



Gestion agroécologique des pucerons sur culture de pois par l'implantation d'une bande fleurie en bordure de parcelle

Leslie Renaudeau

► To cite this version:

Leslie Renaudeau. Gestion agroécologique des pucerons sur culture de pois par l'implantation d'une bande fleurie en bordure de parcelle. Sciences agricoles. 2015. dumas-01220685

HAL Id: dumas-01220685

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01220685>

Submitted on 26 Oct 2015

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.

Année universitaire : 2014 - 2015

Spécialité :

Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Gestion Durable du Végétal en Horticulture
et aménagements Paysagers

Mémoire de Fin d'Études

- ☒ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Gestion agroécologique des pucerons sur culture de pois par l'implantation d'une bande fleurie en bordure de parcelle

Par : Leslie RENAUDEAU



Soutenu à Angers

le 10/09/2015

Devant le jury composé de :

Président : Josiane Le Corff

Maître de stage : Vincent Rouillois

Enseignant référent : Yann Tricault

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Bruno Jaloux (Enseignant chercheur, Agrocampus Ouest)

Anna Pollier (Doctorante, Agrocampus Ouest)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité :

☐ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible⁽¹⁾.

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant).

Date et signature du maître de stage⁽²⁾ :

Droits d'auteur :

L'auteur⁽³⁾ autorise la diffusion de son travail

☐ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

Date et signature de l'auteur :

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant :

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé

☐ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Remerciements

Je tiens à remercier Jérôme et Julien Gouy, co-gérants de Nova-Flore, de m'avoir permis de réaliser ce stage au sein de leur entreprise.

Je remercie vivement Vincent Rouillois, responsable Recherche & Développement, pour le partage de son expertise, son aide et ses conseils tout au long du stage.

Je remercie également Yann Tricault, enseignant-chercheur à Agrocampus Ouest, pour sa disponibilité et ses conseils, tant sur le plan professionnel que sur le plan personnel.

Je remercie enfin tout le personnel de Nova-Flore qui, par sa gentillesse, a contribué au bon déroulement de ce stage.

Table des matières

1	Introduction.....	1
2	Etat des connaissances : Utilisation de bandes fleuries en bord de champs dans le but d'améliorer la régulation des ravageurs – cas de la culture de pois destinée à l'industrie.....	3
2.1	Intérêt des bandes fleuries vis-à-vis des insectes.....	3
2.2	Intérêt des bandes fleuries pour les cultures	5
2.3	Applications à la culture de pois.....	9
2.3.1	Présentation de la culture de pois	10
2.3.2	Les ravageurs des cultures de pois destinées à l'industrie	10
2.3.3	Les auxiliaires contre le puceron vert et rose du pois	11
3	Matériels et méthodes	14
3.1	Site d'expérimentation.....	14
3.2	Matériel végétal	14
3.3	Dispositif expérimental.....	15
3.4	Conditions météorologiques de l'expérimentation	15
3.5	Variables étudiées.....	16
3.5.1	Suivi floristique	16
3.5.2	Suivi des populations d'insectes	16
3.5.3	Notation de la récolte	17
3.6	Analyse statistique des données	17
3.6.1	Données entomologiques	17
3.6.2	Données sur la récolte	18
4	Resultats	19
4.1	Données générales de l'expérimentation	19
4.1.1	Données entomologiques	19
4.1.2	Données sur le rendement	20
4.2	Suivi floristique des bandes fleuries	20
4.3	Comparaison des différentes méthodes de collecte des données entomologiques	21
4.3.1	Dans les bandes	21
4.3.2	Dans la culture.....	22
4.3.3	Méthodes de collecte utilisées pour les analyses	23
4.4	Intérêt d'une bande fleurie par rapport à une bande enherbée pour la lutte biologique	23
4.4.1	Intérêt à l'échelle de l'aménagement.....	23
4.4.2	Effet de la présence de la bande fleurie sur l'entomofaune dans la culture	25
4.4.3	Effet sur la production.....	30
5	Discussion	32
6	Conclusion	35
	Références bibliographiques et sitographiques	36

Liste des figures

Figure 1 : Plante de pois (photo : L. Renaudeau ; Saint-Brieux-Des-Iffs ; 06-2015).	10
Figure 2 : <i>Acyrtosyphon pisum</i> Harris [2].	10
Figure 3 : Vue aérienne de la parcelle, entourée en rouge (à partir de Géoportail).	14
Figure 4 : Itinéraire technique simplifié du pois.	14
Figure 5 : Schéma de l'implantation des aménagements de bord de parcelle (en orange, bande fleurie ; en vert, bande témoin ; les zones encadrées représentent les zones échantillonnées).	15
Figure 6 : Schéma du plan d'échantillonnage pour une répétition en culture de pois.	16
Figure 7 : Méthodes de collectes des données (de gauche à droite : filet fauchoir, observations sur 1 m ² et pièges jaunes englués placés à hauteur de végétation ; photo : V. Rouillois ; Saint-Brieux-Des-Iffs ; 06-2015).	17
Figure 8 : Zone ayant été récoltée (photo : V. Rouillois ; Saint-Brieux-Des-Iffs ; 06-2015).	17
Figure 9 : Tas de gousses pour comptage (photo : V. Rouillois ; Champigné ; 06-2015).	18
Figure 10 : Effectif des insectes déterminés en fonction de l'ordre auquel ils appartiennent (effectif total : 45365 insectes, sauf momies).	19
Figure 11 : Abondance des insectes déterminés en fonction de la méthode et du milieu d'échantillonnage.	20
Figure 12 : Evolution du pourcentage de floraison de la bande fleurie (BF) et de la culture de pois (P) au cours du temps, en semaines (les dates de collectes sont indiquées par une flèche noire et la date de récolte du pois est indiquée par une flèche vert).	20
Figure 13 : Diversité floristique des bandes fleuries dans le temps.	21
Figure 14 : Boîte à moustaches de l'abondance des auxiliaires des pucerons dans les bandes en fonction de la méthode de collecte des données.	21
Figure 15 : Boîte à moustaches de l'abondance des syrphes aphidiphages dans les bandes en fonction de la méthode de collecte des données.	21
Figure 16 : Boîte à moustaches de l'abondance des auxiliaires des pucerons dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.	22
Figure 17 : Boîte à moustaches de l'abondance des syrphes aphidiphages dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.	22
Figure 18 : Boîte à moustaches de l'abondance des pucerons dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.	23
Figure 19 : Boîte à moustaches du nombre de momies de des pucerons dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.	23
Figure 20 : Boîte à moustaches de l'abondance des syrphes aphidiphages dans les bandes : a) le 4 juin 2015, b) les 17 et 25 juin ; en fonction du traitement Bande fleurie (BF) ou Bande enherbée (T).	24
Figure 21 : Evolution de l'abondance des différentes catégories d'insectes dans la culture en fonction du temps et du traitement Bande fleurie (BF) ou Bande enherbée (T) : a) auxiliaires des pucerons, b) syrphes aphidiphages, c) momies de pucerons, d) pucerons.	25
Figure 22 : Evolution de l'abondance des auxiliaires des pucerons dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015 ; la figure d	

