



**HAL**  
open science

# Effet de l'implantation de mélanges fleuris et du système de culture sur la régulation biologique en grandes cultures : application à l'évaluation d'un potentiel de prédation

Amaury Guillet

## ► To cite this version:

Amaury Guillet. Effet de l'implantation de mélanges fleuris et du système de culture sur la régulation biologique en grandes cultures : application à l'évaluation d'un potentiel de prédation. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01651106

**HAL Id: dumas-01651106**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01651106>**

Submitted on 28 Nov 2017

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

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



### Mémoire de stage

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

Sur le thème

**Effet de l'implantation de mélanges fleuris et du système de culture sur la régulation biologique en grandes cultures : application à l'évaluation d'un potentiel de prédation**

Par

**Amaury GUILLET**

Ecole de rattachement : Agrocampus-Ouest

Stage réalisé à : l'UMR Agronomie INRA, Centre de Versailles- Grignon  
Av. Lucien Brétignières, BP 01  
78850 Thiverval-Grignon

Sous la Direction de :  
Antoine Gardarin

Soutenu le 27 septembre 2017 à Montpellier, devant le jury composé de :

Président :	Anne le Ralec
Membres	Frédéric Marion-Poll Marie-Stéphane Tixier Pierre Franck





## Résumé

Les arthropodes prédateurs font partie de la biodiversité fonctionnelle des cultures et permettent un contrôle biologique des ravageurs de grandes cultures et des adventices. Quantifier leur action de prédation au champ est complexe et l'utilisation de proies sentinelles pourrait y remédier. Ici, nous nous plaçons dans différents contextes créés par des bandes fleuries et des systèmes de culture contrastés (avec/sans travail du sol et avec/sans insecticide), et nous évaluons si cela se traduit par une variation de la prédation du puceron *Acyrtosiphon pisum* et de la graine de *Viola arvensis* dans les bandes fleuries et les cultures adjacentes de colza et de blé. Les araignées sont plus présentes dans la bande fleurie et les carabes prédateurs dans la culture. La prédation de pucerons et de graines varie peu selon les mélanges floraux et les systèmes de culture. Elle est plus forte en blé qu'en colza. La prédation de pucerons dans la végétation est moins importante qu'au sol. Enfin, la prédation de pucerons est plus élevée dans la bande fleurie, et celle de graines est plus forte à 5m de celle-ci. Une nouvelle proie est ensuite testée afin d'améliorer le réalisme des proies étudiées : la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus*. Le taux de prédation est évalué en exposant 50 larves par point d'observation, mais leur attractivité est telle que la prédation est presque toujours maximale et n'est pas sensible aux situations étudiées. Les taux de prédation des proies étudiées ne sont pas reliés à l'activité-densité des arthropodes prédateurs en blé, y compris en tenant compte des régimes alimentaires des espèces et de leur taille. Enfin, l'utilisation de caméras pour filmer la prédation est un bon complément à cette étude car elle permet d'observer les interactions prédateurs-proies, et de mettre en évidence des prédateurs insoupçonnés comme les mouches.

**Mots-clés :** Activité-densité ; *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) ; Carte de prédation ; Film ; Prédateur généraliste ; Proie sentinelle ; Régulation biologique ; Taux de prédation

**Abstract :** Effect of of flower strips implantation and of cultural system on biological regulation in field crops: application to the evaluation of a predation potential

Predatory arthropods are integral part of functional biodiversity in cropland, and enable biological control of field crop pests and weeds. Quantifying their predation action in field is complex and use of sentinel preys could solve the problem. We make use of different contexts created by contrasting flower strips and cultural systems (with/without tillage and with/without insecticide) and we estimate whether it reveals a variation of aphid *Acyrtosiphon pisum* predation and seed of *Viola arvensis* predation in flowers strips and adjacent rapeseed and wheat crops. Spiders are more present in flower strips and predatory carabids are more present in crop. Aphids and seeds predation varies little between the different strips and cultural systems. It is more important in wheat crop than in rapeseed crop. Aphid predation is lower in vegetation than on the ground. Finally aphid predation is higher in flower strip and seed predation is more important 5 m away from it. Then a new prey is tested in order to improve realism of studied preys : weevil *Callosobruchus maculatus*. Predation rate is estimated by exposing 50 larvae per observation point, but prey attractiveness is so high that predation is almost always maximal and is not affected by considered situations. Predation rates of the different preys are not related with activity-density of predatory arthropods in wheat crop, even with a consideration for individual diet and average size of species. Finally the use of cameras to film predation is a good complement to this study because it allows to observe predators-preys interactions and highlight unexpected predators such as flies.

**Keywords :** Activity-density ; Biological control ; *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) ; Film ; Generalist predator ; Predation cards ; Predation rate ; Sentinel prey

## AUTORISATION DE DIFFUSION DU MEMOIRE

### **1. Identification du rapport et de l'auteur**

Nom et Prénom de l'auteur: GUILLET Amaury

Titre du mémoire: Effet de l'implantation de mélanges fleuris et du système de culture sur la régulation biologique en grandes cultures : application à l'évaluation d'un potentiel de prédation

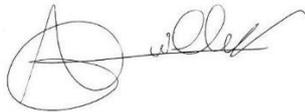
Ecole d'inscription: Agrocampus Ouest

### **2. Autorisation de diffusion par l'Auteur**

Par la présente, je déclare être titulaire du droit d'auteur pour le mémoire mentionné ci-dessus. J'autorise sans limitation de temps la Bibliothèque à diffuser ce mémoire dans un format électronique adapté et à effectuer toutes éventuelles modifications techniques nécessaires à une amélioration de la diffusion (modification du format) Si ce mémoire est confidentiel, la confidentialité sera respectée dans les mêmes conditions pour les exemplaires électroniques que pour les exemplaires papiers.

Signature de l'Auteur:

Date: Le 7 septembre 2017



### **3. Autorisation de diffusion par le Maître de stage**

J'autorise par la présente l'auteur à diffuser le mémoire mentionné ci-dessus:

Intranet	OUI	<del>NON</del>	Prêt	OUI	<del>NON</del>
Internet	OUI	<del>NON</del>	Prêt entre bibliothèques	OUI	<del>NON</del>
Après une période de confidentialité	<del>OUI</del>	NON	Résumé diffusable	OUI	<del>NON</del>
Consultation en bibliothèque	OUI	<del>NON</del>	Reproduction	OUI	<del>NON</del>

Signature du Maître de stage:

Date: Le 7 septembre 2017



### **4. Autorisation de diffusion par le Tuteur**

J'autorise par la présente l'auteur à diffuser le mémoire mentionné ci-dessus:

Intranet	OUI	<del>NON</del>	Prêt	OUI	<del>NON</del>
Internet	OUI	<del>NON</del>	Prêt entre bibliothèques	OUI	<del>NON</del>
Après une période de confidentialité	<del>OUI</del>	NON	Résumé diffusable	OUI	<del>NON</del>
Consultation en bibliothèque	OUI	<del>NON</del>	Reproduction	OUI	<del>NON</del>

Signature du tuteur enseignant:

Date: Le 11 septembre 2017



### **CONCLUSIONS:**

Confidentialité absolue: OUI

Durée exigée:

NON

## Sommaire

Introduction.....	11
I - La dégradation du milieu par la lutte chimique amène à considérer d'autres méthodes respectueuses de ce dernier .....	11
II - Les adventices et les insectes ravageurs sont les principales cibles de la lutte chimique en colza, tandis que les insectes ont un moindre impact sur blé tendre.....	11
III- La prédation, un exemple de contrôle biologique par conservation qui permet de réduire le nombre de ravageurs et d'adventices dans la culture .....	13
1) Le contrôle biologique par conservation est l'un des moyens de lutter contre les ravageurs des cultures en favorisant leurs ennemis naturels .....	13
2) Le nombre de ravageurs des cultures peut être diminué par l'action de prédateurs plutôt généralistes .....	13
3) Les populations d'adventices en champs peuvent également être régulées par des individus granivores comme les carabes et les criquets.....	15
4) Différentes méthodes existent afin de quantifier la prédation, mais beaucoup présentent des inconvénients.....	15
IV - L'utilisation de proies sentinelles permet d'évaluer un potentiel de prédation selon des protocoles divers .....	15
1) Manipuler de différentes façons des proies apportées au milieu afin d'observer leur disparition.....	15
2) L'utilisation de proies vivantes est plus pertinente que celle d'individus morts qui ne mesure pas la même chose ou de celle de proies factices qui est imprécise .....	17
3) Les proies sentinelles ont permis de prouver l'intérêt de la lutte biologique par conservation et le rôle de certains arthropodes dans la prédation .....	17
4) La nature des proies sentinelles est parfois trop différente de celle des ravageurs .....	19
5) Un juste milieu doit être établi entre trop de proies sur une carte longue à préparer, et trop peu sur une carte qui ne permettra pas d'évaluer un potentiel de prédation .....	19
V - Filmer les prédateurs à côté d'un piégeage permet d'étudier les comportements des arthropodes et de se rendre compte de l'identité des prédateurs .....	21
VI – Objectifs .....	21
Matériels et méthodes .....	23
I – Evaluation du taux de prédation de pucerons et de graines d'adventices dans deux grandes cultures bordées de mélanges fleuris et pour différents systèmes de cultures de colza .....	23
1) Sites d'étude.....	23
2) Différents mélanges fleuris sont intégrés au sein des parcelles .....	25
3) Proies sentinelles utilisées et préparation des cartes de prédation .....	25
4) Mesure du taux de prédation.....	25



5) Etude des facteurs influençant les taux de prédation de pucerons et de graines par analyses statistiques .....	27
II – Evaluation d’une nouvelle proie sentinelle dans le but d’améliorer le protocole d’évaluation du potentiel de prédation .....	27
1) Préparation de la proie sentinelle .....	27
2) Evaluation du nombre de proies à poser pour une bonne évaluation du potentiel de prédation .....	27
3) Sites d’étude .....	29
4) Mesure du taux de prédation .....	29
1) Etude des facteurs influençant les taux de prédation de bruches par analyses statistiques .....	29
III – Evaluation de l’impact de la faune épigée piégée sur la prédation .....	29
1) Méthode .....	29
2) Sites d’étude .....	29
3) Etude de la ségrégation des communautés d’arthropodes du blé en mai par analyses statistiques .....	31
4) Explication de la prédation par les arthropodes épigés piégés sur blé en mai par analyses statistiques .....	31
IV – Observations directes de la prédation de par l’utilisation de caméras .....	31
Résultats .....	33
I – Evaluation du taux de prédation de pucerons et graines d’adventices en grandes cultures bordés de mélanges fleuris et pour différents systèmes de cultures de colza .....	33
II – Evaluation du taux de prédation sur pucerons et graines d’adventices en grandes cultures bordés de mélanges fleuris .....	33
1) Evaluation du taux de prédation du puceron .....	33
1) Evaluation du taux de prédation de graines adventices .....	37
III - Etude des paramètres influençant le taux de prédation des bruches .....	37
1) Détermination du nombre de bruches à utiliser comme proies sentinelles .....	39
2) Effet du système de culture sur la prédation de bruches en mai et juin sur colza .....	39
IV – Liens entre les communautés d’arthropodes épigés piégés et la prédation évaluée sur blé en mai .....	39
1) Structuration des populations d’arthropodes sur blé .....	39
2) Influence des différentes communautés d’arthropodes du blé en mai sur la prédation évaluée .....	41
V – Composition des communautés épigées filmées et différences avec les activités-densités .....	43
1) Natures des individus filmés au sol et de leurs interactions avec les proies .....	43
2) Liens entre le nombre de carabes et opilions observés à l’aide de la caméra au sol et leurs activités-densités .....	45



Discussion .....	47
I – Effet des bandes fleuries sur la faune prédatrice : peu de variabilité du taux de prédation est observée entre les différents mélanges .....	47
II – L’utilisation des pucerons et des graines comme proies sentinelles permet d’observer différentes variations du potentiel de prédation.....	47
1) Prédation de puceron.....	47
2) Prédation de graines .....	51
II – La bruche du niébé ne semble pas être une proie efficace dans l’évaluation d’un taux de prédation suivant le protocole établi, mais peut l’être en adaptant ce dernier.....	51
1) 50 larves sont utilisées afin d’évaluer leur taux de prédation dans cette étude.....	51
2) Les taux de prédation observés sont presque tous maximaux.....	53
III – Quels éléments supplémentaires peuvent nous apporter l’utilisation de caméras sur la nature de la faune prédatrice ou ses interactions avec les proies par rapport à ce qui est attendu ? .....	53
1) La faune épigée est très diversifiée, et composée de groupes prédateurs de pucerons et de bruches attendus et d’autres non attendus.....	53
2) Les prédateurs de graines ne semblent pas s’intéresser à la proie sentinelle que représente <i>Viola arvensis</i> .....	57
3) L’activité-densité de la communauté de prédateurs de la végétation est moins importante que celle du sol.....	57
Conclusion .....	59
Remerciements .....	61
Bibliographie.....	61
Sitographie .....	69



## Introduction

### I - La dégradation du milieu par la lutte chimique amène à considérer d'autres méthodes respectueuses de ce dernier

La fragmentation du paysage qui accompagne l'agriculture moderne provoque une perte conséquente d'habitat (Bianchi *et al.* 2006) et l'intensification des pratiques agricoles entraîne une perte de biodiversité (Roumegous 2012). En effet, les populations d'insectes diminuent dans les paysages agricoles européens ; ainsi on note une diminution du nombre de bourdons, d'abeilles, de papillons ou encore de coléoptères (Kruess & Tscharntke 1994). L'utilisation massive de produits phytosanitaires est à l'origine de problèmes environnementaux comme la pollution de l'eau, ou bien des problèmes de santé humaine (Pimentel *et al.* 1993 in Haaland *et al.* 2011) et de résistance des bioagresseurs (Gullino *et al.* 2000 in Haaland *et al.* 2011). Face à ces problématiques majeures, il naît une volonté de trouver des solutions alternatives plus respectueuses de l'environnement, mais qui restent économiquement viables pour l'agriculteur (Estevez *et al.* 2000). La restauration des fonctions écosystémiques en est un exemple (Pontin *et al.* 2006 & Al Hassan 2012). Il s'agit d'une valorisation des services fournis par la biodiversité, telles que la pollinisation et la régulation des phytophages (Cassman *et al.* 2005 in Balzan *et al.* 2014). Le but est d'éviter un contrôle humain via la chimie. Il a par exemple été prouvé qu'une abondance en prédateurs arthropodes dans une parcelle est à même de réduire la population de ravageurs, la baisse de rendement et les besoins en insecticides (Landis *et al.* 2000).

### II - Les adventices et les insectes ravageurs sont les principales cibles de la lutte chimique en colza, tandis que les insectes ont un moindre impact sur blé tendre

En France, deux des grandes cultures les plus développées sont le blé tendre et le colza. La culture de blé tendre d'hiver représentait en 2011 un cinquième des superficies de grandes cultures et prairies (AGRESTE (a)). En 2015, on est à 5176 milliers d'ha (AGRESTE (b)). 98 % des surfaces française reçoivent au moins un herbicide en 2014, avec un IFT de 1,6 pour un IFT total de 4 (AGRESTE (c)). L'usage d'insecticides est moindre. En effet, en 2011, 64 % des surfaces françaises ne recevaient aucun traitement insecticide, le reste n'en recevant qu'un ou plus (AGRESTE (a)), avec un IFT en 2014 de 0,1 (AGRESTE (c)). Les principaux ravageurs du blé tendre sont les trois pucerons *Sitobion avenae* (Fabricius) (puceron de l'épi), *Rhopalosiphum padi* (L.) (puceron vecteur de la jaunisse nanisante de l'orge) et *Metopolophium dirhodum* (Walker) (puceron des céréales et du rosier) (Dedryver & Tanguy 1984), les criocères *Oulema melanopus* (L.) et *Oulema gallaeciana* (L.F.J.D. Heyden), la cécidomyie orange (*Sitodiplosis mosellana* (Gehin)) et la cicadelle vectrice de la maladie des pieds chétifs (*Psammotettix alienus* (Dahlbom)) (Arvalis).

En France, le colza représentait en 2015 1481 milliers d'ha (AGRESTE (b)). Il reçoit plus d'insecticides que de fongicides et herbicides. En effet, l'IFT moyen en insecticides en 2014 est de 2 et celui en herbicides de 1,8, pour un IFT total de 5,6. 94 % des surfaces françaises en 2014 ont reçu au moins un traitement insecticide et 99 % un traitement herbicide (AGRESTE (c)). Les principaux insectes ravageurs sont les charançons *Ceutorhynchus assimilis* (Paykull) (des siliques de colza), *Ceutorhynchus pallidactylus* (Marsham) (de la tige du chou), et *Ceutorhynchus napi* Gyllenhal (de la tige du colza), *Psylliodes chrysocephala* (L.) (grosse altise du colza), et *Meligethes spp.* (mélighètes), tous de la famille des coléoptères, mais on trouve aussi les pucerons *Brevicoryne brassicae* (Linnaeus) (puceron cendré du chou) et *Myzus persicae* (Sulzer) (puceron vert du pêcher) (Alford 2003).

Ces deux grandes cultures restent donc encore aujourd'hui très dépendantes de la lutte chimique, et plus particulièrement des herbicides. Or aucun progrès n'a été fait en 10 ans sur une



réduction de l'utilisation de cette lutte (Ecophyto). Peut-on s'affranchir de la chimie dans la lutte contre les ravageurs des cultures à l'aide de moyens plus écologiques ?

### III- La prédation, un exemple de contrôle biologique par conservation qui permet de réduire le nombre de ravageurs et d'adventices dans la culture

#### 1) Le contrôle biologique par conservation est l'un des moyens de lutter contre les ravageurs des cultures en favorisant leurs ennemis naturels

Diverses méthodes existent pour favoriser la biodiversité au sein d'une parcelle. On peut tout d'abord jouer sur des leviers cultureux ; par exemple, une réduction du labour affecte positivement la richesse et l'abondance de carabes (House & Stinner 1983 in Trichard *et al.* 2014), alors que le labour induit la mort de certaines espèces de ce groupe (Shearin *et al.* 2007). En outre, réduire son utilisation permet l'installation d'un couvert végétal lors de l'interculture, couvert qui offre protection à certains arthropodes bénéfiques (Trichard *et al.* 2013). Une autre méthode vise à aménager le milieu dans le but de favoriser les insectes bénéfiques aux cultures ; c'est ce qu'on appelle la méthode « top-down » (Valentin-Morisson 2012). Ceci fait partie de la lutte biologique par conservation et passe par une amélioration de la survie, de la fécondité, de la longévité et du comportement de ces insectes (Ephytia). Les habitats semi naturels tels que les bandes enherbées ou fleuries, les haies (plus ou moins complexes), les jachères et les prairies possèdent des populations importantes en arthropodes neutres ou bénéfiques (Roumegous 2012). Il a en effet été prouvé que les paysages complexes favorisaient la population d'ennemis naturels et diminuait la pression de ravageurs au sein d'une culture voisine par déplacements de ces ennemis (Tscharntke *et al.* 2007). Augmenter l'accès aux ressources de ces milieux permet ainsi un apport en nourriture et en protection pour les insectes auxiliaires (Pontin *et al.* 2006), ainsi qu'en proies et hôtes alternatifs (Landis *et al.* 2000 in Roumegous 2012). En effet, les insectes auxiliaires sont différents des ravageurs dans le sens où ils dépendent beaucoup des ressources naturelles et de leur diversité pour réaliser leur cycle biologique, tandis que beaucoup de ravageurs sont inféodés à une culture (Ephytia). Le but de la complexification du paysage est de diminuer les populations de ravageurs des cultures (Gurr *et al.* 2000 in Roumegous 2012) en favorisant la biodiversité fonctionnelle (Ephytia) afin d'éviter à terme des pertes conséquentes de rendement (Weibull & Östman 2003 in Roumegous 2012). Or différents types d'habitats impliquent différents types de communautés d'arthropodes. La capacité d'un type d'habitat d'être source ou puit d'arthropodes bénéfiques dépend de sa qualité par rapport au milieu qui l'entoure. Le contrôle biologique par les ennemis naturels dépend donc beaucoup du paysage, et pas seulement de ce qui se trouve au sein de la parcelle (Bianchi *et al.* 2006). Connaître l'influence du milieu sur les ennemis naturels est donc essentiel pour comprendre le biocontrôle effectué. Ce dernier est réalisé par différents type d'arthropodes, tels que les prédateurs étudiés par la suite (Pontin *et al.* 2006).

#### 2) Le nombre de ravageurs des cultures peut être diminué par l'action de prédateurs plutôt généralistes

Symondson *et al.* (2002) étudient 21 publications parues entre 1960 et 2001 qui traitent de la prédation. Celle-ci est effectuée par divers groupes d'arthropodes sur d'autres ; elle est observée en faisant des associations proies/prédateurs dans des cages ou bien en réalisant des lâchers de prédateurs généralistes sur des parcelles touchées par des ravageurs. Dans le premier type d'expérience, le nombre de ravageurs diminue dans 70% des cas, et dans la seconde, dans 82% des cas. Dans 20 cas sur 21, les dégâts des cultures sont diminués et les rendements augmentent. Un autre avantage de la prédation est le fait que lorsque la proie cherche à éviter un prédateur, il perd de l'énergie et du temps car l'animal ne se nourrit pas lorsqu'il est à l'affût (Macfadyen *et al.* 2015).

Les principaux prédateurs en champ sont les carabes, les opilions, les araignées et chilopodes (O'Neal 2004). Ils peuvent être spécialistes ou généralistes, avec un régime alimentaire plus ou moins large. Beaucoup des arthropodes prédateurs du sol sont de ce second groupe, tels que les araignées,



carabes et staphylins (Schmidt *et al.* 2003). En outre, il a été prouvé l'intérêt de différents types de prédateurs dans la régulation des ravageurs, mais les interactions entre eux sont moins étudiées, car beaucoup d'études ne s'intéressent qu'à un seul groupe (Lang 2003 in Schmidt *et al.* 2003). La prédation prise au sens large englobe également un autre type de régulation, qui est celle des plantes adventices dans une culture par la consommation de graines.

