

Table des matières

GESTION AGROECOLOGIQUE DES RAVAGEURS EN GRANDES CULTURES	1
1. Introduction.....	1
1.1. Présentation de la structure d'accueil	1
1.2. Etude de l'impact de bandes fleuries aux abords d'une culture de féverole sur les populations de ravageurs et d'auxiliaires	1
1.2.1. Contexte général	1
1.2.2. Les grandes cultures et la féverole, <i>Vicia faba</i> , Fabaceae, dépendantes des insecticides.....	2
1.2.3. Alternative aux insecticides pour la régulation des ravageurs en grande culture	2
1.2.4. La féverole, ses ravageurs et leurs prédateurs	3
a) La bruche de la féverole, <i>Bruchus rufimanus</i> , un ravageur des graines de la féverole.....	3
b) Le parasitoïde du genre <i>Triapsis</i> , prédateur des bruches de la féverole	3
c) Le puceron noir de la féverole, <i>Aphis fabae</i> Scopoli, un ravageur de la féverole	4
d) Les prédateurs du puceron noir de la féverole	4
1.2.5. Le potentiel de régulation biologique des auxiliaires	5
1.2.6. Les bandes fleuries et leur attractivité pour les auxiliaires	5
1.2.7. Contexte du stage.....	6
a) Problématique et objectifs.....	6
b) Contexte et réalisation des objectifs.....	6
2. Matériel et Méthodes	7
2.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)	7
2.1.1. Dispositif expérimental	7
2.1.2. Description botanique des bandes fleuries	8
2.1.3. Parcelles de féverole GARGAMEL et SIC (2016).....	8
a) Itinéraires techniques (ITK)	8
b) Echantillonnage des gousses	8
c) Calculs des dégâts et taux parasitisme	8
2.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017).....	9
2.2.1. Dispositif expérimental	9
2.2.2. Les bandes fleuries	9
a) Implantation des mélanges	9
b) Description botanique des bandes fleuries	9
2.2.3. Parcelle de féverole MUSCARI et SIC (2017).....	10
a) Itinéraires techniques (ITK)	10
b) Comptage des pucerons et auxiliaires sur la culture de féverole	10
2.3. Analyses statistiques	10
2.3.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)	11
2.3.2. Dynamique pucerons-auxiliaires (MUSCARI, 2017).....	11
3. Résultats.....	12
3.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)	12
3.1.1. Description botanique des bandes fleuries	12
3.1.2. Dégâts sur fève et taux de parasitisme	12
3.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017).....	13
3.2.1. Relevés botaniques	13
3.2.2. Description des populations de pucerons et de prédateurs	14
3.2.3. Ratio proies/prédateurs et taux de croissance des pucerons	14
4. Discussion.....	15
4.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)	15
4.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017).....	17
5. Conclusions et perspectives	18
5.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)	18
5.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017).....	19
5.3. Bilan et Perspectives personnelles	19

6. Bibliographie.....	20
<u>ANNEXES</u>	<u>1</u>

Table des figures

Figure 1 - Plan de l'essai GARGAMEL 2016.

Figure 2 - Plan de l'essai MUSCARI 2017

Figure 3 - Espèces dominantes par bande du mélange E1

Figure 4 - Moyenne des dégâts et des taux de parasitisme des bruches en %, en fonction de la distance en mètre et des modalités « type de mélange ».

Figure 5 - Taux de parasitisme des bruches et dégâts sur fève en %, en fonction des moyennes de recouvrement des plantes en fleurs, en %, au mois de juin 2016.

Figure 6- Espèces dominantes des mélanges sur l'essai MUSCARI 2017.

Figure 7 –Proportions des taux de recouvrement en % des plantes semées ou adventices et de plante en fleur fournissant du nectar, accessible aux insectes à pièces buccales courtes, selon les mélanges.

Figure 8 - Moyennes des quantités de pucerons par bandes et distance à la bande à la date 1 et 2.

Figure 9 - Moyennes des prédateurs actifs en fonction des bandes et des distances à la bande à la date 1 et 2.

Figure 10 - Quantité de prédateurs actifs en fonction des quantités de pucerons, sur l'ensemble des essais à la date 2.

Figure 11 - Moyenne des ratios proies/prédateurs, à une échelle log10, en fonction des bandes et distances et selon deux dates.

Figure 12 - Taux de croissance des pucerons entre deux dates en fonction des bandes et distances à la bande.

Table des tableaux

Tableau I – Type de mélange en fonction des années.

Gestion agroécologique des ravageurs en grandes cultures

1. Introduction

1.1. Présentation de la structure d'accueil

J'effectue mon stage de master 1 sur le site de Grignon à Thiverval-Grignon (78), à l'UMR (Unité mixte de recherche) d'agronomie. Cette unité appartient au Département Environnement et Agronomie de l'INRA et à celui du SIAFEE (Sciences et Ingénierie Agronomiques, Forestières, de l'Eau et de l'Environnement) d'AgroParisTech. Des chercheurs, enseignant-chercheurs, ingénieurs, techniciens et gestionnaires (45 permanents) travaillent de concert pour produire des connaissances et outils de conception et d'évaluation d'agrosystème durable dans un contexte local et global. Mon stage est situé dans un des trois axes de recherches de l'unité, c'est-à-dire, dans le thème scientifique d'analyse et de modélisation des régulations biologiques à l'échelle de la parcelle et du paysage. Ce thème tend, entre autre, à élucider les questions de (i) fonctionnement des peuplements cultivés complexes et leurs interactions avec les communautés non cultivées, (ii) conception de succession et d'agencements d'espèces pour l'augmentation des performances agroécologiques. Mon stage est en lien direct avec la question (ii). En effet, le sujet de mon stage se porte sur l'étude de l'impact des bandes fleuries sur la régulation naturelle des ravageurs en grande culture.

1.2. Etude de l'impact de bandes fleuries aux abords d'une culture de féverole sur les populations de ravageurs et d'auxiliaires

1.2.1. Contexte général

Au lendemain de la seconde guerre mondiale la révolution verte et ses innovations agricoles ont su répondre aux besoins d'amélioration des rendements. La mécanisation et les intrants ont permis d'augmenter efficacement les surfaces arables et leur productivité. De nos jours, la balance bénéfices-pertes semble s'être inversée. L'utilisation massive de pesticides, par exemple, a des effets directs et indirects sur la santé humaine, animale, végétale (Bourguet & Guillemaud, 2016). Une autre conséquence de l'utilisation des insecticides est la résistance des organismes exposés. Plus de 10 000 cas de résistances à 300 composants d'insecticides ont été reportés pour environ 600 espèces d'arthropodes (Bourguet & Guillemaud, 2016). Une évaluation du coût total de l'utilisation de pesticides aux USA rapporte que le ratio bénéfice-coût des années 1990s était de 0,7 (Bourguet & Guillemaud, 2016). De plus, l'utilisation de pesticides à large spectre est susceptible d'entrainer directement la prolifération de ravageurs après la disparition de leurs prédateurs (W.O.C Symondson *et al.*, 2002). Également, le coût d'application de multiples pesticides sur une culture peut être plus important que le coût associé aux pertes causées par les ravageurs sur des cultures non traitées (W.O.C Symondson *et al.*, 2002). Finalement, l'intensification des pratiques agricoles, c'est à dire l'utilisation abondante de pesticides et l'homogénéisation des

paysages agricoles ont entraîné une réduction de la biodiversité des écosystèmes (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005). En cela, il est nécessaire de trouver des alternatives viables à leur utilisation afin de promouvoir la durabilité et la résilience des agroécosystèmes tout en maintenant la productivité des grandes cultures. Et ce car la protection de ces dernières constitue un enjeu pour les prochaines décennies aux vues de l'importance économique associée.

1.2.2. Les grandes cultures et la féverole, *Vicia faba*, Fabaceae, dépendantes des insecticides

En 2010, les grandes cultures céréalières et protéagineuses représentent 15 millions d'hectares du territoire français, soit plus de 50 % de la surface agricole utilisée (Agreste, 2012). En 2011, 34% de cette surface subissait des traitements aux insecticides et plus de 80% des surfaces de pois protéagineux avec un IFT (indice de fréquence de traitement) supérieur à 3 (<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/2439/0/pratiques-culturales-utilisation-pesticides-france.html>).

La féverole, *Vicia faba*, Fabaceae, est une plante protéagineuse dont la surface cultivée tend à augmenter avec 85 900 ha (hectare) en 2015, en France (Terres Univia/Terres Inovia, 2015). Cependant, elle est sensible à de nombreux ravageurs (Chaillet et al., 2014) parmi lesquels les pucerons et les bruches. Cette sensibilité est susceptible de favoriser des variations importantes de rendements et de qualité de production des grains n'encourageant pas sa culture en Europe (Cernay et al., 2015). En France, en 2012, seulement, 7500 ha étaient cultivés en agriculture biologique (Chaillet et al., 2014). C'est en effet, une culture dépendante des insecticides de type pyréthrinoïdes et carbamate à spectre d'action large et haute persistance (Chambre d'Agriculture des Landes, 2014).

1.2.3. Alternative aux insecticides pour la régulation des ravageurs en grande culture

Il existe et se développent des solutions pour palier l'utilisation d'insecticides en agriculture. La protection intégrée des cultures favorise leur réduction par des combinaisons de méthodes de lutte dans l'espace et le temps, privilégiant entre-autre la régulation naturelle (Valantin-Morison, 2012). Dans ce contexte, la lutte biologique est susceptible de répondre à cette problématique de réduction de l'utilisation des insecticides en grandes cultures. Plus particulièrement, la lutte biologique dite par conservation (et gestion des habitats) consiste à favoriser et à maintenir la présence des ennemis naturels de ravageurs d'une culture en agissant sur la gestion de l'environnement (Valantin-Morison, 2012). La promotion de cette biodiversité peut être réalisée de l'échelle de la parcelle à celle du paysage. Par exemple, la mise en place d'infrastructures agroécologiques telles que des bandes enherbées, fleuries, des haies permettent d'agir directement sur les populations d'auxiliaires (régulation « top-down », Valantin-Morison, 2012).

En lutte biologique par conservation, la mise en place d'agroécosystèmes à végétation diversifiée (bandes florales, haies, polycultures) a un effet bénéfique sur la réduction des herbivores d'une culture, sur la promotion des ennemis naturels de ces derniers et finalement sur la réduction des dégâts de culture (Letourneau et al., 2011).

Outre la diversification des espèces végétales, l'augmentation de la biodiversité des prédateurs renforce significativement la suppression des herbivores et généralement améliore la survie et la reproduction des prédateurs dans des systèmes multi-proies (Snyder *et al.*, 2006). Ainsi, un agroécosystème avec une forte biodiversité est susceptible de fournir des services de protection des cultures. Par conséquent, favoriser la biodiversité aux abords des cultures permettrait d'augmenter la régulation des populations de ravageurs des champs (Haaland *et al.*, 2011; Tschumi *et al.*, 2015). Globalement, le bio-contrôle est peu développé en grande culture, en France. C'est d'autant plus le cas pour les cultures protégées où les cibles prioritaires de lutte sont principalement des maladies fongiques (Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire, 2011). Actuellement, il n'existe pas de technique opérationnelle de lutte biologique par conservation sur les légumineuses en général, et la féverole en particulier.