est une boîte à moustaches de l'abondance des auxiliaires le 25/06/2015 en fonction du traitement.....	26
Figure 23 : Evolution de l'abondance des syrphes aphidiphages dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015.....	27
Figure 24 : Evolution de l'abondance des pucerons dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015.....	28
Figure 25 : Evolution du nombre de momies de pucerons dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015.....	29
Figure 26 : Nombre de gousses estimé en fonction du type d'aménagement en bordure de la culture et de la distance à cet aménagement.....	30
Figure 27 : Evolution du poids des gousses par m ² en fonction de la distance de récolte et du traitement (les lettres au-dessus des points correspondent aux groupes formés par les tests de comparaisons multiples sur les distances).....	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Effet des espèces de fleurs sur le choix des adultes (pour les syrphes) et la longévité de l'adulte pour trois types d'ennemis naturels (extrait de Wäckers et van Rijn, 2012).....	4
Tableau 2 : Synthèse des principales familles des ennemis naturels des pucerons, de leur type et de leur stade aphidiphage (à partir des fiches Entomoremedium, 2010).	12
Tableau 3 : Détails de la composition des catégories d'insectes utilisées pour l'analyse des données entomologiques	17
Tableau 4 : Synthèse des facteurs et de leurs modalités.	18
Tableau 5 : Effectif des insectes déterminés en fonction de la date de collecte des données.	19
Tableau 6 : Effectifs d'insectes en fonction de la méthode et du milieu de collecte des données.	19
Tableau 7 : Résultats du test de Tukey HSD de comparaison de l'abondance des auxiliaires des pucerons capturés dans les bandes en fonction de la date (différence significative : 90,619).	24
Tableau 8 : Résultats du test des comparaisons multiples de l'abondance des syrphes capturés dans les bandes en fonction de la date.....	24
Tableau 9 : Synthèse de l'effet du facteur « date » pour les différentes catégories d'insectes utilisées pour la suite de l'analyse.	25
Tableau 10 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur l'abondance des auxiliaires dans la culture.....	27
Tableau 11 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur l'abondance des syrphes aphidipages dans la culture.	28
Tableau 12 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur l'abondance des pucerons dans la culture.	29
Tableau 13 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur le nombre de momies de pucerons comptées dans la culture.	30
Tableau 14 : Table d'ANOVA à deux facteurs avec interaction (Traitement et Distance) sur les données de rendement.	30
Tableau 15 : Résultats du test LSD sur le nombre de gousses estimé en fonction des distances à l'aménagement de bordure de parcelle.	30

Liste des annexes

ANNEXE I – Conditions météorologiques lors du suivi entomologique	i
ANNEXE II - Résultats détaillés des analyses statistiques de l'effet de la bande fleurie sur l'entomofaune dans la culture	ii
ANNEXE III - Résultats des analyses avec les Modèles linéaires généralisés (GLM)	iv
ANNEXE IV – Méthodes d'observation des insectes : cibles, avantages et inconvénients.	v
ANNEXE V – Evolution du nombre de pollinisateurs dans les aménagements en fonction du temps	vi

1 Introduction

En Europe, l'agriculture moderne et son intensification ont conduit à une simplification des paysages qui a induit des effets secondaires, telle que la diminution de la biodiversité à différentes échelles (Rusch et Sarthou, 2013 ; Haaland et al., 2011). En bord de champ et dans les parcelles, cela se manifeste notamment par la raréfaction des plantes fleuries, sources de nectar et de pollen dont certains auxiliaires ont besoin au stade adulte pour jouer un rôle dans le contrôle naturel des ravageurs (van Rijn et Wäckers, 2010). En effet, le nectar permet d'augmenter la longévité des auxiliaires (Wäckers et van Rijn, 2012) et le pollen a un rôle essentiel dans leur reproduction (Irvin et al., 1999).

L'utilisation de produits phytosanitaires participe, avec la diminution des habitats favorables, au déclin des insectes tels que les pollinisateurs (Potts et al., 2010), les effets létaux et sub-létaux des pesticides sur les insectes ayant été prouvés (Morandin et al., 2005). En réponse aux diverses conséquences de l'utilisation des produits phytosanitaires sur l'environnement et la santé, le ministère de l'Agriculture et de la Pêche a mis en place le plan Ecophyto, dont l'objectif est de réduire leur utilisation de 50% d'ici 2025 [1]. En 2012, le gouvernement français a également mis en place le projet agro-écologique pour la France [2], porté par le ministre de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Ce projet agro-écologique a notamment pour but d'inciter au changement des pratiques, passant par l'économie d'énergie et la réduction des intrants. Cette tendance générale à diminuer l'utilisation des produits chimiques pousse les différents acteurs du monde agricole à chercher des solutions alternatives. De plus, il existe une demande croissante de la part des consommateurs pour des aliments produits avec moins de produits chimiques. Les producteurs doivent donc s'orienter vers de nouvelles méthodes de production, utilisant par exemple la lutte biologique par conservation des habitats. De nombreux projets autour de ce thème ont vu le jour, tels que le projet Biodivleg, s'intéressant à la biodiversité fonctionnelle des abords de parcelle, et le CAS DAR « Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialités des habitats », centré sur les syrphes et les carabes. Différents acteurs sont impliqués dans ces projets (stations d'expérimentation, chambres d'agriculture, instituts techniques, unités de recherche, etc) et certains sont même à l'initiative de projets de recherche.

La coopérative bretonne Triskalia, à l'initiative de cette étude, souhaite s'engager dans une démarche de changement des pratiques. Pour cela, elle a débuté des essais sur le thème de l'agro-écologie, et notamment sur l'utilisation de bandes fleuries pour favoriser la biodiversité fonctionnelle. L'entreprise Nova-Flore a été sollicitée pour participer à ce projet de recherche appliquée. L'objectif de l'étude est d'évaluer l'impact d'une bande fleurie sur l'entomofaune et le rendement en culture de pois industriel. En effet, Triskalia souhaite développer des moyens alternatifs de gestion du puceron sur cette culture. La mission qui m'a été confiée est la mise en place et le suivi de l'expérimentation ainsi que l'analyse des résultats, afin de répondre aux questions formulées par les parties.

La problématique est la suivante : quel est l'impact de la présence d'une bande fleurie par rapport à une bande enherbée en bord de parcelle ? Plus précisément, quelles différences observe-t-on au niveau entomologique entre des bords de parcelle aménagés avec une bande fleurie et ceux avec une bande enherbée ? La bande fleurie présente-t-elle un intérêt pour la culture, c'est-à-dire : y a-t-il davantage d'auxiliaires et moins de pucerons dans la culture avec la bande fleurie en bordure et existe-t-il un effet de la bande fleurie sur le rendement ? Et enfin, y a-t-il un effet de la distance à l'aménagement fleuri sur les populations d'insectes et le rendement ?

Les hypothèses posées sont qu'un plus grand nombre d'auxiliaires est observé dans les bandes fleuries et dans la culture à proximité de ces bandes, et qu'au contraire moins de pucerons sont présents dans la culture du côté de la bande fleurie. Davantage de momies sont attendues dans la culture du côté des bandes fleuries. Enfin, un meilleur rendement devrait être observé grâce à la présence des bandes fleuries du fait d'une meilleure régulation naturelle des pucerons supposée.

