organismes vivants antagonistes, appelés auxiliaires de culture, qui sont naturellement présents dans l'écosystème. Elle se base donc sur l'utilisation de prédateurs naturels, de parasitoïdes et d'agents pathogènes en lieu et place des pesticides. Pour être efficace, elle doit inclure un véritable programme de gestion d'habitat. Cette gestion doit être fondée sur la création d'infrastructures écologiques afin de maintenir des populations d'auxiliaires de culture viables (Landis *et al.*, 2000). Des aménagements tels que les bandes enherbées, les haies et les bordures de champs fournissent en effet des ressources nutritives, un habitat et un abri contre les intempéries pour les auxiliaires de culture (Bianchi *et al.*, 2006 ; Vollhardt *et al.*, 2010). Ainsi, les habitats semi-naturels, plus stables que les champs cultivés (Ernault *et al.*, 2013), sont de véritables zones refuges pour les auxiliaires de culture et sont généralement supposés améliorer le contrôle biologique de ravageur de culture par un phénomène de « spill-over » (Alignier *et al.*, 2014). Il consiste en un débordement des auxiliaires de culture des habitats semi-naturels vers les cultures (Tscharntke *et al.*, 2007).

Concrètement, la gestion des infrastructures agroécologiques nécessite souvent de travailler à l'échelle du paysage, qui correspond à une mosaïque d'habitats appartenant à des écosystèmes variés connectés par des flux d'organismes. En effet, il s'agit de tenir compte

non seulement de l'échelle locale où les services sont réalisés (dans notre cas les parcelles agricoles) mais également de l'échelle à laquelle se déroule les processus de dispersion des auxiliaires, c'est-à-dire le paysage (Kremen *et al.*, 2007 ; Rader *et al.*, 2011). La composition et la configuration du paysage sont des facteurs influençant la communauté des auxiliaires de culture (Dufлот *et al.*, 2014 ; Puech *et al.*, 2014). Un paysage agricole hétérogène et complexe renforce le maintien de ces populations favorisant ainsi un contrôle naturel contre les ravageurs de culture (Bianchi *et al.*, 2006). Comme certaines espèces souffrent davantage d'un isolement spatial de leurs différentes populations que d'une perte d'habitat (Holzschuh *et al.*, 2010), la présence de corridors amenant une connectivité des habitats favorables à la communauté des auxiliaires de culture est essentielle pour maintenir une densité de population bénéfique pour lutter contre les ravageurs (Holzschuh *et al.*, 2010).

Mon stage s'imbrique dans un projet de recherche ANR Systerra nommé Landscaphid (2010-2014). Ce programme de recherche avait pour but de mieux comprendre les mécanismes de régulation naturelle de bio-agresseurs afin de réduire l'apport d'intrant dans les cultures. Ce programme ciblait plus particulièrement un modèle biologique que sont les pucerons, qui comptent parmi les principaux ravageurs des grandes cultures (Hill, 1987 ; Dedryver *et al.*, 2010). L'un des axes de recherche de ce projet était l'étude du rôle de la composition et de la structure du paysage sur les dynamiques populationnelles de pucerons ainsi que de leurs ennemis naturels. C'est sur ce point que se positionne mon stage.

Classiquement, les recherches visant à étudier les mécanismes de lutte biologique par conservation se focalisent au printemps car c'est à cette période de l'année que les pullulations de ravageurs sont souvent les plus importantes en grandes cultures (Figure 1). La méta-analyse correspondante de Chaplin-Kramer *et al.* (2011) met en lumière le fait que si une hétérogénéité du paysage favorise bien l'abondance des auxiliaires de culture au printemps, aucun effet n'est en retour visible sur l'abondance-même des ravageurs dans les parcelles. Pour mieux comprendre les processus écologiques du contrôle biologique, ce résultat majeur suggère d'adopter une approche agroécologique, c'est-à-dire de considérer les interactions plantes-herbivores-ennemis naturels sur l'ensemble des cycles biologiques, tout au long de l'année et dans les différents habitats impliqués (Figure 2).

Dans cette logique, une récente étude (issue du programme Landscaphid) a mis en évidence un contrôle biologique précoce des ravageurs de grandes cultures par leurs prédateurs dès l'automne (au stade plantule des cultures d'hiver, Raymond *et al.*, 2014). Les bénéfices de cette lutte biologique en automne se répercutent au printemps suivant à travers une réduction du niveau initial de ravageurs à partir duquel se lance la dynamique de population printanière (Kendall *et al.*, 1991). De ce fait, les deux périodes de luttes biologiques (printanière et automnale) sont complémentaires et liées par les stratégies d'hivernation des auxiliaires de culture comme nous allons le voir au paragraphe suivant (Arrignon *et al.*, 2007) (Figure 2). Ainsi, une meilleure connaissance de l'écologie des

auxiliaires en hiver semble prometteuse pour augmenter significativement le contrôle biologique des ravageurs par leurs ennemis naturels.

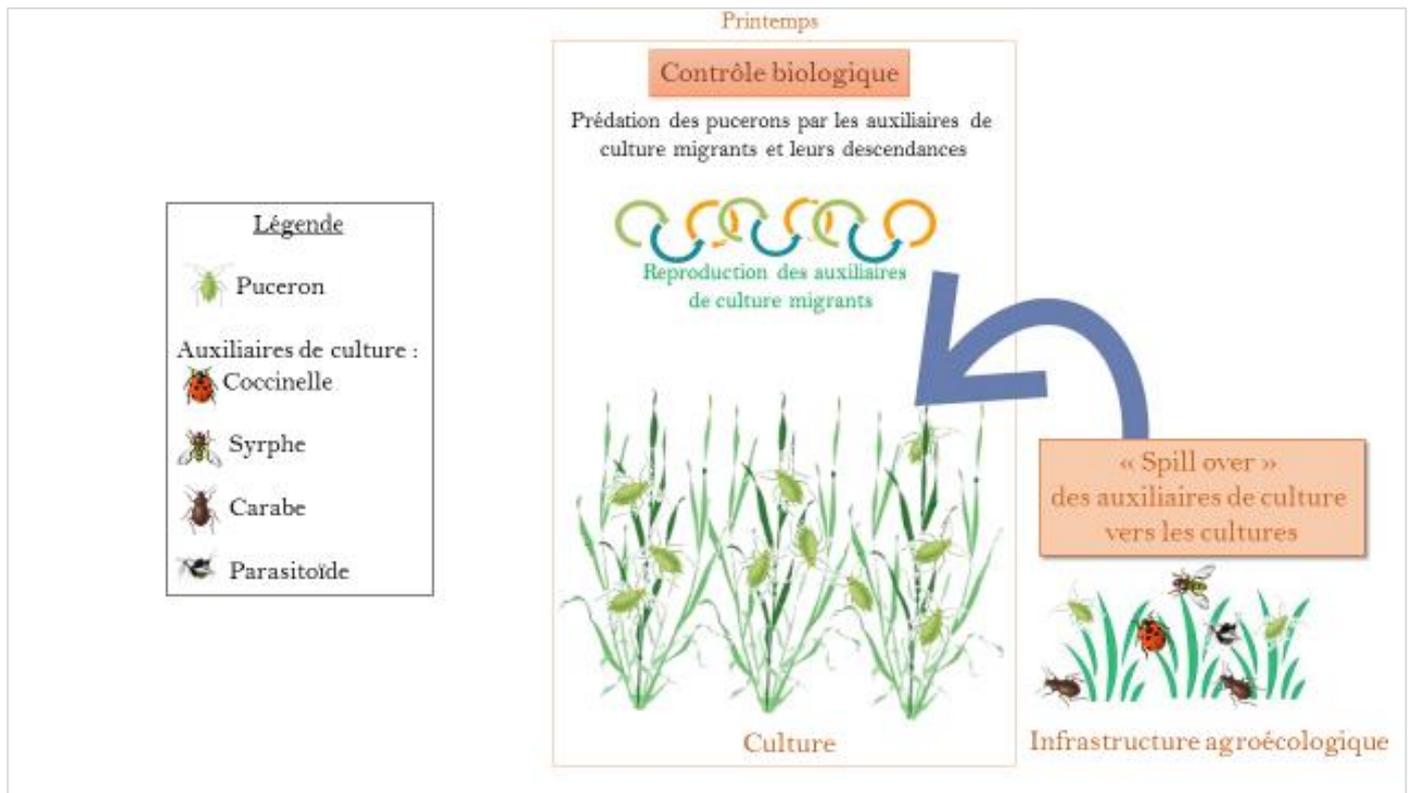


Figure 1: Approche classique de l'étude des mécanismes de lutte biologique par conservation. Si l'abondance printanière des auxiliaires dans les parcelles augmente significativement avec la complexité du paysage, l'abondance des ravageurs en parcelle n'en est pas systématiquement réduite (Chaplin-Kramer *et al.*, 2011)

Les espèces d'auxiliaires qui sont actives pendant leur période d'hivernation peuvent avoir des capacités de régulation supérieure, car elles doivent être en mesure de se nourrir de ravageurs beaucoup plus tôt que les espèces qui hivernent en diapause ou qui migrent (Tenhumberg et Poehling, 1995). Chez certaines espèces de syrphes par exemple, on observe différentes stratégies d'hivernation : une migration vers le sud, une hibernation sous forme de femelles actives et une hibernation sous forme pré-imaginale. C'est cette dernière qui est responsable d'un contrôle biologique précoce des pucerons en grandes cultures (Raymond *et al.*, 2014). Ainsi, la connaissance des dynamiques de chaque stratégies d'hivernation et notamment celles favorisant un contrôle biologique précoce doit être prise en considération afin d'optimiser leurs effets en automne et au printemps suivant.

Cependant, pour survivre aux conditions hivernales défavorables sans migrer, il faut des habitats adéquats (Bale, 1993). Les habitats semi-naturels sont connus pour être des habitats favorables à l'hivernation des auxiliaires de culture, ils fournissent des proies, des hôtes, des ressources florales et un abri contre les baisses de température (Arrignon *et al.*, 2007 ; Landis *et al.*, 2000 ; Gurr *et al.*, 2004). Mais qu'en est-il des champs cultivés ?