1.2.4. La féverole, ses ravageurs et leurs prédateurs

Dans ce contexte, le projet CASDAR-MUSCARI (Mélanges Utiles aux Systèmes de Culture et Auxiliaires pour favoriser une Réduction des Intrants, 2015-2018) vise à proposer des outils d'évaluation des services rendus aux cultures par l'implantation de mélanges fleuris aux abords des champs et à améliorer ces derniers. L'étude menée dans l'UMR Agronomie (INRA – AgroParisTech, 78) se concentre sur la féverole et ses ravageurs et le sujet traité dans ce rapport sur la bruche (*Bruchus rufimanus*) et le puceron noir (*Aphis fabae* Scopoli).

a) La bruche de la féverole, *Bruchus rufimanus*, un ravageur des graines de la féverole

La bruche est un coléoptère prédateur spécialisé de la féverole réparti sur l'ensemble du territoire français. Son cycle de vie ne présente qu'une génération par an. Suite à l'hivernation dans les zones boisées, les adultes se déplacent vers les cultures en fleurs lorsque les températures approchent les 20°C (Vannetzel *et al.*, 2013). A la fin du printemps, les femelles pondent sur une période de 1 à 2 mois à la surface des gousses en formation. A l'éclosion, la larve pénètre dans la gousse puis dans la graine immature où elle se nourrit des cotylédons. Le développement larvaire dure 3 à 4 mois et la nymphose s'achève au cours du stockage des grains (Plessix, 2015). A l'émergence, en automne, les bruches perforent le tégument des graines. Les fèves bruchées présentent des facultés germinatives réduites et ne sont pas commercialisables pour l'alimentation humaine au-dessus 3% de dégâts et au-dessus de 10 % pour l'alimentation animale (Chambre d'Agriculture des Landes, 2014). Les méthodes de lutte actuelles contre les bruches consistent à récolter les grains plus tôt pour piéger les bruches dans les graines, puis à les détruire au stockage. Lors de cette dernière étape, trois méthodes possibles existent : la fumigation, le séchage ou l'application d'un insecticide (Terres Univia/Terres Inovia, 2015). Il s'agit, ici, d'éviter la dégradation des graines et donc leur valeur commerciale, également de limiter la population de bruches d'une année sur l'autre.

b) Le parasitoïde du genre *Triapsis*, prédateur des bruches de la féverole

Malgré l'absence de techniques opérationnelles de lutte biologique par conservation contre les bruches de la féverole, des ennemis naturels de ces derniers existent et peuvent exercer une activité de contrôle de ce ravageur. Ce sont les parasitoïdes, ici micro-hyménoptères, caractérisés par une reproduction puis un développement larvaires au dépend d'un autre organisme et causant finalement la mort de l'hôte (Jaloux, 2014). Dans le cas de la bruche de la féverole le parasitoïde d'intérêt est un endoparasite du genre *Triapsis* (Delvare, 2010; Plessix, 2015). Les adultes déposent leurs œufs dans les larves de bruches localisées dans les fèves. Ils se développeront durant la maturation des grains et perforeront le tégument de la fève pour émerger au début de l'automne. Ces auxiliaires sont intéressants pour la régulation des bruches d'une année sur l'autre, mais ils ne permettent pas de supprimer ou réduire les dégâts de la récolte car la régulation se fait après que l'adulte ait réalisé des dégâts. Des informations écologiques générales sur les micro-hyménoptères parasitoïdes sont disponibles, cependant, les données biologiques et écologiques précises sont restreintes à quelques espèces ou genres. D'après Arvalis, une étude Roumaine, par Filipescu, publiée en 2005 évalue le taux de parasitisme de la Bruche du pois par *Triapsis thoracicus* à 30% maximum. (http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?type_cul=2&type_acc=11&id_acc=321&mode=fa). Ainsi, il n'a pas été possible de trouver des données sur les parasitoïdes (*Triapsis sp.*) de la bruche de la féverole. Le potentiel de régulation de ces auxiliaires sur ce ravageur ne semble pas avoir été évalué à ce jour.

c) Le puceron noir de la féverole, *Aphis fabae Scopoli*, un ravageur de la féverole

Outre les bruches, la féverole est sensible aux Aphidoidea, les pucerons, des hémiptères herbivores, piqueurs suceurs, responsables de dommages importants sur la féverole en cas d'effectifs importants (Chaillet *et al.*, 2014). Plus de 4000 espèces sont connues dont 250 sont des ravageurs de cultures. *Vicia faba* est un hôte secondaire du puceron noir, *Aphis fabae Scopoli*, une espèce très polyphage entraînant l'avortement des fleurs et la réduction de la croissance des plants. Elle peut coloniser plus de 200 plantes et est caractérisée par des colonies en manchon très dense (<http://ephytia.inra.fr/fr/C/20038/Biocontrol-Biologie>).

d) Les prédateurs du puceron noir de la féverole

Cet homoptère est un ravageur prédaté par de nombreuses familles d'insectes. Les chrysopes et leurs larves, les coccinélidés au stade adulte et larvaire et certaines punaises sont des prédateurs reconnus du puceron, également, les larves de syrphes et sont des aphidiphages voraces (Fraval, 2006). De plus, des parasitoïdes du genre *Ephedrus*, *Aphidius* et *Praon*, par exemple, pondent à l'intérieur des pucerons, générant en moyenne 300 momies par adultes (<https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Pucerons-et-milieu/Antagonistes/Parasitoides>). Les syrphes sont des diptères à métabolisme holométabole. Au stade larvaire, un tiers des espèces se nourrit de pucerons tandis que les deux autres tiers sont phytophages ou saprophages (ASTERS, 2007).

1.2.5. Le potentiel de régulation biologique des auxiliaires

L'ensemble de ces auxiliaires peut constituer un potentiel de régulation biologique efficace. A titre d'exemple, une étude de 2008 sur l'impact des ennemis naturels sur le contrôle des pucerons, *Sitobion avenae*, a montré que les prédateurs volants seuls réduisaient jusqu'à 93% la population de pucerons (Holland et al., 2008). Néanmoins, ce potentiel dépend de nombreux facteurs dont la diversité des espèces prédatrices. La littérature contient des exemples où cette diversité entrave le contrôle des ravageurs, cependant, d'autres études indiquent le contraire (Snyder et al., 2006). Finalement, les effets de la diversité des espèces prédatrices est contexte dépendant (Wilby et al.). Par exemple, des événements de compétition intra-guildes, d'interférence comportementale, peuvent affecter négativement ce bio contrôle. Néanmoins des mécanismes synergiques rendent complémentaires le rôle d'ennemis naturels lorsque ceci occupent différentes strates de la végétation et que leurs périodes d'activité se succèdent (Reboulet, 1999).

1.2.6. Les bandes fleuries et leur attractivité pour les auxiliaires

La présence et la diversité d'auxiliaires dépendent de la qualité des habitats et des ressources disponibles à proximité de la parcelle et dans l'ensemble du paysage agricole. Les bandes fleuries sont un outil qui s'intègre dans la lutte biologique par conservation puisqu'elles peuvent remplir les fonctions nécessaires à l'hébergement et au maintien de populations d'ennemis naturels aux abords des cultures. Par exemple, des plantes cespiteuses jouent le rôle de refuges pour les arthropodes marcheurs et des plantes productrices de nectar et de pollen assurent la survie et la reproduction des syrphes (ASTERS, 2007) et des parasitoïdes (Haaland et al., 2011). La composition de bandes fleuries influence immédiatement les guildes d'auxiliaires attirés et la période d'attractivité. Une étude a montré que le critère de ressource nutritive d'une fleur pour un syrphe dépend de l'accessibilité du nectar. Lorsque ce dernier n'est pas extra floral, c'est la profondeur de la corolle qui est déterminante. Ainsi, le nombre de syrphes dans un mélange fleuri s'explique par l'abondance de fleurs à du nectar accessible (van Rijn & Wackers, 2016). Également, pour les parasitoïdes la présence de nectar augmente fortement leur espérance de vie et leur fécondité et par conséquent le taux de parasitisme sur les ravageurs (Heimpel, George & Jervis, Mark, 2005). Ces données appuient l'importance des espèces choisies pour la conception de bandes fleuries. Afin de favoriser la présence de prédateurs et parasitoïdes naturels des ravageurs ciblés, le mélange fleuri doit aussi favoriser la coïncidence spatiale et temporelle entre prédateurs et proies. Il est également primordial que les bandes fournissent les ressources alimentaires nécessaires au maintien de la population hors période de pullulation du ravageur (Reboulet, 1999).

Des études ont montré que l'implantation de bandes fleuries aux abords des cultures de céréales pouvait réduire les dégâts des ravageurs en dessous du seuil économique de nuisibilité (Holland et al., 2008; Tschumi et al., 2015). Aucune étude n'a été trouvée pour des cultures de féverole. De même, rares sont les études comparant plusieurs mélanges floraux pour leur efficacité à réduire les dégâts et les populations de ravageurs. Des mélanges fleuris sont actuellement commercialisés, cependant rien ne garantit leur efficacité. Finalement, les connaissances actuelles ne permettent pas encore de concevoir des mélanges optimaux pour la mise en place de ces outils de lutte biologique par conservation.

1.2.7. Contexte du stage

Mon stage s'inscrit dans le contexte d'une étude menée à l'UMR Agronomie (INRA/AgroParisTech, 78) dans le cadre du projet CASDAR-MUSCARI. Elle se concentre sur cinq mélanges fleuris adjacents à une culture de féverole d'hiver. Un autre projet, aussi sur le thème de la lutte biologique par conservation, est à l'œuvre en parallèle. Le projet GARGAMEL (Gestion Agroécologique des Ravageurs de Grandes Cultures A l'aide de MELanges floraux) évalue également le potentiel de régulation associé aux bandes fleuries sur les ravageurs de trois grandes cultures. Une partie du rapport s'appuie sur les données du projet GARGAMEL (2016) et une autre sur celles de MUSCARI (2016).

a) Problématique et objectifs

Durant mon stage, j'ai cherché à répondre à la question suivante : Les bandes fleuries améliorent elles la régulation naturelle des bruches et des pucerons en culture de féverole d'hiver ?

Pour répondre à cette problématique il s'est agi de (1) comparer les taux de parasitismes de la bruche de la féverole entre un mélange fleuri complexe (plusieurs familles botaniques) et des témoins sans bandes fleuries et de (2) comparer les populations de pucerons et d'auxiliaires sur une parcelle de féverole par rapport à différents mélanges fleuris adjacents et par rapport à une culture sans bande fleurie.

b) Contexte et réalisation des objectifs

Ces deux objectifs à atteindre reposent sur deux dispositifs expérimentaux différents, principalement par la composition botanique des bandes fleuries, par la localisation et la disposition des expérimentations ainsi que les ravageurs considérés. Le premier objectif est réalisé à partir d'échantillonnages de gousses de fèves prélevées en 2016 en face des bandes fleuries à deux distances. Le deuxième objectif est rempli par dénombrement des colonies de pucerons noirs de la féverole et des auxiliaires présents sur la culture, à deux dates, et en face des cinq bandes MUSCARI selon 2 distances.

Des opérations de capture, au filet fauchoir, de l'entomofaune à la surface de la végétation sont effectuées régulièrement sur les mélanges MUSCARI. Les populations auxiliaires seront ensuite identifiées et corrélées à des relevés botaniques effectués parallèlement. Ceci afin de comparer les populations de prédateurs dans la bande et dans la culture. Les résultats de ces opérations ne sont pas disponibles pour le rapport.

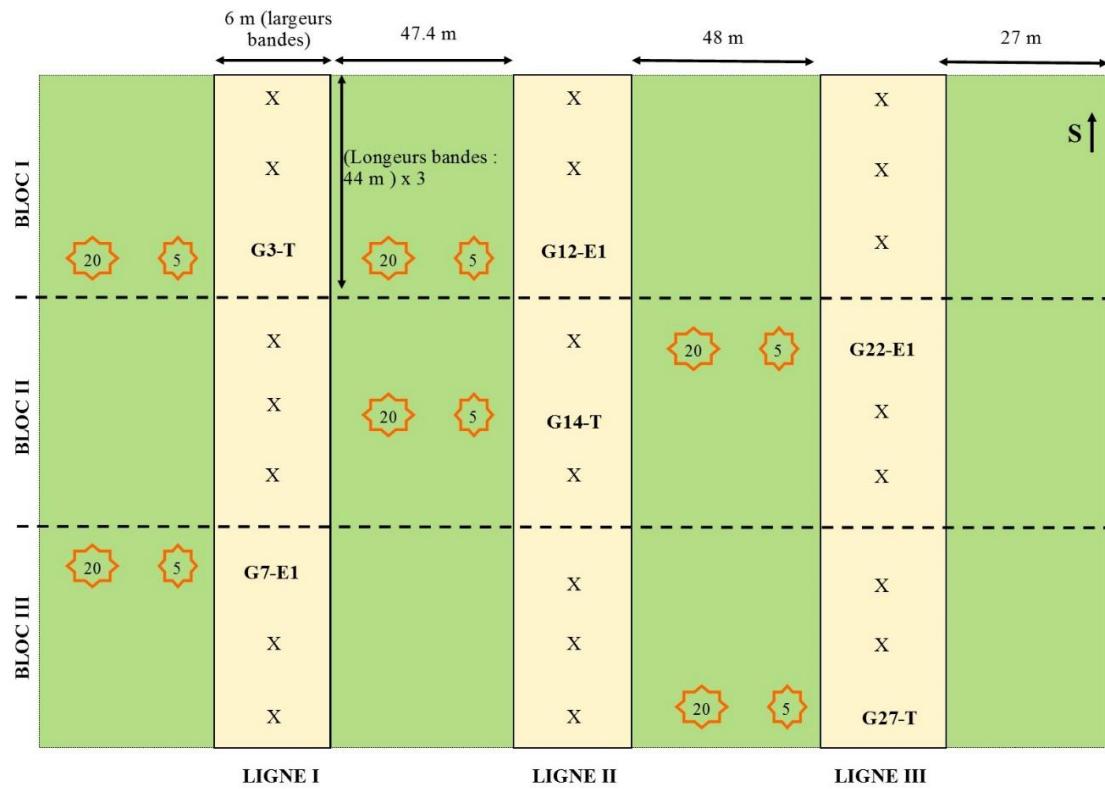


Figure 1 - Plan de l'essai GARGAMEL 2016. - La parcelle est découpée en trois blocs et trois lignes. Les zones en vert représentent la culture de féverole d'hiver. Les lignes comprennent neuf bandes fleuries de 44 mètres chacunes. Les croix représentent d'autres bandes non comprises dans l'étude de ce stage.. T représente la bande témoin recouverte de féverole. E1 est le mélange fleuri complexe étudié. Les étoiles oranges représentent les zones d'échantillonages des fèves en face des bandes, avec la distance inscrite en mètre. Les écartements entre les distances et les bandes ne sont pas à l'échelle

2. Matériel et Méthodes

Le projet CASDAR-MUSCARI (2015-2018), animé par le Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, s'intéresse aux mélanges fleuris comme outils de contrôle des ravageurs de culture par l'attraction de prédateurs et de parasitoïdes. Il vise à l'amélioration de la composition des mélanges fleuris pour les rendre adaptés aux régions et cultures concernées. Egalement, ce projet est destiné au développement d'outils simples d'évaluation des services écosystémiques rendues aux cultures par les bandes fleuries et pour les agriculteurs. Onze sites en France travaillent sur différentes cultures et ravageurs pour répondre à cette problématique.