### 3) Les populations d'adventices en champs peuvent également être régulées par des individus granivores comme les carabes et les criquets

Certaines études affirment que la prédation de graines d'adventices entraîne de lourdes pertes démographiques chez celles-ci et est aussi efficace que d'autres techniques de gestion (Menalled *et al.* 2007 ; Shearin *et al.* 2008). Les graines de tailles importantes sont consommées par les carabes les plus gros et les micromammifères, et les plus petites par des carabes de taille moindre, des fourmis et des criquets (Brust & House 1988). Or la nature du prédateur le plus efficace varie selon les cultures étudiées. Les carabes seraient à l'origine de plus de la moitié de cette consommation selon des observations directes de prédation de graines en culture de soja (Brust & House 1988) ; de plus, le carabe *Pseudophonus rufipes* (De Geere), représenterait 78% des arthropodes prédateurs de graines capturés en culture de pommes de terre dans le Maine aux Etats-Unis et serait capable de manger près de 90 % des graines de certaines adventices (Zhang 1993 in Shearin *et al.* 2008). Ces populations de carabes granivores comprennent des carabes strictement granivores, ainsi que des carabes omnivores, les premiers ayant un rôle prépondérant dans la consommation de graines (Trichard *et al.* 2014). Ces communautés se distinguent par leurs richesses spécifiques, ainsi que par l'abondance des différentes espèces, ce qui a un rôle sur le taux de prédation des graines (Gaines & Gratton 2010 in Trichard *et al.* 2013). Ils diffèrent également par les associations de graines consommées (Brooks *et al.* 2012 in Trichard *et al.* 2013), ainsi que par leurs périodes d'activité au cours de la saison (Trichard *et al.* 2014). En outre, les criquets joueraient également un grand rôle dans la consommation de graines d'adventices, et ce plus que les carabes lorsque l'on compare la consommation de graines par ces deux groupes en les plaçant dans des containers en plastique avec un choix de graines (O'Rourke *et al.* 2006).

### 4) Différentes méthodes existent afin de quantifier la prédation, mais beaucoup présentent des inconvénients

Une mesure de l'impact de la prédation est essentielle pour la prise de décisions de gestion des ravageurs. Or il s'agit de quelque chose de difficile à quantifier car il ne reste aucune preuve de l'activité des prédateurs après leur passage (Furlong & Zalucki 2010). De plus, dans le cas des adventices, le niveau de cette prédation varie beaucoup dans le temps (Saska *et al.* 2008 in Trichard *et al.* 2014). Il existe des études moléculaires avec détection d'anticorps ou d'ADN de proies dans l'intestin des prédateurs, mais il n'y a aucune indication sur le comportement ou la fréquence d'attaque de ces derniers (Grieshop *et al.* 2012). D'autres méthodes sont applicables, telles que les observations directes qui restent cependant très chronophages et biaisées par la présence de l'observateur (Wade *et al.* 2005 in Grieshop *et al.* 2012), ou l'identification morphologiques de fragments de proies (Sunderland *et al.* 1995 in Grieshop *et al.* 2012). L'utilisation de proies sentinelles est quant à elle une méthode permettant d'obtenir un taux de prédation sans besoins importants d'analyse et d'identification.

## IV - L'utilisation de proies sentinelles permet d'évaluer un potentiel de prédation selon des protocoles divers

### 1) Manipuler de différentes façons des proies apportées au milieu afin d'observer leur disparition

Les proies sentinelles sont des individus élevés en laboratoire, et utilisées dans le but de tenter de quantifier un potentiel de prédation. Elles sont introduites artificiellement dans un milieu, et leur



consommation est déterminée dans des circonstances données par comptage des individus restant après un temps donné (Lövei & Ferrante 2016). Cette utilisation date de plus de 40 ans, avec une première évocation dans l'article de Speight et Lawton de 1976 (Lövei & Ferrante 2016) où la prédation de carabes et de staphylins est mesurée via l'usage de pupes de mouches de fruits (Speight & Lawton 1976). Il existe différentes utilisations de proies sentinelles ; en effet, les protocoles varient selon les objectifs et les contextes des travaux (choix des proies et leur nombre, disposition, ...) (Eddine 2017). Ces proies peuvent être immobilisées à l'aide d'épingles ou d'attaches (Furlong & Zalucki 2010), ou bien collées sur des cartes de prédation (Prasifka *et al.* 2006 ; Balmer *et al.* 2014). Elles peuvent être vivantes, mortes, ou bien factices, avec les avantages et les inconvénients que chaque méthode représente.

## 2) L'utilisation de proies vivantes est plus pertinente que celle d'individus morts qui ne mesure pas la même chose ou de celle de proies factices qui est imprécise

L'utilisation de proies vivantes présente certains inconvénients, comme une densité d'individus gonflée, une distribution non naturelle ou une immobilisation de ceux-ci ; en effet, on a un nombre d'individus concentrés au même endroit, et souvent immobiles, donc sans possibilité de fuite (Kidd & Jervis 2005 in Lövei & Ferrante 2016). Ces inconvénients interviennent dans la transposition de cette prédation à la prédation réelle en champ (Lövei & Ferrante 2016). Mais l'utilisation de proies vivantes immobiles semble malgré tout la plus pertinente au vu de ce qui a déjà été fait.

L'utilisation de proies mortes mesure plus une activité d'arthropodes charognards ou opportunistes plutôt que de prédateurs (Furlong & Zalucki 2010). En effet, il a été démontré que certains arthropodes considérés comme prédateurs ont en réalité une nette préférence pour les proies mortes, plutôt que pour les vivantes. C'est le cas du coléoptère *Collops vittatus* (Say) qui se nourrit préférentiellement sur *Bemisia tabaci* (Gennadius) (hémiptère), *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister) (neuroptère), et même le prédateur *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville (coléoptère) lorsqu'ils sont morts (Zilnik & Hagler 2013). Si la proie est congelée, qu'elle soit morte ou vivante, la vitesse de consommation varie par rapport à une proie fraîche (Menalled *et al.* 1999). Quant à l'emploi de proies factices, il y a des avantages, tels que le prix ou l'absence d'élevage, mais la prédation sur proie vivante est malgré tout plus pertinente, car l'identification des prédateurs est ici faite via des marques laissées sur les leurres, ce qui reste imprécis (Low *et al.* 2014). En effet, il n'existe à ce jour aucune information qui permet de relier les marques laissées à un prédateur particulier. L'identification des niveaux taxonomiques supérieurs (invertébrés, oiseaux, mammifères) est possible, mais des différences plus subtiles au sein de ces niveaux sont moins repérables. Ces résultats sont à utiliser en complément d'identifications et d'une bonne connaissance de la faune locale, et ne permettent pas de réaliser une collection de références des marques laissées pour des études futures (Low *et al.* 2014).

L'utilisation de proies vivantes est donc l'utilisation de proies sentinelles la plus pertinente, malgré quelques inconvénients inévitables, et a permis de démontrer diverses choses.

## 3) Les proies sentinelles ont permis de prouver l'intérêt de la lutte biologique par conservation et le rôle de certains arthropodes dans la prédation

Les résultats déduits de l'utilisation de proies sentinelles sont variés. L'intérêt de l'aménagement du milieu dans la lutte biologique par conservation peut être démontré par ce biais. Le taux de prédation des œufs du lépidoptère *Mamestra brassicae* (L.) en champs de chou vert augmente en cas d'ajout de *Cyanus segetum* Hill dans la culture par exemple (Balmer *et al.* 2014), et la prédation du lépidoptère *Ostrinia nubilalis* (Hübner) en culture de maïs, soja et fourrage par les carabes est plus importante lorsqu'il y a un couvert végétal (Prasifka *et al.* 2006).

Les proies sentinelles peuvent indiquer la nature des prédateurs. Le rôle des carabes dans la prédation d'*O. nubilalis* a par exemple été mis en évidence par une corrélation positive entre la consommation des proies sentinelles collés sur des cartes et l'abondance des carabes, témoignant d'un



rôle important de ceux-ci (Prasifka *et al.* 2006). Au cours d'un des premiers travaux sur la prédation des carpocapses, il a été observé que la prédation des œufs de cet insecte était majoritairement due à des piqueurs-suceurs (Glen 1977 in Bouvier d'Yvoire 2016). Enfin, l'étude de la prédation de colonies sentinelles de pucerons en verger de pommiers a mis en évidence que les principaux prédateurs sont *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (diptère), des chrysopes (neuroptère), *Harmonia axyridis* (Pallas), (coléoptère) et *Orius insidiosus* (Say) (hémiptère) (Brown 2004).

Ces résultats témoignent donc de l'avantage de la lutte biologique par conservation et du rôle des prédateurs. Cependant, les proies sentinelles utilisées dans les différentes études sont diverses et variées, et leur nature n'est pas toujours pertinente.

#### 4) La nature des proies sentinelles est parfois trop différente de celle des ravageurs

Lövei & Ferrante (2016) étudient l'utilisation de proies sentinelles dans un échantillon de 57 articles. Les œufs sont les proies les plus utilisées (52 études), suivies des larves (14 études), et enfin les pupes ou nymphes (11 études). Trois études utilisent des adultes. Si on s'intéresse aux ordres auxquels appartiennent ces insectes, 43 études utilisent des lépidoptères, 17 des coléoptères, 15 des hémiptères et 5 des diptères. Les œufs de lépidoptères sont donc les proies les plus utilisées, probablement car ils sont faciles à produire, disponibles sur le marché, immobiles et car les marques de prédation sont facilement observables (Lövei & Ferrante 2016). En ce qui concerne l'utilisation de graines comme proies sentinelles, on utilise le plus souvent des graines d'adventices les plus présentes dans la culture étudiée (Brust & House 1988).

La nature de ces proies peut poser problème. Comme on l'a vu précédemment, les plus utilisées sont des œufs de lépidoptères (Lövei & Ferrante 2016). Leur usage serait peu pertinent dans l'étude de la prédation sur colza ou blé, car il ne s'agit pas de cet ordre d'insectes qui est à l'origine des ravages. En effet, comme on l'a aussi évoqué plus haut, les principaux ravageurs de grandes cultures sont des pucerons ou des coléoptères. On peut donc émettre l'hypothèse que les prédateurs de ces proies ne sont pas les prédateurs des ravageurs concernés. On peut ainsi se demander si d'autres proies plus proches morphologiquement et phylogénétiquement des ravageurs peuvent être utilisées. En effet, il ne s'agit pas d'implanter le ravageur directement dans la culture, du fait de dégâts potentiels et de certains élevages difficiles, mais de trouver un organisme suffisamment proche de ce dernier pour pouvoir tirer des conclusions (Bouvier d'Yvoire 2016).

Une autre question à réfléchir est le nombre de proies à utiliser afin de pouvoir observer un taux de prédation.

#### 5) Un juste milieu doit être établi entre trop de proies sur une carte longue à préparer, et trop peu sur une carte qui ne permettra pas d'évaluer un potentiel de prédation

Le nombre de proies soumises à la prédation est un paramètre important pour évaluer cette dernière. Par exemple, Balmer *et al.* (2014) utilisent en moyenne 32,7 œufs de *M. brassicae* sur des cartes de papier vert de 0,5 x 2,5 cm, et Prasifka *et al.* (2006) utilisent 10 pupes d'*O. nubilalis* sur des cartes de papier de verre de 7,6 x 12,7 cm. L'important est d'observer un potentiel de régulation s'il existe, donc que toutes les proies ne soient pas à chaque fois dévorées pendant les périodes d'observation. Le but est également d'alléger le temps de préparation des cartes, donc de ne pas utiliser trop de proies sur une seule d'entre elles, sans pour autant perdre en pertinence. En outre, un nombre élevé de proies nécessaires peut être coûteux ou poser problème lors d'un élevage. Pour le cas des pucerons, la méthode est plus robuste si dix individus sont utilisés plutôt que cinq (Bouvier d'Yvoire 2016), sans pour autant être un nombre trop important de proies pour la préparation. Cette estimation est faite pour les pucerons, mais n'est pas nécessairement valable pour toutes les proies sentinelles, d'où l'intérêt de se poser cette question à chaque utilisation de nouvelles proies.

Une proie sentinelle vivante est donc quelque chose de fragile. Le fait d'attacher ou bien de coller un insecte et de le présenter à l'environnement extérieur l'expose à divers risques autres que la



prédation, comme la mort. De plus, l'utilisation des proies est parfois peu pertinente. On peut donc se demander si la disparition des proies est bien représentative de la prédation à l'échelle d'une parcelle. En effet, la disparition est différente de la mort, qui elle-même est différente de la prédation (Lövei & Ferrante 2016). Il serait donc intéressant d'observer directement ce qui se passe au niveau des proies sentinelles. Il a été évoqué plus haut l'inconvénient d'observations directes par une personne ; l'utilisation de caméras est donc une alternative afin de surveiller les différentes interactions prédateurs-proies, sans déranger ces dernières.

#### V - Filmer les prédateurs à côté d'un piégeage permet d'étudier les comportements des arthropodes et de se rendre compte de l'identité des prédateurs

Une méthode peu développée dans la littérature, et qui semble être un bon supplément d'étude de la prédation, est l'utilisation de caméra afin de filmer directement cette dernière. Ainsi, il existe divers exemples utilisant des caméras pour étudier l'action des prédateurs (Frank & Shrewsbury 2004 in Grieshop *et al.*, 2012), ainsi que les mouvements et les comportements d'alimentation des arthropodes (Hardie & Young 1997 in Grieshop *et al.* 2012). On peut ainsi quantifier l'activité des prédateurs en examinant leur durée d'interaction, et les fréquences d'interaction en distinguant les prédateurs primaires (premier prédateur de cette proie), des prédateurs secondaires (la proie a déjà été attaquée par un autre prédateur) et de ceux qui n'interagissent pas avec les proies (seulement vus) (Grieshop *et al.* 2012).

L'utilisation du piégeage est répandue pour se rendre compte de la faune d'une parcelle (Prasifka *et al.* 2006 ; Grieshop *et al.* 2012 ; Trichard *et al.* 2013), mais rien n'indique que les arthropodes piégés sont à l'origine de la prédation étudiée. L'utilisation de caméras permet donc de comparer les arthropodes piégés et les arthropodes qui interagissent réellement avec les proies. Lors de l'étude de l'impact d'un couvert végétal sur la prédation de pupes du lépidoptère *Acrobasis vaccinii* Riley et d'œufs du coléoptère *Popillia japonica* Newman en verger de myrtilliers, l'usage de caméra montre une prédation majoritairement opérée par les fourmis, et également par les arachnides, les criquets et les mollusques, et met également en évidence que les conclusions tirées des observations vidéo sont très différentes de celles obtenues du piégeage. En effet, très peu de fourmis sont capturées, tandis que beaucoup de coléoptères ou de chilopodes le sont (Grieshop *et al.* 2012). De la même manière, des observations vidéo en vigne montrent que la prédation du lépidoptère *Epiphyas postvittana* (Walker) ne diffère pas suivant si on se place au sol ou dans la végétation. Cependant, l'activité des prédateurs et leur diversité sont plus importantes au sol, tandis que dans la végétation, les forficules sont quasiment les seuls prédateurs (Frank *et al.* 2007).

L'usage de films est donc intéressant, car il permet d'observer des résultats insoupçonnés et surtout impossible à mettre en évidence sans observation directe, ainsi que de se rendre compte d'une prédation non attendue, telle celle réalisée par les micromammifères. Cependant, du fait de certains inconvénients comme l'étroitesse de la fenêtre spatiale observée, ou le fait que les proies soient confinées, donc que ceci altérera probablement les comportements des prédateurs, cette méthode d'étude ne peut pas être utilisée seule (Grieshop *et al.* 2012). L'usage de caméras est donc à utiliser en complément de pièges.

#### VI – Objectifs

La prédation au sein d'une parcelle est quelque chose de difficile à évaluer. Pour ce faire, il est nécessaire de s'intéresser à différents milieux et différentes pratiques. En effet, deux environnements distincts ont chacun leur communauté faunistique, et donc leur potentiel de prédation propre. La régulation naturelle des ravageurs d'une culture par leurs ennemis dépend donc du milieu que représente la parcelle et ses alentours. Comment le potentiel de prédation au sein d'une parcelle varie-t-il lorsque l'on modifie l'environnement et les pratiques culturales ? Pour répondre à cette question, un premier objectif du stage est d'évaluer le taux de prédation de proies sentinelles. On cherche à faire



varier la prédation étudiée, donc la nature des prédateurs présents, en utilisant différents mélanges fleuris au sein de parcelles de colza et de blé et différents systèmes de culture de colza. Pour tenter d'évaluer un potentiel de prédation, des proies sentinelles sont utilisées, collées sur des cartes de prédation. Les proies choisies sont les pucerons adultes *Acyrtosiphon pisum* (Harris) et les graines de *Viola arvensis* Murray. Ces cartes sont placées au sol ou dans la végétation, à différentes distances des bandes fleuries sur parcelles de colza et de blé.

Il a été vu au cours des recherches bibliographiques que les proies sentinelles couramment utilisées ne sont pas forcément pertinentes à cause de dissemblances avec les ravageurs étudiés. Il est donc nécessaire d'évaluer l'efficacité d'une étude réalisée avec de nouvelles proies, plus proches morphologiquement et phylogénétiquement des larves de coléoptères ravageurs de grandes cultures. Est-ce que la larve de bruche du niébé peut faire office de proie efficace dans un but d'amélioration du protocole d'utilisation des proies sentinelles ? Combien en faut-il pour observer une variation du potentiel de prédation, et permet-elle une bonne estimation de ce dernier ? Un deuxième objectif de ce stage est de voir si la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) est une proie sentinelle adaptée à l'évaluation du taux de prédation. On estime le nombre de bruches nécessaires à l'évaluation de ce dernier, puis on cherche à le mesurer en utilisant différents systèmes de culture sur colza. La larve de bruche du niébé est facile à élever, et de taille similaire à beaucoup de larves de prédateurs tels que *Ceutorhynchus spp.*, *Psylliodes chrysocephala*, et *Meligethes spp.*. Elle est en outre incapable de s'enterrer, donc facile d'utilisation.

Afin d'expliquer des variations éventuelles des taux de prédation étudiés, il faut relier la prédation à la faune responsable de cette dernière. Or l'utilisation de piège sur une parcelle permet d'avoir une idée de la faune locale, et plus particulièrement ici des activités-densités d'arthropodes prédateurs. Quels liens existe-t-il entre la prédation et la nature des communautés d'arthropodes épigés piégés ? Un troisième objectif est de voir si l'activité-densité de la faune piégée sur la parcelle explique la prédation évaluée. Les activités-densités étudiées sont issues d'un piégeage effectué sur blé en mai.

Enfin, il a été précédemment souligné l'intérêt d'avoir une idée de la composition de la faune locale de la parcelle. Or Grieshop *et al.* (2012) ont démontré que les insectes supposés prédateurs capturés pouvaient être différents des prédateurs véritables du champ via des observations vidéo. Quels prédateurs viennent réellement interagir avec les proies sentinelles et quelle est la nature de ces interactions ? Afin de répondre à cette question, un dernier objectif est de suivre la prédation des proies sentinelles sur cultures de colza et de blé à l'aide de caméras, et voir quels individus interviennent, et quelles interactions ils ont avec les différentes proies. Il s'agira également de comparer ce que l'on observe avec ce que l'on a piégé.

## Matériels et méthodes

### I – Evaluation du taux de prédation de pucerons et de graines d'adventices dans deux grandes cultures bordées de mélanges fleuris et pour différents systèmes de cultures de colza

Objectif : Evaluer le taux de prédation de proies sentinelles. On cherche à faire varier la prédation étudiée, donc la nature des prédateurs présents, en utilisant différents aménagements et systèmes de culture.

#### 1) Sites d'étude

Afin d'évaluer les impacts des cultures, des mélanges fleuris, de la date, de la distance à la bande et de la position des proies, une parcelle de l'essai GARGAMEL nommée Orme, séparée en deux cultures est utilisée : Orme côté ouest, cultivée en colza après un travail du sol superficiel et Orme côté est cultivée en blé semé en direct. Les deux parcelles n'ont pas reçu d'insecticides depuis trois ans et différents mélanges fleuris sont disposés à l'intérieur.

Tableau 1 : Gradient du nombre d'espèces et gradient de diversité de ressources et habitats des huit mélanges fleuris utilisés sur les parcelles Orme côté ouest et Orme côté est (Source : Antoine Gardarin)

		Gradient de diversité de ressources et habitats diversité fonctionnelle		
		Faible	Intermédiaire	Élevée
Gradient de nombre d'espèces	9		D1 D2	
	14	A1 A2		C1 C2
	29			E1 E2

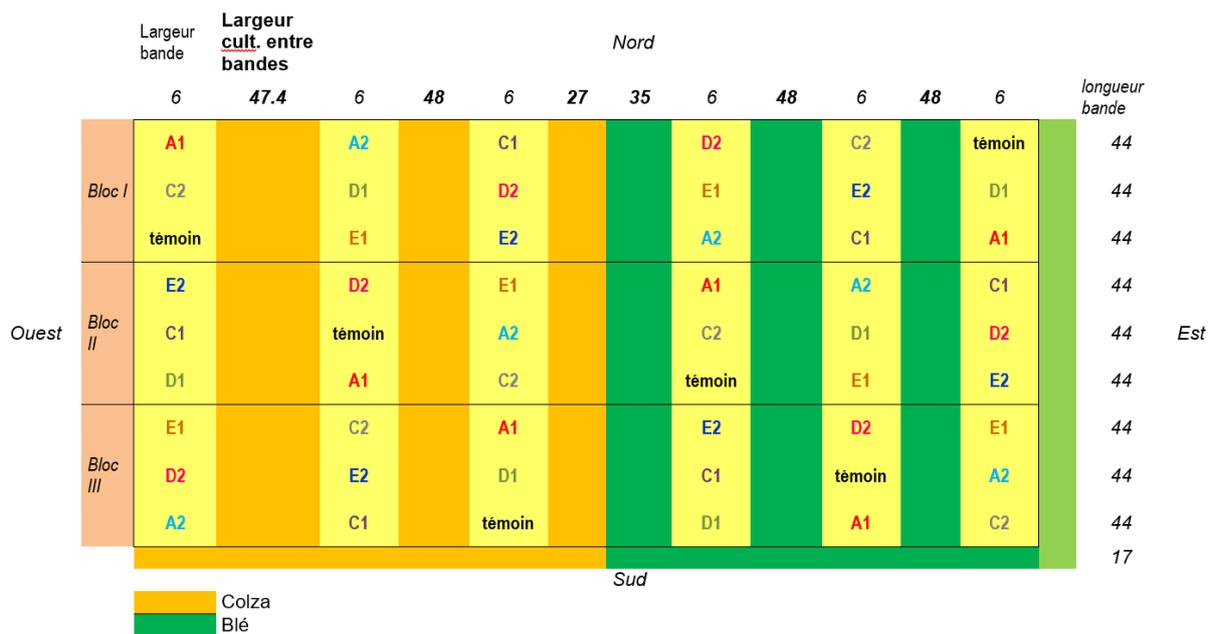


Figure 1 : Plan de la parcelle Orme et des bandes fleuries et blocs la constituant (Source : Antoine Gardarin)

Afin d'évaluer l'impact des systèmes de culture sur le taux de prédation, la parcelle Orme côté ouest et trois parcelles cultivées en colza de l'essai SIC sont étudiées :

- PHPE (Productif à Hautes Performances Environnementales) : Un labour est réalisé
- En- (réduire la consommation d'Énergie fossile de moitié) : L'objectif est de réduire de moitié la consommation en énergie fossile par rapport à PHPE. Il y a réduction des apports d'engrais. Aucun travail du sol n'est réalisé.
- GES- (réduire les émissions de Gaz à Effet de Serre de moitié) : L'objectif est de réduire de moitié les rejets de gaz à effet de serre par rapport à PHPE. Aucun travail du sol n'est réalisé.