Pour répondre aux questions posées, une synthèse bibliographique a été réalisée autour de l'utilisation des bandes fleuries pour la lutte biologique par conservation et l'application de cette stratégie à la culture de pois. L'expérimentation est ensuite présentée. Enfin, les données récoltées ont été analysées, les résultats sont présentés et discutés.

2 Etat des connaissances : Utilisation de bandes fleuries en bord de champs dans le but d'améliorer la régulation des ravageurs – cas de la culture de pois destinée à l'industrie

2.1 Intérêt des bandes fleuries vis-à-vis des insectes

Les bandes fleuries, sources de biodiversité

En Europe, l'intensification de l'agriculture depuis des décennies a causé un sévère déclin de la biodiversité dans les paysages agricoles. Pour tenter d'atténuer cette dynamique, des mesures agro-environnementales (MAE) sont mises en place et parmi elles, de plus en plus de bandes fleuries sont implantées dans les zones intensivement cultivées (Haaland et al., 2011).

A l'échelle de la parcelle, ces bandes augmentent la diversité végétale mais également la diversité faunistique. Plusieurs études ont été réalisées dans le but de comparer l'abondance et la diversité d'insectes tels que les syrphes (MacLeod, 1999), les coccinelles (Woltz et al., 2012), les parasitoïdes (Tylianakis et al., 2004) ou de façon plus générale les prédateurs auxiliaires (Denys et Tscharntke, 2002), présents dans différents aménagements de bord de champ et notamment dans les mélanges floraux. Ces études montrent dans la plupart des cas des abondances et diversités supérieures dans les bandes fleuries par rapport aux autres aménagements de bord de champ, qu'ils soient une haie, une bande enherbée ou la culture. Une revue a analysé un peu plus de 30 articles et les auteurs sont parvenus à la même conclusion : les bandes fleuries présentent une diversité et une densité d'insectes supérieures aux autres aménagements (Haaland et al., 2011). Cependant, il existe des exceptions pour certains groupes d'insectes : les coléoptères et les punaises sont plus nombreux et divers dans les bandes enherbées que dans les bandes fleuries (Pywell et al., 2007, cité par Haaland et al., 2011).

Les bandes fleuries, nourriture et abri pour les insectes

Les bandes fleuries peuvent fournir différentes ressources aux auxiliaires : nourriture, proies ou hôtes alternatifs et abris lors de conditions difficiles (Landis et al., 2000).

La nutrition à partir des ressources florales

Les bandes fleuries sont des sources de pollen et de nectar pour différents groupes d'insectes. L'effet de bandes fleuries sur les pollinisateurs tels que les abeilles et les bourdons est très étudié (Wratten et al., 2012, Carvell et al. 2007) car leurs populations ont largement diminué depuis quelques années du fait du croisement de plusieurs facteurs (Wratten et al., 2012) et le service éco-systémique qu'ils rendent leur donne une importance économique forte (Gallai et al. 2009). De façon générale, beaucoup d'auxiliaires dépendent des ressources florales (pollen et nectar) à un moment de leur cycle de vie (Wäckers et van Rijn, 2012).

En fonction de l'espèce de fleur, le pollen et le nectar n'ont pas les mêmes effets sur la survie des insectes. Les parasitoïdes voient leur longévité augmentée par certaines fleurs (Tylianakis et al., 2004 ; Sigsgaard et al., 2013), diminuée par d'autres (Wäckers et van Rijn, 2012). Par exemple, parmi les trois fleurs accessibles pour *M. mediator*, parasitoïde de la noctuelle *Heliothis*, seules deux fleurs (le sarrasin et la coriandre) augmentent sa longévité (Vattala et al. 2006). Le Tableau 1 synthétise l'effet de différentes fleurs sur la longévité des parasitoïdes, du syrphe *Episyrphus balteatus* et de la chrysope *Chrysoperla carnea*. Il montre que le pollen et le nectar, en fonction de l'espèce de fleur dont ils sont issus, ont aussi des effets différents sur la longévité des syrphes et des chrysopes avec des effets parfois positifs (bleuet), nuls (phacélie) ou négatifs (lotier corniculé). Si Wäckers et van Rijn (2012) ont rapporté un

effet nul de la phacélie sur la longévité d'*E. balteatus*, Laubertie et al. (2012) ont trouvé que la phacélie offre un potentiel de reproduction optimale au syrphe. Le nectar de phacélie lui étant inaccessible, la quantité ou la qualité du pollen de phacélie est un facteur critique (Laubertie et al., 2012).

Tableau 1 : Effet des espèces de fleurs sur le choix des adultes (pour les syrphes) et la longévité de l'adulte pour trois types d'ennemis naturels (extrait de Wäckers et van Rijn, 2012).

Family	Species	Floral Nectar depth	Choice	Longevity (AFLI)			References parasitoids (species)
			Hoverfly <i>E. balteatus</i>	Hoverfly <i>E. balteatus</i>	Lacewing <i>C. carnea</i>	Parasitoids	
Apiaceae	<i>Ammi majus</i> (L.)	0	+	+	+	–	Geneau et al., unpubl. (<i>Microplitis mediator</i> (Haliday))
Apiaceae	<i>Coriandrum sativum</i> (L.)	0	+	+		+/-	Vattala et al., 2006 (<i>Microctonus hyperodae</i> (Loan))
Apiaceae	<i>Daucus carota</i> (L.)	0	+/-	+	+	+	Winkler et al., 2009b (<i>Cotesia glomerata</i> (L.))
Apiaceae	<i>Foeniculum vulgare</i> (Miller)	0	+	+		+	Winkler et al., 2009b (<i>Cotesia glomerata</i>)
Apiaceae	<i>Heracleum spondylium</i> (L.)	0	+/-	+		+/-	Winkler et al., 2009b (<i>Cotesia glomerata</i>)
Apiaceae	<i>Pastinaca sativa</i> (L.)	0	+	+	++	+/-	Foster and Ruessink, 1984 (<i>Meteorus rubens</i> (Nees))
Polygonaceae	<i>Fagopyrum esculentum</i> (Moench)	0	+	+	+	+	Winkler et al., 2009b (<i>Cotesia glomerata</i>)
Boraginaceae	<i>Borago officinalis</i> (L.)	0	–	+	++	–	Nilsson et al., unpubl. (<i>Trybliographa rapae</i> (Westwood))
Ranunculaceae	<i>Ranunculus acris</i> (L.)	0	+	+		–	Kehrli and Bacher, 2008 (<i>Minotetrastichus frontalis</i> (Nees))
Caryophyllaceae	<i>Gypsophila elegans</i> (Bieb)	1	+/-	+	+		Nilsson et al., unpubl. (<i>Trybliographa rapae</i>)
Asteraceae	<i>Matricaria chamomilla</i> (L.)	1	+/-	+	+/-	–	
Asteraceae	<i>Achillea millefolium</i> (Yarrow)	1	+/-	+	+/-	–	Wäckers, 2004 (<i>Cotesia glomerata</i>)
Asteraceae L	<i>Cichorium intybus</i> (L.)	1	–	–	+/-		Wäckers, 2004 (<i>Cotesia glomerata</i>)
Asteraceae	<i>Chrysanthemum segetum</i> (L.)	2	+/-	+	+/-		
Asteraceae	<i>Anthemis tinctoria</i> (L.)	2	–	+/-	+/-		Rahat et al., 2005 (<i>Trissolcus basal</i> (Wollaston))
Asteraceae	<i>Leucanthemum vulgare</i> (Lamarck)	2		+/-	+	–	
Asteraceae	<i>Tanacetum vulgare</i> (L.)	2	–	–	+/-		Rahat et al., 2005 (<i>Trissolcus basal</i> (Wollaston))
Asteraceae	<i>Calendula officinalis</i> (L.)	3		–		–	
Asteraceae	<i>Centaurea cyanus</i> (L.) (+EFN)	3	+/-	+	+	+/-	Winkler et al., 2009b (<i>Cotesia glomerata</i>)
Asteraceae	<i>Helianthus annuus</i> (L.) (+EFN)	3		+	+		Rahat et al., 2005 (<i>Trissolcus basal</i> (Wollaston))
Asteraceae	<i>Cosmos bipinnatus</i> (Cosmos)	4	–	–	+/-	+	
Malvaceae	<i>Malva sylvestris</i> (L.)	4	–	–			Irvin and Hoddle, 2007 (<i>Gonatocerus</i> spp.)
Boraginaceae	<i>Phacelia tanacetifolia</i> (Bentham)	4	+/-	+/-	+/-	–	
Fabaceae	<i>Medicago sativa</i> (L.)	4	–	–		–	Kehrli and Bacher, 2008 (<i>Minotetrastichus frontalis</i>)
Fabaceae	<i>Vicia sativa</i> (L.) (+EFN)	4	–	+		++	Geneau et al., unpubl. (<i>Microplitis mediator</i>)
Fabaceae	<i>Lotus corniculatus</i> (L.)	4		–	–		