A l'UMR d'Agronomie INRA/AgroParisTech (78), l'étude se concentre, en partie, sur la féverole d'hiver et ses ravageurs ; dans ce cadre ce stage se concentre sur la bruche de la féverole et le puceron noir de la féverole. L'influence des bandes fleuries sur le parasitisme des bruches par les parasitoïdes *Triapsis sp* est étudiée sur l'essai de 2016 du projet GARGAMEL. L'étude de l'impact de bandes fleuries sur la dynamique pucerons-auxiliaires est réalisée sur l'essai 2017 du projet MUSCARI selon un plan d'organisation de la parcelle différent de GARGAMEL. Les parcelles de l'essai « systèmes de cultures » SIC (Systèmes Intégrés sous Contraintes) (2016 et 2017), proches de l'essai précédent, ont été utilisés comme point de comparaison de parcelles sans bandes fleuries à proximité immédiate. Les données de ces dernières proviennent de l'année 2016 pour GARGAMEL et 2017 pour MUSCARI.

Les mélanges ont été conçus pour répondre à plusieurs critères dont la pérennité des bandes, une composition en espèces indigènes, la diversité des familles et espèces botaniques ainsi que les périodes de floraison vis-à-vis de la disponibilité des ressources et des fonctions refuges de ces plantes.

2.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)

2.1.1. Dispositif expérimental

Cet essai a pour objectif de comparer huit bandes fleuries contrastées pour leur composition botanique (espèces pérennes et indigènes) ainsi qu'un témoin implanté avec la culture, sur la régulation des ravageurs de toutes les cultures présentes sur une rotation de quatre ans. La parcelle est conduite sans labour ni insecticides depuis 2013. La culture de féverole a été implantée en semis direct le 2 novembre 2015 selon la figure 1. Seules les bandes nomenclaturées ont été étudiées pour leur influence sur le taux de parasitisme des bruches. Dans le cadre du stage, un seul mélange fleuri a été choisi et est étudié. Il s'agit d'un mélange nommé E1 présentant une forte quantité de plantes apportant des ressources florales aux auxiliaires et une forte diversité fonctionnelle dans la nature des ressources trophiques fournies. A l'implantation, il était constitué de 32 espèces appartenant à 14 familles botaniques différentes.

Ce mélange est comparé à un témoin constitué de bandes de féverole cultivées dans les mêmes conditions que le reste de la culture. Chaque modalité (mélange E1 et témoin) est répétée trois fois (dispositif en trois blocs). A cet essai est également comparée, une parcelle de féverole du système de culture SIC (2016), située à quelques centaines de mètres et d'une surface de 4400 m² (65m*65m) (Annexe I).

2.1.2. Description botanique des bandes fleuries

Afin de suivre l'évolution du mélange fleuri un relevé botanique est effectué au printemps (juin 2016) par estimation des surfaces de recouvrement des espèces répertoriées adventices et semées, A chaque espèce est attribué un stade phénologique. La surface de recouvrement est calculée de la manière suivante : estimation du pourcentage de recouvrement du sol nu, classement en ordre d'importance de l'ensemble des espèces répertoriées, estimation du recouvrement pour chaque espèce sur une surface de 15 m². En dessous de 10 individus, l'espèce est considérée comme anecdotique et notée à 0,1%.

2.1.3. Parcilles de féverole GARGAMEL et SIC (2016)

a) Itinéraires techniques (ITK)

ITK GARGAMEL

La féverole a été plantée, le 2 novembre, en semis direct sur un couvert d'avoine brésilienne à raison de 30 graines par m². Des traitements aux herbicides et un fongicide ont été effectués mais aucun traitement insecticide n'a été pratiqué. Finalement, la féverole a été moissonnée le 1 août 2016. A partir du mois de mai 2016, le champignon pathogène, *Botrytis cinerea*, a attaqué fortement la parcelle de féverole.

ITK SIC

Après un labour à la charrue, l'essai SIC a été semé le 3 novembre 2015 avec une féverole d'hiver à une densité de 41 grains par mètre². La féverole a été moissonnée le 05 aout 2016. Des traitements aux herbicides et fongicides ont été effectués ponctuellement par pulvérisation mais aucun insecticide n'a été appliqué.

b) Echantillonnage des gousses

L'échantillonnage des graines de féverole sur les parcelles GARGAMEL et SIC a été effectué fin juillet 2016, juste avant la récolte. Pour chaque modalité et selon deux distances à la bande (5 et 20 m), 100 gousses ont été prélevées (une à deux par plante environ) puis stockées à température ambiante pour une analyse ultérieure. En effet, les bruches et les parasitoïdes achèvent leur développement dans les fèves stockées.

c) Calculs des dégâts et taux parasitisme



Figure 2 - Plan de l'essai MUSCARI 2017. – La zone verte représente la culture de féverole d'hiver implantée en (hiver 2016). En jaune, sont représentés les cinq mélanges fleuris. La nomenclature 1A et 2A indique l'âge de la bande, les mélanges sans annotations sont 2A également. BE signifie Bande Enherbée. Les étoiles orange représentent les distances, en mètre, où les comptages de colonies de pucerons et des populations d'auxiliaire ont été réalisés. Pour chaque bande et chaque distance trois comptages sont effectués à intervalle de 5 mètres. Ils sont représentés par des cercles rouges et chaque répétition est constituée de 10 plantes.

Tableau I – Type de mélange en fonction des années. – Les mélanges ont été implantés en 2015. 2A et 1A distinguent deux versions du mélange complexe.

2015 - 2016	2016 - 2017	Dénomination du mélange
Simple	Conservé	simple
Complexe	Conservé	complexe 2A
Vesce	Détruit puis remplacé par un mélange complexe	complexe 1A
Bande enherbée	Conservé	bande enherbée
NovaFlore	conservé	NovaFlore

Lorsque les bruches de la féverole émergent des fèves, elles perforent le tégument de la graine en creusant un trou circulaire aux bords nets et d'un diamètre d'environ deux millimètres. Les parasitoïdes étudiés se développent au dépens de la larve de la bruche. A l'émergence, ils perforent également le tégument de la graine selon un trou aux bords irréguliers d'un diamètre d'un millimètre (Annexe II). Pour chaque graine, j'ai dénombré les trous de bruches et de parasitoïdes. Les données obtenues m'ont permis de calculer les dégâts, c'est-à-dire le taux de graines trouées, et le taux de parasitisme des bruches.

Dégats = Nombre total de graines trouées par la bruche ou le parasitoïde / Nombre total de fèves

Taux de parasitisme = Nombre de trous provoqués par les parasitoïdes / Nombre total de trous

2.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017)

2.2.1. Dispositif expérimental

L'étude de l'impact des bandes fleuries sur la dynamique auxiliaires-ravageurs dans un champ de féverole d'hiver est réalisée au printemps 2017 sur une parcelle implantée en colza 2016 représentée sur la figure 2.

L'essai MUSCARI est constitué d'une parcelle de féverole d'hiver d'environ 50 mètres de largeur sur 350 mètres de longueur. En amont, cinq bandes fleuries de 60 mètres sur 6 chacune, sont disposées les unes à la suite des autres. Les parcelles SIC servant de témoins sont situées à environ 1 kilomètres (Annexe I)

2.2.2. Les bandes fleuries

a) Implantation des mélanges

L'ensemble des mélanges ont été implantés en octobre 2015 à l'exception du complexe 1A. Celui-ci a été implanté en 2016 (tableau I) en remplacement d'un mélange « vesce » semé l'année précédente. Les mélanges complexe ou simple font référence au nombre d'espèces implantées. NovaFlore est un mélange conçu et commercialisé par l'entreprise du même nom et censé attirer les auxiliaires. Sur les cinq mélanges étudiés, quatre ont déjà été étudiés en 2016, dans la première année de leur expression (espèces annuelles dominantes) et sont à nouveau étudiés en 2017 où s'expriment surtout les espèces pérennes.

b) Description botanique des bandes fleuries

Les estimations des surfaces de recouvrement de chaque espèce de plante sont effectuées selon le même protocole que GARGAMEL. Les observations ont été faites le 31 mai 2017.

2.2.3. Parcellle de féverole MUSCARI et SIC (2017)

a) Itinéraires techniques (ITK)

Aucun traitement insecticide n'a été effectué sur les parcelles MUSCARI et SIC

ITK MUSCARI

La féverole d'hiver a été implantée en semis direct en octobre 2016, après un traitement herbicide. Les fèves seront récoltées une fois les parties végétatives sèches, c'est-à-dire, en aout 2017.

ITK SIC

Deux parcelles de féverole d'hiver constituent les témoins sans bandes fleuries à proximité. Elles ont été semées après un travail du sol, également en octobre 2016. Des traitements fongicides et herbicides sont fréquemment appliqués sur ces cultures.

b) Comptage des pucerons et auxiliaires sur la culture de féverole

Afin d'évaluer l'impact des bandes fleuries sur la dynamique ravageur auxiliaire en culture de féverole d'hiver, des comptages de ces derniers sont effectués au printemps. Dans ce rapport deux dates sont présentées (comptage du 15 mai et comptage du 30 mai 2017).

Le comptage des pucerons s'effectue sur les plants de féverole à deux distances, à 5 et 30 mètres, pour chaque bande, ce qui constitue 10 points de mesures représentés figure 2. Pour chacune de ces points trois répétitions (distantes d'une dizaine de mètres) de 10 plantes sélectionnées au hasard sont effectués.

Sur une plante, les auxiliaires prédateurs du puceron noir de la féverole sont dénombrés en premier. Une observation générale de la plante permet de compter les coccinelles, les chrysopes et les punaises adultes. Les larves puis les œufs de coccinelles, de chrysopes et de syrphes dénombrés. Les prédateurs actifs sont distingués de l'ensemble des prédateurs. Ils sont représentés par les larves des syrphes et coccinelles, les adultes coccinelles, les adultes et larves de chrysopes ainsi que les punaises prédatrices. Ensuite le nombre de pucerons par plante est compté. Lorsqu'une colonie est trop dense, les manchons homogènes de pucerons sont mesurés et le nombre de pucerons sur un centimètre de tige est compté permettant d'évaluer la population totale de pucerons sur la plante.

2.3. Analyses statistiques

Les analyses statistiques sont réalisées sous Rstudio. Les tests sont validés par des commandes spécifiques permettant de tester l'homoscédaticité et la normalité des résidus des données. Les premiers modèles testés comprennent au départ toutes les variables explicatives étudiées (effets additifs et interaction). Ensuite, les

variables les moins significatives sont éliminées successivement une à une jusqu'à ce qu'il ne reste plus que des variables significatives dans le modèle final.

2.3.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)

Les moyennes des dégâts sur fèves et des taux de parasitisme des bruches sont comparées aux modalités.

Des tests ANOVA (comparaison de moyennes à 2 facteurs) sont réalisés sur des modèles comparant le taux de parasitisme ou les dégâts sur fève aux modalités « mélange », « distance » et « bloc », « ligne ».

Une courbe de régression linéaire est également construite pour mettre en relation le taux de parasitisme et les dégâts en fonction des relevés botaniques des bandes E1 de juin 2016.

2.3.2. Dynamique pucerons-auxiliaires (MUSCARI, 2017)

La somme des pucerons sur les dix plantes de chaque répétition est calculée puis les moyennes de ces sommes sont calculées pour chaque répétition. Alors, les moyennes entre répétitions sont comparées.

Les moyennes des quantités de pucerons et de prédateurs actifs sont chacun comparés pour les facteurs distances et bandes. Les mêmes tests sont effectués pour les moyennes de taux de croissance des pucerons ainsi que pour les moyennes des ratios proies/prédateurs.

Les modèles sont testés par des comparaisons de moyennes (ANOVA) avec les facteurs pris indépendamment et avec interaction. Finalement, une régression linéaire modélisant la quantité de prédateurs actifs en fonction des quantités de pucerons est effectuée.

Le nombre moyen de prédateurs actifs comporte les larves et les adultes des coccinelles et chrysopes, les larves de syrphes et les punaises relevées.