Les trois parcelles ont subi un traitement insecticide contre les altises en automne 2016.

## 2) Différents mélanges fleuris sont intégrés au sein des parcelles

### a) Description des bandes fleuries

Huit mélanges fleuris sont étudiés ici, classés en quatre groupes notés par les lettres A, C, D et E. Ces groupes diffèrent par le nombre et la nature des espèces constituantes, ainsi que par leur diversité fonctionnelle. En effet, ils sont classés selon un gradient du nombre d'espèces et un gradient de quantité et de disponibilité des ressources alimentaires pour les arthropodes. Au sein d'un groupe se trouvent deux mélanges notés 1 et 2 qui se distinguent par les espèces qui les constituent, mais qui présentent le même nombre d'espèces et la même diversité fonctionnelle (Tableau 1).

Au sein d'une parcelle Orme, les huit mélanges et un témoin culture sont présents sur trois alignements verticaux et répartis sur trois blocs horizontaux. Chaque mélange est donc présent trois fois sur une parcelle, et une fois par alignement et par bloc (Figure 1).

### b) Comparaison des caractéristiques des différents mélanges par analyses statistiques

Afin d'observer la dissemblance des mélanges, et donc de vérifier que l'on se place dans des cas d'étude différents, trois observations sont utilisées, issues de relevés botaniques réalisés en juin et juillet : le recouvrement total en juin et juillet, le nombre d'espèces végétales par quadrat, et la diversité de Shannon. Grâce à la normalité des données du recouvrement et du nombre d'espèces, des modèles linéaires peuvent être réalisés pour étudier l'effet des mélanges. En outre, il n'y a pas normalité des données de la diversité de Shannon, donc un modèle linéaire généralisé est fait pour étudier l'effet des mélanges. Cette diversité est une mesure, donc la famille d'erreur sélectionnée ici dans le modèle est une famille gaussienne, et la fonction de lien associée est la fonction identité. Un test de Tukey HSD via la fonction `glht` du package `Multcomp` du logiciel R est fait dans les trois cas afin de voir, dans le cas de différences significatives, quels mélanges diffèrent des autres.

## 3) Proies sentinelles utilisées et préparation des cartes de prédation

Afin d'étudier la prédation d'arthropodes, le puceron adulte *A. pisum* est utilisé en tant que proie sentinelle, et les graines de *V. arvensis* le sont pour évaluer la prédation de graines d'adventices. Les pucerons sont élevés en laboratoire sur pois (*Pisum sativum* L.) dans une boîte en plastique ouverte. Ces proies sont collées par dix sur des cartes de prédation de 5x5 cm de papier de verre (papier Parquet LEMAN 4320312, grain 120), avec de la colle repositionnable de la marque Cléopâtre, choisie pour sa non toxicité. Tout individu mort ou abîmé avant la pose est enlevé.

### 4) Mesure du taux de prédation

Sur les deux parcelles Orme, les cartes de prédation sont déposées pour chaque mélange à trois distances : 0 m (dans la bande fleurie ou le témoin), 5 m et 20 m de la bande. Pour les cartes de pucerons, on dispose à chaque distance une carte au sol, maintenue par un clou au centre de la carte



*Figure 2 : Carte de prédation fixée au sol par un clou et présentant des pucerons comme proies sentinelles (Source : Antoine Gardarin)*

(Figure 2) et protégée des intempéries par un toit, et une carte agrafée dans la végétation. Pour les cartes de graines, on dispose à chaque fois une carte au sol, de manière analogue à précédemment.

Sur chacune des trois parcelles de l'essai SIC, les cartes de prédation sont posées en cinq points répartis. Une seule carte de prédation de puceron et une seule de graine sont déposées au sol en chaque point de manière analogue à précédemment.

Le taux de prédation est évalué au bout de 24h pour les pucerons et quatre jours pour les graines en comptant le nombre d'individus restant. La présence d'anomalie est notée, telle que la présence de mucus de limace qui témoigne du passage d'un individu non attendu, et dont la prédation n'est pas étudiée, ou bien des dégâts trop importants sur la carte qui amènent à la négliger. Le taux de prédation est mesuré à deux dates : 1100 et 1500 degrés jours. On pose ainsi les cartes de pucerons les 17 mai et 14 juin et les cartes de graines les 18 mai et 15 juin.

### 5) Etude des facteurs influençant les taux de prédation de pucerons et de graines par analyses statistiques

Lors de l'étude du potentiel de prédation de pucerons et de graines variant dans différents mélanges fleuris, les influences des facteurs que sont la parcelle, la position, la date, le mélange fleuri, la distance à la bande et le bloc sont évaluées grâce à un modèle linéaire généralisé, du fait de la répartition non normale des données. Le taux de prédation étudié est une proportion, donc la famille d'erreur sélectionnée ici est une famille binomiale, et la fonction de lien associée est la fonction Logit. Le nombre de proies initiales est renseigné comme poids dans le modèle. Un test de Tukey HSD via la fonction `glht` du package `Multcomp` est ensuite réalisé. Seuls les échantillons ne présentant pas d'anomalie sont étudiés.

Lors de l'étude du potentiel de prédation de pucerons et de graines variant dans différents systèmes de culture, les influences de la date et de ces systèmes sont évaluées à l'aide d'un test non paramétrique de Kruskal-Wallis. En effet, les données ne sont pas normales, et le GLM ne peut pas être utilisé à cause d'un modèle obtenu non prédictif, et d'un manque de normalité des résidus de ce dernier. Ces raisons justifient l'utilisation de tous les tests de Kruskal-Wallis de cette étude. Un test de Dunn via la fonction `FSA` du package `FSA` du logiciel R est fait afin de voir, dans le cas de différences significatives entre les modalités des facteurs étudiés, quelles modalités diffèrent des autres.

## II – Evaluation d'une nouvelle proie sentinelle dans le but d'améliorer le protocole d'évaluation du potentiel de prédation

Objectif : Voir si la bruche du niébé est une proie sentinelle plus adaptée que le puceron. On estime le nombre de bruches nécessaires à l'évaluation d'un potentiel de prédation, puis on cherche à estimer ce dernier en utilisant différents systèmes de culture de colza.

### 1) Préparation de la proie sentinelle

La bruche du niébé *C. maculatus* est un coléoptère simple à élever en laboratoire. Les bruches sont conservées dans des boîtes de plastique fermées par un voile de tissu, et nourries une fois par semaine avec du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). L'individu passe son stade larvaire et nymphal dans la graine et sort à l'état adulte. Afin d'extraire la larve qui servira de proie sentinelle, les graines sont mises à imbiber quelques heures pour les ramollir et ainsi faciliter la dissection. Les larves sont mises en tubes Eppendorf et au réfrigérateur à 4°C en attendant leur utilisation.

### 2) Evaluation du nombre de proies à poser pour une bonne évaluation du potentiel de prédation

Le nombre de proies à utiliser sur un site d'étude est un point important. Il s'agit en effet d'avoir suffisamment d'individus pour évaluer un potentiel de prédation, donc de ne pas observer 100 % de prédation dans tous les cas de figure. En outre, la préparation de proies sentinelles ne doit pas représenter une activité trop chronophage. Une phase de méthodologie s'impose afin de trouver un



*Figure 3 : Bruches présentées comme proies sentinelles dans une boîte de Petri remplie de terreau (Source : Antoine Gardarin)*

nombre de bruches cohérent avec nos deux objectifs. Des tests sont donc effectués en posant différents effectifs de bruches pendant une nuit. L'intérêt est d'estimer un nombre de bruches suffisant pour avoir une réponse sensible aux facteurs étudiés, mais pas trop important pour ne pas perdre du temps lors de la phase de préparation. Les taux de prédation obtenus sont comparés entre eux avec un test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Un test de Dunn via la fonction FSA du package FSA est ensuite réalisé.

### 3) Sites d'étude

Les bruches sont posées sur les parcelles Orme côté ouest et SIC : à 0 et 20 m des mélanges fleuris E1 sur Orme, et en trois endroits répartis sur chacune des parcelles SIC. L'échantillonnage est plus réduit par rapport à celui effectué pour les pucerons ou les graines. En effet, le but ici n'est pas d'observer une variation aussi importante du taux de prédation en se plaçant dans beaucoup de cas de figure différents, mais de vérifier si la bruche est une proie sentinelle adaptée à l'évaluation de ce potentiel. Pour ce faire, seul les effets de la date et des systèmes de cultures sont étudiés.

### 4) Mesure du taux de prédation

Les larves sont posées dans une boîte de Petri remplie de terreau et enterrée afin que rien n'affleure du sol (Figure 3). Le terreau, de couleur sombre, est choisi afin de contraster avec la couleur de la larve et donc de la retrouver plus facilement. On pose en chaque point trois boîtes de Petri proches les unes des autres, et contenant chacune 18 bruches. En effet, une cinquantaine de bruches sont utilisées sur un site d'étude d'après les conclusions tirées de la phase de méthodologie, qui est expliquée plus en détails dans la partie associée dans les résultats. Tout individu mort avant la pose est enlevé. Une cage d'exclusion est placée autour de chaque boîte afin d'éviter la prédation par les vertébrés. La cage est construite avec du grillage (maille d'1 cm) et un toit pour protéger des intempéries. Le taux de prédation est évalué au bout de 24h et toute présence d'anomalies est notée de la même manière que pour les cartes de prédation. Elles sont posées à 1100 et 1500 degrés jours, les 17 mai et 14 juin.

### 1) Etude des facteurs influençant les taux de prédation de bruches par analyses statistiques

Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis est utilisé afin de voir l'effet de la date et du système de culture sur la prédation de bruches. Un test de Dunn via la fonction FSA du package FSA est ensuite réalisé.

## III – Evaluation de l'impact de la faune épigée piégée sur la prédation

Objectif : Voir si la faune épigée piégée sur la parcelle explique la prédation évaluée.

### 1) Méthode

Pour piéger les arthropodes, et se rendre compte ainsi de la faune de la parcelle, des pièges Barber sont utilisés. Le piège est rempli avec de l'eau, du sel pour la conservation des arthropodes et pour maintenir une pression osmotique stable, et un détergent inodore comme agent mouillant pour supprimer la tension superficielle ; il est enterré afin que rien n'affleure du sol et piège ainsi les arthropodes du sol au hasard. Une opération de lavage des pots suit leur récupération, et les arthropodes sont mis dans l'alcool et en chambre froide à 4°C en attendant d'être triés et identifiés. Seuls les araignées, opilions et carabes sont comptés dans cette étude, et seuls les carabes sont identifiés (jusqu'à l'espèce, sauf pour le genre *Amara* et pour certains individus impossibles à identifier).

### 2) Sites d'étude

Sur les parcelles Orme, deux pièges Barber sont placés à chaque distance : 0, 5 et 20 m de la bande, et sont laissés sept jours. Les pots sont espacés d'environ 4 m afin d'augmenter l'échantillonnage et de couvrir un rayon suffisant pour réduire la variabilité liée aux espèces grégaires, et sont couverts d'un



toit de la même manière que les cartes de prédation. Sur les parcelles SIC, huit pièges sont répartis sur chacune. Les pots sont posés à trois dates : 1100 et 1500 degrés jours, ce qui correspond au 17 mai et 14 juin. L'identification du contenu des pots est effectuée pour la totalité de la deuxième date de piégeage du blé. Les pièges posés sur les parcelles de colza d'Orme et de SIC ne sont pas étudiés par manque de temps.

### 3) Etude de la ségrégation des communautés d'arthropodes du blé en mai par analyses statistiques

Tout d'abord, des relations sont recherchées entre les différentes activités-densités de carabes, araignées et opilions piégés sur le blé en mai, afin de voir si les communautés sont liées, et où elles se répartissent dans la parcelle. Cette culture et cette date sont sélectionnées, car il s'agit des seules où l'ensemble des individus sont étudiés. Cette étude est supportée par la réalisation d'une ACP.

Ensuite, les préférences de ces trois familles pour les différentes distances à la bande sont testées. Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis est utilisé afin de voir l'effet de la date et du système de culture sur la prédation de bruches. Un test de Dunn via la fonction FSA du package FSA est ensuite fait.

### 4) Explication de la prédation par les arthropodes épiés piégés sur blé en mai

Des relations sont cherchées entre les différentes activités-densités de carabes, d'araignées et d'opilions sur parcelle de blé en mai et la prédation évaluées sur pucerons, sur graines, et sur bruches. Les trois distances 0, 5 et 20 m sont différenciées. Des observations graphiques sont préalablement réalisées, et valident la non utilité de test statistique ici de par l'absence de relation observée. Ceci est expliqué plus en détails dans la partie associée dans les résultats.

Pour aller plus loin, il est possible de pondérer les activités-densités d'individus d'un échantillonnage par les régimes alimentaires et les tailles moyennes des individus. Ceci est réalisé à l'aide de la base de données Betsi du CESAB (Centre de Synthèse et d'Analyse sur la Biodiversité) répertoriant les régimes alimentaires et les tailles moyennes de différentes espèces de carabes et des opilions. Cette pondération prend en compte la prédation d'insectes, d'arthropodes, zoophage et la prédation de graines. Le but est de savoir si la faune piégée sur blé en mai, au regard des préférences alimentaires et de la taille des individus, a une influence sur la prédation évaluée plus tôt. Des pondérations des activités-densités de carabes et d'opilions par les différents régimes alimentaires et tailles moyennes sont réalisées. Les trois distances 0, 5 et 20 m sont différenciées. Des observations graphiques sont préalablement réalisées, et valident la non utilité de test statistique ici de par l'absence de relation observée. Ceci est expliqué plus en détails dans la partie associée dans les résultats.

## IV – Observations directes de la prédation de par l'utilisation de caméras

Objectif : Suivre la prédation au champ et voir quels individus interviennent, et quelles interactions ils ont avec les différentes proies. Il s'agira également de comparer ce que l'on observe avec ce que l'on a piégé.

Afin de suivre la prédation des pucerons, des bruches et des graines dans la culture, deux caméras sont utilisées. L'une permet de filmer au sol, et l'autre dans la végétation, et chacune dispose d'un projecteur infrarouge qui rend possible les films de nuit. Les caméras sont programmées avant chaque pose pour prendre une photo toutes les 3 secondes. Sur le terrain, on place la caméra filmant le sol au-dessus de pucerons, de graines, ou de bruches, ou bien d'un assemblage de plusieurs de ces proies. On néglige ici l'effet issu de la mise en place simultanée de deux types de proies différentes, le but étant simplement d'observer la prédation effectuée sur les différentes proies sentinelles. La caméra filmant la végétation est placée en face d'une carte de prédation de pucerons agrafée dans la végétation. Elles sont laissées entre 14 et 18h et posées en début ou en milieu d'après-midi. Le film

Tableau 2 : Nombre de films réalisés à l'aide des caméras sur les différents points d'observation

	Au sol			Dans la végétation		
	0	5	20	0	5	20
<b>Orme côté ouest</b>	2	9	1	0	0	1
<b>Orme côté est</b>	0	6	2	0	1	4
<b>PHPE</b>	1			0		
<b>GES-</b>	1			0		

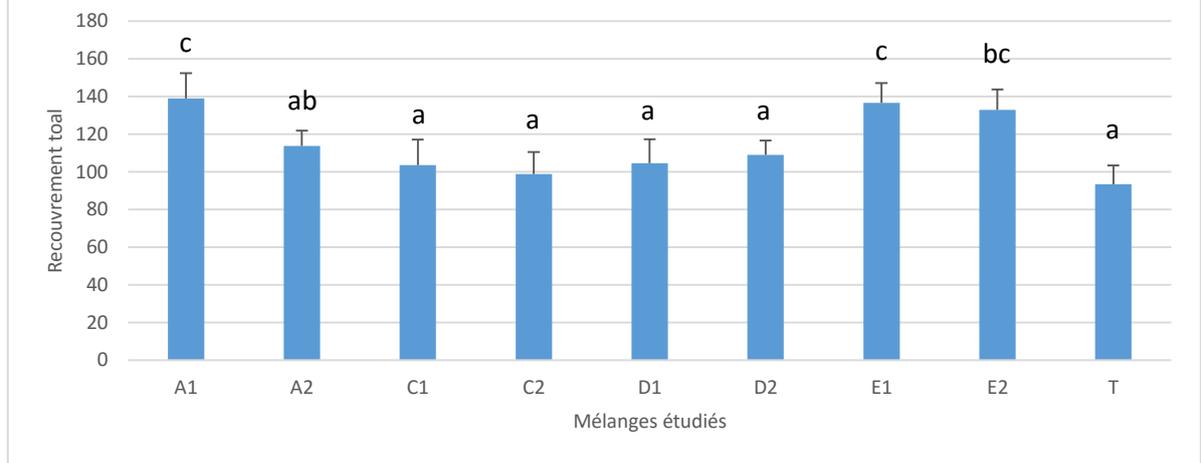


Figure 4 : Influence des différents mélanges étudiés sur le recouvrement total de la végétation en juin et juillet. Les groupes de mélanges significativement différents sont indiqués par les lettres au sommet des histogrammes. Les barres d'erreur sont les écarts-types.

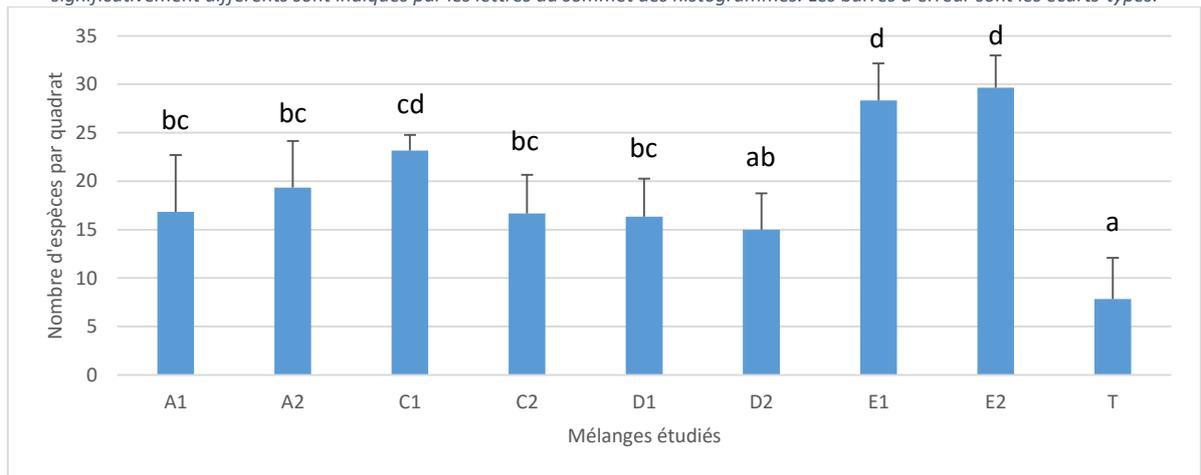


Figure 5 : Influence des différents mélanges étudiés sur le nombre d'espèces par quadrat. Les groupes de mélanges significativement différents sont indiqués par les lettres au sommet des histogrammes. Les barres d'erreur sont les écarts-types.

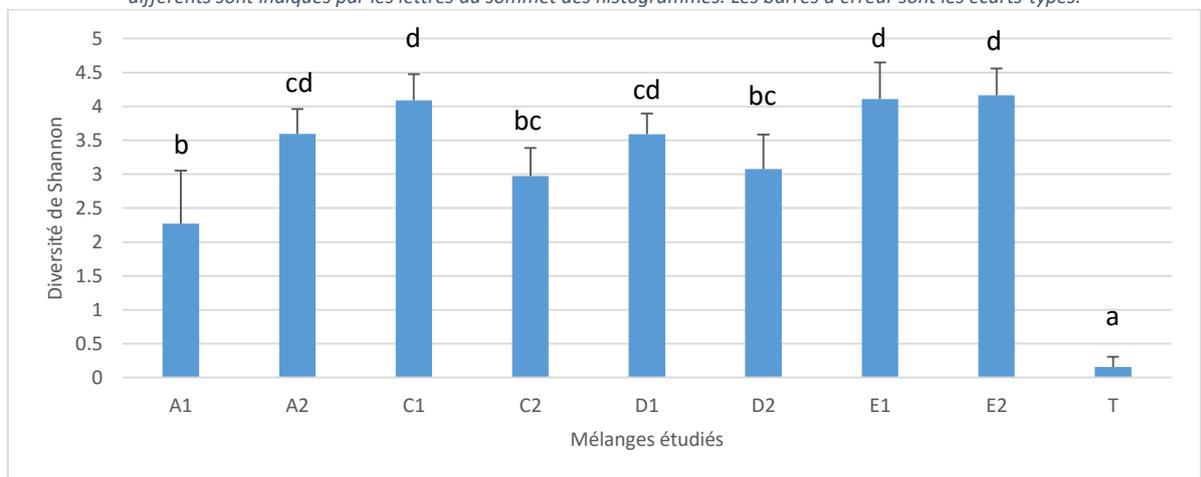


Figure 6 : Influence des différents mélanges étudiés sur la diversité de Shannon. Les groupes de mélanges significativement différents sont indiqués par les lettres au sommet des histogrammes. Les barres d'erreur sont les écarts-types.

obtenu est ensuite étudié et sont notés la date, le lieu et la distance de pose, le prédateur et l'interaction qu'il a avec la proie, l'heure de cette interaction et des commentaires éventuels.