Plants are ranked according to corolla depth measured up to floral nectaries. Data for *Episyrphus balteatus* (DeGeer) and *Chrysoperla carnea* (Stephens) from van Rijn and Wäckers (2010) and van Rijn (unpublished results). Data for various hymenopterous parasitoids from literature indicated in last column. Floral nectar depth, 0: <0.2 mm, 1: 0.2–1.0 mm, 2: 1.0–2.0 mm, 3: 2.0–3.0 mm, 4: >3.0 mm.

Flower choice, –: less than average, +/-: average, +: more than average. Adult longevity increase relative to control ('Adult food longevity index', AFLI), -: not significant, +/-: 2–4 fold, +: 4–8 fold, ++: more than 8 fold. L: Asteraceae without tubular florets. EFN: plant with extrafloral nectaries.

L'importance du pollen dans la reproduction a été montrée chez les syrphes et les chrysopes. Les recherches de Irvin et al. (1999) suggèrent que le pollen est essentiel pour la maturation des œufs de syrphes et que les ressources florales peuvent donc augmenter le nombre de syrphes dans les systèmes agricoles. Chez les chrysopes, la présence d'une ressource sucrée

seule ne suffit pas pour l'oviposition qui a lieu seulement si du pollen est également disponible (Wäckers et van Rijn, 2012).

Proies ou hôtes alternatifs dans la bande fleurie

Les plantes des bandes fleuries peuvent également abriter des proies et hôtes alternatifs, ce qui permet le maintien des auxiliaires à proximité des cultures en l'absence de ravageurs et la multiplication de leurs effectifs (Jonsson et al., 2008, Landis et al., 2000).

Ces différentes ressources fournies par les bandes fleuries, améliorant la survie et la fécondité des auxiliaires, peuvent donc améliorer le service de régulation rendu par ces auxiliaires en culture.

Les bandes fleuries comme abris pour les auxiliaires

Les bandes fleuries constituent une zone de moindres perturbations par rapport aux cultures et peuvent donc servir d'abris pour les insectes, en particulier si les bandes sont mises en place pour plusieurs années. Les cultures pérennes sont davantage concernées par cet effet d'abris que les cultures annuelles (Landis et al., 2000).

2.2 Intérêt des bandes fleuries pour les cultures

Par définition, les plantes à insectes (« insectary plants ») sont des plantes fleuries qui attirent et peuvent maintenir, par les ressources en pollen et nectar, une population d'ennemis naturels participant à la lutte biologique contre les ravageurs des cultures (Parolin et al., 2012). Les bandes fleuries sont donc des plantes de service qui peuvent être classées dans cette catégorie de plantes à insectes. L'utilisation de plantes à insectes est une forme de lutte biologique par conservation, dont le but est de créer une infrastructure écologique adaptée fournissant aux ennemis naturels des ressources : nourriture, proies ou hôtes alternatifs, abris (Landis et al., 2000 ; Jonsson et al., 2008 ; Rusch et al., 2010). Le but principal de la lutte biologique par conservation, avec ici l'implantation de bandes fleuries, est le contrôle des ravageurs (Fielder et al., 2008) via l'attraction de prédateurs et de parasitoïdes naturellement présents dans l'environnement.

La stratégie : augmenter la régulation des ravageurs par les ennemis naturels

Pfiffner et Wyss (2004) ont établi, par l'analyse d'un grand nombre d'articles, qu'améliorer la régulation naturelle à l'aide des bandes fleuries est possible sous certaines conditions favorables aux auxiliaires : structure de la végétation complexe, richesse de structure et d'espèces, longue période de floraison sans perturbation trop importante. Par exemple, ces conditions permettent à certaines espèces de carabes d'avoir une meilleure nutrition et de prolonger leur période de reproduction et donc d'augmenter leur activité. Wratten et al. (2002) rapportent aussi des taux de parasitisme significativement supérieurs à proximité d'une bande fleurie dans plusieurs essais, permettant alors de diminuer la pression en ravageurs.

Des résultats positifs de régulation de ravageurs sont souvent observés mais ce n'est pas toujours le cas. En maraîchage, l'utilisation de bandes fleuries donne des résultats encourageants sur plusieurs cultures. Sur laitue, l'utilisation d'alysson maritime est courante pour attirer les syrphes aphidiphages (Brennan, 2013 ; Gillespie et al., 2011). Des études s'intéressent à la densité de fleurs à utiliser (Gillespie et al., 2011) et d'autres à l'effet des bandes de fleurs dans le temps, sur la régulation des pucerons (Skirvin et al., 2011). Sur chou, le parasitisme des chenilles serait également favorisé par la présence de bandes fleuries (Balmer

et al., 2013 ; Pfiffner et al., 2003) mais les résultats sont variables suivant les essais et les espèces considérées (Pfiffner et al., 2009 ; Balmer et al., 2013).

D'autres systèmes de cultures annuelles ont des problématiques de gestion des pucerons et des bandes fleuries sont testées. Sur céréales, les essais montrent une plus grande abondance et une plus grande diversité des populations présentes dans les aménagements fleuris que dans les autres bords de champ (Denys et Tschardt, 2002) ou la culture (Haenke et al., 2009) et certaines mettent en évidence un meilleur contrôle des ravageurs à proximité de la bande fleurie, avec des taux de parasitisme plus importants (Tylianakis et al., 2004). De même, en betterave sucrière, une diminution de populations d'*Aphis fabae* a été observée grâce à la présence d'un mélange de moutarde blanche, de phacélie et de coriandre (Twardowski et al. 2005). En revanche, dans d'autres cultures, un plus grand nombre de prédateurs attirés par la bande fleurie n'induit pas un meilleur contrôle naturel (culture de soja, Woltz et al., 2012).