Le taux de croissance des pucerons est calculé comme le ratio entre ceux comptés à la date 2 et ceux comptés à la date 1.

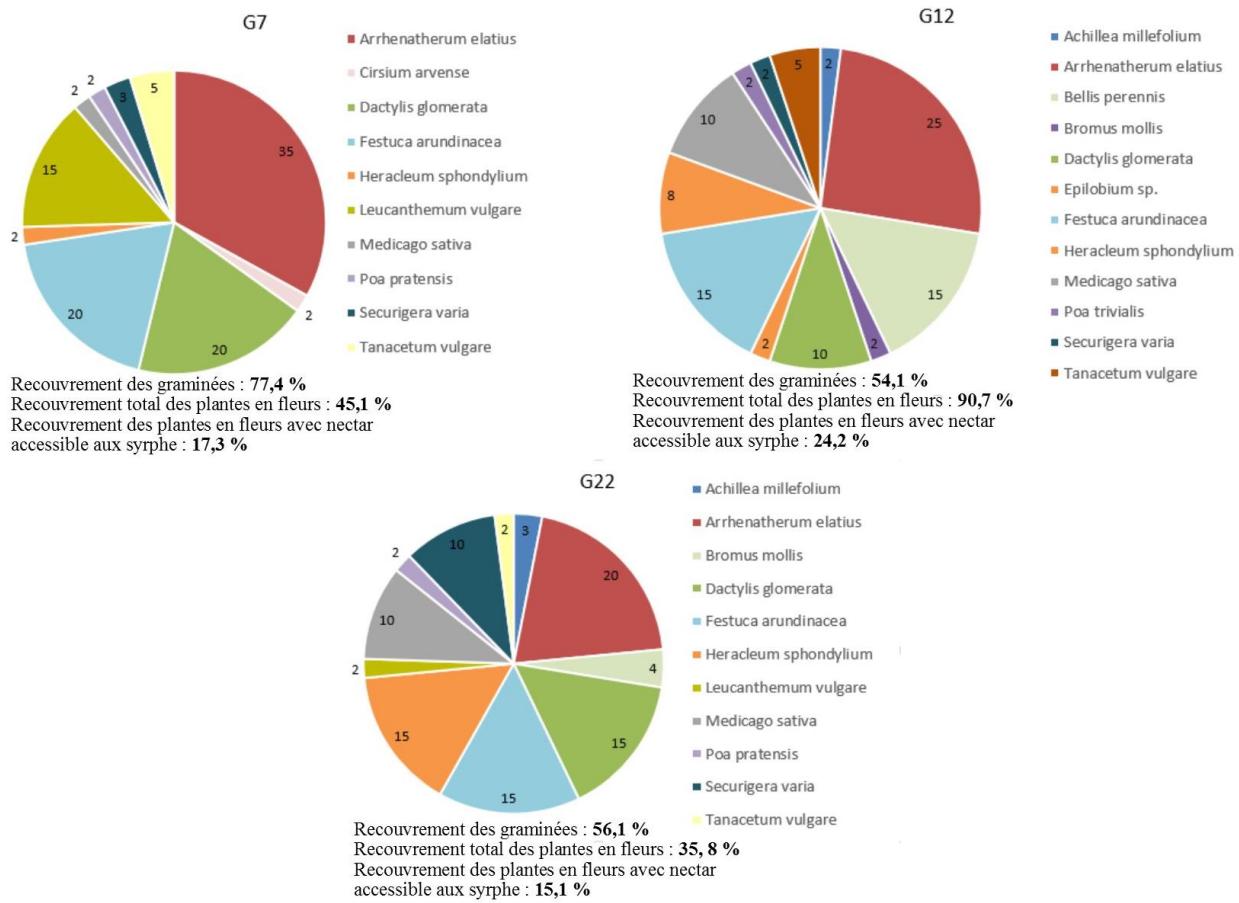


Figure 3 - Espèces dominantes par bande du mélange E1. – Les étiquettes de données représentent les % de recouvrement des espèces dominantes (>1%) par bande. La somme de ces recouvrements ne constitue pas 100 % et les bandes ont toutes 2 % de sol nu

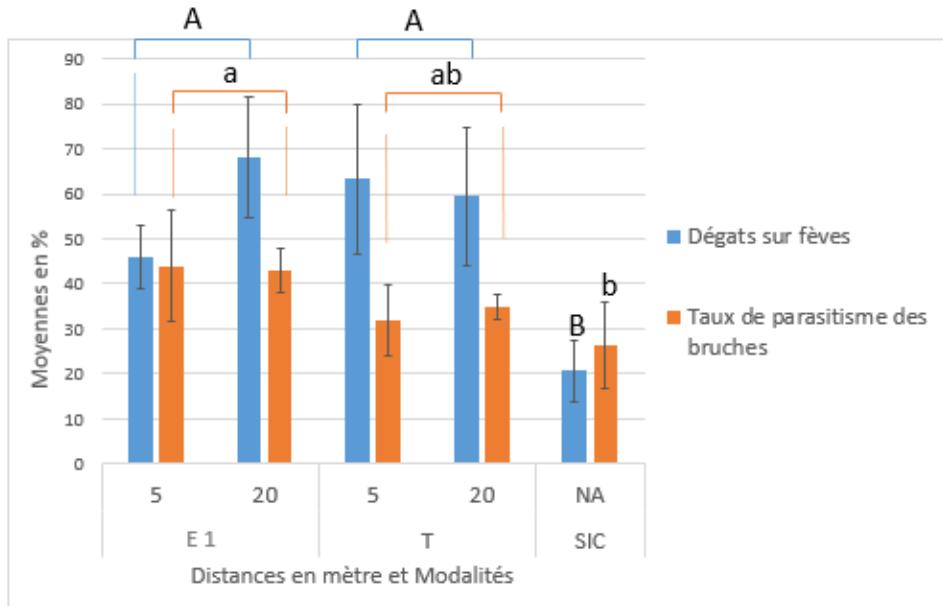


Figure 4 - Moyenne des dégâts et des taux de parasitisme des bruches en %, en fonction de la distance en mètre et des modalités « type de mélange ». BF signifie Bande Fleurie pour le mélange E1. T indique le témoin, une bande de féverole. SIC est un second témoin sur une parcelle où aucune bande fleurie n'est à proximité immédiate. Les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes.

3. Résultats

3.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)

3.1.1. Description botanique des bandes fleuries

Les relevés botaniques du mois de juin 2016 sur les trois bandes semées avec un mélange E1 permettent de comparer les surfaces de recouvrement des espèces dominantes (supérieures à 1 %) entre bandes (figure 3).

Les espèces dominantes des bandes G7, G12 et G22 présentent des surfaces de recouvrements équilibrées ; pour chacune des bandes, cinq espèces ont un recouvrement supérieur à 10%.

Plusieurs espèces dont la surface est supérieure à 10% sont communes aux trois. C'est le cas de trois Poacées, L'avoine élevée (*Arrhenatherum elatius*, Poaceae), le dactyl aggloméré (*Dactylis glomerata*, Poaceae) et la fétuque (*Festuca arundinacea*, Poaceae). D'autres espèces à fort taux de recouvrement (>10%) sont communes aux bandes G22 et G12, telle que la Luzerne (*Medicago sativa*, Fabaceae) et la berce spondyle (*Heracleum sphondylium*, Apiaceae). Ces deux bandes ont une composition botanique plus proche qu'avec G7. D'ailleurs, cette dernière comporte 77,4% de surface de recouvrement par des graminées contre environ 50% pour les autres bandes. Les surfaces de recouvrement totales des plantes en fleurs ne sont pas identiques, G12 présente 90,7% de recouvrement contre 35 et 45% pour la bande G22 et G7. Malgré ce fort taux de recouvrement des plantes en fleurs, G12 présente 24,2% de surface couverte par des plantes dont le nectar est accessible aux syrphes. G7 et G22 ont respectivement 17,3 et 15,1 % de recouvrement de plantes avec nectar accessible.

Finalement, les trois bandes possèdent quelques espèces dominantes différentes, cependant l'ensemble est homogène pour la quantité de ressource en nectar accessible, la répartition ainsi que la diversité des espèces.

3.1.2. Dégâts sur fève et taux de parasitisme

Les taux de parasitisme des bruches et les dégâts sur fève sont comparés entre bandes et parcelles afin de déterminer si les mélanges fleuris influencent ces variables.

Les dégâts sur fèves se sont révélés environ 20 % plus faibles ($p\text{-value}<10^{-4}$) sur la parcelle SIC que sur GARGAMEL (figure 4). Sur cette dernière, les dégâts varient de 45 % à presque 70%, mais il n'y a pas de différence significative entre la bande fleurie E1 et le témoin. La pression des ravageurs peut donc être considérée comme homogène au sein de la parcelle.

Les taux de parasitisme des bruches varient de 30 à 40 % au sein de GARGAMEL contre moins de 30% sur SIC. Ces taux de parasitisme sont significativement inférieurs ($p\text{-value} = 0,007$) dans l'essai SIC par rapport à la

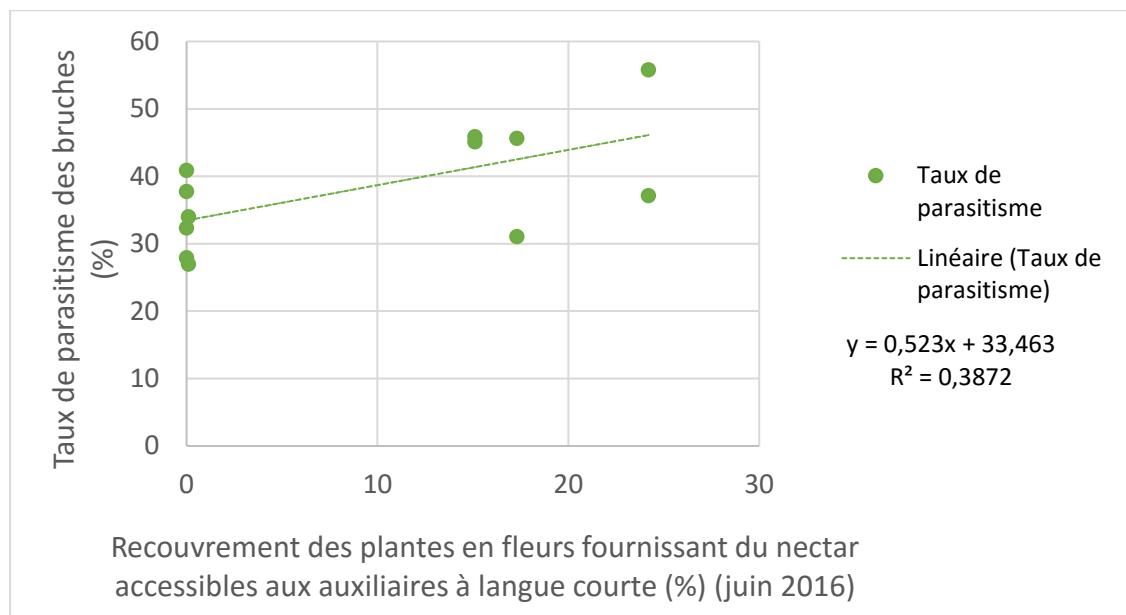


Figure 5 - Taux de parasitisme des bruches et dégâts sur fève en %, en fonction des moyennes de recouvrement des plantes en fleurs, en %, au mois de juin 2016. Les moyennes sont obtenues à partir des mélanges E1 pour les bandes G7, G12 et G22.