Au total, 28 films sont analysés, répartis sur les deux parcelles Orme, et ce au sol et dans la végétation à 0, 5 et 20 m, et sur les parcelles PHPE et GES- au sol (Tableau 2). Les vidéos sont effectuées entre début avril et début juillet. Peu de vidéos sont réalisées dans la végétation, car la caméra permettant ce genre de film est acquise début juin. Les pots Barber issus des piégeages d'avril (piégeage supplémentaire non étudié ailleurs), mai et juin, placés aux endroits où la caméra a été posée, sont analysés. 19 pots sont donc étudiés ici. Comme précédemment, les carabes sont comptés et identifiés, et les araignées et opilions sont comptés.

## Résultats

### I – Evaluation de la diversité des mélanges étudiés par l'étude du recouvrement, de la diversité spécifique et de la diversité de Shannon

Afin d'évaluer un potentiel de prédation, différents milieux sont utilisés dans le but de créer une variabilité au sein de la prédation. Cette différence se traduit par l'utilisation de différents mélanges fleuris et d'un témoin culture. Pour voir en quoi ces derniers diffèrent les uns des autres, trois critères sont étudiés : le recouvrement par la végétation, le nombre d'espèces végétales présentes et la diversité de Shannon. Des différences significatives sont mises en lumière si on teste l'influence des différents mélanges sur ces trois variables ( $p$ -values toujours inférieures à  $10^{-4}$ ). Il y a cependant moins de différences entre les recouvrements des divers mélanges qu'entre les diversités spécifiques et de Shannon de ces derniers. Le témoin, ne possédant quasiment que l'espèce cultivée, ne présente pas un nombre d'espèces important ( $7,83 \pm 4,26$  espèces) (Figure 5), ni une forte diversité de Shannon ( $0,16 \pm 0,15$ ) (Figure 6). Par ailleurs, il ressort de cette étude que certains mélanges sont plus diversifiés que d'autres. C'est par exemple le cas des mélanges E1 et E2 qui possèdent un taux de recouvrement (Figure 4), une diversité spécifique (Figure 5) et une diversité de Shannon (Figure 6) plus élevés que la plupart des autres mélanges. En effet, avec  $28,33 \pm 3,83$  et  $29,67 \pm 3,33$  espèces par quadrat, ils sont plus riches en espèces que tous les mélanges sauf C1 (Figure 5). Il se peut qu'un mélange présente des diversités spécifique et de Shannon moindres par rapport aux autres mélanges, mais un recouvrement important. C'est le cas du mélange A1, peu diversifié, mais ayant un recouvrement total de  $138,97 \pm 13,49$  (Figure 4). Les mélanges E1 et E2 se distinguent donc des autres mélanges pour les trois critères étudiés. D'autres mélanges se distinguent seulement pour certaines caractéristiques, comme le mélange A1 et son recouvrement important. Cependant, la plupart des mélanges sont significativement proches pour les caractéristiques étudiées, en particulier pour le recouvrement, et ne présentent donc pas une variabilité très forte.

### II – Evaluation du taux de prédation de pucerons et graines d'adventices en grandes cultures bordées de mélanges fleuris et pour différents systèmes de cultures de colza

Sur tous les graphiques présentés, les valeurs d'erreurs positives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le neuvième décile ; les valeurs d'erreurs négatives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le premier décile. Les écarts-types ne sont pas calculés car certains dépassent le taux de prédation maximal de 1. De ce fait, ils ne sont pas indiqués par la suite.

#### 1) Evaluation du taux de prédation du puceron

Une première étude s'attache à étudier le taux de prédation du puceron *A. pisum*. Grâce à une analyse statistique, un effet des interactions entre la parcelle et la date, la parcelle et la position et la date et la position sont mis en évidence (Tableau 3). Les deux parcelles de colza et de blé sont donc étudiées séparément. Le choix est fait de ne présenter ici que les graphiques relatifs aux taux de prédation sur colza.

Tableau 3 : Influence des interactions entre la parcelle, la date et la position sur la prédation de pucerons

Interactions étudiées	Pr(>Chisq)
Parcelle : Date	$< 10^{-4}$
Parcelle : Position	$6,96 * 10^{-3}$
Date : Position	$< 10^{-4}$

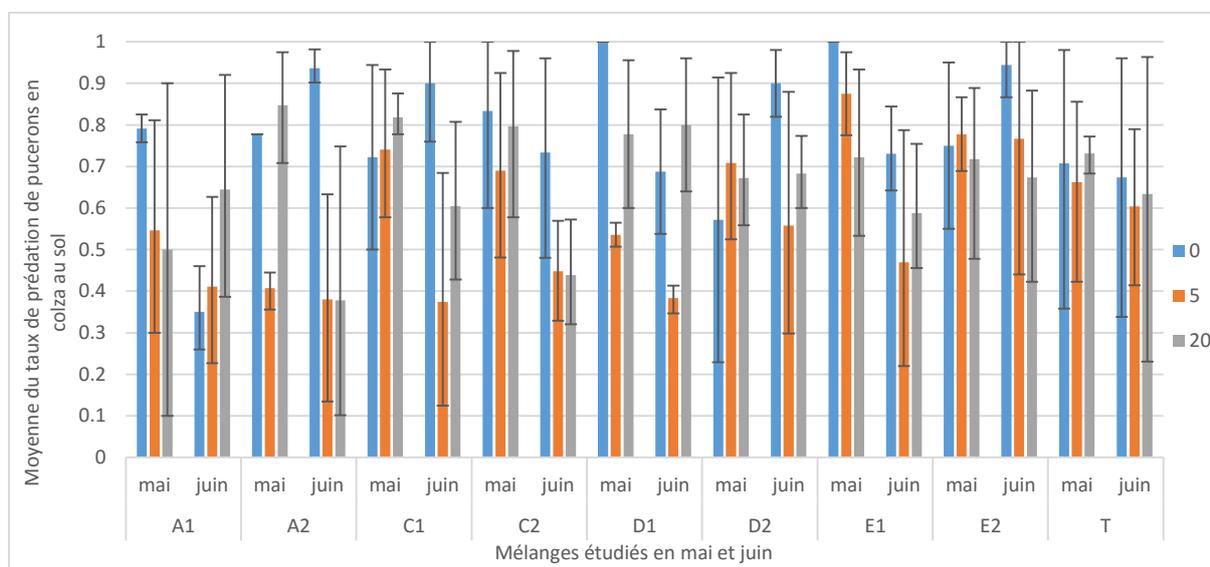


Figure 7 : Influence des mélanges, de la date et de la distance sur le taux de prédation des pucerons en colza au sol. Les valeurs d'erreurs positives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le neuvième décile ; les valeurs d'erreurs négatives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le premier décile

Tableau 4 : Facteurs influençant la prédation de pucerons en colza au sol

Modèle testé : taux de prédation ~ date + mélange + distance + bloc		
Facteurs étudiés	Pr(>Chisq)	Résultats des effets
Date	$< 10^{-4}$	Juin < Mai
Mélange	$4,21 * 10^{-4}$	A1 et A2 < E2
Distance	$< 10^{-4}$	5 < 20 < 0
Bloc	$5,69 * 10^{-4}$	3 < 1

*a) Evaluation du taux de prédation de puceron sur colza pour différents mélanges fleuris et différentes distances en mai et juin*

Dans un premier temps, la prédation de pucerons sur colza est étudiée. Le taux de prédation moyen sur cette culture est de 0,50. Du fait des interactions mises en évidence ci-dessus (Tableau 3), le choix est fait de séparer les deux positions sol et végétation.

*1- Au sol*

Le taux de prédation de pucerons moyen au sol est de 0,66. La prédation en mai (0,72) est plus importante que celle en juin (0,61) (Tableau 4). Le taux de prédation à 5 m est inférieur à celui de 20 m qui est lui-même inférieur à celui de 0 m (s'échelonnant entre 0,57 et 0,76) (Figure 7, Tableau 4), et le taux de prédation du bloc 3 est inférieur à celui du bloc 1 (0,62 contre 0,71) (Tableau 4). En ce qui concerne les mélanges, le taux de prédation en E2 (0,77) est plus fort que ceux de A1 et A2 (0,53 et 0,61) (Figure 7, tableau 4).

*2- Dans la végétation*

Le taux de prédation de pucerons moyen dans la végétation est de 0,34 et est significativement inférieur à celui au sol (0,66). La prédation dans la végétation en juin (0,42) est plus importante que celle en mai (0,24) (Tableau 5). Un effet de la distance est noté, ainsi qu'un effet bloc (Tableau 5). La prédation à 0 m (0,50) est plus forte que celles à 5 et 20 m (0,25 et 0,27) (Figure 8, Tableau 5), et les taux de prédation des blocs 2 et 3 sont inférieurs à celui du bloc 1 (s'échelonnant entre 0,27 et 0,46) (Tableau 5). Un effet des mélanges est mis en valeurs, mais le test de Tukey ne détecte aucune différence ; la significativité n'est peut-être pas assez forte pour permettre cela. Un modèle est refait en testant non plus l'effet du mélange, mais l'effet de la bande en différenciant les mélanges en face d'une bande fleurie et le témoin. Ici, il n'y a pas significativité de ce facteur (Tableau 5).

*a) Effet du système de culture sur la prédation de pucerons en mai et juin sur colza*

Le taux de prédation de pucerons est maintenant évalué dans un cas où le système de culture de colza varie, et ce en mai et en juin. Les taux de prédation étudiés ici s'échelonnent entre 0,20 et 0,75, et beaucoup sont proches de 0,6 (Figure 9). Deux taux plus faibles sont trouvés en mai pour les parcelles En- (0,36) et GES- (0,20) (Figure 9). Selon le test statistique, ni la date, ni les systèmes n'ont d'effet sur la prédation de pucerons (Tableau 6).

*b) Evaluation du taux de prédation de puceron sur blé pour différents mélanges fleuris et différentes distances en mai et juin*

Dans un deuxième temps, la prédation de pucerons sur blé est étudiée. Le taux de prédation de pucerons moyen sur blé est de 0,67, et est significativement supérieur à celui sur colza (0,50). Du fait des interactions mises en évidence plus haut (Tableau 3), les deux positions sol et végétation sont étudiées séparément. Le choix est fait de ne pas présenter les graphiques ici.

*1- Au sol*

Le taux de prédation de pucerons moyen au sol est de 0,85. La prédation au sol en juin (0,78) est plus faible que celle en mai (0,89) (Tableau 7). Un effet de la distance est noté avec un taux de prédation à 5 m (0,44) inférieur à celui de 0 m (0,59) (Tableau 7). Un effet des mélanges est noté, avec une prédation sur le témoin inférieure à celle en A1, C2 et E2 (s'échelonnant entre 0,71 et 0,93) (Tableau 7).

*2- Dans la végétation*

Le taux de prédation de pucerons moyen dans la végétation (0,50) est significativement inférieur à celui au sol (0,85). Les taux de prédictions de mai et de juin ne sont pas significativement différents ici, et seul l'effet de la distance est présent (Tableau 8). Ainsi, les taux de prédation à 5 et 20 m (0,44

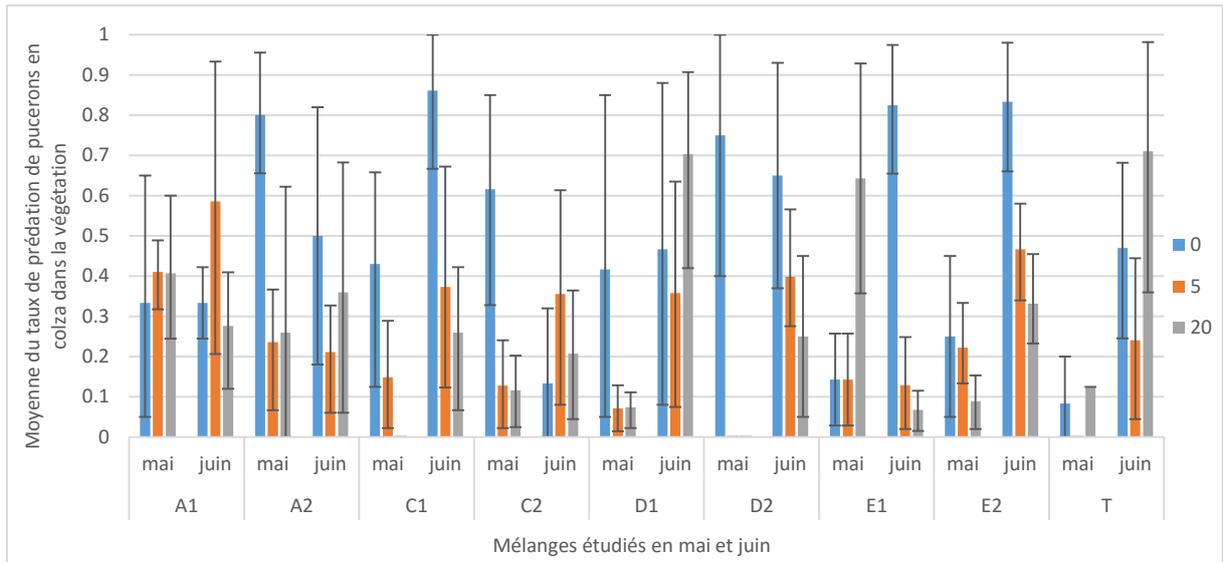


Figure 8 : Influence des mélanges, de la date et de la distance sur le taux de prédation des pucerons en colza dans la végétation. Les valeurs d'erreurs positives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le neuvième décile ; les valeurs d'erreurs négatives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le premier décile

Tableau 5 : Facteurs influençant la prédation de pucerons en colza dans la végétation.

<b>Modèle testé : taux de prédation ~ date + mélange + distance + bloc</b>		
Facteurs étudiés	Pr(>Chisq)	Résultats des effets
Date	$< 10^{-4}$	Mai < Juin
Mélange	$0,48 * 10^{-2}$	Aucune différence détectée
Distance	$< 10^{-4}$	5 et 20 < 0
Bloc	$< 10^{-4}$	2 et 3 < 1
<b>Modèle testé : taux de prédation ~ date + bande fleurie + distance + bloc</b>		
Date	$< 10^{-4}$	Mai < Juin
Bande	$1,40 * 10^{-1}$	NS
Distance	$< 10^{-4}$	5 et 20 < 0
Bloc	$< 10^{-4}$	2 et 3 < 1

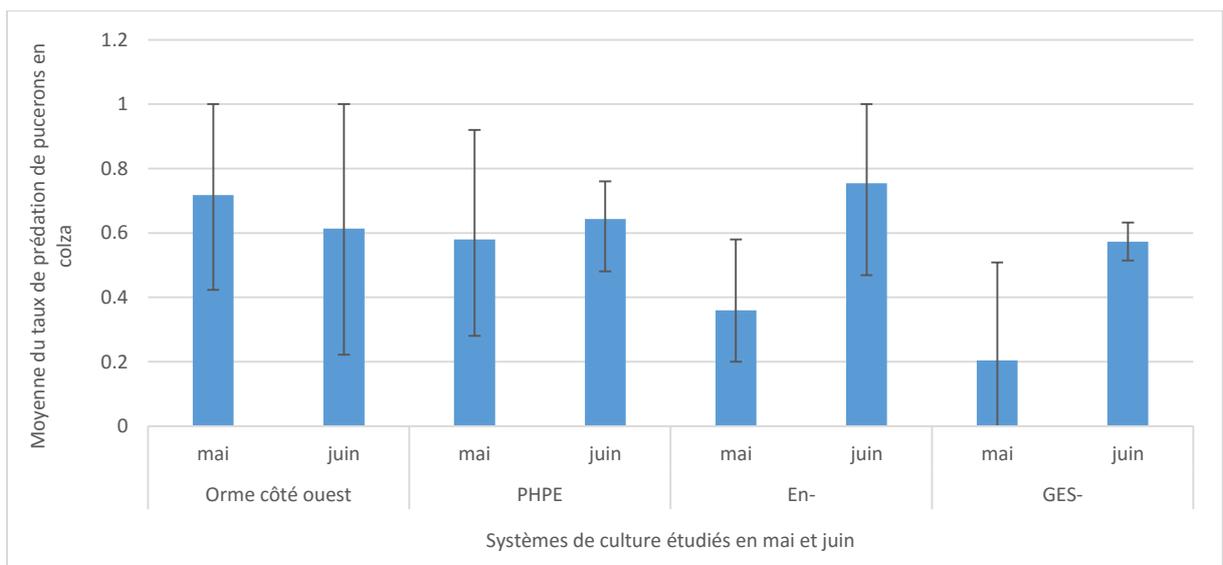


Figure 9 : Influence des systèmes de cultures et de la date sur le taux de prédation des pucerons en colza. Les valeurs d'erreurs positives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le neuvième décile ; les valeurs d'erreurs négatives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le premier décile

et 0,47) sont inférieurs à celui de 0 m (0,59) (Tableau 8). Comme l'effet des mélanges est absent, on réitère le test avec le modèle prenant en compte si on est en face d'une bande fleurie ou bien en face d'un témoin. Cependant, il n'y a pas d'effet lorsqu'on réalise le test (Tableau 8).

### 1) Evaluation du taux de prédation de graines adventices

Une deuxième étude s'attache à évaluer le taux de prédation sur graines d'adventices via l'usage de graine de *Viola arvensis*. Grâce à une analyse statistique, un effet de l'interaction entre la parcelle et la date est mis en évidence ( $\text{Pr}(>\text{Chisq}) < 10^{-4}$ ). Les deux parcelles de colza et de blé sont donc étudiées séparément. Le choix est fait là encore de ne présenter que les graphiques relatifs aux taux de prédation sur colza.

#### a) Sur colza

##### 1- Evaluation du taux de prédation des graines sur colza pour différents mélanges fleuris et différentes distances en mai et juin

Dans un premier temps, la prédation de graines sur colza est étudiée. Le taux de prédation de graines moyen sur colza est de 0,45. Aucun effet date n'est mis en évidence ici (Tableau 9). En revanche, des effets de la distance et des blocs sont observés (Tableau 9). Le taux de prédation à 20 m (0,36) est inférieur à ceux de 0 et 5 m (0,51 et 0,46) (Figure 10, Tableau 9) et les taux de prédation des blocs 1 et 2 sont supérieurs à celui du bloc 3 (s'échelonnant entre 0,37 et 0,48) (Tableau 9). Un effet des mélanges est noté, avec un taux de prédation en A1 inférieur à ceux de A2, D1 et T (s'échelonnant entre 0,33 et 0,55) (Figure 10, Tableau 9).

##### 1- Effet du système de culture sur la prédation de graines en mai et juin sur colza

Le taux de prédation de graines est maintenant évalué dans un cas où le système de culture de colza varie, et ce en mai et en juin. Les taux de prédictions étudiés ici s'échelonnent entre 0 et 0,98 et il y a une grande variabilité des données sur Orme et sur PHPE en mai, et peu de variabilité pour le reste des données (Figure 11). De plus, il existe une grande différence entre la prédation en mai sur En- et GES- qui est proches de 1, et celle de PHPE, En- et GES- en juin, qui est proche de 0 (Figure 11). Selon le test statistique, ni la date, ni les systèmes n'ont d'effet sur la prédation de graines (Tableau 10).

#### b) Sur blé

Dans un deuxième temps, la prédation de graines sur blé est étudiée. Le taux de prédation de graines moyen sur blé est de 0,51, et est significativement supérieur à celui sur colza (0,45). Le choix est fait de ne pas présenter les graphiques ici. La prédation en mai est plus importante que celle en juin (0,57 contre 0,47) (Tableau 11). Le taux de prédation à 0 m est inférieur à celui de 20 m, qui l'est lui-même de celui à 5 m (s'échelonnant entre 0,41 et 0,63) (Tableau 11). De plus, le taux du bloc 3 (0,46) est inférieur à celui du bloc 1 (0,54) (Tableau 11). Un effet mélange est noté, où la prédation de C1 et C2 sont inférieurs à celles de D1, D2, E1 et T (valeurs s'échelonnant entre 0,39 et 0,60) (Tableau 11).

Un bilan des résultats obtenus lors de l'utilisation de pucerons et de graines comme proies sentinelles est présenté dans le Tableau 12.

### III - Etude des paramètres influençant le taux de prédation des bruches

Dans cette étude, l'efficacité de la bruche comme proie sentinelle est évaluée, dans le but d'améliorer le protocole d'estimation du taux de prédation.