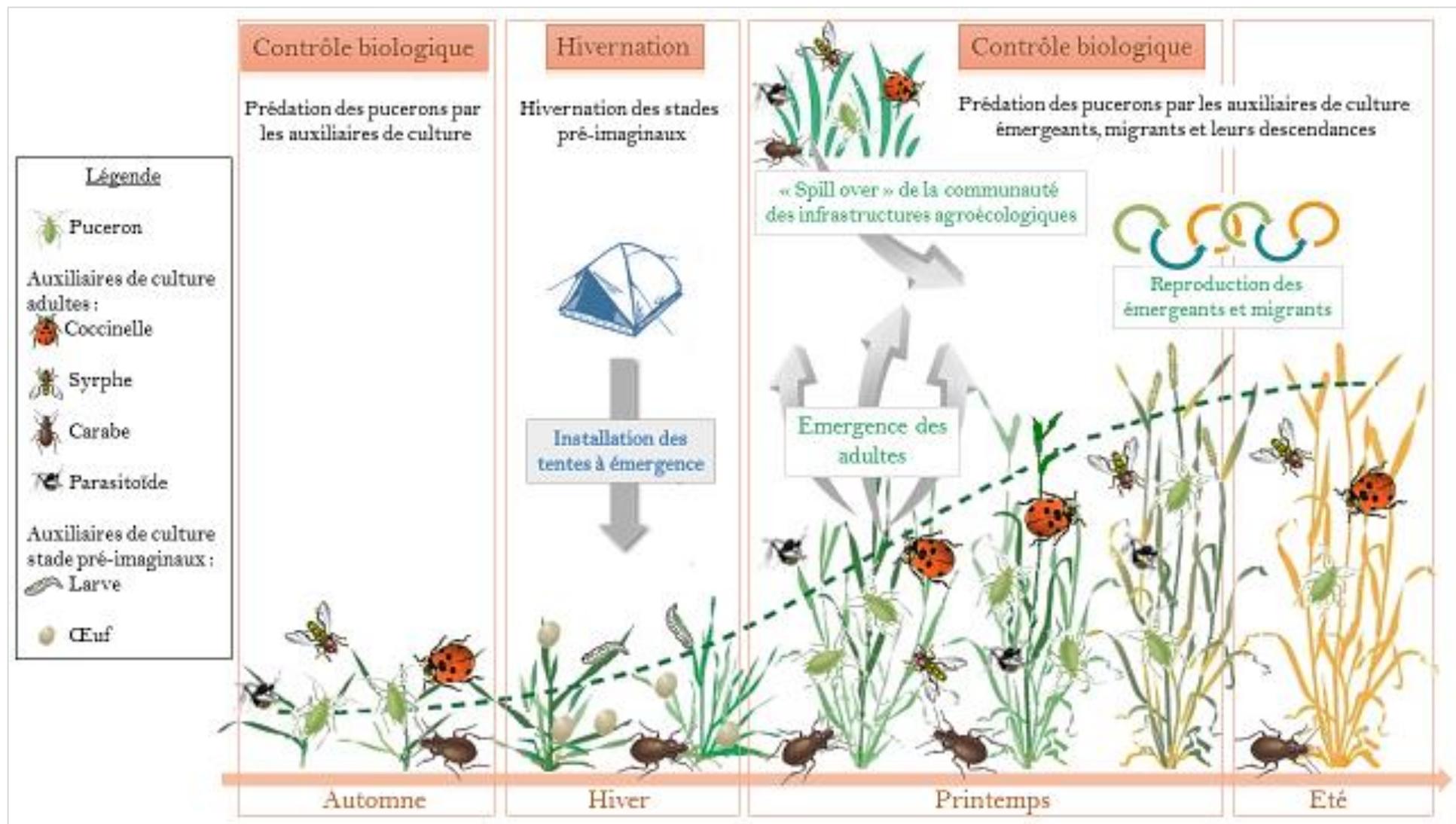


Figure 2 : Approche agroécologique des mécanismes de lutte biologique par conservation adoptée dans cette étude. L'étude du rôle des auxiliaires dans le contrôle biologique des ravageurs est étendue à l'automne précédent. L'origine des auxiliaires colonisant les parcelles à l'automne n'est pas connue (depuis les parcelles ou les infrastructures agroécologiques).

En règle générale, il existe de nombreuses études sur le contrôle biologique mais peu d'études se sont interrogées au rôle intrinsèque des cultures dans une régulation naturelle des ravageurs. Dans certains cas, elles semblent pouvoir également fournir des conditions appropriées pour l'hivernation (Raymond *et al.*, 2014 ; Sotherton, 1984 ; Eitzinger et Traugott, 2011). Certains coléoptères du sol tels que les carabes ont leurs larves qui hivernent activement dans les cultures (Fadl *et al.*, 1996 ; Noordhuis *et al.*, 2001).

De ce fait, les pratiques agricoles ont une influence directe sur l'hivernation des auxiliaires de culture (Holzschuh *et al.*, 2007 ; Puech *et al.*, 2014) notamment chez les espèces hivernant dans le sol (Sarhou *et al.*, 2005 ; Bókina, 2012). Sous certaines conditions de gestion, les champs cultivés peuvent donc soutenir eux-mêmes le service écosystémique de contrôle biologique. Ils peuvent améliorer le contrôle naturel des ravageurs de culture sans nécessairement exiger l'ajout d'habitat semi-naturel dans les paysages agricoles (Power, 2010).

La problématique de cette étude fait suite à l'étude de Raymond *et al.* (2014) qui a permis d'obtenir de premiers résultats très intéressants sur l'hivernation des syrphes aphidiphages en parcelles de grande culture. Ce sont des résultats plutôt encourageants dans le domaine de l'agroécologie notamment sur le développement possible d'une lutte biologique en automne. L'objectif ici est d'étendre l'analyse de ces captures tout à fait originales sur l'ensemble de la communauté d'auxiliaires et donc d'évaluer le rôle des parcelles elles-mêmes dans l'hivernation des ennemis naturels de ravageurs et les facteurs qui peuvent l'influencer (paysage environnant et type de couvert). Pour cela, cette étude a été conduite en trois étapes : (i) identifier les différentes familles d'auxiliaires de culture hivernant au sein des parcelles elles-mêmes ; (ii) évaluer les conséquences de la diversité et de l'abondance de cette communauté hivernant en plein champ sur la dynamique populationnelle des pucerons au printemps dans ces mêmes parcelles et (iii) estimer l'influence du paysage, du type de couvert ainsi que de la position spatiale (situé en plein champ ou en bordure de champ) de cette communauté d'auxiliaires participant au contrôle biologique.

Matériels et Méthodes

➤ Site de l'étude

Le site de l'étude est la zone des « Vallées et Coteaux de Gascogne ». Elle est caractérisée par une zone de 220 km² de collines au Sud-Ouest de Toulouse. L'altitude varie de 250 mètres au fond des vallons jusqu'à 400 mètres au sommet des coteaux. Le climat est tempéré sous influence méditerranéennes et océaniques avec des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. Le système agricole dominant est la polyculture – élevage avec des grandes cultures gérées très majoritairement de manière conventionnelle. Le site est labellisé LTER (Long

Term Ecological Research) du fait des travaux pluridisciplinaires menés sur ce site depuis une trentaine d'années.

➤ Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental correspond à celui de [Raymond et al., \(2014\)](#). Il consiste en la capture d'individus pré-imaginaux hivernant à l'aide de tente à émergence placée en 2012 à partir de la fin de l'hiver jusqu'au début de l'été. Cette période d'échantillonnage a été choisie car elle couvre la plupart des périodes d'émergence des insectes adultes ([Dusek et Laska, 1974](#)). Les tentes à émergence sont des dispositifs qui scellent hermétiquement une surface de sol bien défini (ici 0,36 m²) tout en recueillant les insectes qui émergent dans cette zone à l'aide de flacon collecteur ([Figure 3](#)). Ces flacons collecteurs sont situés en haut de la tente à émergence et sont remplis au deux tiers avec de l'éthanol à 70 degrés. Ces pièges ont été recueillis tous les quinze jours à partir du 15 Avril jusqu'à la première semaine de Juillet.



[Figure 3](#) : Exemple de tente à émergence utilisée lors du dispositif expérimental. Tente à émergence noir de 0,36 m² de surface avec un flacon collecteur blanc en haut.

Les tentes à émergence ont été placées dans 37 parcelles différentes qui ont été préalablement sélectionnées selon un gradient de densité de forêt environnante (0 à 50% dans un rayon de 500 mètres du lieu de prélèvement). Chaque piège était placé en plein champs et en bordure de champs de manière aléatoire afin de réaliser un comparatif. Trois types de culture ont été choisis : le blé d'hiver (N=19), le colza (N=11) et la luzerne (N=7). En parallèle, des comptages de puceron au printemps ont été effectués tous les 15 jours (à partir de la deuxième semaine d'Avril à la première semaine de Juillet) sur 50 tiges de blé, 10 plants de colza et 50 plants de luzerne choisis au hasard dans une zone de 1m² situé à proximité des tentes à émergences en plein champ uniquement.

Les auxiliaires de culture ont été triés manuellement pour être déterminés à l'aide d'une loupe binoculaire au niveau de la famille sauf pour les espèces Carabiques, dont l'identification a été réalisée jusqu'au niveau spécifique. La détermination a été effectuée à l'aide de plusieurs ouvrages ([Annexe 1](#)).

➤ Variables mesurées et calculées

a) Abondance et diversité des insectes dans les tentes à émergence

L'abondance et la diversité des auxiliaires de culture ainsi que l'abondance des pucerons émergents des pièges ont été enregistrées pour chaque tente à émergence placées en plein

champ et en bordure de champ. L'abondance totale ainsi que celle correspondant à la première semaine d'émergence (deuxième semaine d'Avril) ont été calculées. Deux types de diversité ont été calculés. L'une au niveau de la famille pour les ennemis naturels de puceron et l'autre au niveau spécifique uniquement pour les Carabes. Les différentes diversités ont été calculées grâce à l'indice de Shannon de formule $H = - \sum (p_i \times \log_2 p_i)$ avec p_i la fréquence de l'espèce i (ou de la famille) dans l'échantillon contenant un total de N individu. Pour chaque parcelle étudiée, nous avons donc calculé (i) l'abondance initiale (correspondant à la première semaine d'Avril) et totale de pucerons au printemps des pièges placés en plein champ uniquement, (ii) l'abondance d'émergence initiale (correspondant à la première semaine d'Avril) et totale de chaque famille de ravageur, (iii) l'abondance d'émergence initiale (correspondant à la première semaine d'Avril) et totale de chaque famille d'auxiliaire de culture ainsi que pour les ennemis naturels de puceron réunis tous ensemble, (iv) la diversité (au niveau famille) initiale (correspondant à la première semaine d'Avril) et totale des ennemis naturels de puceron réunis ensemble et (v) la diversité (au niveau espèce) initiale (correspondant à la première semaine d'Avril) et totale des carabes.

b) Diversité beta entre les parcelles et leurs bordures

Des diversités beta à l'échelle de la parcelle ont été calculées afin de mettre en évidence d'éventuelles différences entre la diversité alpha capturée en plein champ et celle capturée en bordure de champ. Pour cela l'indice de similarité de Sørensen a été utilisé de formule $\beta = 2c/a+b$ avec c le nombre de famille (ou espèce) en commun aux deux communautés ; a le nombre total de famille (ou espèce) de la communauté 1 et b le nombre total de famille (ou espèce) de la communauté 2. Les diversités beta au niveau de la famille ont été calculées pour la totalité des familles d'insectes capturés, pour l'ensemble des auxiliaires de culture, des ravageurs et pour l'ensemble des ennemis naturels de puceron. Et une diversité beta au niveau spécifique a été calculée pour les espèces Carabiques.