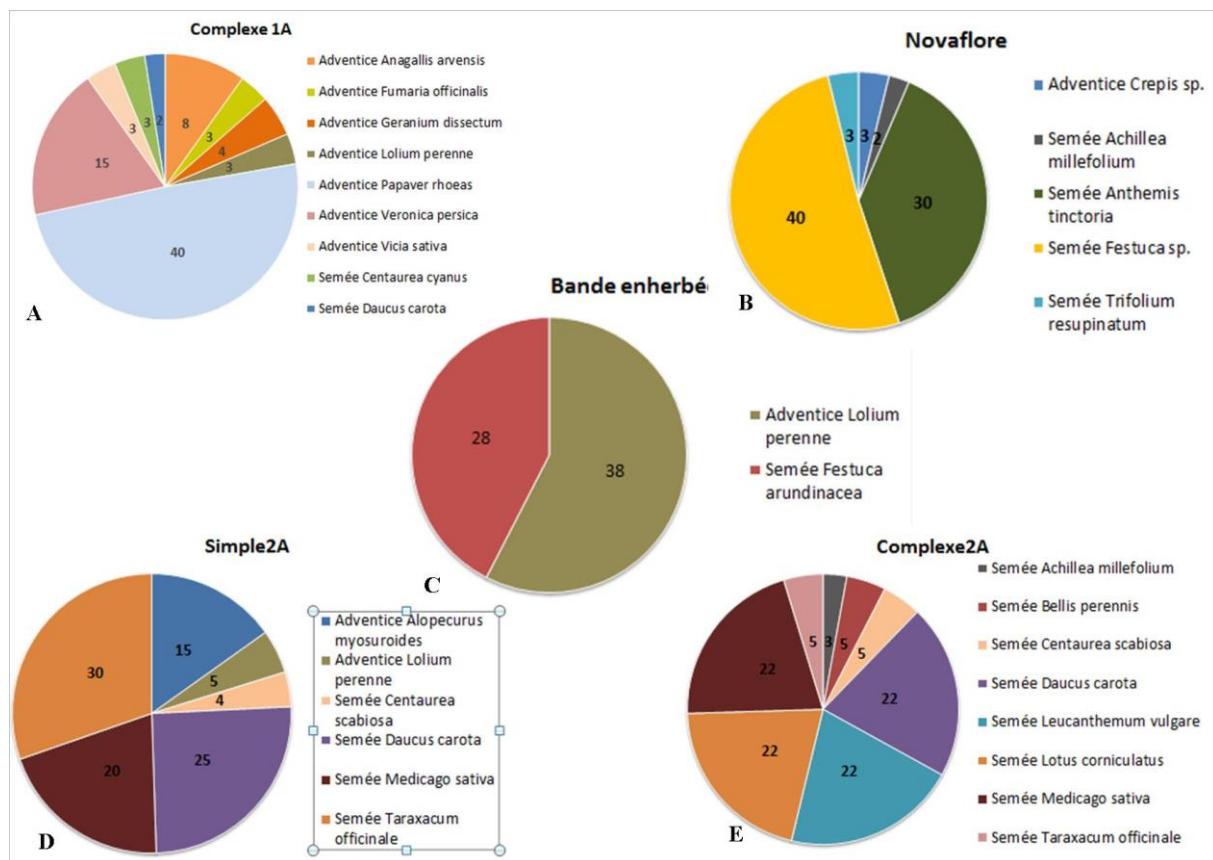


Figure 6- Espèces dominantes des mélanges sur l'essai MUSCARI 2017. - Les valeurs des étiquettes représentent les pourcentages de recouvrement des espèces dominantes (>1%). Les figures A, B, C, D et E ont le nom des bandes fleuries inscrite en haut du diagramme. Devant chaque nom scientifique est indiqué si l'espèce est adventice ou semée. Ces surfaces de recouvrement ont été obtenues à partir d'un relevé botanique le 31 mai 2017.

bande fleurie, mais il n'y a pas de différence entre la bande fleurie et le témoin sur l'essai GARGAMEL. Par ailleurs, la distance à la bande n'a pas d'effet significatif sur le taux de parasitisme ($p\text{-value}>0,05$).

Les variables « taux de parasitisme » et « dégâts » ont également été comparées pour les facteurs bloc et ligne. Ces derniers n'ont pas d'impact significatif sur le taux de parasitisme, mais ils constituent des facteurs de variation des dégâts.

Finalement, le taux de parasitisme a été représenté en fonction des surfaces de recouvrement des plantes en fleurs (juin 2016) fournissant du nectar accessible aux auxiliaires à langue courte (figure 5). Et ce afin de déterminer si le taux de parasitisme dépend de ressources spécifiques des bandes fleuries. Le taux de parasitisme des bandes témoins (0 % de recouvrement des plantes nectarifères) prend des valeurs entre 27 % et 40 % alors que ceux des mélanges E1 augmentent jusqu'à plus de 50 % de parasitisme. Malgré ces observations, il n'y a pas de relation significative ($p\text{-value} = 0,684$) entre le taux de parasitisme et le recouvrement des plantes nectarifères intéressantes pour les prédateurs à pièce buccale courte.

3.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017)

Ici, cinq mélanges fleuris contrastés sont comparés vis-à-vis des populations de pucerons et d'auxiliaires observés sur la culture de féverole. Ces populations sont également comparées entre les essais MUSCARI 2017 et SIC 2017.

3.2.1. Relevés botaniques

La bande complexe 1A est constituée de 9 espèces majoritaires (figure 6), dont le coquelicot largement dominant (40% de recouvrement). Ce mélange est à 80 % représenté par des adventices (figure 7). De même, la bande enherbée, représentée par deux espèces dominantes (ray-grass et fétuque), en est aussi majoritairement constituée, à 38 %. En revanche, les bandes Novafloré, simple et complexe 2A sont recouvertes par moins de 20% d'adventices. Ces trois bandes constituent les mélanges avec le plus d'espèces semées (figure 6 et 7). Toutefois, le mélange Novafloré comporte seulement deux espèces majoritaires à plus de 10 %, à savoir une fétuque et l'anthémis des teinturiers ; contrairement aux mélanges simple et complexe 2A dont les 90% de la surface sont réparties équitablement entre quatre espèces. Ces deux bandes présentent quatre espèces dominantes en commun (pissenlit, carotte, luzerne et centaurée scabieuse) cependant les surfaces qu'elles couvrent varient d'un mélange à l'autre (figure 6).

Les proportions de plantes en fleurs fournissant du nectar, intéressant pour les auxiliaires à petites pièces buccales, sont presque nulles pour la bande enherbée (figure 7). En revanche, le complexe 1A et Novafloré sont recouvertes à 40% par ces fleurs. Finalement, les mélanges simple et complexe 2A présentent 60 % de surface de recouvrement par des plantes nectarifères d'intérêt.

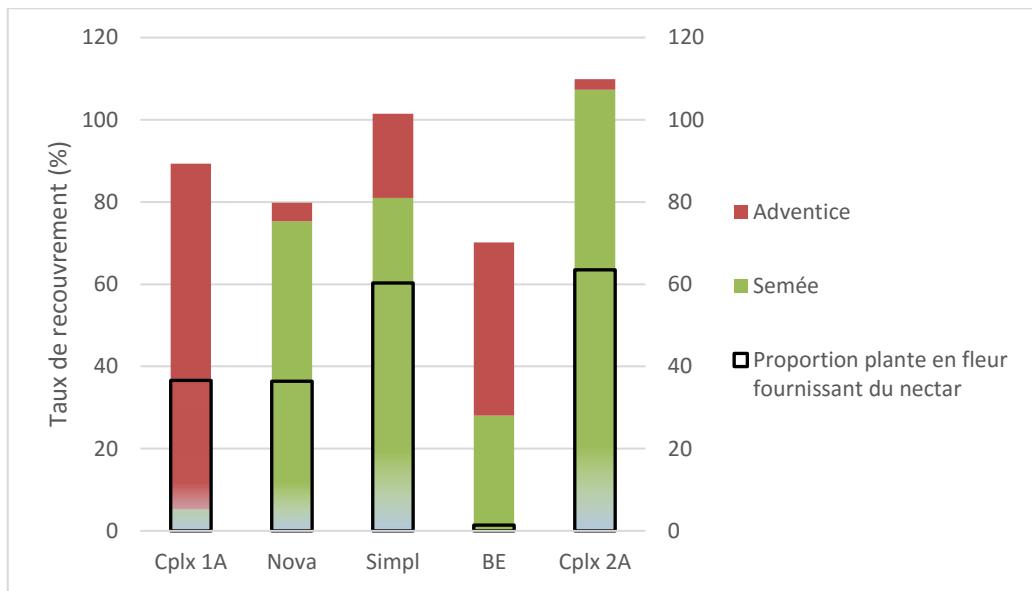


Figure 7 – Proportions des taux de recouvrement en % des plantes semées ou adventices et de plante en fleur fournissant du nectar, accessible aux insectes à pièces buccales courtes, selon les mélanges. Il n'y a pas de correspondance entre les proportions de plantes nectarifères et celles des adventices ou plantes semées- Cplx signifie complexe. 1A ou 2A indique l'âge du mélange en années. Nova, Simpl et BE sont respectivement les abréviations pour NovaFlore (mélange de l'entreprise du même nom)

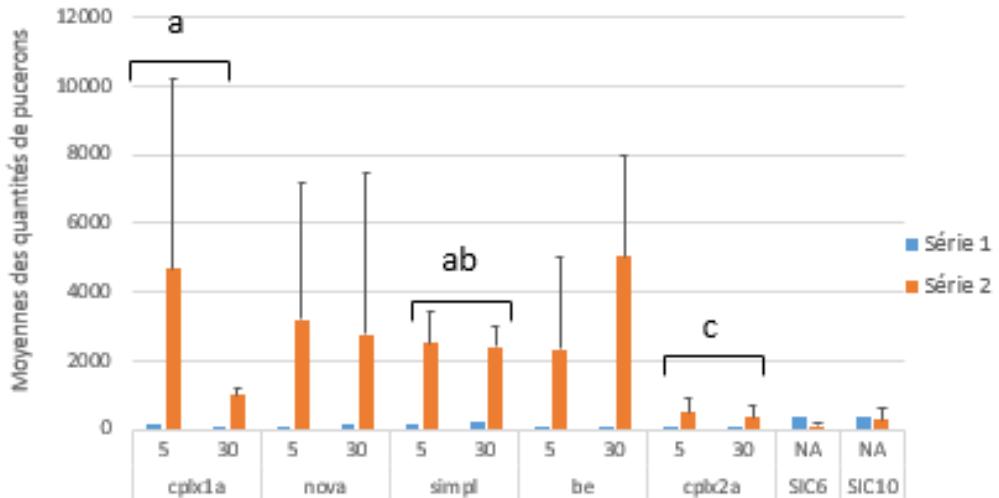


Figure 8 - Moyennes des quantités de pucerons par bandes et distance à la bande à la date 1 et 2. – Cplx signifie complexe. 1A ou 2A indique l'âge du mélange en années. Nova, Simpl et BE sont respectivement les abréviations pour NovaFlore (mélange de l'entreprise du même nom), simple1A et Bande Enherbées. SIC6 et SIC10 sont les noms des parcelles témoins sans bandes fleuries à proximité. Les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes.

En résumé, les mélanges complexe 2A et simple 2A sont les plus diversifiés et équilibrés quant aux espèces dominantes qui les composent. De même ils comportent le plus de ressources nectarifères accessibles aux auxiliaires étudiés.

3.2.2. Description des populations de pucerons et de prédateurs

Les moyennes des quantités de pucerons ont été comparées en fonction de la distance à la bande et des bandes (figure 8). L'abondance des pucerons augmente très fortement entre la date 1 et la date 2 ($p\text{-value}<10^{-4}$). Par exemple, en face du mélange simple 2A, la population de pucerons sur 10 plantes passe de presque zéro individu à plus de 2000 pour 10 plantes. La distance n'a pas d'effet significatif sur la quantité de pucerons ($p\text{-value} = 0,592$). En revanche, les bandes influencent significativement les quantités de pucerons ($p\text{-value} = 0,001$). En effet, l'abondance de ces derniers (à la date 2) est très largement inférieure (moins de 2000 individus en moyenne pour 10 plantes) en face de la bande complexe 2A par rapport à la bande simple, dont les moyennes dépassent les 2000 individus. La quantité de pucerons en face du complexe 1A est au moins 4000 fois supérieure à celle du complexe 2A. Cependant, cet écart n'est pas significatif mais la $p\text{-value}$ est proche du seuil de 0,05 ($p\text{-value} = 0,07$).

De la même façon qu'avec les populations de pucerons, les quantités de prédateurs ont été comparées vis-à-vis de la distance à la bande et en fonction des bandes pour la série 2 uniquement (figure 9) car trop peu d'auxiliaires ont été observés à la première date. La quantité de prédateurs sur les parcelles varie entre 10 et 20 individus sur dix plantes. Ce sont majoritairement des larves de syrphes, de coccinelles et plus minoritairement des punaises, des coccinelles adultes puis des chrysopes adultes et au stade larvaire. Les abondances de prédateurs ne sont pas significativement différentes pour chacun des facteurs testés. A la date 2, la population de prédateurs est répartie de manière homogène sur l'ensemble de la parcelle MUSCARI et similaire à celle des parcelles SIC.

Pour déterminer si les prédateurs actifs observés dans les bandes dépendent de l'abondance des pucerons, l'ensemble des données de la date 2 sont utilisées pour mettre en relation la quantité de prédateurs actifs en fonction de celle des pucerons (figure 10). Le coefficient de régression de 0,5065 est significativement différent de 0 ($p\text{-value}<10^{-4}$) indiquant qu'il existe une relation linéaire positive entre la quantité de prédateurs et celles des pucerons.

3.2.3. Ratio proies/prédateurs et taux de croissance des pucerons

Afin d'identifier si, pour un nombre de pucerons donné, la quantité de prédateurs répondait à la nature de la bande fleurie, nous avons comparé des ratios proies/prédateurs en fonction des bandes et distances à la bande, à la date1 et à la date 2 (figure 11).