Tableau 6 : Influence de la date et du système de culture sur la prédation de pucerons en colza

Facteurs étudiés	p-value	Résultats des effets
Date	$1,20 * 10^{-1}$	NS
Système	$3,00 * 10^{-1}$	NS

Tableau 7 : Facteurs influençant la prédation de pucerons en blé au sol

Modèle testé : taux de prédation ~ date + mélange + distance + bloc		
Facteurs étudiés	Pr(>Chisq)	Résultats des effets
Date	$< 10^{-4}$	Juin < Mai
Mélange	$< 10^{-4}$	T < A1 C1 et T < C2 et E2
Distance	$4,56 * 10^{-3}$	5 < 0
Bloc	$1,59 * 10^{-1}$	NS

Tableau 8 : Facteurs influençant la prédation de pucerons en blé dans la végétation

Modèle testé : taux de prédation ~ date + mélange + distance + bloc		
Facteurs étudiés	Pr(>Chisq)	Résultats des effets
Date	$9,47 * 10^{-1}$	NS
Mélange	$5,76 * 10^{-1}$	NS
Distance	$1,57 * 10^{-4}$	5 et 20 < 0
Bloc	$3,80 * 10^{-1}$	NS
Modèle testé : taux de prédation ~ date + bande fleurie + distance + bloc		
Date	$9,50 * 10^{-1}$	NS
Bande	$5,11 * 10^{-1}$	NS
Distance	$1,25 * 10^{-4}$	5 et 20 < 0
Bloc	$3,95 * 10^{-1}$	NS

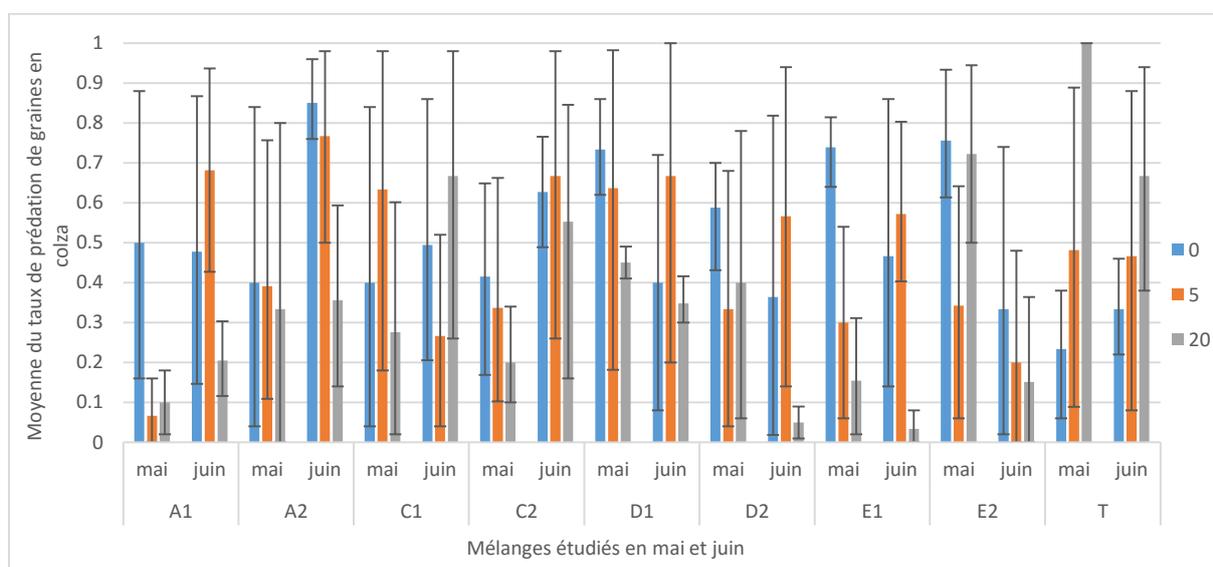


Figure 10 : Influence des mélanges, de la date et de la distance sur le taux de prédation des graines en colza. Les valeurs d'erreurs positives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le neuvième décile ; les valeurs d'erreurs négatives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le premier décile

Tableau 9 : Facteurs influençant la prédation de graines en colza

Modèle testé : taux de prédation ~ date + mélange + distance + bloc		
Facteurs étudiés	Pr(>Chisq)	Résultats des effets
Date	$2,94 * 10^{-1}$	NS
Mélange	$1,22 * 10^{-4}$	A1 < A2, D1 et T
Distance	$< 10^{-4}$	20 < 0 et 5
Bloc	$< 10^{-4}$	3 < 1 et 2

### 1) Détermination du nombre de bruches à utiliser comme proies sentinelles

Un travail méthodologique est préalablement réalisé afin d'évaluer le nombre de bruches à utiliser comme proies sentinelles en un point d'étude. Le but est de pouvoir évaluer un potentiel de prédation, donc de ne pas observer 100 % de consommation dans tous les cas, mais aussi de faire en sorte que la préparation des proies ne soit pas chronophage. Entre 7 et 63 proies sont placées en différents endroits de la parcelle Orme, et dans chaque cas, le taux de prédation est proche de 1 ou égal à 1 après une nuit. Aucune différence significative n'est détectée ici entre tous les taux de prédation (p-value de 0,46). Le nombre initial de proies n'a pas d'influence sur le taux de prédation final pour des valeurs allant au moins jusqu'à 63. Or 63 proies représentent déjà un nombre très important de bruches à préparer pour un seul échantillon. Un nombre de larves de 50 est donc conservé dans l'étude qui suit pour tenter d'estimer un potentiel de prédation.

### 2) Effet du système de culture sur la prédation de bruches en mai et juin sur colza

Le taux de prédation de bruches est maintenant évalué dans un cas où le système de culture de colza varie, et ce en mai et en juin. Les taux de prédation de bruches évalués ici sont proches de 1 (s'échelonnant entre 0,85 et 1) (Figure 12). L'estimation du taux de prédation en juin sur En- présente une variabilité des données supérieure aux autres dates et systèmes (Figure 12). Globalement, il y a peu de variabilité de données pour chaque système et chaque date étudiée (Figure 12), ce qui signifie que la prédation est proche de 100 % pour tous les points étudiés. Selon le test statistique, ni la date, ni les systèmes n'ont d'effet sur la prédation de bruches (Tableau 13).

## IV – Liens entre les communautés d'arthropodes épigés piégés et la prédation évaluée sur blé en mai

Il s'agit dans cette partie d'expliquer la prédation observée juste avant par la faune épigée piégée à l'aide des pots Barber. L'ensemble des carabes, araignées et opilions du blé en mai sont comptés, et les carabes identifiés.

### 1) Structuration des populations d'arthropodes sur blé

Avant de voir si la faune piégée a un impact sur la prédation, la répartition des différents carabes et arachnides est étudiée. Il s'agit de voir une éventuelle ségrégation des communautés au sein de la culture et de la bande. Une ACP est réalisée, avec un axe 1 représentant 18,47 % de la variance, un axe 2 représentant 10,47 % de la variance, et un axe 3 représentant 9,09 % de la variance. Les activités-densités des carabes prédateurs d'insectes varient dans le même sens (*Poecilus cupreus*, *Anchomenus dorsalis*, *Trechus gr. quadristriatus*, *Pterostichus melanarius*, *Nebria salina*) (Figure 13, Figure 15), et ceci est lié à une forte présence à 20 m de la bande (Figure 14, Figure 16). Il est intéressant de noter que les activités-densités de certaines espèces de carabes granivores (*Amara sp.* et *Pseudophonus rufipes*) varient de manière orthogonale à celles des espèces prédatrices (Figure 15), donc les deux communautés sont indépendantes. Enfin, l'activité-densité des araignées semble reliée à une présence à 0 m (Figure 13, Figure 14) ; on peut donc émettre l'hypothèse d'une communauté en araignées majoritairement située dans la bande. Aucun effet des blocs, ni des lignes n'est identifié lors de l'ACP.

Ces ségrégations des communautés sont ensuite vérifiées par des tests statistiques. On différencie ici les carabes prédateurs et granivores, en prenant en compte les espèces utilisées dans l'ACP. Sur blé en mai, on recense à 0 m en moyenne 2 carabes, 52 araignées et 2 opilions dans un pot. A 5 m, il y a en moyenne 4 carabes, 34 araignées et 1 opilion par pot. Enfin à 20 m, on compte en moyenne 6 carabes, 28 araignées et 1 opilion par pot. Les tests statistiques mettent en évidence le gradient décroissant de carabes prédateurs lorsqu'on s'éloigne de la bande, et l'absence de ségrégation pour les carabes granivores (Tableau 14). Ils mettent en outre en lumière une préférence des araignées pour la bande (Tableau 14). Enfin, aucune ségrégation de la communauté d'opilions n'est prouvée ici (Tableau 14).

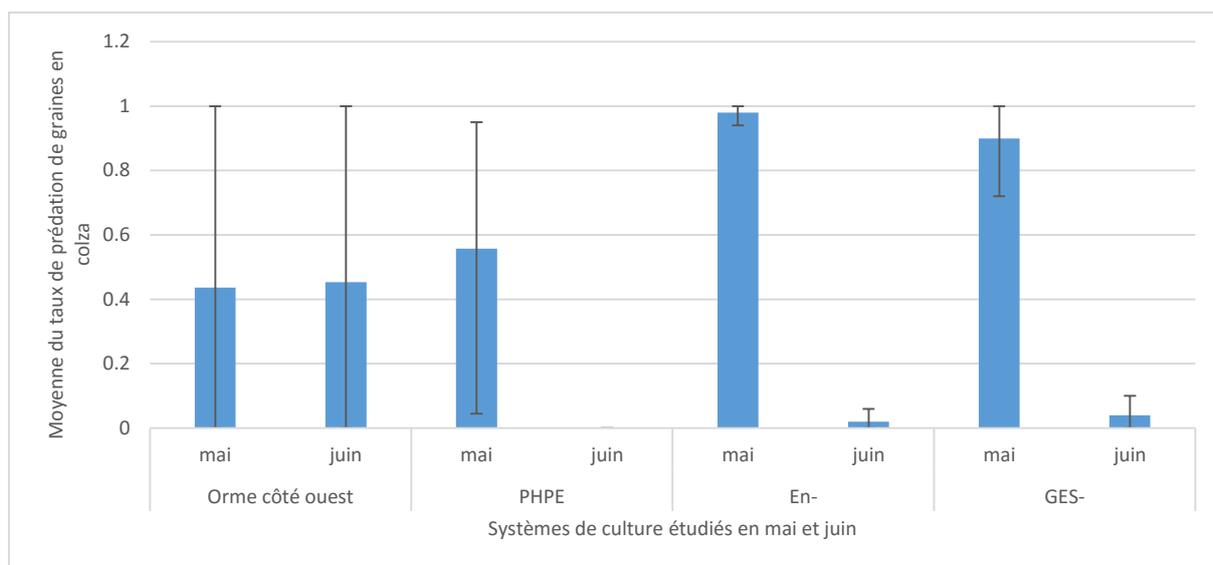


Figure 11 : Influence des systèmes de culture et de la date sur le taux de prédation des graines en colza. Les valeurs d'erreurs positives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le neuvième décile ; les valeurs d'erreurs négatives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le premier décile

Tableau 10 : Influence de la date et des systèmes de culture sur la prédation de graine en colza

Facteurs étudiés	p-value	Résultats des effets
Date	$6,22 * 10^{-2}$	NS
Système	$5,77 * 10^{-1}$	NS

Tableau 11 : Facteurs influençant la prédation de graines en blé

Modèle testé : taux de prédation ~ date + mélange + distance + bloc		
Facteurs étudiés	Pr(>Chisq)	Résultats des effets
Date	$< 10^{-4}$	Juin < Mai
Mélange	$< 10^{-4}$	C1 et C2 < D1, D2, E1 et T
Distance	$< 10^{-4}$	0 < 20 < 5
Bloc	$3,71 * 10^{-2}$	3 < 1

Tableau 12 : Récapitulatif des résultats des effets des facteurs étudiés sur la prédation de pucerons et de graines en colza et blé

		Position		Date	Mélange	Distance
Pucerons	Colza <	Végétation < Sol	Sol	Juin < Mai	A1 et A2 < E2	5 < 20 < 0
			Végétation	Mai < Juin	Pas de différence	5 et 20 < 0
	Blé	Végétation < Sol	Sol	Juin < Mai	T < A1 C1 et T < C2 et E2	5 < 0
			Végétation	NS	NS	5 et 20 < 0
Graines	Colza <	/	/	NS	A1 < A2, D1 et T	20 < 0 et 5
	Blé	/	/	Juin < Mai	C1 et C2 < D1, D2, E1 et T	0 < 20 < 5

## 2) Influence des différentes communautés d'arthropodes du blé en mai sur la prédation évaluée

### a) *Etude de l'impact des activités-densités sur la prédation*

Cette partie vise maintenant à expliquer la prédation par la faune prédatrice. Un premier travail consiste à voir si les activités-densités des différentes familles (araignées, carabes et opilions) ont un impact sur les taux de prédation de pucerons, de graines et de bruches.

#### 1- Prédation de pucerons

Dans un premier temps, des nuages de points sont réalisés pour identifier d'éventuels liens entre l'activité-densité des prédateurs et la prédation de pucerons. On étudie séparément les trois familles. Sur chaque graphique, les trois distances 0, 5 et 20 m sont séparées. L'exemple de l'influence de l'activité-densité des carabes sur la prédation est donné Figure 17. On vérifie tout d'abord graphiquement le gradient croissant de l'activité-densité de carabes plus on s'éloigne de la bande. Ensuite, les taux de prédation de pucerons sont souvent proches de 1. De ce fait, aucune relation entre l'activité-densité des carabes et la prédation de pucerons ne peut être dégagée. Cette première étape d'analyse justifie l'absence d'analyses statistiques des données. En effet, l'absence de relation est visible graphiquement. De manière analogue, un nuage de points est réalisé pour le cas des araignées et un pour le cas des opilions. On vérifie les effectifs plus importants d'araignées dans la bande par rapport à la culture. De plus, aucune relation n'est observée graphiquement entre les activités-densités d'araignées et d'opilions et la prédation de pucerons. Aucune statistique n'est faite ici.

#### 2- Prédation de graines

De la même façon que précédemment, des nuages de points sont réalisés pour identifier préalablement d'éventuels liens entre l'activité-densité des prédateurs et la prédation de graines. Seuls les carabes et araignées sont étudiés car les opilions sont carnivores. L'exemple de l'influence de l'activité-densité des carabes sur la prédation est donné Figure 18. On vérifie là encore le gradient croissant de l'activité-densité de carabes plus on s'éloigne de la bande. L'absence de relation entre l'activité-densité des carabes et la prédation de graines est visible graphiquement. Cette première étape d'analyse justifie l'absence d'analyse statistique des données. De manière analogue, un nuage de points est réalisé pour le cas des araignées. On vérifie les effectifs plus importants d'araignées dans la bande par rapport à la culture. De plus, aucune relation n'est observée graphiquement entre les activités-densités d'araignées et la prédation de graines. Aucune statistique n'est faite ici.

#### 3- Prédation de bruches

De la même façon que précédemment, des nuages de points sont réalisés pour identifier préalablement d'éventuels liens entre l'activité-densité des prédateurs et la prédation de bruches. Or le taux de prédation de bruches est dans tous les cas très proche de 1. Aucune relation entre l'activité-densité des carabes, araignées et opilions et la prédation de bruches ne peut être dégagée ici. Aucune statistique n'est faite ici.

### b) *Pondération des effectifs piégés par les régimes alimentaires et les tailles moyennes des individus et explication de la prédation*

Pour aller plus loin, on réitère l'étude effectuée juste avant, mais cette fois en prenant en compte les régimes alimentaires et les tailles moyennes des individus. On cherche ici à voir si la prise en compte de la taille moyenne et des régimes alimentaires en insectes, en arthropodes et zoophage explique la prédation de pucerons et de bruches en mai, et si la prise en compte de la taille moyenne et des régimes alimentaires en graines explique la prédation des graines de *Viola* en mai.

#### 1- Prédation de puceron

Dans un premier temps, des nuages de points sont réalisés pour identifier d'éventuels liens entre l'activité-densité pondérée des prédateurs et la prédation de pucerons. Sur chaque graphique, les

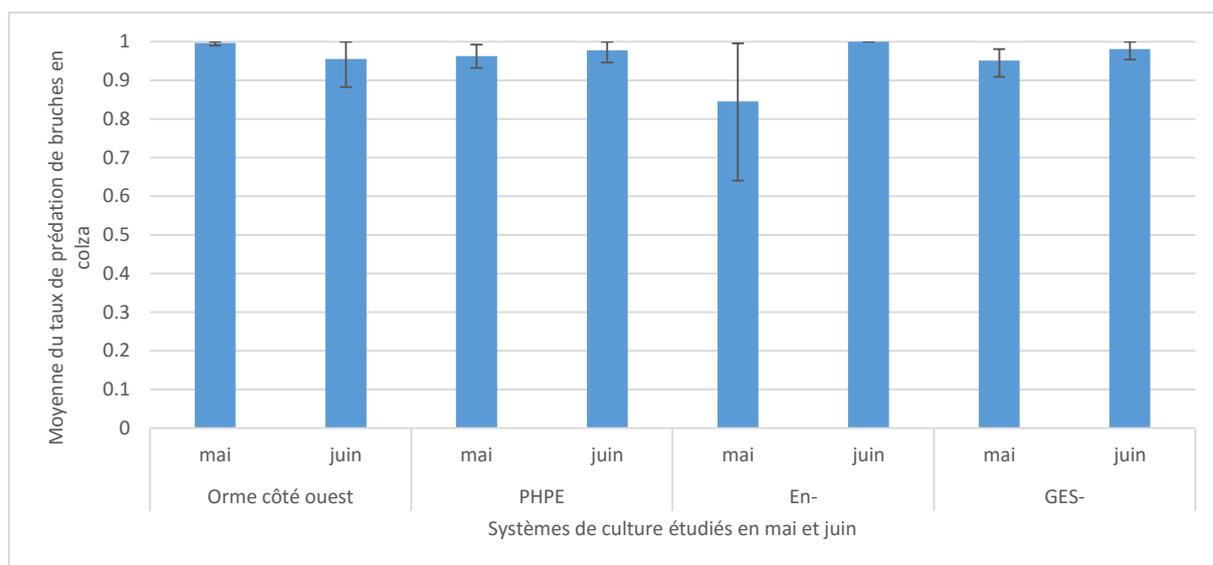


Figure 12 : Influence des systèmes de culture et de la date sur le taux de prédation des bruches en colza. Les valeurs d'erreurs positives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le neuvième décile ; les valeurs d'erreurs négatives des barres d'erreurs sont les écarts entre la moyenne et le premier décile

Tableau 13 : Influence de la date et des systèmes de culture sur la prédation de bruches en colza

Facteurs étudiés	p-value	Résultats des effets
Date	$3,29 * 10^{-1}$	NS
Système	$6,70 * 10^{-1}$	NS

Tableau 14 : Influence de la distance à la bande sur les activités-densités de carabes prédateurs et granivores, araignées et opilions en blé en mai

	Activité densité des carabes prédateurs		Activité densité des carabes granivores		Activité densité des araignées		Activité densité des opilions	
	p-value	Résultats des effets	p-value	Résultats des effets	p-value	Résultats des effets	p-value	Résultats des effets
Distance	$< 10^{-4}$	0 < 5 < 20	0,84	NS	$< 10^{-4}$	5 et 20 < 0	0,53	NS

trois distances 0, 5 et 20 m sont séparées. On étudie séparément les trois pondérations différentes : régime alimentaire en insectes, en arthropodes et zoophage, le tout pondéré par la taille moyenne. L'exemple de l'influence de l'activité-densité des carabes et des opilions, pondérée par la taille moyenne et les régimes alimentaires en insectes, sur la prédation de pucerons est donné Figure 19. Les taux de prédation de pucerons sont souvent proches de 1. De ce fait, aucune relation entre l'activité-densité pondérée et la prédation de pucerons ne peut être dégagée. Cette première étape justifie l'absence d'analyse statistique des données. En effet, l'absence de relation est visible graphiquement. De manière analogue, un nuage de points est réalisé pour les deux autres cas de pondérations. Encore une fois, aucune relation n'est trouvée entre les activités-densités pondérées et la prédation de pucerons. Aucune statistique n'est faite ici.

#### 2- Prédation de graines

De la même façon que précédemment, des nuages de points sont réalisés pour identifier préalablement d'éventuels liens entre l'activité-densité pondérée des prédateurs et la prédation de graines. Seuls les carabes sont pris en compte, car le régime alimentaire en graines des opilions est nul. L'exemple de l'influence de l'activité-densité des carabes, pondérée par la taille moyenne et les régimes alimentaires en graines, sur la prédation de graines de *Viola* est donné Figure 20. L'absence de relation entre l'activité-densité pondérée des carabes et la prédation de graines est visible graphiquement. Cette première étape d'analyse justifie l'absence d'analyse statistique des données.

#### 4- Prédation de bruches

De la même façon que précédemment, des nuages de points sont réalisés pour identifier préalablement d'éventuels liens entre l'activité-densité des prédateurs, pondérée par la taille moyenne et les différents types de régimes alimentaires, et la prédation de bruches. Or le taux de prédation de bruches est dans tous les cas très proche de 1. Aucune relation entre l'activité-densité des carabes, même pondérée, et la prédation de bruches ne peut être dégagée ici. Aucune statistique n'est faite ici.

### V – Composition des communautés épigées filmées et différences avec les activités-densités

#### 1) Natures des individus filmés au sol et de leurs interactions avec les proies

A l'aide de la caméra, plusieurs interactions des arthropodes sur les proies sont différenciées. Ainsi, un individu peut passer, déplacer une proie sans se nourrir, tester la proie, l'emporter en dehors du champ de vision (où l'hypothèse est émise d'une prédation que l'on ne peut observer) ou se nourrir. La caméra est placée de début avril à début juillet, à 0, 5 et 20 m de la bande sur les parcelles Orme, et sur les parcelles PHPE et GES- de SIC.

#### a) Recensement de l'ensemble des interactions qu'a la faune arthropode avec les pucerons et les bruches

Dans un premier temps, les interactions des différents arthropodes avec les pucerons et les bruches placés comme proies sentinelles sont recensées. La caméra ne permet pas une identification précise des arthropodes, c'est pourquoi le nombre d'individus non identifiés est grand (573) (Figure 21). Seuls les espèces de carabes suivantes sont reconnaissables : *Anchomenus dorsalis*, *Pterostichus sp.* et *Poecilus sp.*. Chacune réalise les actions d'emporter ou de se nourrir. Pour *Anchomenus dorsalis*, 13 % des 98 actions observées consistent à emporter une proie et 14 % à se nourrir ; 65 % du temps, il ne fait que passer (Figure 21). Pour *Pterostichus sp.*, 34 % des actions consistent à emporter, 33 % des actions sont de la prédation, et il passe 25 % du temps pour 73 observations (Figure 21). Enfin, pour *Poecilus sp.* 75 % des interactions consistent à se nourrir, 8 % consistent à emporter, et 8 % à passer pour 12 observations (Figure 21). Pour chacun, il y a peu de tests de proies (Figure 21). Quant aux autres carabes, avec 313 interactions répertoriées, la majorité des actions consistent à passer (71 %),



contre 11 % où ils emportent la proie et 11 % de prédation (Figure 21). Ceci est peut être dû à tous les carabes observés dont les insectes ne font pas partie du régime alimentaire, comme les carabes granivores. D'autres coléoptères, tels que les staphylins ou des coléoptères non identifiés sont à l'origine de prédation. Concernant les staphylins, 17 % de leurs interactions sont de la prédation (Figure 21).