Dans l'ensemble, la présence de bandes fleuries a un effet positif sur les auxiliaires permettant ainsi, dans beaucoup de cas, une diminution des ravageurs. Mais cet effet dépend souvent de la distance à l'aménagement fleuri.

Effet de la distance à l'aménagement fleuri

Les distances testées sont souvent relativement faibles pour les parasitoïdes. Tylianakis et al. (2004) estime la distance « limite », celle au-delà de laquelle plus aucun effet n'est observé, à environ 14 m. Ces auteurs ont observé en champ de blé que le taux de parasitisme des pucerons décline de façon exponentielle avec la distance à la bande fleurie jusqu'à atteindre 0 à partir de 14 m. Sigsgaard et al. (2013) ont testés les distances de 1, 6 et 11 m et ont également trouvé un effet significatif de la distance sur la mortalité du ravageur, avec une mortalité maximale près du mélange floral, mais ils n'ont pas testé plus de distances. Ces résultats concordent avec les observations de Lavandero et al. (2005) qui ont piégés un nombre décroissant de parasitoïdes avec la distance à la bande fleurie. Par contre, ils ont trouvé des parasitoïdes piégés et des pucerons parasités jusqu'à 40 m. Il est donc difficile d'estimer une distance « limite ».

D'après les résultats du CAS DAR « Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialité des habitats » (Arvalis-Institut du Végétal, 2011), une distance de 50 m est nécessaire pour s'affranchir des effets de bordure d'une parcelle. La FREDON Nord-Pas-de-Calais a aussi trouvé en 2005 que 50 m était une distance charnière en culture de fraises : le nombre d'auxiliaires diminue jusqu'à cette distance puis il décline brutalement au-delà.

L'effet distance à l'aménagement est en fait plus complexe. Brewer et Elliott (2004) développent les effets de la manipulation de l'habitat sur le contrôle naturel du puceron des céréales en Amérique du Nord. La capacité de dispersion de chaque espèce d'auxiliaire est une caractéristique cruciale lorsqu'on s'intéresse à la modification de l'environnement parcellaire pour la lutte biologique. Par exemple, les carabes sont des marcheurs qui vivent au niveau du sol, ils ont donc une faible capacité de dispersion à partir des haies, bandes enherbées ou autres milieux adjacents à la culture. Pour ces insectes, l'effet de la bordure sera donc visible avec une décroissance des populations avec l'éloignement à l'aménagement et/ou une spécialisation des espèces par milieu. Au contraire, d'autres insectes comme les syrphes peuvent voler sur de longues distances et ils colonisent donc les cultures à partir du paysage environnant. La colonisation de la parcelle par les auxiliaires est donc influencée à plusieurs échelles, par l'environnement proche de la parcelle et par le paysage qui l'entoure (Brewer et Elliott, 2004).

Une étude de Haenke et al. (2009) a confirmé l'importance du paysage environnant sur l'effet sur les insectes de l'implantation de bandes fleuries en bordure de parcelle. Les résultats de cette étude montrent que l'abondance et la richesse spécifique des syrphes dans les bandes

fleuries sont positivement corrélées à la proportion de terres arables dans un rayon de 0,5 à 1 km. Les chercheurs ont conclu que la mise en place de mesures agro-environnementales (MAE) serait plus efficace dans les paysages les plus simplement structurés.

Effet de la composition du mélange et du type d'implantation

Plusieurs choix dans la mise en place de bandes fleuries dans la parcelle sont stratégiques, notamment la composition du mélange et l'arrangement spatial avec la culture. Ces deux paramètres influencent les espèces d'insectes attirées et leur abondance (Haaland et al., 2011 ; Vollhardt et al., 2010).

Détermination de la composition du mélange

Plusieurs facteurs interviennent dans le choix des fleurs par les auxiliaires, notamment la morphologie de la fleur pour l'accès au pollen et nectar, et les préférences des insectes en réponse aux différents stimuli de la fleur (odeur, forme, couleur). La nutrition sur une fleur en particulier peut avoir un effet positif, neutre ou négatif sur les paramètres de survie des insectes tels que la longévité, la fécondité ou le développement. Plusieurs méthodes permettent d'étudier le choix des fleurs et ses effets sur la vie des insectes (Wäckers et van Rijn, 2012).

- **Études morphométriques**

La morphologie des fleurs joue un rôle important dans le choix des fleurs par les insectes. Certaines fleurs ne sont pas adaptées à certains insectes. La largeur et la profondeur de la corolle ne permettent pas à tous les insectes d'accéder aux nectaires et aux anthères (Wäckers et van Rijn, 2012). Il faut donc en tenir compte lors de la conception du mélange, pour attirer les bons insectes.

Les parasitoïdes par exemple ne sont pas capables d'aller chercher le nectar sur toutes les fleurs. Vattala et al. (2006) ont testé plusieurs fleurs avec un parasitoïde originaire d'Amérique du Sud, *Microctonus hyperodae*. Il n'a pas pu atteindre le nectar de 4 espèces de fleurs mais a pu accéder au nectar des trois autres. Les syrphes aussi sont sensibles à la morphologie des fleurs. Van Rijn et Wäckers (2010) ont ainsi mis en évidence que peu de bords de champs étaient adaptés au syrphe *E. balteatus* car ils ne lui permettent pas d'atteindre le stade reproducteur. Les chercheurs ont fait le lien avec la morphologie des fleurs, inadaptée au syrphe, pour lequel le nectar doit être accessible à une profondeur inférieure à 2 mm. Les chrysopes ont un panel de fleurs à nectar accessible plus large que les syrphes du fait de leurs différences morphologiques (Wäckers et van Rijn, 2012).

- **Étude des préférences**

Les préférences des insectes doivent également être prises en compte, lors de la conception du mélange, en fonction des insectes à attirer. Elles peuvent être testées de plusieurs façons. Des études olfactométriques à l'aide de tubes en Y permettent à l'insecte de choisir uniquement avec les stimuli olfactifs. Des cages peuvent aussi être mises en place, proposant plusieurs plantes à un insecte. Des observations peuvent être réalisées en champs, en comptant alors les visites et en notant les fleurs visitées (Wäckers et van Rijn, 2012).