c) Rapport d'abondance auxiliaires / ravageurs au sein des tentes à émergence

Des rapports d'abondance d'émergence auxiliaires / ravageurs ont été calculés afin d'étudier la diversité hivernant dans les parcelles : cette diversité est-elle en faveur des ravageurs dans les parcelles par rapport à celles des bordures ? Comme les bordures de champs sont des habitats plus stables que les champs cultivés, les réseaux trophiques y sont en effet considérés dans cette étude comme équilibrés. Ainsi, un comparatif des réseaux trophiques (de type 1-2 c'est-à-dire proies-prédateurs) a été réalisé entre chaque parcelle et sa bordure pour plusieurs réseaux basés sur des ravageurs différents (Aphididae, Elateridae, Curculionidae et Thripidae). Il s'agit ici d'abondance d'émergence totale (sur toute la durée de l'étude).

d) Rapport d'abondance auxiliaires hivernants / pucerons en plein champ

Un rapport d'abondances a été calculé, entre les abondances des ennemis naturels de puceron et les abondances des pucerons de plein champ obtenus par comptages directs afin d'estimer

le potentiel de contrôle biologique des auxiliaires hivernants. Le numérateur ici correspond à des abondances d'émergence totale soit de l'ensemble des ennemis naturels de puceron, soit des quatre familles majeures du contrôle biologique du puceron traitées séparément (Chalcidiens, Staphylins, Braconides et Cantharides).

e) Variables paysagères autour des tentes à émergence

Nous avons repris l'analyse paysagère du site de l'étude qui a été réalisée dans l'étude de [Raymond *et al.* \(2014\)](#). Différentes variables du paysage ont été calculées grâce à des cartes annuelles d'occupation du sol basées sur des observations directes sur le terrain, à l'aide du logiciel ArGIS (ESRI, 2012). Pour chaque piège, (i) la distance en mètre la plus proche de la bordure de champ, du bois, de la haie et de la prairie ont été calculées depuis la position des pièges ; ces variables sont appelées « variables locales » ; (ii) différents descripteurs du paysage ont été calculés dans cinq zones tampons circulaires (de rayon de 50, 100, 250 et 500 mètres) autour de chaque piège d'émergence : les proportions d'habitats semi-naturels (prairie, haie, bois), de bâtiments et de différents types de culture (céréales, colza, légumineuse, maïs et tournesol) y ont été calculées ; ces variables sont appelées « variables à large échelle »

➤ Analyses statistiques

a) Effet du type de la culture et de la localisation (en plein champ ou en bordure) sur l'hivernation des auxiliaires

Pour tester l'effet du type de culture et de la localisation des tentes à émergence (plein champ et bordure de champ) sur l'abondance des ennemis naturels de puceron émergents et pour chaque famille majeure du contrôle biologique, des GLMs (Generalized Linear Model) ont été réalisés. Les GLMs suivent une loi de Poisson (fonction de lien logistique) et sont soit additifs soit avec interactions (culture \times localisation). La sélection du meilleur modèle s'est réalisée à l'aide du critère d'Akaike (AIC). Des comparaisons deux à deux ont été effectuées au sein de chaque culture de la variable localisation afin de déceler d'éventuelles différences, à l'aide du test de Student pour des données distribuées normalement ou si ce n'est pas le cas avec le test de Mann-Whitney. Pour ce faire, les données ont été transformées en Log.

La même analyse a été réalisée sur la diversité au niveau famille et spécifique (sur la diversité des Carabes et les ennemis naturels de puceron) et d'autre part sur les rapports d'abondance d'émergence auxiliaires / ravageurs. Pour cela, des tests d'ANOVA de type 2 ont permis de tester l'effet des variables culture et localisation sur ces différentes variables à expliquer. Pour les rapports d'abondance d'émergence de plusieurs ravageurs différents, les données d'abondances suivent une distribution normale suite à leur transformation en Log (un test de Shapiro-Wilk a été effectué afin de sens assurer).

b) Effet du type de la culture sur les diversités beta

L'effet seul du type de la culture a été testé sur les diversités beta grâce à un test d'ANOVA de type 1 afin de visualiser d'éventuelles différences entre les trois cultures (blé-colza-luzerne). Pour cela, les conditions d'applications du test d'ANOVA ont bien été testées grâce au test de Shapiro-Wilk (test de normalité des données) et un test de Bartlett (test d'homoscédasticité des données) ainsi que les résidus du modèle d'ANOVA.

c) Etude du contrôle biologique : effet de l'abondance et de la diversité des auxiliaires de culture sur l'abondance printanière des pucerons.

Une analyse du contrôle biologique des pucerons a été effectuée à l'aide de modèles généraux linéaires mixtes (Generalized Linear Mixed Models, GLMMs), avec différentes variables à expliquer et explicatives: (i) avec l'abondance initiale (première semaine d'émergence) de pucerons au printemps comme variable à expliquer et l'abondance d'émergence initiale et totale des auxiliaires de culture traités ensemble ou séparément comme variables explicatives ; (ii) avec l'abondance totale de pucerons au printemps comme variable à expliquer et l'abondance initiale et totale des auxiliaires de culture traités ensemble ou pour chaque famille séparément comme variables explicatives et (iii) avec l'abondance des pucerons au printemps initiale ou totale comme variable à expliquer et la diversité (niveau famille et espèce) initiale et totale des ennemis naturels de puceron et des Carabes comme variables explicatives.

d) Etude de l'influence du paysage sur l'hivernation des auxiliaires en parcelle.

Tout d'abord, afin d'étudier l'influence du paysage sur les abondances des auxiliaires hivernants des principales familles (Chalcidiens, Staphylins, Braconides et Cantharides), des GLMMs ont été effectués pour chaque famille séparément avec comme variables explicatives soit l'ensemble des « variables locales », soit l'ensemble des « variables à large échelle ». Pour ces dernières, quatre GLMMs ont été effectués correspondant aux quatre zones tampons différentes de 50 à 500 mètres.

De même, l'influence du paysage a été évaluée également sur la diversité au niveau famille des ennemis naturels de puceron et d'autre part sur la diversité au niveau spécifique des Carabes à l'aide de LMMs (Linear Mixed Model). Dans chaque modèle, les variables explicatives étaient soit l'ensemble des « variables locales », soit l'ensemble des « variables à large échelle » aux différentes zones tampons. Les données de diversité suivent la loi Normale (un test de Shapiro-Wilk a été effectué afin de sens assurer).

Enfin, des modèles LMMs (Linear Mixed Model) ont permis de tester l'effet du paysage sur les rapports d'abondance des ennemis naturels de pucerons hivernants / pucerons en plein champ. Dans chaque modèle, les variables explicatives étaient soit l'ensemble des « variables locales », soit l'ensemble des « variables à large échelle » aux différentes zones tampons. Les

données d'abondances suivent une distribution normale suite à leur transformation en Log (un test de Shapiro-Wilk a été effectué afin de sens assurer).

Toute l'analyse statistique de cette étude s'est réalisée sous le logiciel R (version 3.1.3). Tous les GLMMs et LMMs de l'étude sont des modèles basés sur des statistiques bayésiennes. L'approche bayésienne est une généralisation de l'approche classique en statistique qui a pour avantage de résoudre un grand nombre de problèmes rencontrés en statistiques classiques comme l'hétérosédasticité, la multicolinéarité, les données manquantes, les modèles très complexe et notamment le traitement de petit échantillon (Clark, 2005) qui est notre cas ici. Les GLMMs sont des modèles additifs qui suivent une loi de Poisson (fonction de lien logistique) avec pour variable aléatoire les cultures (N=3). Un critère d'information DIC (The Deviance Information Criterion) a été calculé pour chaque modèle afin de sélectionner le meilleur à chaque analyse. Les résultats des GLMMs et des LMMs seront présentés avec les valeurs des coefficients associées à leur intervalle de crédibilité à 95% (IC).

Résultats

Un total de 104 familles d'insectes émergents a été capturé dans les tentes à émergence dont 24 familles d'auxiliaires de culture, 18 familles de ravageurs de culture et 62 autres familles d'insectes. Douze familles d'auxiliaires de puceron ont été identifiées et capturées. Elles regroupent trois types d'auxiliaires de culture à savoir les prédateurs : Anthocoridae, Cantharidae, Carabidae, Cecidomyiidae, Coccinellidae, Hémérobiidae, Miridae, Nabidae, Staphylinidae, Syrphidae ; les parasitoïdes : Braconidae, Chalcidoidea et les pollinisateurs : Syrphidae.

Aucune différence significative n'a été trouvée entre le nombre moyen de famille d'auxiliaires de culture émergents en plein champs et ceux en bordure de champs ($t=-1.32$ $df=60.57$, $p\text{-value}=0.19$). Le même résultat a été trouvé pour le nombre total de famille d'insectes émergents capturés dans le dispositif expérimental ($t=0.72$, $df=65.05$, $p\text{-value}=0.47$). Les données étant normalement distribuées et homosédastiques.

➤ Influence du type de la culture et de la localisation

- a) Influence du type de la culture et de la localisation sur les abondances des auxiliaires de culture.

L'abondance des familles d'ennemis naturels de puceron est influencée significativement à la fois par le type de culture et la localisation. Le meilleur modèle retenu est celui avec

interaction des deux variables (déviante=838.57, df=5, p-value<2.2^e-16, 37.3% de déviante expliquée par le modèle, AIC=9375). Des comparaisons deux à deux au sein de chaque culture de la localisation ont permis de montrer que l'abondance des ennemis naturels de puceron est plus élevée en parcelle pour le blé d'hiver et le colza (2 tests de Student blé: t=-3.82, df=33.99, p-value=0.001 ; colza: t=-3.50, df=13.87, p-value=0.004) (Figure 3). Aucune différence significative d'abondance des ennemis naturels de puceron n'est retrouvée pour la luzerne selon la localisation (test de Student : t=0.29, df=10.77, p-value=0.78) (Figure 3). En ce qui concerne les familles majeures de la régulation du puceron à travers leur abondance, les quatre familles à savoir les Chalcidiens, les Staphylins, les Braconides et les Cantharides ont leurs abondances influencées à la fois par le type de la culture et de la localisation d'après plusieurs GLMs (Annexe 2). Suite à plusieurs comparaisons deux à deux, il a été montré que l'abondance des Chalcidiens est plus élevée en parcelle pour le colza (test de Student: t=-3.58, df=17.55, p-value=0.002). L'abondance des Staphylins est plus élevée en parcelle pour le colza et le blé d'hiver (blé: test de Student t=-5.28, df=33.65, p-value=7.51e-06 ; colza: test de Mann-Whitney W=1, p-value=2.16e-05) et enfin pour les abondances des Braconides et des Cantharides aucunes différences significative n'a été trouvée pour la localisation au sein de chaque type de culture (braconide: 3 tests de Student blé:t= 1.86, df=33.69, p-value=0.07 ; colza: t=-1.22, df=16.85, p-value=0.24 ; luzerne: t=1.25, df=11.27, p-value=0.24 ; cantharide: 2 tests de Mann-Whitney blé: W=222.5, p-value=0.05 ; colza: W=63, p-value=0.32 ; luzerne: test de Student t=1.55, df=10.73, p-value=0.15).