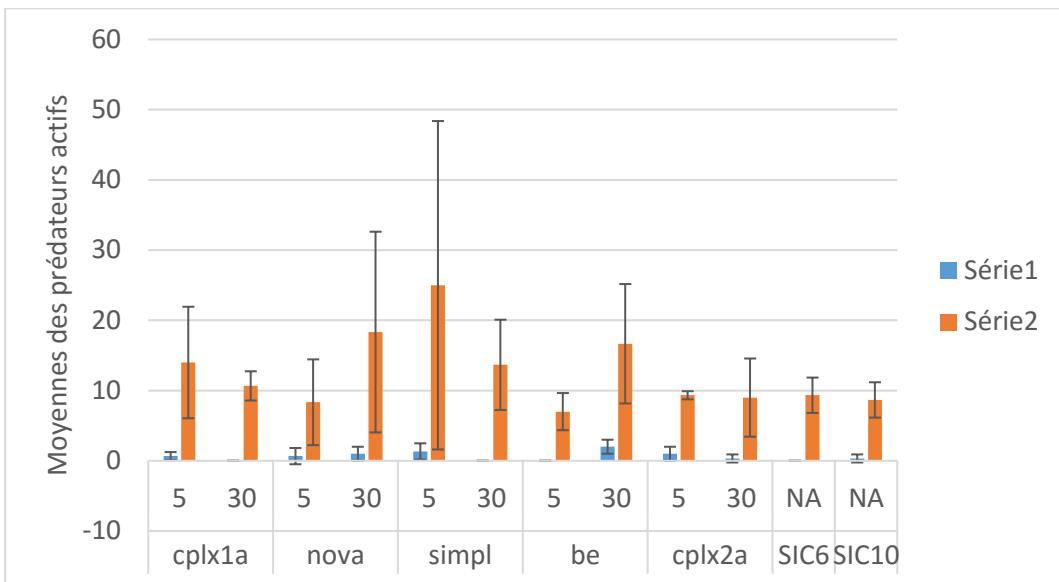


Figure 9 - Moyennes des prédateurs actifs en fonction des bandes et des distances à la date 1 et 2. - Cplx signifie complexe. 1A ou 2A indique l'âge du mélange en années. Nova, Simpl et BE sont respectivement les abréviations pour NovaFlore (mélange de l'entreprise du même nom), simple1A et Bande Enherbées. SIC6 et SIC10 sont les noms des parcelles témoins sans bandes fleuries à proximité.

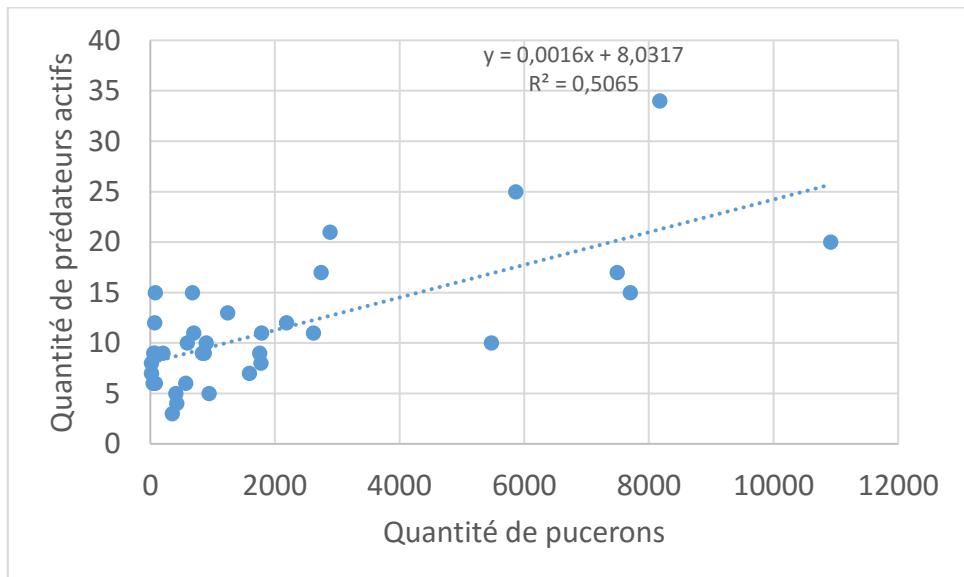


Figure 10 - Quantité de prédateurs actifs en fonction des quantités de pucerons, sur l'ensemble des essais à la date 2. Les points du graphique correspondent aux sommes sur 10 plantes par répétitions et pour les deux distances par bande. L'équation de la courbe est définie par $y = 0.0018x + 8.6526$, $R^2 = 0.5065$ ($p\text{-value} = 9.88e-07$).

Les valeurs ont été testées pour leur normalité avec une p-value de 0,02. Le test paramétrique, ANOVA, a tout de même été utilisé car l'analyse de variance reste dans ce cas très robuste si les variances sont égales et les observations indépendantes.

Le facteur série (date) a été systématiquement pris en compte dans les comparaisons entre moyennes. De la même manière qu'avec les taux de croissance, la distance à la bande n'est pas un facteur explicatif du ratio proie/prédateurs. Par contre le facteur bande à un effet notable (p-value = 0,00027) sur ce ratio, avec une différence significative entre le mélange complexe 2A d'une part, et les mélange complexe 1A et simple d'autre part. Les rapports proies /prédateurs du complexe 1A et simple sont proches de 100 pucerons par prédateur tandis que ceux du complexe 2A se situent en deçà de cette valeur. Les moyennes de prédateurs, à la date 2, sont équivalentes mais réduites en face du complexe 2A pour les pucerons (figure 9). Il y a donc plus de pucerons par prédateur dans 1A et simple que dans la bande 2A. De plus, les valeurs des autres modalités ne sont pas différentes des autres.

Le taux de croissance des pucerons a été calculé entre deux dates de comptages séparées de 15 jours (figure 12). Les comparaisons de moyennes indiquent que le taux de croissance des pucerons n'est pas différent selon la distance à la bande ni entre les mélanges ($p\text{-value}>0,05$). Par contre, le taux de croissance sur la parcelle SIC6 est inférieur à 1 alors que celui de la bande enherbée dépasse la valeur 10 et cette différence est significative ($p\text{-value}=0,007$).

4. Discussion

4.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)

Ce stage avait pour premier objectif de déterminer si l'implantation d'un mélange fleuri à proximité d'une culture de féverole d'hiver permettait d'améliorer la régulation naturelle des bruches de la féverole par des parasitoïdes.

Dans un premier temps, la composition des trois bandes de l'essai GARGAMEL, implantés avec le mélange E1, a été caractérisée pour le mois de juin 2016. Ces dernières étaient principalement composées des mêmes d'espèces majoritaires révélant une homogénéité des bandes pour le même mélange. Une des bandes (G12) comportait un pourcentage de plante en fleur de 90,7%, presque deux fois supérieurs aux autres bandes. Néanmoins, une grande partie des espèces étant des graminées, ce pourcentage n'est pas représentatif de la quantité de nectar fourni accessibles aux parasitoïdes puisque ces dernières n'en fournissent pas.

Les dégâts sur fève et les taux de parasitisme ont été chacun comparés vis-à-vis des distances et des modalités (E1, Témoin, Témoin SIC). L'effet de la distance ne s'est jamais révélé significatif. Les dégâts étaient moins importants sur SIC que GARGAMEL, alors qu'il était attendu que la pression des ravageurs soit identique sur les deux essais en raison de leur proximité. La composition du paysage à proximité de l'essai témoin peut en être une cause. Celle-ci a pu défavoriser la colonisation des plants par les bruches en sortie d'hivernation. En effet, pour leur maturation sexuelle, les bruches ont besoins de pollen (Plessix, 2015), plus facilement accessible sur

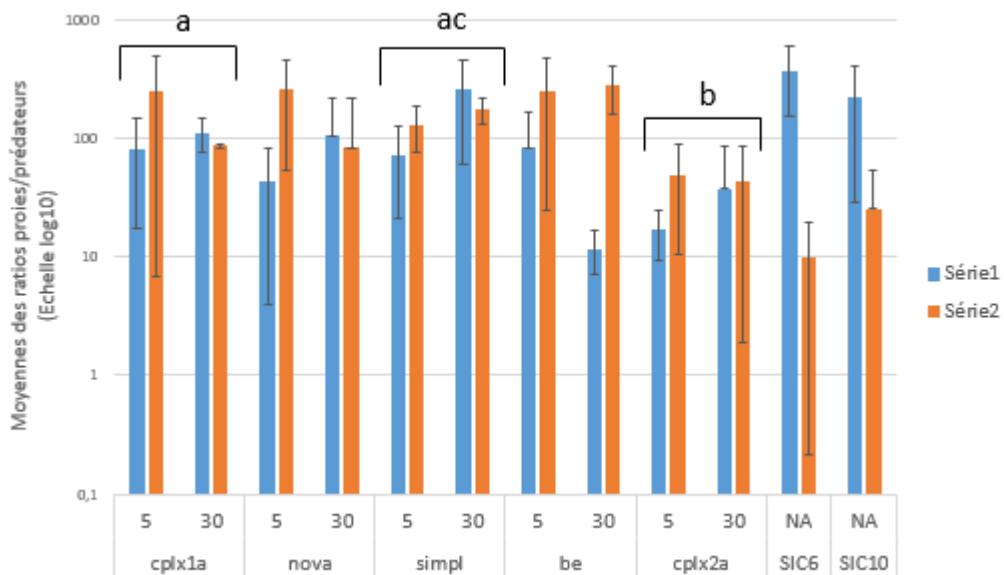


Figure 11 - Moyenne des ratios proies/prédateurs, à une échelle log10, en fonction des bandes et distances et selon deux dates. Cplx signifie complexe. 1A ou 2A indique l'âge du mélange en années. Nova, simpl et be sont respectivement les abréviations pour NovaFlore (mélange de l'entreprise du même nom), simple1A et Bande Enherbées. SIC6 et SIC10 sont les noms des parcelles témoins sans bandes fleuries à proximité. Les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes.

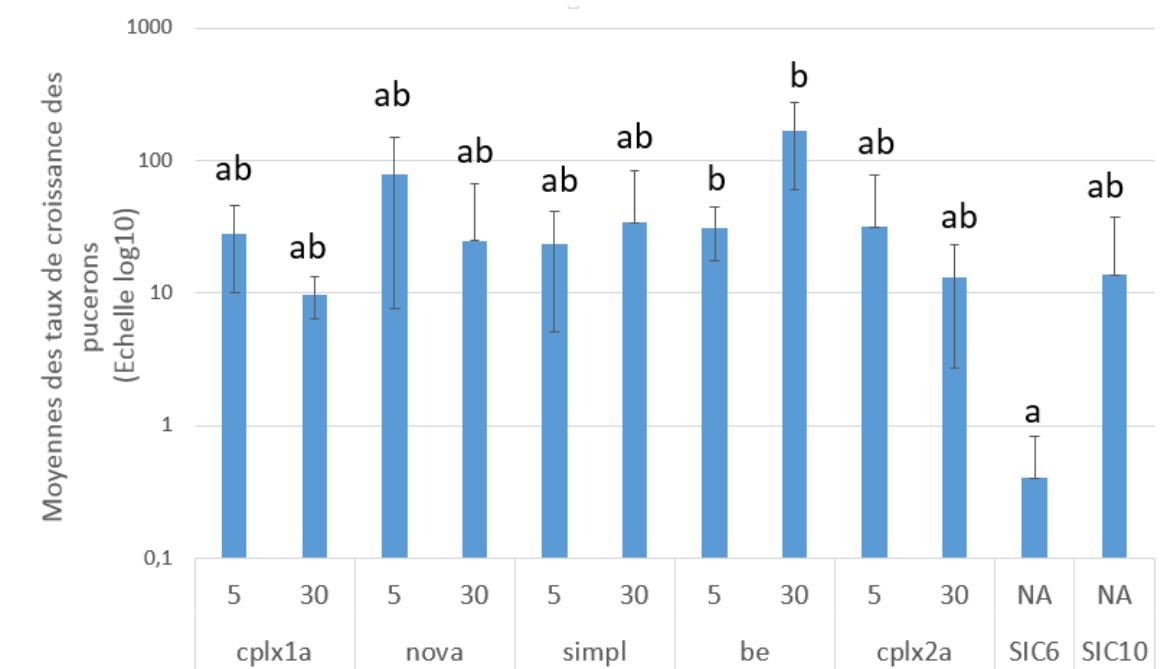


Figure 12 - Taux de croissance des pucerons entre deux dates en fonction des bandes et distances à la bande. – Cplx signifie complexe. 1A ou 2A indique l'âge du mélange en années. Nova, Simpl et BE sont respectivement les abréviations pour NovaFlore (mélange de l'entreprise du même nom), simple1A et Bande Enherbée. SIC6 et SIC10 sont les noms des parcelles témoins sans bandes fleuries à proximité. Les valeurs avec des lettres différentes sont significativement différentes.