Des observations visuelles sont souvent réalisées pour le suivi des syrphes et autres pollinisateurs. Hogg et al. (2011) ont observé plusieurs plantes annuelles en fleurs pour comparer leur attractivité vis-à-vis des syrphes et les hémiptères prédateurs présents sur ces plantes ont été comptés. Parmi elles, l'alysson maritime était la plante qui attirait le plus de syrphes et qui contenait le plus de punaises prédatrices (Hogg et al., 2011). D'autres études ont été réalisées, s'intéressant à d'autres plantes. Kopta et al. (2012) ont observé le comportement

de syrphes, de coccinelles, de punaises et de parasitoïdes face à plusieurs fleurs pendant 3 ans. Les résultats ont montré que les syrphes étaient les plus nombreux, surtout la dernière année sur sarrasin. Les coccinelles sont le deuxième groupe le plus représenté, principalement sur bleuet et fenouil la dernière année. Une autre étude, s'intéressant aux syrphes d'Amérique du Nord, a montré que, parmi les plantes testées (alysson maritime, sarrasin, etc.), la coriandre a été l'espèce la plus visitée (Colley et Luna, 2000). Les publications, étudiant des ensembles de plantes différentes, mettent en évidence des résultats différents mais elles ne se contredisent pas pour autant. Les syrphes semblent être attirés par l'alysson maritime (Hogg et al., 2011), le sarrasin (Kopta et al., 2012) et la coriandre (Colley et Luna, 2000), et les coccinelles par le bleuet et le fenouil (Colley et Luna, 2000).

Les fleurs en mélanges

En mélange, les fleurs exercent une influence différente sur les insectes. Les stimuli émis par chaque espèce de fleurs sont mélangés. Haaland et al. (2011) ont montré que la diversité et l'abondance des insectes trouvés dans les bandes fleuries varient en fonction de plusieurs caractéristiques : âge de la bande, composition du mélange, type de gestion, etc. Une compétition pour les ressources peut s'instaurer entre les différents insectes. Hogg et al. (2011) l'ont observée entre les syrphes et les autres pollinisateurs (abeilles et bourdons). Les syrphes ont principalement visité l'alysson maritime tandis que les autres pollinisateurs visitaient les autres espèces de fleurs. Il est possible que cette compétition diminue les visites des syrphes sur les autres fleurs (Hogg et al., 2011). La composition du mélange est donc un facteur clé.

Cependant, cette composition diffère très souvent selon les études (Fiedler et al., 2008). MacLeod (1999) s'est intéressé à l'effet de deux types de bandes sur le comportement du syrhe *E. balteatus*. Une bande était un enherbement naturel et l'autre a été enrichie de huit espèces florales. Les résultats ont montré que les syrphes étaient significativement plus nombreux dans la bande la plus riche, et qu'ils s'en dispersaient plus lentement. D'autres études comparent l'effet de bandes différentes sur les insectes, et ce sont généralement les bandes les plus riches en fleurs qui attirent une plus grande abondance et diversité spécifique d'insectes (Denys et Tschardt, 2002).

Fiedler et al. (2008) ont analysé 34 études sur l'ajout de ressources florales pour la lutte biologique par conservation et ils se sont aperçus que quatre plantes étaient principalement étudiées : la phacélie, le sarrasin, l'alysson maritime et la coriandre. Leur effet positif sur les auxiliaires a été prouvé en laboratoire mais ces espèces sont souvent utilisées en dehors de leur zone d'origine, au détriment d'espèces locales peut-être aussi efficaces (Fiedler et al., 2008).

Choix de l'arrangement spatial

La configuration spatiale du système a aussi son importance pour la lutte biologique. Vollhardt et al. (2010) ont construit un modèle de simulation de l'abondance de pucerons (sources de miellat, ressource alternative pour les parasitoïdes) et de la distribution des fleurs sur la parcelle. Les chercheurs ont testé le contrôle biologique avec différentes abondances de pucerons et différentes distributions spatiales des fleurs. Ils ont montré que des fleurs en mélange peuvent permettre le contrôle des pucerons des céréales si la parcelle a une faible densité de pucerons.

Effets non attendus liés à l'implantation de bandes fleuries

Différentes compositions de mélange attirent donc différemment les insectes, et cela peut affecter l'efficacité de la lutte biologique. L'ajout de ressources florales dans le système agricole peut, au lieu de favoriser les ennemis naturels, faire augmenter les populations de

ravageurs. Baggen et Gurr (1998) ont observé, sur pomme de terre, que le sarrasin et la coriandre augmentaient la longévité et la fécondité de la teigne de la pomme de terre, notant alors un effet négatif de la présence de fleurs à proximité de la culture. L'étude a été reconduite l'année suivante avec d'autres fleurs et a cette fois montré des effets positifs (Baggen et al. 1999). Les bandes fleuries ne doivent donc pas devenir une source de ravageurs pour la culture.

La présence de fleurs à proximité des cultures peut aussi jouer sur la longévité et la fécondité d'hyperparasitoïdes (Jonsson et al., 2009). Une étude de Araj et al. (2009) s'est intéressée à l'effet de l'ajout de sarrasin sur le contrôle naturel du puceron de pois en culture de luzerne et notamment à l'effet sur le quatrième niveau trophique. Le sarrasin a significativement augmenté le taux d'hyperparasitisme mais cela n'a pas affecté les populations de pucerons. Cependant, le choix de la composition des mélanges doit considérer l'effet potentiel sur les niveaux trophiques supérieurs.

Pour le contrôle naturel des ravageurs, les mélanges floraux doivent favoriser le troisième niveau trophique (ennemis naturels) et les effets favorisant les niveaux trophiques II (ravageurs) et IV (hyperparasitoïdes ou prédateurs) doivent être limités.

Un autre effet non attendu de l'implantation de bandes fleuries est la perturbation du comportement de recherche d'hôte par les prédateurs et parasitoïdes. Une végétation plus complexe peut faciliter la fuite du ravageur face à son parasitoïde (Obermaier et al., 2008).

Conclusion

La mise en place de bandes fleuries adjacentes aux cultures est un moyen d'augmenter la biodiversité (Haaland et al., 2011) et le contrôle naturel des insectes ravageurs (Pfiffner et Wyss, 2004). Plusieurs exemples montrent davantage d'auxiliaires présents dans les bandes fleuries et moins de ravageurs dans la culture, à proximité du mélange floral (Tylianakis et al., 2004 ; Lavandero et al., 2005 ; van Rijn et al., 2013). En revanche, montrer que l'implantation de bandes fleuries permet de diminuer les populations de ravageurs sous le seuil de nuisibilité est plus difficile (Wratten et al., 2002). Cela est d'autant plus vrai que le paysage environnant influence l'effet des mélanges floraux sur les ravageurs (Haenke et al., 2009).

Les bandes fleuries en bord de parcelle fournissent d'autres services écosystémiques que la régulation des ravageurs (Wratten et al., 2012). La pollinisation a été évoquée mais ce type d'aménagement permet aussi de réduire l'érosion du sol, le ruissellement, de préserver des espèces d'insectes, d'améliorer la qualité de l'eau et des sols, de favoriser l'accumulation du carbone dans le sol, les haies et les arbres (Wratten et al., 2012), d'améliorer la gestion des adventices (Moonen et Marshall, 2001), etc.

2.3 Applications à la culture de pois

Sur culture de pois (*Pisum sativum* L., Fabacées), les recherches bibliographiques n'ont pas fourni d'information sur d'éventuels essais de protection des cultures par lutte biologique par conservation, d'autant plus que l'on s'intéresse aux pois destinées à l'industrie. En revanche, le puceron *Acyrtosiphon pisum* et son parasitoïde *Aphidius ervi* sont très étudiés, notamment sur luzerne, mais aucun article parlant de l'effet de bandes fleuries ou de lutte biologique par conservation n'a été trouvé.