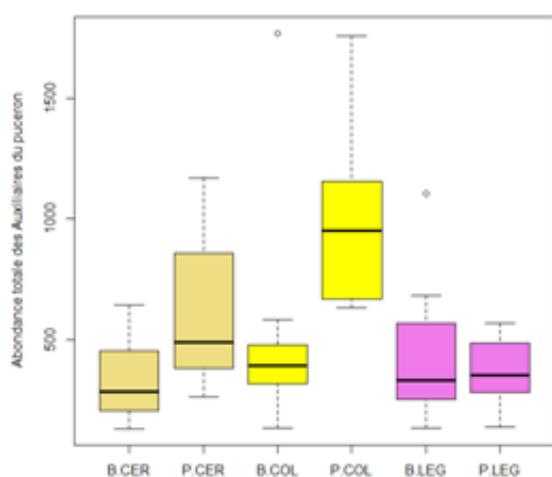


Figure 3 : Distribution des abondances d'émergences totales des ennemis naturels de puceron en fonction du type de la culture et de la localisation. Il y a trois types de cultures différentes : le blé d'hiver (CER), le colza (COL) et la luzerne (LEG) et deux types de localisation : en plein champ (P) et en bordure de champ (B).

b) Influence du type de la culture et de la localisation sur les diversités des ennemis naturels de puceron et les espèces Carabiques.

L'analyse de l'effet du type de la culture et de la localisation sur la diversité au niveau de la famille des ennemis naturels de puceron a montré que le meilleur modèle est celui avec interaction des deux variables (F=2.84, df=5, p-value=0.07, AIC=8.25). Des comparaisons deux à deux ont montrées aucune différence significative entre les moyennes des diversités des ennemis naturels de puceron placées en bordure de champ et celles placées en plein champ pour les trois cultures (2 tests de Student blé: t=1.30, df=33.92, p-value=0.20 ; luzerne: t=1.79, df=11.20, p-value=0.10 ; test de Mann-Whitney colza: W=31.5, p-value=0.17) (Figure 4). De plus, le meilleur

modèle retenu est également celui avec interaction des deux variables pour la diversité spécifique des Carabes ($F=6.25$, $df=5$, $p\text{-value}=0.003$, $AIC=172.63$). Il y a plus de diversité spécifique des Carabes en parcelle que en bordure de champ pour le colza (test de Student : $t=-3.00$, $df=16.80$, $p\text{-value}=0.008$), alors que pour la luzerne c'est l'inverse il y en a plus en bordure de champ (test de Mann-Whitney : $W=41$, $p\text{-value}=0.03$) (Figure 5). En revanche, aucune différence de moyenne n'est enregistrée pour le blé d'hiver (test de Student : $t=-0.85$, $df=26.91$, $p\text{-value}=0.41$) (Figure 5).

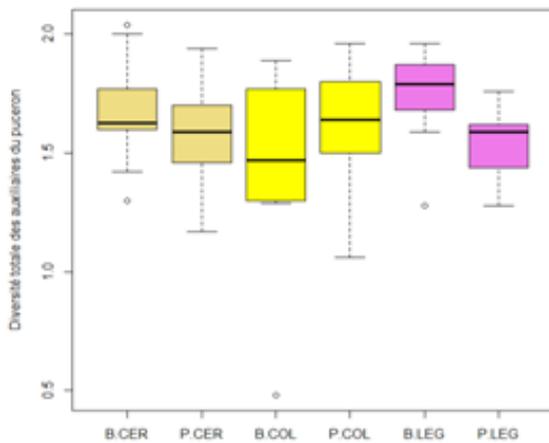


Figure 4 : Distribution de la diversité au niveau de la Famille pour les ennemis naturels de puceron en fonction du type de la culture et de la localisation. Il y a trois types de cultures différentes : le blé d'hiver (CER), le colza (COL) et la luzerne (LEG) et deux types de localisation : en plein champ (P) et en bordure de champ (B).

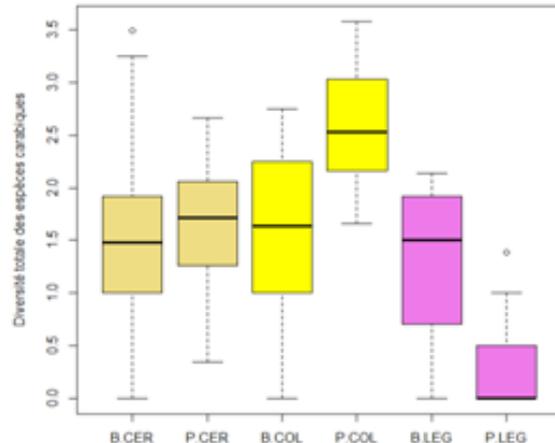


Figure 5 : Distribution de la diversité au niveau spécifique pour les Carabes en fonction du type de la culture et de la localisation. Il y a trois types de cultures différentes : le blé d'hiver (CER), le colza (COL) et la luzerne (LEG) et deux types de localisation : en plein champ (P) et en bordure de champ (B).

c) Influence du type de la culture et de la localisation sur les rapports d'abondances d'émergence auxiliaires / ravageurs au sein des tentes à émergences.

Concernant le rapport d'abondance d'émergence des ennemis naturels de puceron / puceron émergeant, le meilleur modèle retenu est l'additif des deux variables (culture : $F=0.25$, $df=2$, $p\text{-value}=0.78$; localisation : $F=0.16$, $df=1$, $p\text{-value}=0.69$; $AIC=286.45$). Aucune différence significative n'est trouvée entre les moyennes des rapports d'abondance d'émergence placés en plein champ et ceux en bordure d'après des comparaisons deux à deux (2 tests de Student blé: $t=-0.57$, $df=33.37$, $p\text{-value}=0.58$; luzerne: $t=0.52$, $df=9.69$, $p\text{-value}=0.61$; test de Mann-Whitney colza: $W=62$, $p\text{-value}=0.39$) (Figure 6).

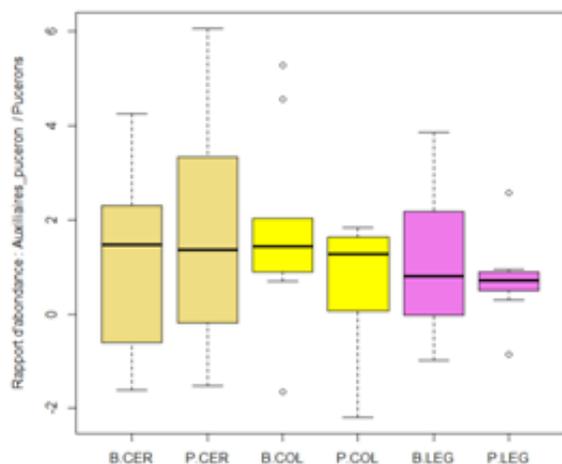


Figure 6 : Distribution du rapport d'abondance d'émergence totale des ennemis naturels de puceron sur l'abondance des pucerons émergents en fonction du type de la culture et de la localisation. Il y a trois types de cultures différentes : le blé d'hiver (CER), le colza (COL) et la luzerne (LEG) et deux types de localisation : en plein champ (P) et en bordure de champ (B).

Concernant le rapport d'abondance d'émergence des ennemis naturels du taupin / taupin émergeant, aucune différence significative n'est trouvée entre les deux modèles (modèle additif AIC=195.76 ; modèle avec interaction AIC=195.93). Des comparaisons deux à deux ont permis de montrer que ce rapport est plus élevé en parcelle pour le blé d'hiver (test de Student: $t=-3.65$, $df=33.95$, $p\text{-value}=0.0008$) c'est-à-dire qu'il y a plus d'ennemis naturels du taupin dans le blé d'hiver. En revanche pour le colza et la luzerne aucune différence significative n'a été trouvée entre les moyennes de ce rapport placées en parcelle et en bordure de champ. (2 tests de Student colza: $t=-0.13$, $df=17.96$, $p\text{-value}=0.90$; luzerne: $t=-1.64$, $df=9.22$, $p\text{-value}=0.13$) (Figure 7).

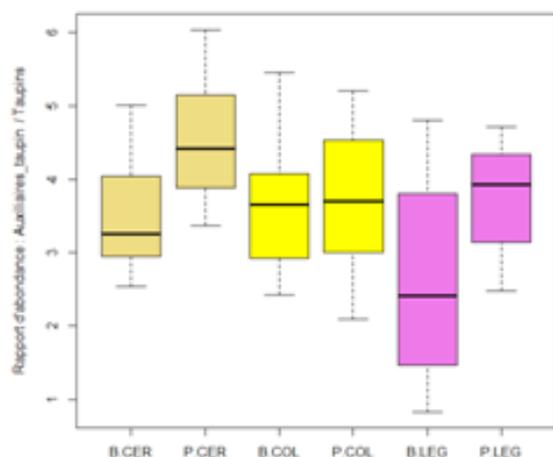


Figure 7 : Distribution du rapport d'abondance d'émergence totale des ennemis naturels du taupin sur l'abondance des taupins émergents en fonction du type de la culture et de la localisation. Il y a trois types de cultures différentes : le blé d'hiver (CER), le colza (COL) et la luzerne (LEG) et deux types de localisation : en plein champ (P) et en bordure de champ (B).

Concernant le rapport d'abondance d'émergence des ennemis naturels du thrips / thrips émergeant, le meilleur modèle retenu est celui avec interaction des deux variables ($F=2.69$, $df=5$, $p\text{-value}=0.02$, AIC=256.8). Des comparaisons deux à deux ont permis de montrer que ce rapport est plus élevé en bordure de champ pour la luzerne (test de Mann-Whitney: $W=44$, $p\text{-value}=0.02$) donc il y a plus d'ennemis naturels du thrips en bordure de luzerne. En revanche pour le blé d'hiver et le colza aucune différence significative n'a été trouvée entre les moyennes de ce rapport placées en parcelle et en bordure de champ. (2 tests de Student blé: $t=-1.51$, $df=31.33$, $p\text{-value}=0.14$; colza: $t=0.77$, $df=17.96$, $p\text{-value}=0.45$) (Figure 8).