Un point intéressant, et observé pour la première fois depuis le début des expérimentations avec utilisation de vidéos, est le nombre important de mouches. En effet, 173 interactions de mouches sont observées ; 19 % sont des tests et 20 % sont de la prédation (Figure 21), et ce sur pucerons et bruches. Seulement 9 interactions d'araignées sont observées (Figure 21), ce qui n'est pas représentatif de la population réelle, car ces dernières sont très peu identifiables sous la caméra du fait de leur petite taille. Il est probable que beaucoup d'entre elles soient classées dans la catégorie des individus non identifiés. Les opilions consomment beaucoup d'insectes, car sur 71 interactions observées, 37 % sont de la prédation, et 20 % des tests (Figure 21). Beaucoup de myriapodes sont vus, mais 98 % du temps, ils ne font que passer (Figure 21). Enfin, seuls 27 actions de limaces et 3 de souris sont observées, et la plupart ne sont que du passage (Figure 21).

En revanche, peu de choses sont à noter sur les vidéos des proies sentinelles placées dans la végétation. Seulement 4 passages et 1 test d'araignées, 2 passages de mouches et 1 prédation de limace sont observés sur les 6 observations effectuées.

#### *b) Interactions avec les graines*

Dans un second temps, les mêmes interactions sur les graines sont recensées et peu de prédation est observée. En effet, sur les trois fois où la prédation de graines est étudiée, c'est le passage d'individus qui est majoritaire. Sont ainsi répertoriés 4 passages de carabes non identifiés, 1 de staphylin, 4 de mouches, 2 d'araignées, 1 d'opilion, 20 de myriapodes, 18 d'individus non identifiés et 1 de souris. De plus, un test de carabe est noté, ainsi que la prédation par une souris.

#### **2) Liens entre le nombre de carabes et opilions observés à l'aide de la caméra au sol et leurs activités-densités**

Dix-neuf des sites où la caméra a été posée au sol sont étudiés ici : 17 sur les parcelles de colza et de blé d'Orme, et 2 sur les parcelles PHPE et GES- de SIC. Les films sont effectués entre avril et juin. Les pièges posés sur ces mêmes lieux en avril, mai et juin sont analysés (le piégeage d'avril est complémentaire et n'a pas été étudié jusqu'à présent). Le nombre restreint de données ne permet pas de faire des statistiques ici.

Trente-huit *Anchomenus dorsalis* sont observés et 101 capturés, 4 *Poecilus sp.* sont observés et 25 capturés, et 51 *Pterostichus sp.* sont observés et 53 piégés. Très peu de *Poecilus sp.* sont observés. Il ne semble pas y avoir de relations observables entre les activités-densités et les effectifs observés pour ces trois espèces. En outre, sur beaucoup de sites le nombre de carabes filmés est proche ou égal à zéro (Figure 22). A l'inverse, certains sites se démarquent car présentent un nombre de carabes filmés important (entre 11 et 42 *Anchomenus dorsalis* et entre 12 et 26 *Pterostichus sp.*) (Figure 22). Ces sites correspondent à des observations vidéo où les proies sentinelles étaient des bruches (seules où avec des pucerons). Ils sont caractérisés par un cercle noir sur la Figure 22.

Par souci de lecture graphique, les carabes différents des trois espèces étudiées précédemment et les opilions sont étudiés à part. Concernant ces autres espèces de carabes, 198 individus sont piégés, et 246 observés. Peu de sites présentent des nombres observés nuls (Figure 23). Par ailleurs, trois sites se démarquent par un nombre important d'observations (entre 32 et 76 individus) (Figure 23). Ceci correspond là encore à des observations vidéo effectuées pour observer la prédation de bruches (seules ou avec des pucerons) ; les sites sont caractérisés par un cercle noir sur la Figure 23. Concernant les opilions, 66 sont piégés et 54 observés. L'activité-densité et le nombre d'observations restent faibles. Aucun site ne semble se démarquer par un nombre d'observations importantes (Figure 23).

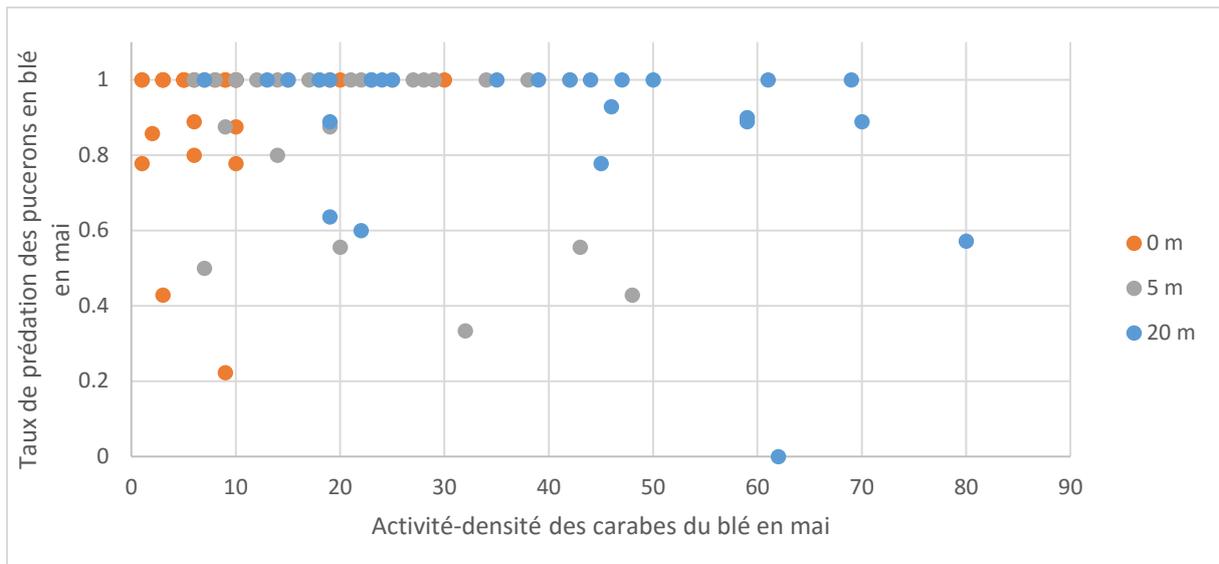


Figure17 : Influence de l'activité-densité des carabes piégés en mai dans la culture de blé sur le taux de prédation de pucerons évalué en mai dans la culture de blé. Les trois distances 0, 5 et 20 m sont séparées.

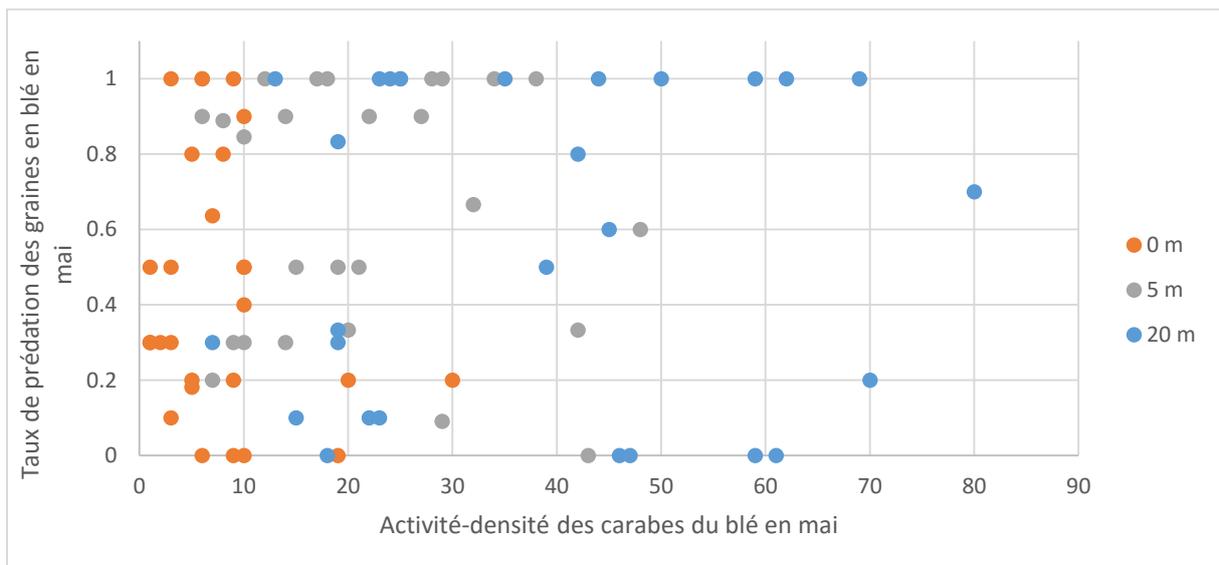


Figure 18 : Influence de l'activité-densité des carabes piégés en mai dans la culture de blé sur le taux de prédation de graines évalué en mai dans la culture de blé. Les trois distances 0, 5 et 20 m sont séparées.

## Discussion

### I – Effet des bandes fleuries sur la faune prédatrice : peu de variabilité du taux de prédation est observée entre les différents mélanges

Pour comprendre en quoi ces mélanges varient les uns des autres, les données sur le recouvrement, le nombre d'espèces et la diversité de Shannon sont observées. Il y a moins de variabilité pour le critère du recouvrement dans les mélanges étudiés que pour les deux autres critères. De plus, la prédation de pucerons est significativement plus forte au sol sur le mélange E2. Il présente un fort recouvrement (132,9) et de fortes diversités spécifiques et de Shannon (respectivement 30 espèces et 4,16). Les mélanges E comportent en outre des plantes rampantes et plus de plantes en rosettes que les autres. Or les prédateurs du sol sont peu sensibles à une forte disponibilité en plantes à nectar comme pourraient l'être d'autres insectes prédateurs ou parasitoïdes dont la larve est prédatrice mais l'adulte herbivore (Pontin *et al.* 2006). La faune épigée tire plutôt partie du recouvrement qu'offre la flore locale afin de se protéger de prédateurs supérieurs (Roumegous 2012). La variabilité existant au sein de ces mélanges ne semble pas être suffisante pour faire varier la nature de la faune, et donc avoir un impact sur la prédation.

### II – L'utilisation des pucerons et des graines comme proies sentinelles permet d'observer différentes variations du potentiel de prédation

#### 1) Prédation de puceron

##### a) La prédation sur blé est plus importante que celle sur colza

Si on compare dans un premier temps les deux cultures étudiées, la prédation de pucerons sur blé est supérieure à celle sur colza. En effet, le taux de prédation de pucerons moyen sur blé est de 0,67, et celui sur colza de 0,50. Il semble donc que la faune du blé soit plus à même d'effectuer une régulation des pucerons. Or on peut lire dans la littérature que les carabes préfèrent la culture de colza aux cultures de céréales, notamment grâce à une plus forte présence de proies animales (mélégèthes), et végétales (graines d'adventices) (Labruyère 2016). Ici, plusieurs hypothèses sont possibles :

→ Les carabes du colza peuvent disposer d'une quantité importante de proies naturelles (larves de mélégèthes et d'altises comptées courant mai), et donc moins s'intéresser aux proies sentinelles. La consommation de ces dernières peut diminuer si les prédateurs préfèrent une autre proie alternative. Par exemple, la consommation en œufs de diptères utilisés comme proies sentinelles en culture maraîchère (cultivée en agriculture biologique à proximité d'un aménagement de type « beetle bank ») diminue lorsqu'on rajoute des pucerons au milieu (Prasad & Snyder 2006).

→ Les pucerons font moins partie du régime alimentaire des prédateurs présents sur colza que de celui des prédateurs présents sur blé, du fait d'une forte densité de pucerons sur blé. En effet, *Sitobion avenae*, *Rhopalosiphum padi* et *Metopolophium dirhodum* sont parmi ses principaux insectes ravageurs du blé (Arvalis). De plus, des comptages de pucerons ont été réalisés sur blé à partir du 1<sup>er</sup> juin, et ces trois espèces étaient bien présentes.

L'activité-densité, seule ou pondérée par la taille moyenne des individus et par les régimes alimentaires, n'explique pas la prédation sur blé. Cela montre que la prise en compte de l'activité-densité des arthropodes prédateurs ne reflète pas leur rôle de prédation.

##### b) La prédation au sol est plus importante que celle dans la végétation

Dans un deuxième temps, la prédation au sol est plus importante que celle de la végétation. Par exemple sur blé, le taux de prédation de pucerons moyen dans la végétation est de 0,50 et celui au sol est de 0,85. Ceci peut s'expliquer par la présence de la faune épigée prédatrice étudiée ici (carabes, araignées, opilions, etc.). Dans de rares cas, ces prédateurs épigés peuvent monter dans la végétation pour se nourrir, mais la prédation par ces individus s'effectue car des proies tombent au sol (Lang *et al.* 1999). En revanche, une faune diversifiée au sol ne signifie pas nécessairement une prédation plus importante. En effet, la faune prédatrice du lépidoptère *E. postvittana* est décrite comme plus

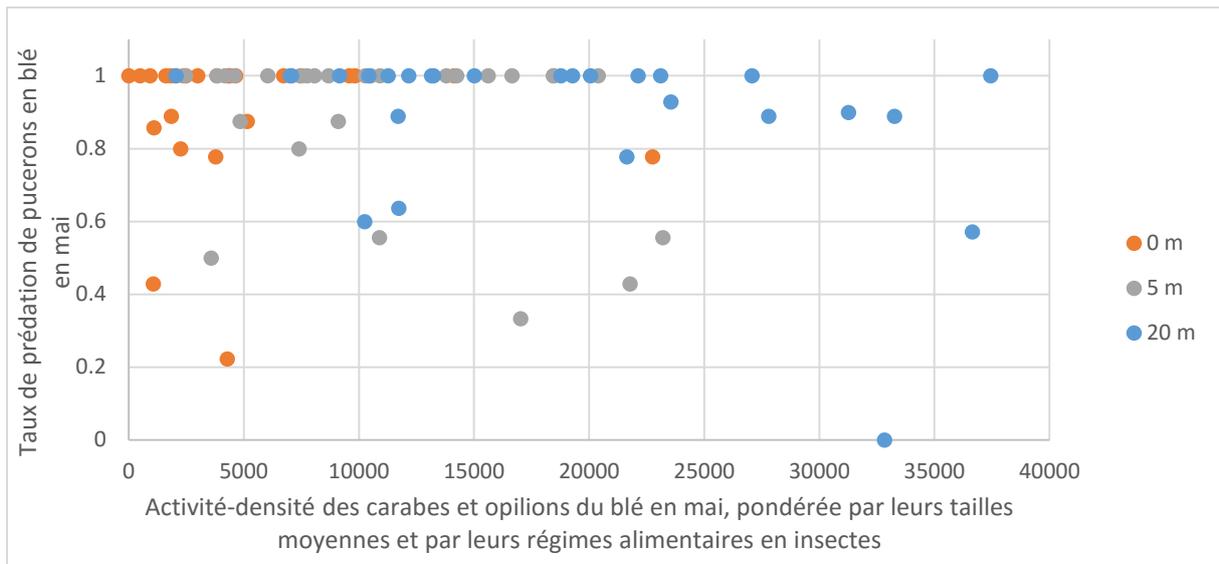


Figure 19 : Influence de l'activité-densité des carabes et opilions piégés en mai dans la culture de blé, pondérée par la taille moyenne des individus et leurs régimes alimentaires en insectes, sur le taux de prédation de pucerons évalué en mai dans la culture de blé. Les trois distances 0, 5 et 20 m sont séparées.

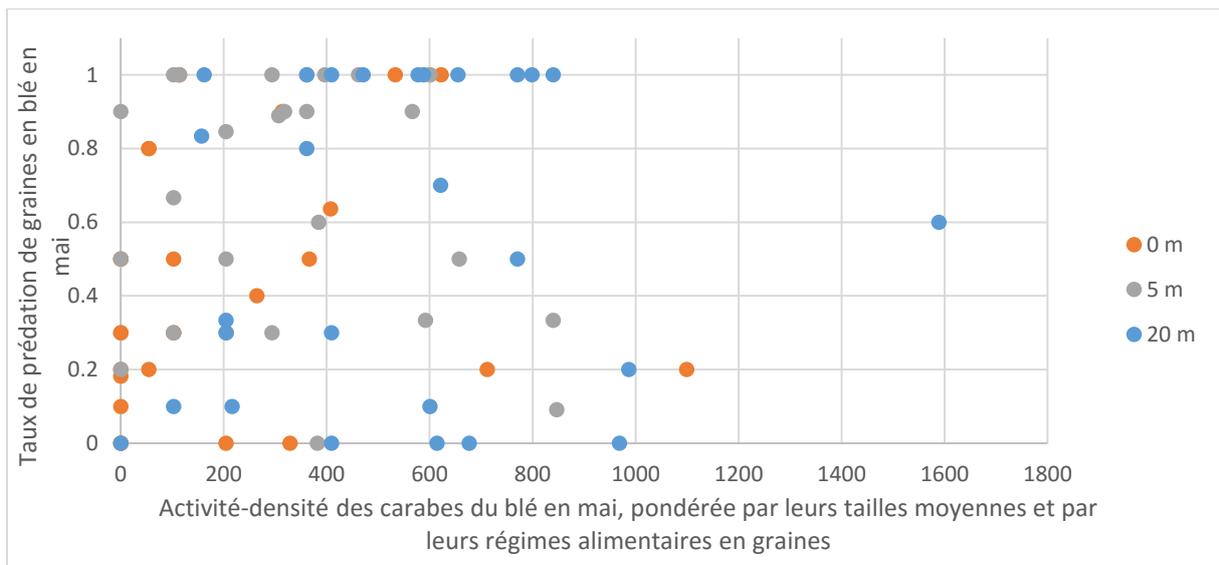


Figure 20 : Influence de l'activité-densité des carabes piégés en mai dans la culture de blé, pondérée par la taille moyenne des individus et leurs régimes alimentaires en graines, sur le taux de prédation de graines évalué en mai dans la culture de blé. Les trois distances 0, 5 et 20 m sont séparées.

diversifiée au sol que dans la végétation, mais la prédation qui en résulte n'en est pas plus forte pour autant (Frank *et al.* 2007). La prédation au sol est plus importante en mai qu'en juin. Sur blé, ce phénomène peut être dû au fait que les pucerons sont déjà présents comme proies en juin, contrairement au mois de mai ; ainsi la faune prédatrice s'intéresse moins aux proies sentinelles et plus aux proies naturelles (Prasad & Snider 2006). Pour le cas de la végétation, c'est en juin qu'elle est supérieure, mais seulement sur colza.

#### a) *La prédation dans la bande est meilleure que dans la culture*

La prédation effectuée au sol et dans la végétation est plus importante dans la bande que dans la culture. Par exemple sur blé, le taux de prédation moyen au sol à 0 m est de 0,59, contre un taux de prédation moyen de 0,44 à 5 m. L'ACP met en évidence la présence d'araignées préférentiellement dans la bande sur blé et les statistiques appuient cette préférence par rapport à la culture. En outre, les araignées sont plus présentes dans des bandes enherbées en bords de champs de blé cultivés sans pesticide ni engrais, que dans les champs eux-mêmes (Kromp & Steinberger 1992). Les carabes prédateurs sont à l'inverse de moins en moins présents lorsqu'on se rapproche de la bande d'après l'étude statistique et la littérature (Labruyère 2016). On peut émettre l'hypothèse d'un rôle majeur des araignées dans la prédation effectuée dans la bande. Aucune relation n'existe cependant entre l'activité-densité des araignées et la prédation observée, ni entre l'activité-densité des carabes, pondérée ou non par les régimes alimentaires et la taille moyenne, et la prédation observée. Pour aller plus loin, il serait intéressant de réitérer l'étude de l'influence de l'activité-densité des araignées, cette fois ci pondérée par leurs régimes alimentaires et leurs tailles moyennes. Pour cela, il faut au préalable identifier ces araignées pour différencier les carnivores des omnivores, et ainsi avoir une idée du régime alimentaire des individus piégés. Dans la littérature, les études ne s'attachent pas à évaluer la prédation dans l'espace semi-naturel, mais se contentent de voir les effets de ce dernier sur la régulation naturelle dans la culture.

#### b) *Aucun effet du système de culture n'est mis en évidence sur une variation de la prédation*

Aucun effet du système de culture n'est mis en évidence. En effet, les taux de prédation de pucerons sur les différents systèmes de culture s'échelonnent entre 0,20 et 0,75, et beaucoup sont proches de 0,6. Le labour effectué sur PHPE ne semble donc pas influencer la prédation de pucerons effectuée sur cette parcelle. De plus, l'insecticide utilisé en automne dernier sur les trois parcelles SIC n'a pas d'influence sur cette prédation.

Or l'absence de labour dans une parcelle favorise la richesse et l'abondance des espèces de carabes sur celle-ci (Trichard *et al.* 2014), tandis que sa présence entraîne leur mort (Shearin *et al.* 2007). De plus, les insecticides peuvent réduire l'abondance en proies, mais éventuellement affecter directement le comportement des carabes en provoquant un stress, induisant plus de mouvement, et moins de prédation (Labruyère 2016). Or une forte activité-densité des carabes ne signifie pas nécessairement une prédation importante. La prédation intra-gilde peut amener à une baisse de l'efficacité de la méthode « top-down » (Rouabah *et al.* 2014). C'est le cas pour *Pterostichus melanarius*, beaucoup piégé ici, qui est connu pour se nourrir sur d'autres carabes et staphylins. Dans ce genre de cas, un fort effectif de prédateurs n'est pas lié à une meilleure prédation. Par exemple, l'augmentation du nombre de carabes permise par une « beetle bank » ne permet pas l'augmentation de la prédation d'œufs d'*Anthomyiidae* (diptère) en culture maraîchère, à cause d'une prédation intra-gilde, ou bien d'une activité moindre des petits carabes afin d'éviter leurs propres prédateurs (Prasad & Snider 2006). Ainsi, une communauté en carabe potentiellement moindre sur PHPE du fait du labour, et à cause de l'insecticide pour PHPE, En- et GES-, ne signifierait pas nécessairement une prédation moins importante.