GARGAMEL que sur SIC par la présence des mélanges fleuris. Alors, les bandes fleuries peuvent-elles favoriser la présence et le développement des bruches à proximité de la féverole ? Certaines études ont effectivement montré que l'implantation de mélanges floraux aux abords des cultures pouvait aggraver les problèmes de ravageurs. Dès lors que les mélanges contenaient des ressources appropriées à leur développement et leur maintien à proximité de la zone de culture (Geneau *et al.*, 2012). Par ailleurs, il est possible que la différence des dégâts sur fève proviennent de la santé des plants de GARGAMEL par rapport à SIC. Sur GARGAMEL, l'agent pathogène *Botrytis cinera* avait causé plus de dégâts que sur SIC. Les gousses étaient donc moins nombreuses et de moindre qualité par rapport à la parcelle témoin. Les bruches peuvent avoir concentrés leur ponte sur le peu de gousses disponibles sur GARGAMEL augmentant les dégâts par gousses. Tandis que les bruches sur SIC se répartissaient sur plus de gousses, réduisant la densité des dégâts.

Ensuite, le taux de parasitisme des bruches n'était significativement différent qu'entre les modalités E1 et SIC, sans effet de la distance à la bande. Ces taux étaient plus élevés (supérieurs à 40 %) en face du mélange E1 que dans SIC (inférieurs à 30 %). De plus, le taux de parasitisme n'était pas lié aux taux de recouvrements des plantes en fleurs fournissant du nectar aux syrphes.

Le taux de parasitisme plus élevé en face de E1 par rapport à SIC peut également s'expliquer par la présence des bandes fleuries à proximité de la culture. Et ce même si le taux de parasitisme n'a pas été corrélé avec le pourcentage de plantes en fleurs fournissant du nectar aux syrphes. En effet, dans la bibliographie, la quantité d'espèces florales et donc la disponibilité en ressources s'accompagne souvent d'une augmentation du taux de parasitisme à proximité des cultures. (Wratten, S *et al.*, 2002). En outre, les plantes au nectar accessible pour les syrphes ne le sont pas nécessairement pour les parasitoïdes, bien plus petit que les diptères. Les micro-hyménoptères, de par la petite taille de leurs pièces buccales, ne peuvent pas s'alimenter sur tous les types de fleurs nectarifères (Geneau *et al.*, 2012). Il est donc difficile de savoir si les ressources fournies par les bandes étaient satisfaisantes et donc de corrélérer le taux de parasitisme avec les données disponibles pour les bandes.

En outre, dans notre cas d'étude, l'impact des parasitoïdes sur la régulation des bruches n'est observable que d'une année sur l'autre. Au moment des observations le taux de parasitisme en face d'E1 n'a pas eu pour effet de réduire les dégâts des bruches sur les fèves. D'ailleurs, de forts taux de parasitisme ne sont pas nécessairement synonymes de contrôle significatif des ravageurs et encore moins de réduction des dégâts d'une culture sous le seuil économiques (Heimpel, George & Jervis, 2005).

Il est alors probable que les bandes fleuries ont amélioré les taux de parasitismes des bruches de la féverole cependant, ils ont pu également favoriser la présence des ravageurs. Par contre, aucune amélioration de régulation des bruches ne peut être observée pour le moment.

4.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017)

Ici la comparaison entre les populations pucerons et auxiliaires selon différents mélanges floraux avait également pour but de déterminer si ces mélanges favorisaient la régulation naturelle des ravageurs en culture de féverole d'hiver. Il était aussi question de déterminer quel type de mélange serait le plus efficace pour cette régulation biologique naturelle.

La description des cinq mélanges floraux a permis de mettre en avant les qualités de ressources nutritives de chaque mélange au mois de mai 2017. Le mélange complexe 1A, Novafloré et enherbés se sont révélés pauvres en nectar (inférieurs à 40%) par rapport aux mélanges simple 2A et au complexe 2A (supérieur ou égale à 60%). De plus, ces derniers comportaient une diversité et un équilibre des surfaces de recouvrement des plantes semées plus important que les trois premiers.

La quantité de pucerons était moins importante en face du complexe 2A peut-être à cause d'un « gradient » de colonisation de la parcelle. En effet, avant le premier comptage, des observations de vérification de départ de colonies révélaient la présence bien plus importante de pucerons au bord de la route tandis qu'aucun individu n'était alors présent en face du complexe 2A. Un bosquet de fusain d'Europe situé sur le rond-point au nord de la parcelle (annexe 1) comportait des colonies très importantes de puceron noir *Aphis fabae*. Cette plante est un hôte primaire du puceron noir de la féverole ce qui peut expliquer le gradient de colonisation sur la culture (<https://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3aphfab.htm>).

Ensuite, la quantité de prédateurs sur la parcelle MUSCARI était similaire en face de toutes les bandes. Il n'y a donc pas d'effet direct des bandes sur les auxiliaires observés dans la culture. De plus, nous avons montré que la quantité de prédateurs actifs est corrélée positivement à la quantité de pucerons

En outre, les ratios proies/prédateurs étaient significativement plus faibles pour le mélange complexe 2A que pour le complexe 1A et le mélange simple. Dans ce cas, la quantité de pucerons par prédateurs était plus faible. Ainsi, si la quantité de prédateurs dépend de la population de pucerons et que cette dernière était réduite en face du complexe 2A tandis que la population de prédateurs était similaire à celle des autres bandes. Il est possible que le complexe 2A ait été plus attractif pour les auxiliaires que les autres mélanges. Une autre manière d'interpréter ce résultat est que pour un nombre de pucerons donnés, la quantité de prédateurs était plus élevée en face du mélange complexe 2A, ce qui pourrait indiquer son intérêt pour la régulation des pucerons.

Concernant la dynamique des pucerons, les taux de croissance de pucerons entre deux dates n'étaient pas différents entre les mélanges de la parcelle MUSCARI mais entre les essais. Seul le taux de croissance des pucerons sur la parcelle SIC était significativement plus faible qu'en face de la bande enherbée. Les taux de croissance des pucerons n'ont pas pu être liés non plus aux quantités de prédateurs. Deux comptages à 15 jours d'intervalle ont servi pour calculer le taux de croissance. Ainsi, à la première date, très peu de prédateurs étaient présents. Lors du second comptage cependant, la population d'auxiliaires a plus que doublée. L'efficacité pratique des prédateurs observés est très importante. En effet, les larves de coccinelles entrent en activité tôt dans la saison, à partir de 12°C. Elles peuvent consommer 60 pucerons par jour et ainsi limiter la croissance exponentielle des colonies de pucerons. De plus, celle des syrphes peuvent se nourrir de 400 à 700 pucerons au cours de

leur développement (10 jours) tandis que les punaises en consommeraient 100 à 200 (Reboulet, 1999). Les comptages suivant seront donc susceptibles de montrer une réduction forte ou une limitation des taux de croissances des pucerons. Ces analyses ultérieures permettront de conclure sur l'efficacité potentielle des auxiliaires sur la parcelle MUSCARI.

Finalement, la régulation naturelle des pucerons par les auxiliaires grâce à l'implantation de bandes fleuries n'est, ici, pas démontrée. Egalement, les relations entre populations de pucerons et d'auxiliaires en fonction des bandes fleuries restent très lâches. Néanmoins, ces résultats ont permis de montrer que les prédateurs observés sont dépendants des populations de pucerons et non des bandes seules dans la configuration de cet essai. Observation cohérente puisque la majorité des auxiliaires relevés sont très mobiles (Reboulet, 1999). Enfin, la possibilité pour que le complexe 2A soit plus attractif que les autres mélanges vis-à-vis des prédateurs du puceron ressort néanmoins.

Même si il n'a pas été possible de conclure que les bandes augmentent le contrôle naturel des pucerons par leurs prédateurs naturels, la bibliographie indique que l'implantation de mélanges fleuris favorise la présence d'aphidiphages en culture (Haaland *et al.*, 2011). Ceci favorise effectivement la régulation des pucerons en culture céréalière (Holland *et al.*, 2008) de manière générale. En revanche, il semble que l'impact des ennemis naturels sur le contrôle des pucerons soit moins important en culture légumineuse par rapport aux cultures de céréales. Ceci car les légumineuses représentent une source d'alimentation riche en azote, les pucerons bénéficient d'une meilleur alimentation et donc se développent plus rapidement. De plus, leurs prédateurs remplissent leur besoin énergétique plus rapidement réduisant ainsi le taux de proies consommées et donc la régulation des pucerons en culture (Diehl *et al.*, 2013).

5. Conclusions et perspectives

5.1. Parasitisme des bruches de la féverole (GARGAMEL, 2016)

L'implantation d'un mélange fleuri complexe à proximité d'une culture de féverole d'hiver est susceptible d'avoir favorisé le parasitisme des bruches de la féverole. Toutefois, ce résultat ne garantit pas nécessairement le contrôle naturel du ravageur sur la culture. Sur l'essai GARGAMEL, d'autres mélanges sont implantés et des échantillons de gousses prélevés en 2016 seront à analyser ultérieurement. Ils permettront d'étendre le sujet à la comparaison entre plusieurs mélanges botaniques contrastés, ce qui permettra d'avoir une plus large gamme de variation des ressources florales apportées aux auxiliaires. De même, en 2017, d'autres échantillonnages seront effectués sur l'essai MUSCARI, ce qui permettra la comparaison des taux de parasitisme d'une année sur l'autre augmentant les répétitions. En outre, les mélanges pourraient être décrits vis-à-vis des ressources spécifiquement accessibles et disponibles pour le parasitoïde. Les relevés botaniques utilisés pourraient être étendus au début du printemps afin d'obtenir plus de données. En effet, des relevés floristiques sur l'ensemble de la saison seraient plus représentatifs des ressources disponibles pour les parasitoïdes durant le printemps. D'ailleurs, une meilleure

connaissance du cycle de vie du parasitoïde de la bruche permettrait de mieux cibler les périodes où ils ont des besoins de nectar.

5.2. Effets des bandes fleuries sur la régulation des pucerons de la féverole par leurs prédateurs (MUSCARI, 2017)

Sur l'essai MUSCARI où nous avons comparé l'effet de cinq bandes fleuries sur le puceron noir de la féverole, nous n'avons pas vraiment pu mettre en évidence un effet direct sur la régulation des pucerons, notamment à cause d'une forte hétérogénéité spatiale dans la distribution des pucerons. La quantité de prédateurs de pucerons dépend avant tout de la présence de ces derniers. Cependant, le mélange complexe 2A pourrait avoir favorisé plus de prédateurs des pucerons dans la zone de culture en face de la bande, en comparaison avec les autres bandes. Malgré ces conclusions, l'effet des bandes fleuries sur la dynamique ravageurs-auxiliaires n'est pas clair. Afin de poursuivre les analyses, d'autres comptages sur féverole seront effectués. Ils permettront d'analyser la suite la dynamique pucerons - auxiliaires au printemps sur le champ de féverole et de le comparer avec l'essai SIC, témoin sans bande fleurie à proximité. De plus, des captures de l'entomofaune volante dans les bandes ont été effectuées en parallèles aux relevés botaniques et aux comptages. Cela permettra de comparer les populations d'auxiliaires par bandes à celle de la culture de féverole afin d'évaluer si la quantité d'auxiliaires dans la parcelle est liée à cette quantité dans les bandes. Toutefois, le manque de répétitions et la disposition de l'essai pose est problématique pour les analyses statistiques. Ces dernières ne peuvent être réalisées qu'entre différentes dates et non répétées pour les mêmes conditions. A l'image de l'essai GARGAMEL, il serait judicieux de planifier l'expérience en réalisant des répétitions disposées en blocs afin de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale. Toutefois, la surface nécessaire pour ce type d'expérimentation reste problématique. Cette expérimentation de bandes fleuries est répétée sur 11 sites en France, et l'analyse commune des données permettra de considérer chaque site comme une répétition et permettra aussi d'avoir du recul vis-à-vis des résultats obtenus.

5.3. Bilan et Perspectives personnelles

Ce stage a été très enrichissant pour plusieurs raisons. J'ai d'abord eu la chance d'intégrer une équipe très agréable et soudée. Egalement, l'accompagnement dispensé par mon maître de stage a été de très bonne qualité et très encourageant pour moi. D'un point de vue connaissances, j'ai adoré, et je continue, en entomologie, en botanique et en agronomie. Plus particulièrement, j'ai eu l'occasion d'effectuer une formation sur les parasitoïdes et d'observer quelques auxiliaires sur les bandes fleuries et les cultures. J'ai pu, ainsi, m'ouvrir à un monde complexe et passionnant. Je suis également heureuse de constater que le rythme terrain-laboratoire me convient parfaitement. Le thème de ce stage me séduit désormais encore plus qu'avant mon arrivée et me donne l'envie de découvrir d'autres thématiques de l'agro-écologie.

6. Bibliographie

Agreste. 2012. Exploitations de grandes cultures en France métropolitaine.

ASTERS conservatoire des espaces naturels de H-S. 2007. *Le syrphe, l'ordinateur et la gestion de la biodiversité des insectes comme outils d'analyse et de gestion des réserves naturelles de Haute-Savoie.* Pringy](Haute-Savoie): Asters conservatoire des espaces naturels de Haute-Savoie.