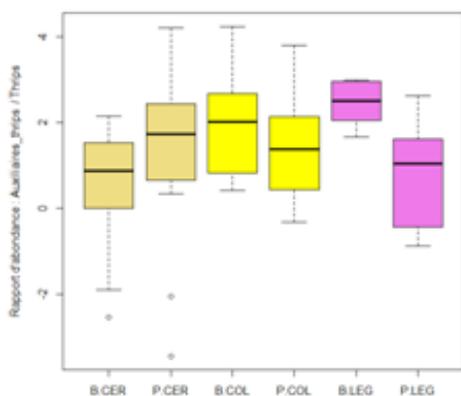


Figure 8 : Distribution du rapport d'abondance d'émergence totale des ennemis naturels du thrips sur l'abondance des thrips émergents en fonction du type de la culture et de la localisation. Il y a trois types de cultures différentes : le blé d'hiver (CER), le colza (COL) et la luzerne (LEG) et deux types de localisation : en plein champ (P) et en bordure de champ (B).

Concernant le rapport d'abondance d'émergence des ennemis naturels du charançon / charançon émergeant, le meilleur modèle retenu est celui avec interaction des deux variables ($F=5.46$, $df=5$, $p\text{-value}=0.0003$, $AIC=229.82$). Des comparaisons deux à deux ont permis de montrer que ce rapport est plus élevé en parcelle pour le blé d'hiver (test de Mann-Whitney: $W=41$, $p\text{-value}=0.0001$) donc il y a plus d'ennemis naturels du charançon dans le blé d'hiver. En revanche pour le colza et la luzerne aucune différence significative n'a été trouvée entre les moyennes de ce rapport placées en parcelle et en bordure de champs. (2 tests de Student colza : $t=0.26$, $df=16.37$, $p\text{-value}=0.80$; luzerne : $t=-1.03$, $df=8.53$, $p\text{-value}=0.33$) (Figure 9).

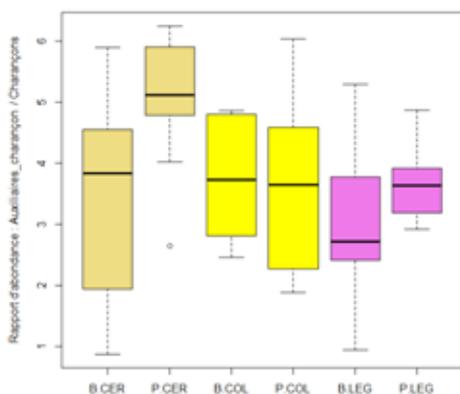


Figure 9 : Distribution du rapport d'abondance d'émergence totale des ennemis naturels du charançon sur l'abondance des charançons émergents en fonction du type de la culture et de la localisation. Il y a trois types de cultures différentes : le blé d'hiver (CER), le colza (COL) et la luzerne (LEG) et deux types de localisation : en plein champ (P) et en bordure de champ (B).

➤ Résultats des diversités beta et Effet du type de la culture sur les diversités beta

La totalité des Familles retrouvées dans les tentes à émergence prises de manière confondue a obtenu une diversité beta de 0,72 en moyenne. La diversité beta au niveau parcellaire de l'ensemble des auxiliaires de culture ainsi que de l'ensemble des ravageurs est de 0,79 en moyenne et pour l'ensemble des ennemis naturels de puceron, une diversité beta de 0,80. En ce qui concerne les espèces Carabiques, leurs diversités alpha diffèrent radicalement entre les parcelles et les bordures de champs car leur diversité beta est de 0,20 en moyenne. De plus, on observe aucune différence significative des moyennes de toutes les diversités beta calculées entre les trois cultures selon un test d'ANOVA de type 1 (total des familles d'insecte: $F=0.66$, $df=2$, $p\text{-value}=0.52$; auxiliaires de culture: $F=1.28$, $df=2$, $p\text{-value}=0.29$; auxiliaires du puceron: $F=0.29$, $df=2$, $p\text{-value}=0.75$; ravageurs: $F=2.06$, $df=2$, $p\text{-value}=0.14$; carabes : test de Kruskal-Wallis chi-squared=4.74, $df=2$, $p\text{-value}=0.09$).

- Etude du contrôle biologique : effet de l'abondance et de la diversité des auxiliaires de culture sur l'abondance printanière des pucerons.

L'abondance d'émergence initiale et totale des ennemis naturels de puceron traités tous ensemble ne diminuent pas significativement l'abondance initiale (première semaine d'émergence) et totale de puceron comptés en plein champ au printemps (Tableau 1). En revanche, en traitant les Familles des ennemis naturels de puceron séparément, on observe que les abondances initiales des Chalcidiens et les abondances totales des Staphylins diminuent significativement l'abondance initiale et totale de puceron au printemps (Tableau 1). De plus, on observe une tendance pour l'abondance des Braconides et des Cantharides à diminuer l'abondance des pucerons au printemps mais celle-ci n'est pas nettement significative (Tableau 1).

En ce qui concerne la diversité au niveau des Familles des ennemis naturels de puceron, seule la diversité de la première semaine d'émergence est associée à une diminution significative de l'abondance initiale de puceron au printemps (Tableau 2). On observe que la diversité totale (au niveau famille) des ennemis naturels de puceron diminue l'abondance totale de puceron au printemps mais cet effet n'est pas nettement significatif (Tableau 2). De plus, la diversité spécifique des Carabes initiale diminue significativement l'abondance initiale et totale de pucerons au printemps (Tableau 2).

Tableau 1

Résultats des GLMMs reliant d'une part l'abondance initiale de puceron de plein champ au printemps à l'abondance initiale et totale des auxiliaires de culture dans les tentes à émergence, des Chalcidiens, Staphylins, Braconides et Cantharides et d'autre part l'abondance totale de puceron de plein champ au printemps à l'abondance initiale et totale des auxiliaires de culture dans les tentes à émergence, des Chalcidiens, Staphylins, Braconides et Cantharides. Pour chaque variable explicative, la valeur du coefficient avec son intervalle de crédibilité à 95% (IC) et leur niveau de significativité (p) sont donnés.

Variable réponse	Abondance initiale de puceron au printemps		Abondance totale de puceron au printemps	
	Coefficient-value et IC	p	Coefficient-value et IC	p
Intercept	2.53 avec [0.82 ; 4.19]		4.36 avec [2.78 ; 5.96]	
Abondance d'émergence initiale des ennemis naturels de puceron	-0.001 avec [-0.003 ; 0.002]	ns	0.00 avec [-0.01 ; 0.01]	ns
Abondance d'émergence totale des ennemis naturels de puceron	0.001 avec [-0.01 ; 0.01]	ns	-0.001 avec [-0.003 ; 0.001]	ns
Intercept	3.14 avec [1.62 ; 4.78]		5.41 avec [4.06 ; 6.64]	
Abondance d'émergence initiale des Chalcidiens	-0.13 avec [-0.27 ; -0.01]	**	-0.14 avec [-0.25 ; -0.03]	**
Abondance d'émergence totale des Chalcidiens	0.00 avec [-0.02 ; 0.01]	ns	-0.002 avec [-0.01 ; 0.01]	ns
Intercept	3.59 avec [2.02 ; 5.18]		4.98 avec [3.58 ; 6.38]	
Abondance d'émergence initiale des Staphylins	-0.03 avec [-0.07 ; 0]	.	-0.04 avec [-0.07 ; -0.02]	**
Abondance d'émergence totale des Staphylins	-0.01 avec [-0.02 ; -0.004]	**	-0.01 avec [-0.02 ; -0.004]	**
Intercept	3.04 avec [2.04 ; 4.09]		4.71 avec [3.78 ; 5.67]	
Abondance d'émergence initiale des Braconides	-0.14 avec [-0.55 ; 0.25]	ns	-0.31 avec [-0.65 ; 0.01]	.
Abondance d'émergence totale des Braconides	-0.12 avec [-0.27 ; 0.01]	.	-0.01 avec [-0.11 ; 0.96]	ns
Intercept	2.12 avec [1.15 ; 3.04]		4.07 avec [3.27 ; 4.84]	
Abondance d'émergence initiale des Cantharides	-0.26 avec [-1.17 ; 0.60]	ns	-0.72 avec [-1.53 ; 0.09]	.
Abondance d'émergence totale des Cantharides	0.08 avec [-0.34 ; 0.50]	ns	-0.27 avec [-0.10 ; 0.67]	ns

ns : non significatif . p < 0.1 ** p < 0.01

Tableau 2

Résultats des GLMMs reliant d'une part l'abondance initiale de puceron de plein champ au printemps à la diversité (au niveau de la famille) initiale et totale des auxiliaires de culture ainsi qu'à la diversité (niveau de l'espèce) des Carabes dans les tentes à émergence et d'autre part l'abondance totale de puceron de plein champ au printemps à la diversité (au niveau de la famille) initiale et totale des auxiliaires de culture ainsi qu'à la diversité (niveau de l'espèce) des Carabes dans les tentes à émergence. Pour chaque variable explicative, la valeur du coefficient avec son intervalle de crédibilité à 95% (IC) et leur niveau de significativité (p) sont donnés.

Variable réponse	Abondance initiale de puceron au printemps		Abondance totale de puceron au printemps	
	Coefficient-value et IC	p	Coefficient-value et IC	p
Intercept	1.92 avec [-3.49 ; 7.66]		2.55 avec [-2.39 ; 7.58]	
Diversité d'émergence initiale des ennemis naturels de puceron	-3.00 avec [-5.65 ; -0.45]	**	2.62 avec [-0.74 ; 5.96]	ns
Diversité d'émergence totale des ennemis naturels de puceron	2.52 avec [-1.02 ; 6.09]	ns	-1.97 avec [-4.25 ; 0.29]	.
Intercept	1.49 avec [-0.04 ; 2.92]		3.41 avec [2.23 ; 4.59]	
Diversité d'émergence initiale des Carabes	-2.98 avec [-6.07 ; -0.58]	**	-3.10 avec [-5.20 ; -1.25]	**
Diversité d'émergence totale des Carabes	-0.56 avec [-1.35 ; 0.25]	ns	-0.68 avec [-1.34 ; -0.02]	**

ns : non significatif . p < 0.1 ** p < 0.01

➤ Influence du paysage sur l'hivernation des auxiliaires dans les parcelles et le contrôle biologique.

a) Etude de l'influence du paysage sur l'abondance des Familles d'auxiliaires majeures pour le contrôle biologique du puceron.