2.3.1 Présentation de la culture de pois

Le pois (*Pisum sativum* L.) est une légumineuse à cycle court. La particularité des légumineuses est la présence de nodosités sur les racines, ces nodosités étant le siège de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique par l'intermédiaire de bactéries, les Rhizobium.

Le pois est une plante grimpante, pouvant mesurer de 50 cm à 2 m selon les variétés. Les fleurs étant fermées, la fécondation est principalement autogame. Le fruit est une gousse, aussi appelée cosse, contenant les graines.

Cette plante peut être cultivée pour l'alimentation humaine (pois d'industrie, pois mangetout et garden pea) ou l'alimentation animale (pois fourrager, et notamment pois protéagineux). Il existe 170 variétés de pois inscrites au catalogue français des semences, dont 61 pour les pois protéagineux et 47 pour les pois d'industrie. En 2014, les pois d'industrie ont été cultivés sur 26 200 ha pour 194 600 tonnes de production (FranceAgriMer, 2015a)] contre 138 000 ha de pois protéagineux pour 522 000 tonnes produites, pour la campagne 2014-2015 (prévisionnel, FranceAgriMer, 2015b).



Figure 1 : Plante de pois (photo : L. Renaudeau ; Saint-Brieux-Des-Iffs ; 06-2015).

2.3.2 Les ravageurs des cultures de pois destinées à l'industrie

Les principaux ravageurs de la culture de pois dans la région bretonne sont la sitone du pois (*Sitona lineatus* L., Coleoptera, Curculionidae) en début de végétation, et le puceron vert ou rose du pois (*Acyrtosiphon pisum* Harris, Hemiptera, Aphididae) et la tordeuse du pois (*Cydia nigricana* F., Lepidoptera, Tortricidae) en période de floraison et de formation des gousses. Dans la suite, l'accent sera mis sur la gestion du puceron.

Acyrtosiphon pisum est holocyclique monoecique et il accomplit son cycle uniquement sur Fabacées. Ce grand puceron (4 à 6 mm) est vert ou rose selon les souches, a des antennes aussi longues que son corps et des cornicules effilées (Figure 2). Il apparaît tôt dans la saison : les œufs éclosent en février, donnant des fondatrices, et les premiers ailés apparaissent en mai. Comme les autres pucerons, en cas de conditions favorables, on observe une explosion démographique. Le puceron vert du pois cause des dégâts en prélevant la sève pour son alimentation : des déformations des feuilles et des gousses peuvent être observées, ainsi qu'un avortement des fleurs, une diminution du poids des grains et du nombre de gousses. La culture est sensible au puceron à partir de la floraison et tout au long de la formation des gousses. Ce puceron peut aussi être vecteur de plusieurs virus tels que la mosaïque du concombre (CMV) et la mosaïque jaune du haricot. Les individus s'installent de préférence sur les jeunes organes et sont peu visibles. *A. pisum* a comme particularité comportementale de se laisser tomber facilement lorsqu'il est dérangé (phénomène de thanatose ; Hullé et al., 1999).



Figure 2 : *Acyrtosiphon pisum* Harris [3].

Contre les pucerons, en cas de faibles colonisations, les ennemis naturels peuvent suffire à maintenir les pucerons sous le seuil de nuisibilité. En cas de plus fortes colonisations ou si la transmission de virus est suspectée, des traitements aphicides sont conseillés [4]. Le seuil de 30 pucerons en moyenne par tige est utilisé (Hullé et al. 1999).

2.3.3 Les auxiliaires contre le puceron vert et rose du pois

Deux types d'ennemis naturels peuvent réguler les populations de ravageurs : les prédateurs et les parasitoïdes. Parmi les prédateurs, les prédateurs spécialistes, tels que les syrphes, ont un régime alimentaire qui repose sur un faible nombre d'espèces, tandis que les prédateurs généralistes, comme les carabes, consomment une grande variété d'espèces (pucerons, limaces, etc.). Les parasitoïdes sont considérés comme des auxiliaires spécialistes, ils chassent l'hôte mais ce sont leurs larves qui parasitent l'insecte chassé. Ces différents types d'ennemis naturels n'exercent pas le même contrôle sur les ravageurs (Schmidt et al., 2003). Les prédateurs généralistes contrôlent les populations d'insectes indépendamment de leur densité (Symondson et al., 2002), leur prédation est plus efficace au début de la saison (Brewer et Elliott, 2004). Du fait de leur alimentation polyphage, ils peuvent se maintenir à proximité des cultures, tandis que les prédateurs spécialistes et les parasitoïdes sont plus dépendant de la quantité de proies, c'est-à-dire de ravageurs, présente (Symondson et al., 2002). Les parasitoïdes permettent un effet « choc » sur les ravageurs en diminuant rapidement leur nombre après une génération (Snyder et Ives, 2003), mais le manque de proies induit par la suite une diminution du nombre de parasitoïdes, laissant aux ravageurs la possibilité de se redévelopper (Symondson et al., 2002).

Le contrôle des pucerons peut se faire de manière synergique entre ces différents ennemis naturels. C'est ce qu'a montré Schmidt et al. (2003) sur céréales. En retirant le groupe des prédateurs généralistes du sol, ils ont observé 18 % de pucerons en plus par rapport au témoin. En retirant les auxiliaires volants, 70 % de pucerons en plus ont été observés. Enfin, en retirant les deux groupes, 172 % de pucerons en plus ont été comptés. Une synergie entre les deux groupes est mise en évidence, mais ce n'est pas toujours le cas. Snyder et Ives (2003) ont étudié les interactions entre les ennemis naturels du puceron du pois sur culture de luzerne. Ils ont distingué les parasitoïdes de la guilde des prédateurs, mais ils montrent que lorsque ces deux types de populations sont présentes, le taux de parasitisme se voit diminué de 50 %, suggérant qu'il existe de la prédation intraguilde. Ces deux articles montrent bien que les différents types d'ennemis naturels ont différents effets sur la régulation des populations de ravageurs et que leurs interactions sont aussi importantes.

Les pucerons sont les proies d'un grand nombre d'insectes (Tableau 2).

Les prédateurs spécialistes des pucerons

Plusieurs espèces de syrphes ont des larves aphidiphages. Les principales sont : *Baccha elongata*, *Episyrphus balteatus*, *Eupeodes corolla*, *Melanostoma mellinum*, *Scaeva pyrastris*, *Sphaerophoria scripta* et *Syrphus ribesii* [5]. Certaines larves sont très voraces, comme celle d'*E. balteatus*. Leur consommation augmente avec leur taille et les adultes pondent plus d'œufs dans des colonies de grande taille (Amiri-Jami et Sadeghi-Namaghi 2014). Les différentes espèces exploitent des niches (tailles de colonies de pucerons) différentes (Smith et Chaney, 2007). L'abondance d'*E. balteatus* est affectée par la structure paysagère : en hiver, les syrphes vont plutôt se placer au Sud des haies (facteurs : température, isolation) tandis qu'en été, ils seront plutôt au Nord et leur présence est corrélée avec la présence de fleurs (Sarhou et al. 2005). Les syrphes font la navette entre la culture pour pondre parmi les pucerons et les fleurs, sources de nectar et de pollen, mais ils peuvent aussi ponctuellement se nourrir de miellat pour

Tableau 2 : Synthèse des principales familles des ennemis naturels des pucerons, de leur type et de leur stade aphidiphage [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14].