Bourguet D, Guillemaud T. 2016. The Hidden and External Costs of Pesticide Use. In: Lichtfouse E, ed. Sustainable Agriculture Reviews. Cham: Springer International Publishing, 35–120.

Cernay C, Ben-Ari T, Pelzer E, Meynard J-M, Makowski D. 2015. Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Scientific Reports* **5**.

Chaillet, Biarnès, Fontaine, Chataignon. 2014. La culture de la féverole en AB.

Chambre d'Agriculture des Landes. 2014. Cultures de diversification - La féverole d'hiver.

Delvare G. 2010. Reconnaissance des auxiliaires (*hyménoptères parasitoïdes*) en vue de leur utilisation en lutte biologique et intégrée.

Diehl E, Sereda E, Wolters V, Birkhofer K. 2013. Effects of predator specialization, host plant and climate on biological control of aphids by natural enemies: a meta-analysis (Q Paynter, Ed.). *Journal of Applied Ecology* **50**: 262–270.

Fraval. 2006. Les pucerons.

Geneau CE, Wackers FL, Luka H, Daniel C, Balmer O. 2012. Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoids. *Basic and Applied Ecology* **13**: 85–93.

Haaland C, Naisbit RE, Bersier L-F. 2011. Sown wildflower strips for insect conservation: a review: Wildflower strips for insect conservation. *Insect Conservation and Diversity* **4**: 60–80.

Heimpel, George, Jervis, Mark. 2005. Does floral nectar improve biological control by parasitoids? In: Plant-provided food for carnivorous insects. Cambridge University Press, 268–304.

Holland JM, Oaten H, Southway S, Moreby S. 2008. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. *Biological Control* **47**: 71–76.

Jaloux B. 2014. Les parasitoïdes.

Letourneau DK, Armbrecht I, Rivera BS, Lerma JM, Carmona EJ, Daza MC, Escobar S, Galindo V, Gutiérrez C, López SD, et al. 2011. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* **21**: 9–21.

Millennium Ecosystem Assessment (Program) (Ed.). 2005. *Ecosystems and human well-being: synthesis.* Washington, DC: Island Press.

Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire. 2011. Le bio-contrôle pour la protection des cultures : 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes.

Plessix S. 2015. Synthèse bibliographique - Bruche sur féverole et pois.

Reboulet J-N. 1999. *Les auxiliaires entomophages: reconnaissance, méthodes d'observation, intérêt agronomique.* Paris: Association de Coordination Technique Agricole.

van Rijn PCJ, Wackers FL. 2016. Nectar accessibility determines fitness, flower choice and abundance of hoverflies that provide natural pest control (M Cadotte, Ed.). *Journal of Applied Ecology* **53**: 925–933.

Snyder WE, Snyder GB, Finke DL, Straub CS. 2006. Predator biodiversity strengthens herbivore suppression. *Ecology Letters* **9**: 789–796.

Terres Univia/Terres Inovia. 2015. Qualité des graines - Féverole, récolte 2015.

Tschumi M, Albrecht M, Entling MH, Jacot K. 2015. High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **282**: 20151369.

Valantin-Morison M. 2012. How to enhance biocontrol of insects from the field scale up to agricultural landscape in order to propose integrated management strategies on winter oilseed rape? *Oléagineux corps gras lipides*: 169–183.

Vannetzel E, Boizet F, ARVALIS-Institut du végétal. 2013. *Diagnostic des accidents de la féverole et du pois*. Paris: Arvalis-Institut du végétal.

Wilby A, Villareal S., Lan L., Heong K., Thomas M. Functional benefits of predator species diversity depend on prey identity. *The Royal Entomological Society* **30**.

W.O.C Symondson, K.D. Sunderland, M.H. Greenstone. 2002. Can Generalist Predators Be Effective Biocontrol Agents? *Annu. Rev. Entomol* **47**: 561–94.

Wratten, S, Berndt, L, Gurr, G, Tylianakis, J, Fernando, P, Diham, R. 2002. Adding floral diversity to enhance parasitoid fitness and efficacy.

Sources internet

Arvalis. Les fiches accidents Pois et Protéagineux : Auxiliaires. http://www.fiches.arvalis-infos.fr/fiche_accident/fiches_accidents.php?type_cul=2&type_acc=11&id_acc=321&mode=fa
Consulté le 26/05/2017.

Ephytia. Gérer des maladies et des ravageurs. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/20038/Biocontrol-Biologie>
Consulté le 10/05/2017.

INRA. Les ravageurs : le puceron noir de la fève. <https://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3aphfab.htm>
Consulté le 03/06/2017

Ministère de la transition écologique et solidaire . Pratique culturales et utilisation des pesticides en France. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/2439/0/pratiques-culturales-utilisation-pesticides-france.html> -
Consulté le 22/05/2017

ABSTRACT

RÉSUMÉ

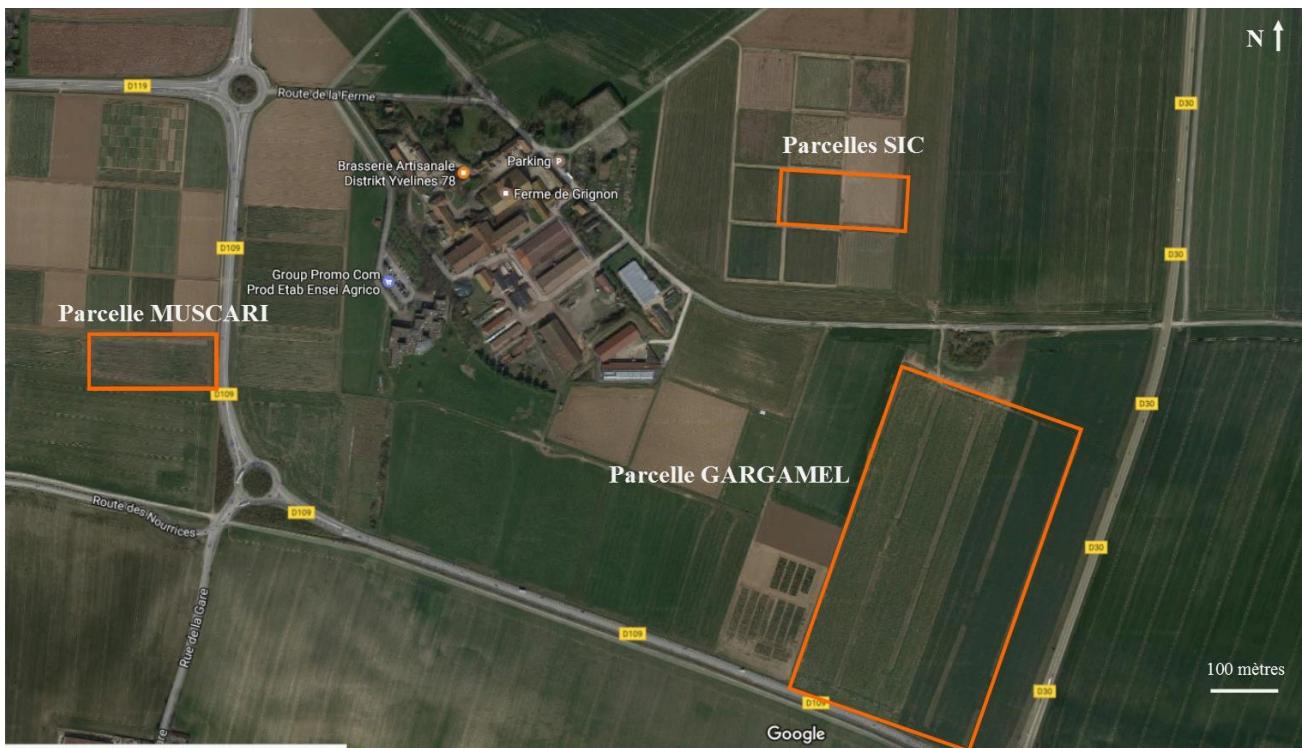
La recherche d'alternatives durables aux insecticides est un enjeu des prochaines décennies. Durant ce stage, nous avons étudié l'impact de mélanges fleuris adjacents à une culture de féverole d'hiver (*Vicia faba*, Fabaceae) vis-à-vis de la régulation de ses ravageurs, la bruche de la féverole (*Bruchus rufimanus*) et le puceron noir de la féverole (*Aphis fabae*). Le taux de parasitisme des bruches a été calculé et comparé pour une parcelle de féverole avec et sans mélange fleuri complexe proche. Le taux de parasitisme des bruches de la féverole était plus élevé en face de la bande fleuri que dans la parcelle sans bande. Egalement, des populations de pucerons et de prédateurs ont été suivies entre deux dates sur une parcelle de féverole implantée avec cinq mélanges fleuris sur toute sa longueur. Les bandes fleuries étaient contrastées vis-à-vis des ressources fournis aux prédateurs. Il y a eu peu d'effet des bandes sur les quantités de prédateurs, surtout liés à la présence des pucerons. Néanmoins, un mélange complexe (2A) pourrait avoir attiré ces prédateurs plus fortement que les autres. Enfin, l'effet des mélanges et donc des prédateurs sur la régulation des pucerons n'a pas été montrée. L'étude de l'impact des infrastructures agro écologiques, comme les bandes fleuries, sur la régulation des ravageurs reste tout de même prometteur pour la protection des cultures.

mots-clés : Biocontôle, mélanges fleuris, *Vici faba*, parasitisme, prédateurs, *Bruchus rufimanus*, *Aphis fabae*

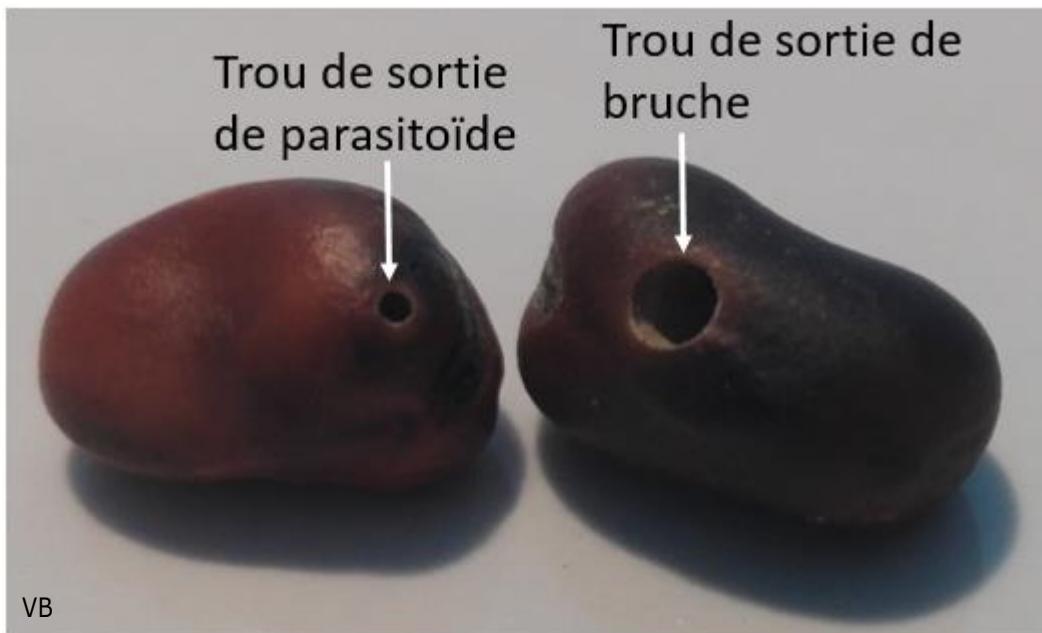
The research of sustainable alternatives for the use of insecticides is a challenge for the next decades. During this internship, we have studied the impact of flower strips next to a winter faba bean crop (*Vicia faba*, Fabaceae) regarding the regulation of its pests, the faba bean weevil (*Bruchus rufimanus*) and the black aphid (*Aphis fabae*). First, weevil parasitism rate was measured and compared to plots with or without flower strips adjacent to them. Parasitism rate was higher in the plots near the strips than in the plots without. Secondly, aphid and predator populations were monitored between two dates on a faba bean plot sown with five different flower strips. The strips were contrasted according to the resources they provide to predators. The flower margins did not have any impact on the amount of predators in the field. Predator abundance mostly depended on the presence of aphids. Nevertheless, a complex flower strip with numerous species may have attracted the predators more than the other strips (more simple mixtures and grass margins). To conclude, the impact of the flower strips and so the impact of predators on aphid biocontrol was not demonstrated

keywords : Biocontrol, flowered strips, *Vici faba*, parasitism, predators, *Bruchus rufimanus*, *Aphis fabae*

Annexes



Annexe 1 – Vue satellite des parcelles expérimentales du projet MUSCARI, GARGAMEL et SIC.



Annexe 2 – Grains de féverole abimés par des trous de sortie d'une bruche et d'un parasitoïde.