Aucune abondance au sein des tentes à émergence des Familles majeures d'auxiliaires de culture pour le contrôle biologique de puceron à savoir les Chalcidiens, les Staphylins, les Braconides et les Staphylins n'est influencée par les variables locales du paysage (distance en mètres la plus proche du bois, prairie, haie et bordure des champs, [Annexe 3](#)). En revanche, l'abondance des Chalcidiens est influencée positivement par la proportion de colza dans l'environnement proche de 50 mètres autour du piège (DIC=435.7 ; coefficient-value=3,42 avec IC=[0,83 ; 6,04]). L'abondance des Cantharides est influencée positivement par les proportions en bâtiment, bois, colza et prairie dans la zone tampon de 100 mètres (DIC=112.3 ; bâtiment : coefficient-value=20,97 avec IC=[1,80 ; 48,76] ; bois : coefficient-value=24,96 avec IC=[3,99 ; 59,16] ; colza : coefficient-value=14,92 avec IC=[0,08 ; 42,22] et prairie : coefficient-value=17,74 avec IC=[0,96 ; 46,91]). L'abondance des Staphylins est influencée positivement par les proportions en bois et maïs dans la zone tampon de 500 mètres (DIC=1045.2 ; bois : coefficient-value=6,47 avec IC=[2,03 ; 11,16] ; maïs : coefficient-value=12,78 avec IC=[2,70 ; 22,83]). L'abondance des Braconides est influencée positivement par les proportions en tournesol dans la zone tampon de 500 mètres (DIC=190.5 ; coefficient-value=10,88 avec IC=[1,14 ; 21,47]).

b) Etude de l'influence du paysage sur la diversité des ennemis naturels de puceron et celle des espèces Carabiques dans les tentes à émergence.

L'étude du paysage sur la diversité au niveau de la Famille pour les ennemis naturels de puceron a permis de constater qu'aucune des « variables locales » ou des « variables à large échelle » n'ont une influence sur celle-ci ([Annexe 4](#)). En ce qui concerne la diversité spécifique des Carabes, la distance de la prairie la plus proche influence significativement et

positivement la diversité des Carabes dans les pièges (coefficient-value=0.01 avec IC=[0.002 ; 0.02]). De plus, la diversité des Carabes est influencée négativement par les proportions en légumineuse dans la zone tampon de 50 mètres (DIC = 2144 ; coefficient-value=-1.587 avec IC=[-3.19 ; -0.07]).

Tableau 3

Récapitulatif des résultats significatifs de l'influence du paysage sur l'hivernation des auxiliaires de culture à travers leur abondance et diversité et le contrôle biologique à travers les rapports d'abondances des ennemis naturels de puceron hivernants/comptage de puceron en plein champ. L'influence du paysage est testée selon des « variables locales » correspondant à la distance en mètres la plus proche des habitats semi-naturels et des « variables à large échelle » correspondant à la proportion de bâtiment, d'habitats semi-naturels et de différents types de culture. Ces variables sont mesurées autour de l'emplacement des tentes à émergence placées en plein champ. Le signe + correspondant à une influence positive et le signe - à une influence négative.

Variable réponse	Variable explicative	« Variable à large échelle »						
	« Variable locale »	Bâtiment	Bois	Prairie	Colza	Maïs	Tournesol	Légumineuse
Abondance totale								
Chalcidiens					+			
Staphylins			+			+		
Braconides							+	
Cantharides		+	+	+				
Diversité								
Espèces Carabiques	+							-
Rapport d'abondances des ennemis naturels de puceron hivernants/ comptage puceron en plein champ								
Ennemis naturels de puceron hivernants/puceron en plein champ						+		
Chalcidiens hivernants/puceron en plein champ						+		
Staphylins hivernants/puceron en plein champ			+			+	+	
Braconides hivernants/puceron en plein champ						+	+	
Cantharides hivernants/puceron en plein champ						+	+	

c) Etude de l'influence du paysage sur les rapports d'abondance des ennemis naturels de puceron hivernants/ comptage de puceron en plein champ.

Concernant l'analyse des variables du paysage sur les rapports d'abondance des ennemis naturels de puceron hivernants/ puceron en plein champ, les LMMs reliant les « variables locales » du paysage à ces rapports n'ont montré aucun effet significatif des « variables locales » (Annexe 5). Pour les autres LMMs reliant les « variables à large échelle », le

meilleur modèle retenu à chaque fois est celui de la zone tampon de 500 mètres (ennemis naturel de puceron/puceron en plein champ: DIC=3714; chalcidien/puceron en plein champ: DIC=3835; staphylin/puceron en plein champ: DIC= 3967; braconide/puceron en plein champ: DIC=3950; cantharide/puceron en plein champ: DIC=4053). Tout d'abord, tous les rapports d'abondance sont influencés positivement par une proportion en maïs (ennemis naturel de puceron/puceron en plein champ: coefficient-value=35,65 avec IC=[8,63 ; 62,29]; chalcidien/puceron en plein champ: coefficient-value=31,87 avec IC=[5,31 ; 59,57]; staphylin/puceron en plein champ: coefficient-value=39,40 avec IC=[11,80 ; 66,81]; braconide/puceron en plein champ: coefficient-value=29,51 avec IC=[1,13 ; 59,26] et cantharide/puceron en plein champ: coefficient-value=29,15 avec IC=[0,86 ; 58,59]). De plus, le rapport staphylin/puceron en plein champ est influencé positivement par les proportions en bois et en tournesol (bois: coefficient-value=14,17 avec IC=[1,37 ; 26,78]; tournesol: coefficient-value=17,13 avec IC=[0,25 ; 33,64]) et les rapports braconide/puceron en plein champ et cantharide/puceron en plein champ sont influencés positivement par une proportion en tournesol (braconide: coefficient-value=20,46 avec IC=[3,28 ; 37,11]; cantharide: coefficient-value=17,54 avec IC=[0,31 ; 34,23]).

L'ensemble des résultats de l'influence du paysage sur l'hivernation des auxiliaires et le contrôle biologique sont résumés dans le [Tableau 3](#).

Discussion

La présente étude démontre clairement que les auxiliaires de culture utilisent largement les champs cultivés en plus des infrastructures agroécologiques pour hiverner à des stades pré-imaginaux. Suite aux résultats des rapports d'abondance d'émergence auxiliaires / ravageurs, il a été observé une équivalence voire une densité d'auxiliaires supérieure au sein des parcelles par rapport aux bordures des champs. Les champs cultivés, ici de manière conventionnelle, n'hébergent pas seulement des ravageurs phytophages mais également toute une communauté et guildes d'auxiliaires de culture avec des réseaux trophiques proie-prédateur comparable à des milieux dit stables tels que les bordures de champs ([Ernoul et al., 2013](#)).

Nous avons observé une abondance d'émergence supérieure pour les ennemis naturels de puceron dans les champs cultivés qu'en bordure de champs pour le blé d'hiver et le colza. Pour la diversité des ennemis naturels de puceron, il n'y a aucune différence observée selon le type de la culture et de la localisation. Une différence significative n'est retrouvée qu'au niveau spécifique pour les Carabes où on observe une augmentation de leur diversité en parcelle de colza. L'attractivité de ces cultures (blé d'hiver et colza) vis-à-vis des auxiliaires de culture hivernant est probablement liée à deux facteurs : d'une part, à la présence des colonies de pucerons dès l'automne qui est dépendante des conditions agronomiques (dates de semis) et environnementale (météorologie), et d'autre part à des conditions microclimatiques

favorables au sein de leur couverture végétale pour les auxiliaires de culture. En effet, la végétation du colza est plus développée en automne que celle de la luzerne par exemple, car il est semé plus tôt ; cette couverture végétale a été démontrée comme favorable aux Carabes et Staphylins (Frank et Reichhart, 2004).

Nous avons montré que les champs cultivés et les bordures de champs accueillent des diversités d'auxiliaires (au niveau de la Famille) tout à fait comparables (autour de 0,8), et ce, malgré les pratiques conventionnelles des parcelles étudiées. Ces résultats sont encourageants quant au potentiel d'accueil des parcelles cultivées pour l'hivernation des auxiliaires, par l'adoption de pratiques agricoles plus favorables. Toutefois, les espèces Carabiques témoignent d'une forte sélection des parcelles cultivées sur les hivernants, puisque seulement 20% des espèces sont communes aux captures faites dans les parcelles et leurs bordures. Les pratiques agricoles intensives sont défavorables pour la biodiversité (Meeus, 1993 ; Tscharncke *et al.*, 2005).

Nos résultats montrent une influence à la fois du type de la culture et de la parcelle sur l'abondance et la diversité des auxiliaires. Les pratiques agricoles ont une influence directe sur la biodiversité (Holzschuh *et al.*, 2007) et notamment sur des espèces hivernant directement dans le sol (Sarhou *et al.*, 2005 ; Bókina, 2012). Par exemple, les communautés de Coccinelles et de Carabes sont influencées par la fréquence du travail du sol (Puech *et al.*, 2014). Ainsi, l'utilisation de pratiques agricoles appropriées est essentielle au maintien et à la restauration de cette communauté existante au sein même des cultures afin d'optimiser le contrôle biologique (Power, 2010).

L'étude de l'influence du paysage sur les rapports d'abondance des ennemis naturels de puceron hivernants / comptage de puceron en plein champ montre une plus grande influence de la proportion en cultures autour des parcelles que de la proportion en structures agroécologiques. De ce fait, comme suggéré par deux études théoriques (Power, 2010 ; Fahrig *et al.*, 2011), la régulation des ravageurs de culture semble pouvoir être favorisée sans nécessairement exiger l'ajout d'infrastructure agroécologique dans le paysage agricole. En effet, la présence des deux habitats dans le paysage agricole (champs cultivés et habitats semi-naturels) n'est pas indispensable à la présence d'un prédateur qui trouverait tout ce dont il a besoin dans un seul habitat favorable tel que les cultures (Holzschuh *et al.*, 2013 ; Riedinger *et al.*, 2014). Les hyménoptères parasitoïdes de pucerons ravageurs sont ainsi spécialisés à la matrice agricole et leurs réseaux d'interactions s'avèrent peu connectés à ceux des parasitoïdes de pucerons non ravageurs exploitant les habitats semi-naturels (Deroclès *et al.*, 2014). Cependant, la présence à la fois des champs cultivés et des infrastructures agroécologiques dans le paysage agricole entraîne un développement supérieur des populations (Holzschuh *et al.*, 2013 ; Riedinger *et al.*, 2014). En effet, nous avons montré une importance équivalente des champs cultivés et des habitats semi-naturels vis-à-vis de l'abondance et de la diversité des auxiliaires de culture. Les paysages complexes et hétérogènes à travers l'ajout d'infrastructures agroécologiques, favorisent globalement la

biodiversité source de nombreux services écosystémiques autres que la régulation des ravageurs. Nos résultats ouvrent des voies de gestion complémentaires du paysage à celles classiquement basées sur les infrastructures agroécologiques, portant particulièrement sur la matrice cultivée et ses caractéristiques spatio-temporelles ; de futures études sur la taille des parcelles et la diversité des assolements devraient apporter de nouveaux éclairages concrets sur la gestion agroécologique des paysages (exemple de projet européen Farmland basé sur [Fahrig et al., 2011](#))

Enfin, l'évaluation des conséquences fonctionnelles en termes de contrôle biologique de l'hivernation des auxiliaires en parcelles présente des résultats contrastés. Tout d'abord, nos résultats montrent que l'abondance des émergences de l'ensemble des ennemis naturels de puceron n'a aucun effet significatif sur l'abondance printanière du puceron. Pourtant, il a été clairement montré dans de nombreuses études l'impact de l'abondance des auxiliaires de culture sur l'abondance des pucerons au printemps ([Alignier et al., 2014](#) ; [Tenhumberg et Poehling, 1995](#) ; [Elliott et al., 2002](#) ; [Chandler, 1968](#)). Ces résultats soulignent l'importance de prendre en considération dans cette thématique les relations interspécifiques des différents auxiliaires de culture et donc de mieux comprendre les cycles biologiques des auxiliaires car ils sont complexes et déterminant de leurs effets. Notamment, la non-complémentarité des auxiliaires de culture à travers leur compétition apparente vis-à-vis des proies peut diminuer leurs effets dans la régulation des ravageurs. Ainsi, une diversité des ravageurs pourrait être considérée comme bénéfique, lorsque la concurrence interspécifique à travers les ennemis naturels se produit ([Langer et Hance, 2004](#)). D'autre part, la diversité des ravageurs peut améliorer la diversité de la communauté des ennemis naturels ([Dyer et Letourneau, 2003](#) ; [Pearson et Dyer, 2006](#)), et augmenter les effets synergiques entre les auxiliaires de culture ([Cardinale et al., 2003](#) ; [Schmidt et al., 2003](#) ; [Snyder et Ives, 2003](#)).