Afin d'approfondir cette étude, il serait intéressant de considérer plus de répétitions au sein des parcelles PHPE, En- et GES-, car seulement huit points sont étudiés par site, contre 81 sur la parcelle

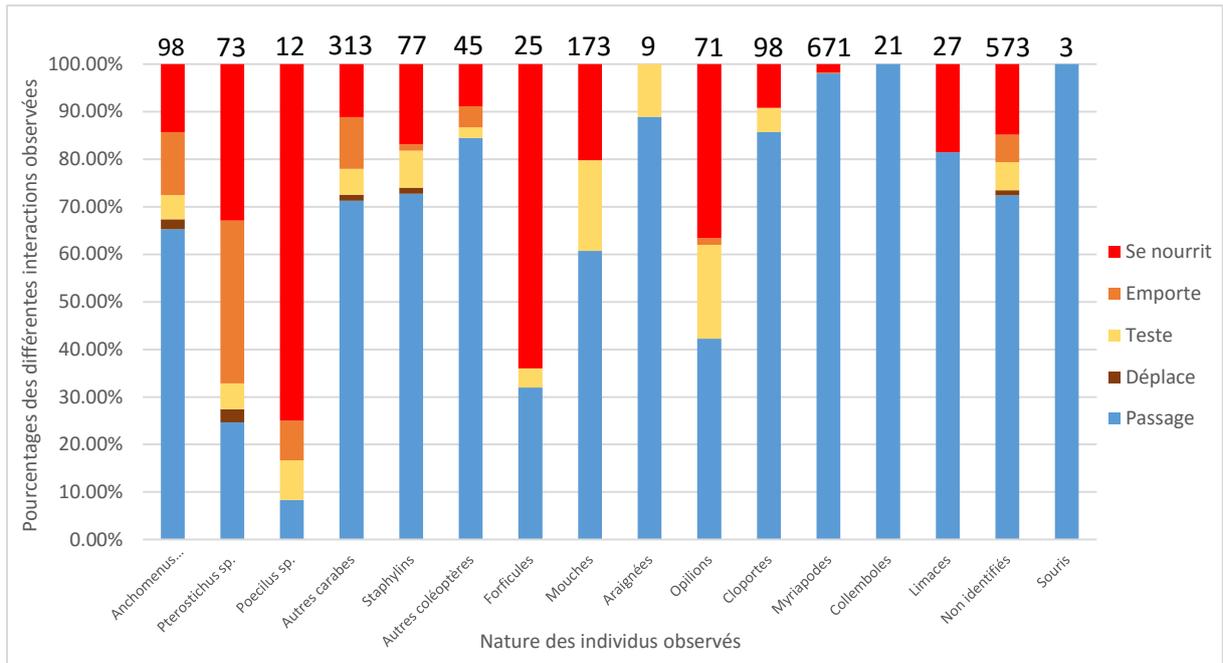


Figure 21 : Natures et parts des différentes interactions effectuées par la faune épigée sur les pucerons et les bruches filmés au sol grâce à la caméra. Le nombre total d'interactions par organisme est noté au sommet des histogrammes.

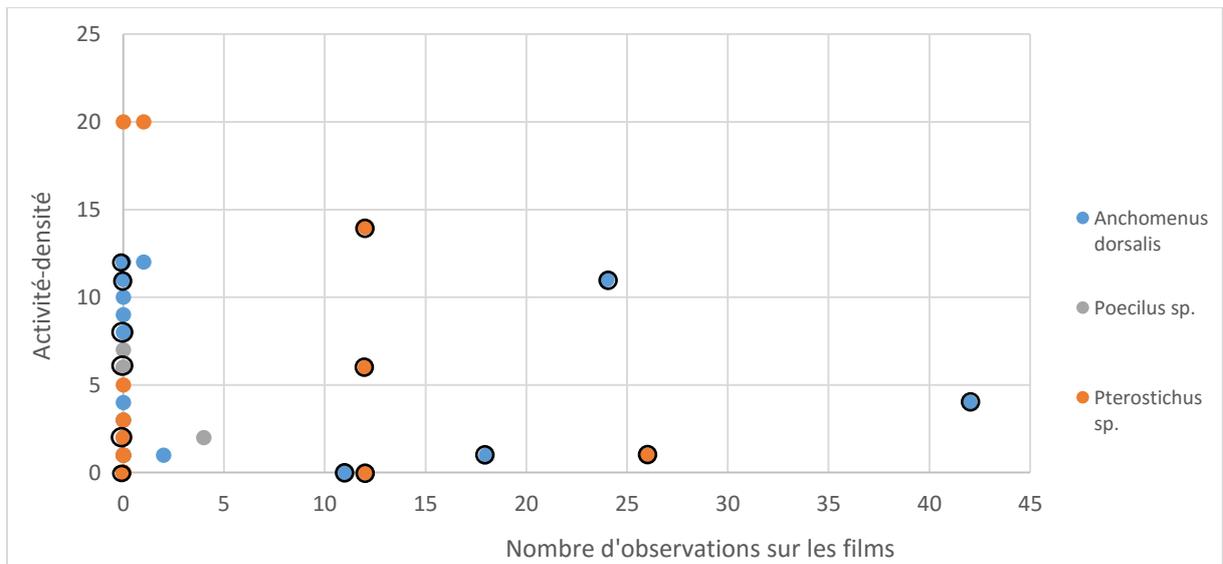


Figure 22 : Relations entre les nombres de carabes *Anchomenus dorsalis*, *Poecilus sp.* et *Pterostichus sp.* observés sur les films et leurs activités-densités. Un point représente un site d'étude. Les cercles noirs correspondent aux observations vidéo faites sur des bruches seules, ou accompagnées de pucerons

de colza sur Orme. De ce fait, seul un test non paramétrique a pu être opéré ici, de par le manque de pertinence de l'usage d'un test paramétrique. Il serait également utile de posséder l'ensemble des données de l'activité-densité des arthropodes sur l'ensemble des parcelles, pour tenter d'expliquer la prédation par la faune épigée.

## 2) Prédation de graines

La prédation de graines est plus importante sur blé que sur colza. En effet, le taux de prédation moyen de graines sur blé est de 0,51, et celui sur colza de 0,45. Les taux de prédation sont globalement assez faibles lorsqu'on les compare aux taux de prédation de pucerons. Peut-être que le nombre de granivores est faible, ou que la faune épigée consomme d'autres graines disponibles dans le milieu, et ce surtout en juin avec la production de graines de plantes adventices ou de la flore de la bande. La prédation en juin est en outre inférieure à celle de mai sur culture de blé. L'activité-densité des carabes, pondérée ou non par les régimes alimentaires et la taille moyenne, n'explique pas la prédation de graines sur blé. Cela montre que la prise en compte de l'activité-densité des arthropodes prédateurs ne reflète pas leur rôle de granivores.

Dans un deuxième temps, il n'y a pas un effet de la distance homogène entre blé et colza. La prédation évaluée à 5 m est malgré tout plus élevée que celle évaluée à 0 m et à 20 m. Par exemple sur blé, le taux de prédation de graines évalué à 5 m est de 0,63, et est plus fort que ceux à 0 et 5 m. Il est démontré avec l'ACP que les communautés de carabes granivores sont indépendantes des communautés de carabes prédateurs d'insectes sur blé, et que la distance n'a pas d'influence sur leur activité-densité. Le nombre de carabes granivores ne répond donc pas à un gradient positif lorsqu'on s'éloigne de la bande dans cette étude, contrairement aux autres carabes. Or l'espace semi-naturel favoriserait les espèces granivores (Labruyère 2016).

Par ailleurs, la prédation dans le témoin est cette fois significativement supérieure à certains mélanges. Sur blé, la prédation évaluée sur le témoin est de 0,60, et est la plus forte de tous les mélanges. Les témoins ne disposent pas de mélanges fleuris à proximité, donc une banque de graines moins fournie aux abords de la bande, ici en culture ; peut-être que la faune granivore présente plus d'intérêt pour les cartes de prédation de ce fait là, car dispose de moins de nourriture dans le milieu.

Enfin, de la même manière que pour les pucerons, aucun effet du système de culture n'est mis en évidence. Il existe une très forte variabilité des données sur la parcelle Orme et sur PHPE en mai, et une différence entre la prédation en mai sur SIC qui est proche de 100 %, et celle en juin qui est proche de 0 %. On aurait pu penser que la parcelle PHPE se démarquerait des autres du fait du labour effectué sur cette parcelle, à cause de la mort des carabes, et d'un enfouissement des graines. Mais malgré cette pratique, le taux de prédation évalué est similaire à celui des autres parcelles sans travail du sol, ou avec un travail superficiel. Or les systèmes sans labour montrent une plus forte diversité en carabes granivores, mais pas un plus fort taux de prédation que les parcelles labourées (Trichard *et al.* 2013).

**II – La bruche du niébé ne semble pas être une proie efficace dans l'évaluation d'un taux de prédation suivant le protocole établi, mais peut l'être en adaptant ce dernier**

### 1) 50 larves sont utilisées afin d'évaluer leur taux de prédation dans cette étude

L'utilisation de l'espèce *Callosobruchus maculatus* en tant que proie sentinelle pour évaluer la prédation n'a encore jamais été tentée. La première phase de test a donc été de déterminer un nombre efficace de larves à utiliser. Le but dans la réalisation de ce protocole est de minimiser le temps de préparation des proies, tout en ayant un nombre suffisant pour estimer un taux de prédation. Entre 7 et 63 bruches sont posées, et dans tous les cas, l'appétit des prédateurs n'a pas été saturé. Aucune différence significative entre les différents taux de prédation, tous proches de 1, n'est mise en valeur. Pour ce faire, il faut donc placer sur le terrain plus d'une soixantaine d'individus. Sachant qu'entre l'obtention des larves et la mise en place sur le terrain, il est possible d'avoir des pertes, il faut plus de bruches que le nombre sélectionné. Or la dissection des graines afin d'obtenir une cinquantaine de



bruches prend environ 20 à 30 minutes. L'extraction d'une soixantaine de larves paraît beaucoup trop chronophage pour l'expérimentation effectuée ici où les taux de prédation de pucerons et de graines sont étudiés. Le choix de ne placer qu'une cinquantaine d'individus est arrêté, répartis cependant sur trois boîtes de Petri afin de ne pas les concentrer toutes au même endroit.

## 2) Les taux de prédation observés sont presque tous maximaux

L'expérimentation effectuée sur Orme et sur les parcelles SIC permet de montrer que la bruche du niébé est une proie très fortement consommée. En effet, la prédation est proche de 100 % dans tous les cas. Le potentiel de prédation ne peut pas être évalué car trop peu de variabilité est obtenue. L'utilisation de bruches en tant que proies sentinelles n'est donc pas pertinente si une cinquantaine d'individus sont utilisés.

Pour aller plus loin, l'expérimentation pourrait être répétée en camouflant les larves dans le milieu (grâce à une feuille par exemple). Le comportement mimé serait ainsi plus proche de celui des coléoptères du milieu qui s'enterre afin de se nymphoser. On pourrait également utiliser plus de bruches. Or ceci signifie un temps de préparation des proies accru. Le temps de réalisation des cartes de prédation de pucerons est également long ; il faudrait donc choisir l'une de ces deux proies pour l'estimation de la prédation sur insectes sur une culture. Cependant, la bruche comme proie sentinelle a peu lieu d'être sur culture de blé, car peu de ravageurs sont des coléoptères (Arvalis). Mais le puceron est également peu présent naturellement sur colza (Arvalis). Un moyen de procéder plus pertinent serait d'adapter les proies à la culture ; ainsi, sur une culture principalement concernée par des ravages de coléoptères comme le colza, l'usage de bruche est plus adéquat. Sur une culture plus touchée par les pucerons, ces derniers sont plus appropriés.

## III – Quels éléments supplémentaires peuvent nous apporter l'utilisation de caméras sur la nature de la faune prédatrice ou ses interactions avec les proies par rapport à ce qui est attendu ?

L'utilisation de caméras dans cette étude ne suit pas un protocole préalablement établi. Il s'agit d'une phase exploratoire en vue de filmer la prédation afin d'étudier les comportements de la faune épigée et donc la validité de l'usage des proies sentinelles.

### 1) La faune épigée est très diversifiée, et composée de groupes prédateurs de pucerons et de bruches attendus et d'autres non attendus

#### a) Carabes, opilions et araignées, sont trois types d'arthropodes dont la prédation était attendue

Lors des observations vidéo, un nombre importants d'interactions de carabes sont observées, notamment de la prédation et des proies emportées. Par exemple sur 73 interactions du carabe *Pterostichus sp.* avec les pucerons et les bruches, 33 % sont de la prédation et 34 % des proies emportées. On met en évidence le rôle de prédateur des carabes ici.

Il arrive parfois que le nombre d'individus filmés d'une espèce de carabe soit très important comparé à son activité-densité. On peut ainsi penser que des allers et retours sont réalisés par ces prédateurs sur les proies sentinelles. En effet, l'appétit des plus gros carabes, plus fort que celui de carabes de moindre taille (Rouabah *et al.* 2014) n'est probablement pas saturé avec une seule proie, donc rien ne nous indique qu'ils ne reviennent pas à la source de nourriture. Lorsque ce nombre d'individus filmés est très fort par rapport à l'activité-densité, c'est que la prédation de bruches est filmée. Ceci met en évidence l'attractivité de cette proie sentinelle. Si réellement les prédateurs reviennent se nourrir plusieurs fois, ce phénomène met en lumière le fait que les pièges ne reflètent pas le rôle de prédation, et que les activités-densités des carabes ont donc peu de rapport avec leur activité de prédation. Il existe par ailleurs des méthodes permettant d'avoir une idée du nombre réel de carabes d'une zone, comme la capture, marquage et recapture. Cette méthode est cependant longue, s'effectue sur un petit effectif et le taux de recapture est faible (Thomas *et al.* 1998 in Labruyères 2016).



La limite de ces observations est le manque d'identification précise de certains individus. *Pterostichus sp.* et *Anchomenus dorsalis* sont simples à identifier. *Poecilus sp.* ne l'est que le jour ; or *Poecilus cupreus*, le plus piégé de tout son genre, est une espèce diurne car active entre 45 % et 100 % lors du jour (Must *et al.* 2006), ce qui explique le faible nombre d'interactions relevées, car la plupart du temps filmé l'est de nuit. Mais beaucoup de carabes filmés ne peuvent être identifiés plus finement que la famille. En effet, une vidéo ne peut pas remplacer une identification précise en laboratoire. De plus, si le traitement des vidéos avait été réalisé après l'analyse des pots Barber, peut-être que l'identification des individus filmés aurait été plus précise, de par une meilleure connaissance des genres étudiés.

Dans un deuxième temps, la prédation des opilions est également attendue ; ils comptent parmi les principaux prédateurs en champ (O'Neal 2004). Leur prédation se vérifie ici, et ce sur pucerons et bruches, car 37 % des 71 interactions filmées sur ces deux insectes sont de la prédation, et 20 % représentent des tests. Il n'y a pas de sites où le nombre d'individus filmés est fortement supérieur à l'activité-densité des opilions. On peut penser ici que ces prédateurs n'effectuent pas de nombreux retours à la source de nourriture. En effet, la taille moyenne d'un opilion est de 6,33 mm, ce qui est inférieur à la taille moyenne de beaucoup de carabes ; ses besoins en nourriture sont donc moindres.

Enfin, le rôle des araignées est prévisible également (O'Neal 2004), mais le manque d'identification par la caméra ne permet pas de le mettre en évidence. Une très forte activité-densité des araignées est recensée ; à 20 m dans le blé, en moyenne 28 individus sont piégés (il s'agit de la distance où l'activité-densité des araignées est la plus faible selon les tests statistiques). En outre, seulement neuf individus sont filmés sur la totalité des vidéos réalisées. On peut penser que beaucoup sont classées dans la catégorie « non identifiés » de ce fait là.

#### *b) Les staphylins étaient attendus comme parmi les principaux prédateurs généralistes*

Les staphylins font partie des principaux prédateurs généralistes des paysages agricoles (Schmidt *et al.* 2003). Ils sont ici observés sur toutes les parcelles, mais leur prédation ne l'est que sur les deux parcelles SIC où une caméra a été posée au sol. Elle représente 17 % du total des interactions, et est deux fois plus importante sur GES- où il n'y a pas eu de travail du sol, par rapport à PHPE où il y a eu un labour. Or le labour induit une baisse de richesse spécifique chez les staphylins (Krooss and Schaefer 1998). Cependant, il est à rappeler qu'aucun insecticide n'a été utilisé sur Orme, et qu'un l'a été sur SIC en automne dernier. Peut-être que la communauté de staphylins d'Orme a une disponibilité en proies naturelles plus large que celle de SIC du fait de l'absence de traitement insecticide. En effet, ces derniers ont un impact négatif car diminue le nombre de proies du milieu (Labruyères 2016). Néanmoins, il a été prouvé que la baisse d'utilisation d'insecticides provoquait l'augmentation des effectifs des quelques espèces de staphylins les plus communes, sans avoir d'effet positif sur la diversité spécifique (Krooss and Schaefer 1998). La parcelle Orme possède éventuellement peu d'espèces de staphylins, qui ne sont pas nécessairement prédateurs d'insectes. Ces observations sont à prendre en compte avec parcimonie, car résultent d'un seul film par parcelle SIC, mais sont intéressantes.

#### *c) Des prédateurs ont été observés en dépit du caractère non attendu de leur prédation*

Un nombre important de prédatations sont effectuées par des prédateurs non attendus, car peu évoqués dans la littérature concernant les grandes cultures. C'est le cas par exemple des forficules, des cloportes (dont la prédation de pucerons est observée exclusivement sur blé), et surtout des mouches. Ces dernières n'ont jamais été observées les années précédentes, malgré 173 interactions recensées cette année au sol. Elles interviennent sur les pucerons, mais aussi sur les bruches, et se nourrissent ou testent 40 % du temps. On pourrait penser qu'elles agissent comme prédateurs secondaires, afin de se nourrir sur des proies déjà mortes ou abîmées, mais elles apparaissent le plus souvent lorsqu'il fait jour, quand les proies n'ont pas encore été visitées. Lors des recherches dans la



littérature, aucun rôle des mouches n'est mis en lumière.

#### d) Certains prédateurs n'ont pas été recensés malgré une attente de leur prédation

Selon la littérature, un rôle important des fourmis et des criquets est à attendre dans la prédation d'insectes (Grieshop *et al.* 2012). Or aucun criquet, ni aucune fourmi n'est filmé sur les 28 vidéos effectuées. Les fourmis ont cependant pu être présentes sur les vidéos, mais de la même façon que les araignées, mises dans la catégorie des individus non identifiés. Une autre explication serait que les communautés de fourmis prédatrices qui se trouvent dans les parcelles étudiées soit diurnes, et qu'aucune ne soit vue car les caméras sont posées majoritairement la nuit. En effet, les différentes espèces de fourmis peuvent être diurnes comme nocturnes (Talbot 1946).

Les myriapodes, qui sont attendus comme faisant partie des prédateurs principaux (O'Neal 2004), n'ont quasiment aucune activité prédatrice ici ; leur passage est malgré tout très remarqué sur les sites d'observations. En effet, avec 671 interactions dont 658 passages, ils représentent le groupe le plus observé de tous. On peut penser à une population majoritairement constituée de diplopodes détritivores (Sierwald & Bond 2007), et pas de chilopodes prédateurs (O'Neal 2004).

#### e) Peu de traces de la part des prédateurs non étudiés ici

Peu d'interactions sont vues de la part des limaces et des souris. En effet, seulement 27 interactions de limaces sont observées. Le temps chaud et sec connu cette année peut expliquer le faible nombre observé, contrairement aux années précédentes où l'humidité les favorisait beaucoup ; la prédation évaluée était d'ailleurs en partie expliquée par leur présence. Enfin, trois interactions de souris sont observées. Ceci peut être dû à la petite taille des proies présentées, qui ne correspondent ainsi pas au régime alimentaire des micromammifères. Dans le cas de forts effectifs de ces prédateurs non étudiés ici, il aurait été intéressant de prendre en compte les données présentant des anomalies, et de voir comme l'année précédente si ces prédateurs n'expliquent pas la prédation évaluée. Or sur l'ensemble des taux de prédation étudiés cette année, seul 6 % des données présentent une anomalie, donc sont évincées de l'étude, considérées comme négligeables.

#### 2) Les prédateurs de graines ne semblent pas s'intéresser à la proie sentinelle que représente *Viola arvensis*

Seulement 51 passages, un test et une prédation sont recensés sur trois films étudiant la prédation des graines. Ces observations vont dans le même sens que les faibles taux de prédation de *Viola arvensis* évoqués plus haut. La proie semble peu attractive. La graine de *Viola*, malgré une forte présence dans les paysages agricoles français (Fried 2010), est absente des parcelles étudiées. Pour aller plus loin, il serait intéressant de réitérer l'expérience avec des graines d'une adventice présente ici. L'idée est d'adapter la proie à la parcelle étudiée.

Concernant les prédateurs, certaines espèces de carabes granivores sont attendues, car responsable d'une forte consommation en graines adventices (Brust & House 1988). Or seulement un test d'un carabe non identifié est relevé. Les criquets sont également considérés comme prédateur granivores principaux (Brust & House 1988), et jouant même un rôle plus important que les carabes dans la régulation des adventices (O'Rourke *et al.* 2006). Cependant, l'absence de criquet est mise en évidence par la caméra.

#### 3) L'activité-densité de la communauté de prédateurs de la végétation est moins importante que celle du sol

Trois groupes d'individus sont observés en tout dans la végétation : des araignées, des mouches et une limace. Seule une consommation de pucerons est filmée, et est effectuée par la limace. La prédation moindre dans la végétation par rapport au sol est vérifiée ici par l'usage de caméras. Les vidéos permettent de mettre en évidence le fait que la faune prédatrice étudiée précédemment n'a pas d'impact sur la régulation naturelle dans la végétation. Or des prédateurs différents étaient



attendus. En effet, la régulation des pucerons dans la végétation est due principalement à *A. aphidimyza* (diptère), des chrysopes (neuroptère), *H. axyridis* (coléoptère) et *O. insidiosus* (hémiptère) d'après des résultats issus de l'étude de colonies sentinelles (Brown 2004). En revanche, même ces prédateurs n'ont pas été observés.