Ensuite, nos résultats ont permis de pointer des familles d'auxiliaires hivernants particulièrement associées à la dynamique des populations de pucerons au printemps. L'abondance initiale des Chalcidiens émergents en début de printemps et l'abondance totale des Staphylins sur tout le printemps sont corrélées négativement avec les abondances initiale et totale du puceron au printemps. Une tendance similaire est retrouvée pour les Braconides et les Cantharides. De plus, la diversité des Carabes hivernants diminue significativement l'abondance des pucerons au printemps. Tout ceci permet de montrer l'importance des auxiliaires de culture hivernant dans les cultures et qui participent significativement à la fois à une lutte biologique automnale et printanière. En effet, ces résultats suggèrent qu'il y a un contrôle biologique des jeunes sur les colonies de pucerons dans les cultures d'hiver en automne et une prédation des pucerons au printemps par les émergents. D'autre part, la lutte biologique par des prédateurs au printemps est connue pour être plus efficace quand elle se produit tôt juste après la colonisation des ravageurs dans les champs ([Altieri et Nicholls, 2004](#)), ce qui est notre cas ici. En effet, nous avons montré que la diversité initiale des

ennemis naturels de puceron a une influence majeure sur les populations de pucerons au printemps. Ainsi, la lutte biologique automnale peut non seulement réduire les populations de pucerons initiales dans les cultures au printemps, mais peut également influencer la dynamique des populations de pucerons pendant toute la saison du printemps (Kendall *et al.*, 1991). Enfin, la prise en compte dans le système d'une lutte biologique en automne peut amener à réduire l'impact des virus que transmettent les pucerons aux plantes en automne (Büchs, 2007 ; Kendall *et al.*, 1991) et qui sont la cause des pertes économiques.

Conclusion & Perspectives

Les champs cultivés ont une grande importance vis-à-vis du contrôle biologique à travers leur potentiel d'accueil à l'hivernation des auxiliaires de culture. L'impact fort de la communauté des auxiliaires de culture hivernant au sein même des cultures est sans équivoque sur les ravageurs de culture au printemps suivant. Ainsi, la prise en considération des deux luttes biologiques (automnale et printanière) peut contribuer à rendre la production agricole plus durable et en accord avec les processus naturels.

Suite à ces résultats plutôt encourageants quant à l'utilisation d'une approche agroécologique en lutte biologique par conservation, il est nécessaire d'en comprendre les processus écologiques sous-jacents qui permettront ainsi de mieux répondre aux exigences environnementales actuelles de la production agricole française. Cette étude a mis en avant le rôle de deux groupes d'auxiliaires majeurs pour le contrôle biologique à savoir les hyménoptères parasitoïdes et les coléoptères carabiques. Associé aux résultats de Raymond *et al.* (2014) sur les syrphes prédateurs, une recherche plus approfondie de leur activité de régulation envers le puceron est envisagée afin de tester si la diversité des auxiliaires de culture a un bénéfice additif voire synergique sur le contrôle des ravageurs ou au contraire est une source de compétition ou d'exclusion de certains taxons d'auxiliaires de culture. Ces recherches devront considérer une approche paysagère sur la base d'un comparatif intersites et pluriannuelle dans le but d'optimiser le potentiel suppressif des paysages vis-à-vis des ravageurs.

Bibliographie

- Alignier, A., Raymond, L., Deconchat, M., Menozzi, P., Monteil, C., Sarthou, JP., Vialatte A. et Ouin, A., 2014.** The effect of semi-natural habitats on aphids and their natural enemies across spatial and temporal scales. *Biological Control*.
- Altieri, M.A., 1999.** The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Altieri, M.A., 1994.** Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. *Haworth Press*.
- Altieri, M.A. et Nicholls, C.I., 2004.** Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. *Food Products Press, New York*.

Arrignon, F., Deconchat, M., Sarthou, J.P., Balent, G. et Monteil, C., 2007. Modelling the overwintering strategy of a beneficial insect in a heterogeneous landscape using a multi-agent system. *Ecological modelling*.

Bale, J.S., 1993. Classes of insect cold hardiness. *Functional Ecology*.

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*.

Bokina, I.G., 2012. Hoverflies (Diptera, Syrphidae) in agrocenoses of the forest-steppe of Western Siberia and the influence of agrotechnological practice on their abundance. *Entomological Review*.

Büchs, W., 2007. Predators as biocontrol agents of oilseed rape pests. In: *Biocontrol of Oilseed Rape Pests. Blackwell Science Ltd*.

Cardinale, B.J., Harvey, C.T., Gross, K. et Ives, A.R., 2003. Biodiversity and biocontrol: emergent impacts of a multi-enemy assemblage on pest suppression and crop yield in an agroecosystem. *Ecology Letters*.

Chandler, A.E.F., 1968. Some factors influencing the occurrence and site of oviposition by aphidophagous Syrphidae (Diptera). *Annals of Applied Biology*.

Chaplin-Kramer, R., Rourke, M.E.O., Blitzer, E.J. et Kremen, C., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecology Letters*.

Clark, J.S., 2005. Why environmental scientists are becoming Bayesians. *Ecology Letters*.

Dedryver, C.A., Le Ralec, A. et Fabre, F., 2010. The conflicting relationships between aphids and men: a review of aphid damage and control strategies. *Comptes Rendus Biologies*.

Derocles, S.A.P., Le Ralec, A., Besson, M.M., Maret, M., Walton, A., Evans, D.M. et Plantegenest, M., 2014. Molecular analysis reveals high compartmentalization in aphid–primary parasitoid networks and low parasitoid sharing between crop and noncrop habitats. *Molecular Ecology*.

Dufлот, R., Georges, R., Ernoult, A., Aviron, S. et Burel, F., 2014. Landscape heterogeneity as an ecological filter of species traits. *Acta Oecologica*.

Dusek, J. et Laska, P., 1974. Overwintering and spring emergence of some common species of aphidophagous syrphids (Syrphidae, Diptera). *Folia Facultatis Scientiarum Naturalium Universalis Purkynianae Brunensis, Biológia*.

Dyer, L.A. et Letourneau, D., 2003. Top-down and bottom-up diversity cascades in detrital vs. living food webs. *Ecology Letters*.

Eitzinger, B. et Traugott, M., 2011. Which prey sustains cold-adapted invertebrate generalist predators in arable land? Examining prey choices by molecular gut-content analysis. *Journal of Applied Ecology*.

Elliott, N.C., Kieckhefer, R.W. et Beck, D.A., 2002. Effect of aphids and the surrounding landscape on the abundance of Coccinellidae in cornfields. *Biological Control*.

Ernoult, A., Vialatte, A., Butet, A., Michel, N., Rantier, Y., Jambon, O. et Burel, F., 2013. Grassy strips in their landscape context, their role as new habitat for biodiversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.

Fadl, A., Purvis, G. et Towey, K., 1996. The effect of time of soil cultivation on the incidence of *Pterostichus melanarius* (Illig.) (Coleoptera: Carabidae) in arable land in Ireland. *Annales Zoologici Fennici*.

Fahrig, L., Baudry, J., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M. et Martin, J-L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*.

Frank, T. et Reichhart, B., 2004. Staphylinidae and Carabidae overwintering in wheat and sown wildflower areas of different age. *Bulletin of Entomological Research*.

Gurr, G.M., Wratten, S.D. et Altieri, M.A., 2004. Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for Arthropods. *CSIRO Publishing*.

Hill, D.S., 1987. Agricultural insect pests of temperate regions and their control Cambridge. *University Press*.

Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, C. et Tscharntke, T., 2007. Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *Journal of Applied Ecology*.

Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I. et Tscharntke, T., 2010. How do landscape composition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? *Journal of Animal Ecology*.

Holzschuh, A., Dormann, C.F., Tscharntke, T. et Steffan-Dewenter, I., 2013. Mass-flowering crops enhance wild bee abundance. *Oecologia*.

Kendall, D.A., Chinn, N.E., Smith, B.D., Tidboald, C., Winstone, L. et Western, N.M., 1991. Effects of straw disposal and tillage on spread of barley yellow dwarf virus in winter barley. *Annals of Applied Biology*.

Kremen, C., Williams, N.M., Aizen, M.A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S.G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vazquez, D.P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E.E., Greenleaf, S.S., Keitt, T.H., Klein, A.M., Regetz, J. et Ricketts, T.H., 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*.

- Landis, D.A., Wratten, S.D. et Gurr, G.M., 2000.** Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology*.
- Langer, A. et Hance, T., 2004.** Enhancing parasitism of wheat aphids through apparent competition: a tool for biological control. *Agriculture Ecosystems and Environment*.
- Meeus, J.H.A., 1993.** The transformation of agricultural landscapes in western-Europe. *Sciences Of the Total Environment*.
- Noordhuis, R., Thomas, S.R. et Goulson, D., 2001.** Overwintering populations of beetle larvae (Coleoptera) in cereal fields and their contribution to adult populations in the spring. *Pedobiologia*.
- Pearson, C.V. et Dyer, L.A., 2006.** Trophic diversity in two grassland ecosystems. *Journal of Insect Science*.
- Power, A.G., 2010.** Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Puech, C., Baudry, J., Joannon, A., Poggi, S. et Aviron, S., 2014.** Organic vs. conventional farming dichotomy: Does it make sense for natural enemies? *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Rader, R., Edwards, W., Westcott, D.A., Cunningham, S.A. et Howlett, B.G., 2011.** Pollen transport differs among bees and flies in a human-modified landscape. *Diversity and Distributions*.
- Raymond, L., Sarthou, J.P., Plantegenest, M., Gauffre, B., Ladet, S. et Vialatte A., 2014.** Immature hoverflies overwinter in cultivated fields and may significantly control aphid populations in autumn. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Riedinger, V., Renner, M., Rundolf, M., Steffan-Dewenter, I. et Holzschuh, A., 2014.** Early mass-flowering crops mitigate pollinator dilution in late-flowering crops. *Landscape ecology*.
- Sarthou, J-P., Ouin, A., Arrignon, F., Barreau, G. et Bouyjou, B., 2005.** Landscape parameters explain the distribution and abundance of *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae). *European Journal of Entomology*.
- Schmidt, M.H., Lauer, A., Purtauf, T., Thies, C., Schaefer, M. et Tschardtke, T., 2003.** Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*.
- Snyder, W.E. et Ives, A.R., 2003.** Interactions between specialist and generalist natural enemies: parasitoids, predators, and pea aphid biocontrol. *Ecology*.
- Sotherton, N.W., 1984.** The distribution and abundance of predatory arthropods overwintering on farmland. *Annals of Applied Biology*.
- Tenhuberg, B. et Poehling, H-M., 1995.** Syrphids as natural enemies of cereal aphids in Germany: aspects of their biology and efficacy in different years and regions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Tschardtke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I. et Thies, C., 2005.** Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity, ecosystem service management. *Ecology Letters*.
- Tschardtke, T., Sekercioglu, CH., Dietsch, TV., Sodhi, NS., Hoehn P. et Tylianakis, JM., 2007.** Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. *Ecology*.
- Vollhardt, I.M.G., Bianchi, F.J.J.A., Wäckers, F.L., Thies, C. et Tschardtke, T., 2010.** Spatial distribution of flower vs. honeydew resources in cereal fields may affect aphid parasitism. *Biological Control*.

Annexes

Annexe 1 :

Ouvrages qui ont permis de déterminer les familles d'auxiliaires de culture :

- Erick CAMPAN, Laurent PELOZUELO et Sergine PONSARD, 2012. Entomologie L3 BOPE, Université Paul Sabatier.
- Aude VIALATTE. Protection des cultures, Entomologie appliqué.
- Emily BOYS, 2014. Encyclopaedia of pests and natural enemies in field crops. Agriculture and Horticulture Development Board.
- Guide pour une agriculture durable, innovante et sans OGM. Fiche Rés'OGM info, Mai 2008 (<http://www.resogm.org/IMG/pdf/auxiliairesCultures.pdf>).

- Aude COULOMBEL (ITAB), ALTER AGRI n°103, Octobre 2010, Dossier Auxiliaires (http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/aa103_p12-21_cle0f8eaf.pdf).
- Principaux auxiliaires des pucerons, document réalisé par la DRAAF/SRAL/Protection des végétaux Nord Pas-de-Calais (http://draaf.picardie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Principaux_auxiliaires_des_pucerons_cle043379.pdf).
- Serge KREITER, Septembre 2008, SupAgroMontpellier, Les Arthropodes auxiliaires des cultures (<http://www.agro-montpellier.fr/sppe/fichiers/Auxiliaires%20PPE%20SK.pdf>).

Annexe 2 :

Résultats des GLMs reliant l'abondance totale des Chalcidiens, Staphylins, Braconides et Cantharides dans les tentes à émergence aux variables type de culture × localisation (en parcelle et en bordure de champ). Pour tous les GLMs le degré de liberté est égal à 5. Pour chaque variable explicative, la valeur de déviance, le pourcentage de déviance expliquée par le modèle et leur niveau de significativité (p) sont donnés.

Variable réponse	Abondance totale des Chalcidiens _ AIC = 1969		Abondance totale des Staphylins _ AIC = 3175		Abondance totale des Braconides _ AIC = 539		Abondance totale des Cantharides _ AIC = 512	
	Déviance et Déviance expliquée en %	p	Déviance et Déviance expliquée en %	p	Déviance et Déviance expliquée en %	p	Déviance et Déviance expliquée en %	p
Localisation : Culture	768.61 et 33.2%	***	27773.9 et 50.5%	***	45.58 et 13.1%	***	69.12 et 16.2%	***

*** p < 0.001

Annexe 3 :

Résultats des GLMMs reliant l'abondance totale des Chalcidiens, Staphylins, Braconides et Cantharides dans les tentes à émergence aux variables locales du paysage (distance en mètres la plus proche des habitats semi-naturels). Pour chaque variable explicative, la valeur du coefficient avec son intervalle de crédibilité à 95% (IC) et leur niveau de significativité (p) sont donnés.

Variable réponse	Abondance totale des Chalcidiens DIC = 702		Abondance totale des Chalcidiens DIC = 702	
	Coefficient-valeur et IC	p	Coefficient-valeur et IC	p
Intercept	8.52 avec [-651 ; 683]	ns	1.67 avec [-676 ; 673]	ns
Distance au bois	0 avec [-0.002 ; 0.002]	ns	0 avec [-0.003 ; 0.002]	ns
Distance à la haie	0 avec [-0.007 ; 0.008]	ns	0 avec [-0.01 ; 0.01]	ns
Distance à la prairie	0.005 avec [0 ; 0.009]	ns	-0.002 avec [-0.01 ; 0.003]	ns
Distance à la bordure	0.001 avec [-0.01 ; 0.01]	ns	0.01 avec [-0.01 ; 0.03]	ns

Variable réponse	Abondance totale des Braconides DIC = 203		Abondance totale des Cantharides DIC = 123	
	Coefficient-valeur et IC	p	Coefficient-valeur et IC	p
Intercept	-4.5 avec [-660 ; 673]	ns	3.01 avec [-657 ; 676]	ns
Distance au bois	-0.001 avec [-0.01 ; 0.003]	ns	-0.01 avec [-0.01 ; 0.003]	ns
Distance à la haie	0.001 avec [-0.01 ; 0.01]	ns	0 avec [-0.02 ; 0.02]	ns
Distance à la prairie	-0.001 avec [-0.01 ; 0.01]	ns	-0.001 avec [-0.01 ; 0.01]	ns
Distance à la bordure	0.01 avec [-0.02 ; 0.03]	ns	0.01 avec [-0.05 ; 0.06]	ns

ns : non significatif

Annexe 4 :

Résultats des LMMs reliant la diversité totale au niveau de la Famille des ennemis naturels de puceron à d'une part aux variables locales du paysage (distance en mètres la plus proche des habitats semi-naturels) et d'autre part aux variables à large échelle (proportion de bâtiment, d'habitats semi-naturels et de différentes cultures dans une zone tampon de 500 mètres autour des tentes à émergences). Pour chaque variable explicative, la valeur du coefficient avec son intervalle de crédibilité à 95% (IC) et leur niveau de significativité (p) sont donnés.

Diversité totale des ennemis naturels de puceron _ DIC = 926			Diversité totale des ennemis naturels de puceron _ DIC = 740		
Variable réponse			Variable réponse		
Variable explicative	Coefficient-valeur et IC	p	Variable explicative	Coefficient-valeur et IC	p
Intercept	4.26 avec [-682 ; 633]	ns	Intercept	-2.39 avec [-673 ; 666]	ns
Distance au bois	0 avec [-0.001 ; 0.001]	ns	Bâtiment	-1.61 avec [-4.77 ; 1.64]	ns
Distance à la haie	0.001 avec [-0.001 ; 0.004]	ns	Bois	0.08 avec [-1.26 ; 1.40]	ns
Distance à la prairie	0 avec [-0.001 ; 0.002]	ns	Céréales	-0.59 avec [-2.02 ; 0.88]	ns
Distance à la bordure	-0.001 avec [-0.006 ; 0.005]	ns	Colza	-0.10 avec [-1.69 ; 1.49]	ns
			Légumineuse	-0.37 avec [-1.94 ; 1.22]	ns
			Maïs	-1.42 avec [-4.37 ; 1.58]	ns
			Prairie	-0.59 avec [-1.78 ; 0.61]	ns
			Tournesol	1.46 avec [-0.23 ; 3.26]	ns
			Haie	0 avec [0 ; 0]	ns

ns : non significatif

Annexe 5 :

Résultats des LMMs reliant les rapports d'abondance des ennemis naturels de puceron hivernants / comptage de puceron en plein champ aux variables locales du paysage (distance en mètres la plus proche des habitats semi-naturels). Pour chaque variable explicative, la valeur du coefficient avec son intervalle de crédibilité à 95% (IC) et leur niveau de significativité (p) sont donnés.

Variable réponse	Rapport d'abondance des ennemis naturels de puceron hivernants / puceron en plein champ DIC = 4266		Rapport d'abondance des Chalcidiens hivernants / puceron en plein champ DIC = 4196		Rapport d'abondance des Staphylins hivernants / puceron en plein champ DIC = 4505	
Variable explicative	Coefficient-valeur et IC	p	Coefficient-valeur et IC	p	Coefficient-valeur et IC	p
Intercept	2.28 avec [0.03 ; 4.63]	ns	-0.17 avec [-2.56 ; 2.14]	ns	1.04 avec [-1.45 ; 3.61]	ns
Distance au bois	0.002 avec [-0.004 ; 0.01]	ns	0.003 avec [-0.004 ; 0.01]	ns	0.002 avec [-0.01 ; 0.01]	ns
Distance à la haie	0.01 avec [-0.01 ; 0.04]	ns	0.01 avec [-0.01 ; 0.03]	ns	0.01 avec [-0.01 ; 0.04]	ns
Distance à la prairie	-0.01 avec [-0.02 ; 0.01]	ns	-0.003 avec [-0.02 ; 0.01]	ns	-0.01 avec [-0.03 ; 0.01]	ns
Distance à la bordure	-0.03 avec [-0.08 ; 0.02]	ns	-0.03 avec [-0.09 ; 0.02]	ns	-0.02 avec [-0.08 ; 0.04]	ns

Variable réponse	Rapport d'abondance des Braconides hivernants / puceron en plein champ DIC = 4192		Rapport d'abondance des Cantharides hivernants / puceron en plein champ DIC = 4054	
Variable explicative	Coefficient-valeur et IC	p	Coefficient-valeur et IC	p
Intercept	-2.35 avec [-4.92 ; 0.19]	ns	-2.97 avec [-5.26 ; -0.69]	ns
Distance au bois	0.002 avec [-0.01 ; 0.01]	ns	0.001 avec [-0.01 ; 0.01]	ns
Distance à la haie	0.01 avec [-0.01 ; 0.04]	ns	0.01 avec [-0.01 ; 0.04]	ns
Distance à la prairie	-0.008 avec [-0.023 ; 0.008]	ns	-0.01 avec [-0.02 ; 0.01]	ns
Distance à la bordure	-0.03 avec [-0.08 ; 0.03]	ns	-0.03 avec [-0.09 ; 0.02]	ns

ns : non significatif