## Conclusion

Afin d'évaluer un potentiel de prédation, il est nécessaire de se placer dans différents cas de figures afin d'observer une variation de celle-ci. Dans cette étude, plusieurs mélanges fleuris sont implantés au sein de cultures de colza et de blé, et différents itinéraires de culture de colza sont étudiés. Or ces cas d'étude multiples ne semblent pas assez diversifiés pour observer une variation de la prédation. Les taux de prédation sont influencés par d'autres facteurs comme la culture ou la distance à la bande. Il y a tout de même une variabilité importante des données qu'il ne faut pas négliger. L'utilisation du puceron comme proie sentinelle permet une bonne estimation d'un potentiel de prédation. Sur blé, cette proie est pertinente car certaines espèces de pucerons y sont naturellement présentes. Or le colza est peu concerné par ces insectes. On considère ici une estimation du potentiel de prédation réel via le potentiel de prédation des proies sentinelles, mais l'utilisation de proies de nature plus proche des ravageurs du colza serait plus pertinente, d'où la deuxième expérimentation utilisant la bruche du niébé. La graine de *Viola*, bien qu'absente de nos parcelles, fait partie de la flore adventice des grandes cultures ; elle est donc une proie sentinelle proche des graines adventices trouvées en conditions réelles en règle générale. Elle permet d'estimer un taux de prédation, bien que ce dernier soit faible par rapport au taux de prédation de pucerons, et que les vidéos témoignent d'une faible attractivité de ces proies. Ensuite, l'utilisation de la bruche comme proie sentinelle est une nouveauté. Cette étude montre une forte attractivité des larves. Afin d'avoir une estimation du taux de prédation, il faut adapter le protocole présenté ici en augmentant le nombre de larves présentées ou en les camouflant pour mimer les conditions de nymphose de proies naturelles. Par ailleurs, le piégeage reflète mal le rôle de la prédation. Il semble cependant intéressant de prendre en compte les régimes alimentaires, ainsi que la taille des individus. Pour compléter notre protocole, le calcul du Condition Factor pourrait être effectué pour les arthropodes piégés. Il a été inventé en 1951 pour les poissons mais réutilisé en 1986 par Juliano chez les carabes. Il s'agit d'une estimation indirecte du stockage de réserves nutritives en prenant en compte le poids sec et la longueur du carabe selon la formule :  $CF = \text{Poids} / \text{Longueur}^a$ ,  $a$  étant une constante (Labruière 2016). On mesure ainsi le statut nutritionnel des carabes, donc un CF élevé indique un apport alimentaire élevé. C'est un bon indicateur de la qualité de l'habitat (Barone & Frank 2003 in Labruière 2016). Enfin, l'usage de caméras pour filmer la prédation est utile car permet de se rendre compte de la faune prédatrice épigée réelle, et des interactions qu'elle a avec les proies sentinelles. Cela permet également d'évaluer l'efficacité ou non de ces dernières et de mettre en lumière les limites d'un simple piégeage.



## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon maître de stage Antoine Gardarin, pour tout ce qu'il m'a appris, pour tout le temps consacré à ses quatre stagiaires, et pour m'avoir parfaitement encadré et soutenu, du collage de pucerons sacrifiés pour la science, jusqu'à la rédaction de ce rapport.

Je tiens ensuite à remercier les trois stagiaires qui m'ont accompagné pendant ces six mois de projet : Anthony et son « tiô peu » d'accent, Jacqueline, plus gentille encore que tête en l'air, et Victoire, qui m'a défini la bonne folie.

Un grand merci également à Dominique, et son aide précieuse pendant toutes les phases de terrain et de laboratoire, et pour avoir fini de me convaincre de partir en vacances dans le Finistère sud.

Je remercie l'ensemble des stagiaires, pour les bons moments de détente passés à leurs côtés. Merci au couloir de l'ambiance pour tous ces midis : Walid, Ryo le roi du k-vô, Hugo, Laurie, Séverin, Justine, Nejma, Claire, Thomas, Bryce, ... ainsi qu'aux autres stagiaires du Pavillon de l'horloge : Tristan, Baptiste, Amandine, Virginia, ...

Enfin, un grand merci à toute l'équipe d'Eger, et son accueil pendant ces six mois.

## Bibliographie

Alford, D.V. 2003. Biocontrol of oilseed rape pests. Blackwell Science, Oxford, U.K. 355 pp.

Al Hassan, D. 2012. Rôle du paysage sur la répartition et l'abondance des pucerons et de leurs prédateurs carabiques. Rapport de Thèse : Vie - Agro - Santé. Université Rennes 1, 201 pp.

Balmer, O., Géneau, C.E., Belz, E., Weishaupt, B., Förderer, G., Moos, S., Ditner, N., Juric, I., and Luka, H. 2014. Wildflower companion plants increase pest parasitism and yield in cabbage fields: Experimental demonstration and call for caution. *Biological Control* **76**, 19–27.

Balzan, M.V., Bocci, G., and Moonen, A.-C. 2014. Augmenting flower trait diversity in wildflower strips to optimise the conservation of arthropod functional groups for multiple agroecosystem services. *Journal of Insect Conservation* **18**, 713–728.

Barone, M., and Frank, T. 2003. Habitat age increases reproduction and nutritional condition in a generalist arthropod predator. *Oecologia* **135**, 78–83.

Bianchi, F.J.J.A., Booij, C.J.H., and Tscharntke, T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* **273**, 1715–1727.

Bouvier d'Yvoire, C. 2016. Elaboration et évaluation de méthodes simplifiées de suivi de la biodiversité fonctionnelle en vergers biologiques L'exemple des pucerons sentinelles. Mémoire Master : Agrosociétés, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt. Université Paris-Saclay, 85 pp.

Brooks, D.R., Storkey, J., Clark, S.J., Firbank, L.G., Petit, S., and Woivod, I.P. 2012. Trophic links between functional groups of arable plants and beetles are stable at a national scale. *Journal of Animal Ecology* **81**, 4–13.



- Brown, M. 2004. Role of aphid predator guild in controlling spirea aphid populations on apple in West Virginia, USA. *Biological Control* **29**, 189–198.
- Brust, G.E., and House, G.J. 1988. Weed seed destruction by arthropods and rodents in low-input soybean agroecosystems. *American Journal of Alternative Agriculture* **3**, 19.
- Cassman K.G., Wood S., Choo P.S., Cooper H.D., Devendra C., Dixon J., Gaskell J., Khan S., Lal R., Lipper L., Pretty J., Primavera J., Ramankutty N., Viglizzo E., Wiebe K. 2005. Cultivated systems. In: Millennium Ecosystem Assessment, Ed. Ecosystems and human well-being: current state and trends. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., pp 745–94.
- Dedryver, C.-A., and Tanguy, S. 1984. Biologie des pucerons des céréales dans l'ouest de la France. V.- Influence de la date de semis du blé d'hiver sur les modalités d'infestation des parcelles par *Rhopalosiphum padi* (L.), *Sitobion avenae* (F.) et *Metopolophium dirhodum* (Wlk.) et sur le développement de leurs populations au printemps. *Agronomie* **4**, 711–719.
- Eddine, M. 2017. L'utilisation des proies sentinelles dans la quantification des régulations biologiques des ravageurs. Rapport Master 1 : Agrosociétés, Environnement, Territoires, Paysage, Forêts. Université Paris-Saclay, 27 pp.
- Estevez, B., Domon, G., and Lucas, É. 2000. Contribution de l'écologie du paysage à la diversification des agroécosystèmes à des fins de phytoprotection. *phyto* **81**, 1–14.
- Frank, S.D., and Shrewsbury, P.M. 2004. Consumption of Black Cutworms, *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae), and Alternative Prey by Common Golf Course Predators. *Environ Entomol* **33**, 1681–1688.
- Frank, S.D., Wratten, S.D., Sandhu, H.S., and Shrewsbury, P.M. 2007. Video analysis to determine how habitat strata affects predator diversity and predation of *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) in a vineyard. *Biological Control* **41**, 230–236.
- Fried, G. 2010. Variations spatiales et temporelles des communautés adventices des cultures annuelles en France. *Acta Botanica Gallica* **157**, 183–192.
- Furlong, M.J., and Zalucki, M.P. 2010. Exploiting predators for pest management: the need for sound ecological assessment: Exploiting predators for pest management. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **135**, 225–236.
- Gaines, H.R., and Gratton, C. 2010. Seed predation increases with ground beetle diversity in a Wisconsin (USA) potato agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **137**, 329–336.
- Glen, D.M. 1977. Predation of Codling Moth Eggs, *Cydia pomonella*, the Predators Responsible and Their Alternative Prey. *Journal of Applied Ecology* **14**, 445–456.
- Grieshop, M.J., Werling, B., Buehrer, K., Perrone, J., Isaacs, R., and Landis, D. 2012. Big brother is watching: studying insect predation in the age of digital surveillance. *American Entomologist* **58**, 172–182.
- Gullino, M.L., Leroux, P., and Smith, C.M. 2000. Uses and challenges of novel compounds for plant disease control. *Crop Protection* **19**, 1–11.
- Gurr, G., Wratten, S., and Barbosa, P. 2000. Success in conservation biological control of arthropods. In: Gurr GM, Wratten SD (eds) *Biological control: measures of success*. Kluwer, Dordrecht, NL, pp 105–132



- Haaland, C., Naisbit, R.E., and Bersier, L.-F. 2011. Sown wildflower strips for insect conservation: a review: Wildflower strips for insect conservation. *Insect Conservation and Diversity* **4**, 60–80.
- Hardie, J., and Young, S. 1997. Aphid flight-track analysis in three dimensions using video techniques. *Physiological Entomology* **22**, 116–122.
- House, G.J., and Stinner, B.R. 1983. Arthropods in no-tillage soybean agroecosystems: community composition and ecosystem interactions. *Environmental Management* **7**, 23–28.
- Kidd, N.A.C., and Jervis, M.A. 2005. Population Dynamics. In *Insects As Natural Enemies*. Springer, Dordrecht, NL, pp. 435–523.
- Kromp, B., and Steinberger, K.-H. 1992. Grassy field margins and arthropod diversity: a case study on ground beetles and spiders in eastern Austria (Coleoptera: Carabidae; Arachnida: Aranei, Opiliones). *Agriculture, Ecosystems & Environment* **40**, 71–93.
- Krooss, S., and Schaefer, M. 1998. The effect of different farming systems on epigeic arthropods: a five-year study on the rove beetle fauna (Coleoptera: Staphylinidae) of winter wheat. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **69**, 121–133.
- Kruess, A., and Tscharntke, T. 1994. Habitat Fragmentation, Species Loss, and Biological Control. *Science* **264**, 1581–1584.
- Labruyere, S. 2016. Déterminants multi-échelles de la dynamique spatio-temporelle des coléoptères carabiques prédateurs de graines d'adventices. Rapport de Thèse : Science Vie (Spécialité : Biologie des populations et Ecologie). Université de Bourgogne. 215 pp.
- Landis, D.A., Wratten, S.D., and Gurr, G.M. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* **45**, 175–201.
- Lang, A. 2003. Intraguild interference and biocontrol effects of generalist predators in a winter wheat field. *Oecologia* **134**, 144–153.
- Lang, A., Filser, J., and Henschel, J.R. 1999. Predation by ground beetles and wolf spiders on herbivorous insects in a maize crop. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **72**, 189–199.
- Lövei, G.L., and Ferrante, M. 2016. A review of the sentinel prey method as a way of quantifying invertebrate predation under field conditions: Measuring predation pressure by sentinel prey. *Insect Science* **24**, 528–542.
- Low, P.A., Sam, K., McArthur, C., Posa, M.R.C., and Hochuli, D.F. 2014. Determining predator identity from attack marks left in model caterpillars: guidelines for best practice. *Entomol Exp Appl* **152**, 120–126.
- Macfadyen, S., Davies, A.P., and Zalucki, M.P. 2015. Assessing the impact of arthropod natural enemies on crop pests at the field scale: Impact of arthropod natural enemies. *Insect Science* **22**, 20–34.
- Menalled, F.D., Lee, J.C., and Landis, D.A. 1999. Manipulating carabid beetle abundance alters prey removal rates in corn fields. *BioControl* **43**, 441–456.
- Menalled, F.D., Smith, R.G., Dauer, J.T., and Fox, T.B. 2007. Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **118**, 49–54.



- Must, A., Merivee, E., MAND, M., Luik, A., and Heidemaa, M. 2006. Electrophysiological responses of the antennal campaniform sensilla to rapid changes of temperature in the ground beetles *Pterostichus oblongopunctatus* and *Poecilus cupreus* (Tribe Pterostichini) with different ecological preferences. *Physiological Entomology* **31**, 278–285.
- O’Neal, M.E., Zontek, E.L., Szendrei, Z., Landis, D.A., and Isaacs, R. 2004. Ground predator abundance affects prey removal in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fields and can be altered by aisle ground covers. *BioControl* **50**, 205.
- O’Rourke, M.E., Heggenstaller, A.H., Liebman, M., and Rice, M.E. (2006). Post-dispersal weed seed predation by invertebrates in conventional and low-external-input crop rotation systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **116**, 280–288.
- Pimentel, D., McLaughlin, L., Zepp, A., Lakitan, B., Kraus, T., Kleinman, P., Vancini, F., Roach, W.J., Graap, E., Keeton, W.S., et al. 1993. Environmental and Economic Effects of Reducing Pesticide Use. *BioScience* **41**, 402–409.
- Pontin, D.R., Wade, M.R., Kehrl, P., and Wratten, S.D. 2006. Attractiveness of single and multiple species flower patches to beneficial insects in agroecosystems. *Annals of Applied Biology* **148**, 39–47.
- Prasad, R.P., and Snyder, W.E. 2006. Polyphagy complicates conservation biological control that targets generalist predators. *Journal of Applied Ecology* **43**, 343–352.
- Prasifka, J.R., Schmidt, N.P., Kohler, K.A., O’neal, M.E., Hellmich, R.L., and Singer, J.W. 2006. Effects of Living Mulches on Predator Abundance and Sentinel Prey in a Corn–Soybean–Forage Rotation. *Environmental Entomology* **35**, 1423–1431.
- Rouabah, A., Lasserre-Joulin, F., Amiaud, B., and Plantureux, S. 2014. Emergent effects of ground beetles size diversity on the strength of prey suppression: Ground beetle size diversity and pest control. *Ecological Entomology* **39**, 47–57.
- Roumegous, S. 2012. Impact of natural infrastructures surrounding arable fields on two arthropods guilds :Carabidae and Sirphidae. Rapport de Thèse : Agroecology. WU BFS Group & ISARA-Lyon, 69 pp.
- Saska, P., Werf, W. van der, Vries, E. de, and Westerman, P.R. 2008. Spatial and temporal patterns of carabid activity-density in cereals do not explain levels of predation on weed seeds. *Bulletin of Entomological Research* **98**, 169–181.
- Schmidt, M.H., Lauer, A., Purtauf, T., Thies, C., Schaefer, M., and Tscharrntke, T. 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **270**, 1905–1909.
- Shearin, A.F., Reberg-Horton, S.C., and Gallandt, E.R. 2007. Direct Effects of Tillage on the Activity Density of Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) Weed Seed Predators. *Environ Entomol* **36**, 1140–1146.
- Shearin, A.F., Chris Reberg-Horton, S., and Gallandt, E.R. 2008. Cover Crop Effects on the Activity-Density of the Weed Seed Predator *Harpalus rufipes* (Coleoptera: Carabidae). *Weed Science* **56**, 442–450.
- Sierwald, P., and Bond, J.E. 2007. Current Status of the Myriapod Class Diplopoda (Millipedes): Taxonomic Diversity and Phylogeny. *Annual Review of Entomology* **52**, 401–420.



- Sparks, D.L. 2010. *Advances in Agronomy*. Academic Press, Newark, Delaware, U.S.A. 281 pp.
- Speight, M.R., and Lawton, J.H. 1976. The influence of weed-cover on the mortality imposed on artificial prey by predatory ground beetles in cereal fields. *Oecologia* **23**, 211–223.
- Sunderland, K.D., Lovei, G.L., and Fenlon, J. 1995. Diets and Reproductive Phenologies of the Introduced Ground Beetles *Harpalus-Affinis* and *Clivina-Australasiae* (Coleoptera, Carabidae) in New-Zealand. *Aust. J. Zool.* **43**, 39–50.
- Symondson, W.O.C., Sunderland, K.D., and Greenstone, M.H. 2002. Can Generalist Predators Be Effective Biocontrol Agents? *Annual Review of Entomology* **47**, 561–594.
- Talbot, M. 1946. Daily Fluctuations in Aboveground Activity of Three Species of Ants. *Ecology* **27**, 65–70.
- Thomas, C.F.G., Parkinson, L., and Marshall, E.J.P. 1998. Isolating the components of activity-density for the carabid beetle *Pterostichus melanarius* in farmland. *Oecologia* **116**, 103–112.
- Trichard, A., Alignier, A., Biju-Duval, L., and Petit, S. 2013. The relative effects of local management and landscape context on weed seed predation and carabid functional groups. *Basic and Applied Ecology* **14**, 235–245.
- Trichard, A., Ricci, B., Ducourtieux, C., and Petit, S. 2014. The spatio-temporal distribution of weed seed predation differs between conservation agriculture and conventional tillage. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **188**, 40–47.
- Tscharntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T.O., Kleijn, D., Rand, T.A., Tylianakis, J.M., Nouhuys, S. van, and Vidal, S. 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control* **43**, 294–309.
- Valantin-Morison, M. 2012. Comment favoriser la régulation biologique des insectes de l'échelle de la parcelle à celle du paysage agricole, pour aboutir à des stratégies de protection intégrée sur le colza d'hiver? *Oléagineux, Corps Gras, Lipides* **19**, 169–183.
- Wade, M.R., Zalucki, M.P., and Franzmann, B.A. 2005. Influence of Observer Presence on Pacific Damselfly Bug Behavior: Who is Watching Whom? *J Insect Behav* **18**, 651–667.
- Weibull, A.-C., and Östman, Ö. 2003. Species composition in agroecosystems: The effect of landscape, habitat, and farm management. *Basic and Applied Ecology* **4**, 349–361.
- Zhang, J. 1993. Biology of *Harpalus rufipes* DeGeer (Coleoptera: Carabidae) in Maine and Dynamics of Seed Predation. Rapport de thèse : Agroecology. University of Maine, Orono, Me, USA.
- Zilnik, G., and Hagler, J.R. 2013. An immunological approach to distinguish arthropod viviphagy from necrophagy. *BioControl* **58**, 807–814.

## Sitographie

AGRESTE (a). Pratiques culturales sur le blé tendre d'hiver en 2010/2011 [en ligne] (page consultée le 04 avril 2017)

AGRESTE (b). Grandes cultures et fourrages. [en ligne] (page consultée le 04 avril 2017)



AGRESTE (c). Les traitements phytosanitaires en 2014. [en ligne] (page consultée le 04 avril 2017)

Arvalis. Les Fiches Accidents - ARVALIS-infos.fr [en ligne] (page consultée le 12 avril 2017)

Ecophyto. Note de suivi 2016. [en ligne] (page consultée le 28 juin 2017)

Ephytia. Guide Eco-Fruits - Lutte biologique par conservation. [en ligne] (page consultée le 13 avril 2017)

## Résumé

Les arthropodes prédateurs font partie de la biodiversité fonctionnelle des cultures et permettent un contrôle biologique des ravageurs de grandes cultures et des adventices. Quantifier leur action de prédation au champ est complexe et l'utilisation de proies sentinelles pourrait y remédier. Ici, nous nous plaçons dans différents contextes créés par des bandes fleuries et des systèmes de culture contrastés (avec/sans travail du sol et avec/sans insecticide), et nous évaluons si cela se traduit par une variation de la prédation du puceron *Acyrtosiphon pisum* et de la graine de *Viola arvensis* dans les bandes fleuries et les cultures adjacentes de colza et de blé. Les araignées sont plus présentes dans la bande fleurie et les carabes prédateurs dans la culture. La prédation de pucerons et de graines varie peu selon les mélanges floraux et les systèmes de culture. Elle est plus forte en blé qu'en colza. La prédation de pucerons dans la végétation est moins importante qu'au sol. Enfin, la prédation de pucerons est plus élevée dans la bande fleurie, et celle de graines est plus forte à 5m de celle-ci. Une nouvelle proie est ensuite testée afin d'améliorer le réalisme des proies étudiées : la bruche du niébé *Callosobruchus maculatus*. Le taux de prédation est évalué en exposant 50 larves par point d'observation, mais leur attractivité est telle que la prédation est presque toujours maximale et n'est pas sensible aux situations étudiées. Les taux de prédation des proies étudiées ne sont pas reliés à l'activité-densité des arthropodes prédateurs en blé, y compris en tenant compte des régimes alimentaires des espèces et de leur taille. Enfin, l'utilisation de caméras pour filmer la prédation est un bon complément à cette étude car elle permet d'observer les interactions prédateurs-proies, et de mettre en évidence des prédateurs insoupçonnés comme les mouches.

**Mots-clés :** Activité-densité ; *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) ; Carte de prédation ; Film ; Prédateur généraliste ; Proie sentinelle ; Régulation biologique ; Taux de prédation

**Abstract :** Effect of of flower strips implantation and of cultural system on biological regulation in field crops: application to the evaluation of a predation potential

Predatory arthropods are integral part of functional biodiversity in cropland, and enable biological control of field crop pests and weeds. Quantifying their predation action in field is complex and use of sentinel preys could solve the problem. We make use of different contexts created by contrasting flower strips and cultural systems (with/without tillage and with/without insecticide) and we estimate whether it reveals a variation of aphid *Acyrtosiphon pisum* predation and seed of *Viola arvensis* predation in flowers strips and adjacent rapeseed and wheat crops. Spiders are more present in flower strips and predatory carabids are more present in crop. Aphids and seeds predation varies little between the different strips and cultural systems. It is more important in wheat crop than in rapeseed crop. Aphid predation is lower in vegetation than on the ground. Finally aphid predation is higher in flower strip and seed predation is more important 5 m away from it. Then a new prey is tested in order to improve realism of studied preys : weevil *Callosobruchus maculatus*. Predation rate is estimated by exposing 50 larvae per observation point, but prey attractiveness is so high that predation is almost always maximal and is not affected by considered situations. Predation rates of the different preys are not related with activity-density of predatory arthropods in wheat crop, even with a consideration for individual diet and average size of species. Finally the use of cameras to film predation is a good complement to this study because it allows to observe predators-preys interactions and highlight unexpected predators such as flies.

**Keywords :** Activity-density ; Biological control ; *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) ; Film ; Generalist predator ; Predation cards ; Predation rate ; Sentinel prey