Auxiliaires	Stades aphidiphages	Type d'auxiliaire
Syrphidae (Diptera)	Larves	Prédateurs spécialistes
<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Cecidomyiidae, Diptera)	Larves	Prédateurs spécialistes
Micro-guêpes parasitoïdes (Hymenoptera)	Larves parasites	Parasitoïdes
Chrysopidae et Hemerobidae (Neuroptera)	Larves	Prédateurs généralistes
Coccinellidae (Coleoptera)	Larves et adultes	Prédateurs spécialistes
Carabidae (Coleoptera)	Larves et adultes	Prédateurs généralistes
Cantharidae (Coleoptera)	Larves et adultes	Prédateurs généralistes
Staphylinidae (Coleoptera)	Larves et adultes	Prédateurs généralistes
Anthocoridae (Hemiptera)	Larves et adultes	Prédateurs généralistes
Miridae (Hemiptera)	Larves et adultes	Prédateurs généralistes
Nabidae (Hemiptera)	Larves et adultes	Prédateurs généralistes
Araneae	Adultes	Prédateurs généralistes

reporter la recherche de ressources florales (van Rijn et al. 2013). Une larve a besoin d'environ 400 à 700 pucerons pour son développement [6].

Aphidoletes aphidimyza est un petit diptère dont la larve est prédatrice d'une soixantaine d'espèces de pucerons. La larve d'*A. aphidimyza* injecte une toxine paralysante dans sa proie avant de s'en nourrir, et elle peut tuer plus que nécessaire en cas d'abondance. Elle peut consommer jusqu'à 100 pucerons. Cet insecte est utilisé en lutte biologique sous serre (SERAIL, 2015).

Plusieurs espèces de coccinelles sont aphidiphages, notamment parmi les genres : *Adalia* sp., *Calvia* sp., *Coccinella* sp., *Harmonia* sp., etc. Par exemple, une larve de coccinelle à 7 points peut consommer 800 pucerons pour son développement, et un adulte peut en consommer 3000 durant toute sa vie [7].

Les parasitoïdes des pucerons

Plusieurs espèces d'hyménoptères peuvent parasiter les pucerons. Pour l'espèce de puceron concernée, ces parasitoïdes se répartissent dans plusieurs genres : le genre *Aphelinus*, de la famille des Aphelinidae, et trois genres de la famille des Braconidae (*Aphidius*, *Ephedrus* et *Praon*) [3]. Les femelles peuvent pondre 100 à 500 œufs au cours de leur vie [8].

Les prédateurs généralistes

Les larves des chrysopes et hémérobes s'attaquent à un grand nombre d'espèces de proies, dont les pucerons, tandis que les adultes se nourrissent de nectar et de pollen. Une larve de *Chrysoperla carnea* peut consommer jusqu'à 1000 pucerons durant son développement [9].

Les Carabidés sont une vaste famille dont les adultes chassent leurs proies à la surface du sol. Certains peuvent grimper sur les plantes, surtout les petites espèces [10]. Les Cantharides et les staphylins sont aussi des prédateurs généralistes qui peuvent se nourrir de pucerons. Les staphylins ont un comportement proche de celui des carabes [11] [12].

Les araignées utilisent souvent des pièges qu'elles tissent pour piéger leurs proies, mais certaines peuvent chasser au sol ou être à l'affut des insectes qui passent [13].

Certaines espèces de punaises sont prédatrices, notamment de pucerons, telles que des espèces appartenant aux familles et genres suivants : Nabidae (*Nabis*, *Himacerus*), Miridae (*Atractotomus*, *Deraeocoris*, *Heterotoma*, *Malacocoris*, *Phytocoris*, *Pilophorus*), et Anthocoridae (*Anthocoris*, *Orius*) [14]. Par exemple, pour son développement larvaire, *Orius laevigatus* a besoin de 100 à 200 pucerons [15].

3 Matériels et méthodes

3.1 Site d'expérimentation

L'expérimentation a lieu à Saint-Brieuc-des-Iffs, entre Saint-Malo et Rennes, dans l'Ille-et-Vilaine (35), zone à climat océanique doux. Une parcelle de pois est mise à disposition par le producteur, M. de la Morinière. Le producteur pratique les techniques culturales simplifiées (TCS), avec notamment le non labour, le semis sous couverts et des rotations sur 5 ans.

La parcelle de pois se situe plus précisément à la Talmachère. Elle possède un sol dont la base est limoneuse. La parcelle a une surface de 10,72 ha. Elle se situe dans un contexte bocager breton (Figure 3), entourée par différents éléments paysagers : champ de maïs, fossé avec enherbement naturel, haie arbustive et haie arborescente.



Figure 3 : Vue aérienne de la parcelle, entourée en rouge (à partir de Géoportail).

3.2 Matériel végétal

La variété de pois utilisée est la variété Avocette, variété à grains ridés verts foncés, destinés à la surgélation. Le semis est réalisé au semoir Unidrill avec une densité recherchée de 85 à 110 pieds/m² et un inter-rang de 16,6 cm. Une version simplifiée de l'itinéraire technique, décidé par la coopérative, est présenté Figure 4. Un passage de KARATE K a notamment été effectué au début de la floraison. Le premier mètre de culture n'a pas été traité. La date de la récolte est décidée lorsque les grains ont atteint une certaine tendreté, mesurée par l'indice tendérométrique à l'aide d'un tendéromètre. La valeur visée varie suivant l'objectif de production, il est de 110 points pour des pois destinés à la surgélation. La récolte se fait à l'aide d'une machine spécialisée, une cueilleuse de gousses.

Date	mars	avril	mai	juin	
Stade de la culture	Semis	Levée	15 cm	Floraison	Récolte
Interventions	Travail du sol	Herbicide (pré-levée)	Herbicide (post-levée) Insecticide (sitones)	Insecticide (pucerons)	Récolte

Figure 4 : Itinéraire technique simplifié du pois.

3.3 Dispositif expérimental

Le dispositif compte trois répétitions ayant chacune une bande fleurie et une bande témoin (Figure 5). Les bandes mesurent 100 m de long par 3 m de large.

Les bandes témoins sont des bandes enherbées constituées d'un mélange de fétuque et de trèfle blanc. La composition du mélange utilisé pour les bandes fleuries a été décidée par Nova-Flore, suite à de précédentes expérimentations sur les relations fleurs-insectes, avec pour buts l'attraction des auxiliaires et une floraison précoce pour être le plus en phase avec la floraison de la culture. Le mélange est composé de douze espèces, toutes annuelles.



Figure 5 : Schéma de l'implantation des aménagements de bord de parcelle (en orange, bande fleurie ; en vert, bande témoin ; les zones encadrées représentent les zones échantillonnées).

Avant le semis des bandes fleuries, plusieurs passages de herse étrille ont été réalisés pour affiner le sol. Les semences ont été mélangées avec de la semoule pour le semis qui a été réalisé avec le semoir du producteur, un semoir Unidrill, à une densité de 30 kg/ha. Un passage de rouleau a ensuite été effectué pour mettre les semences en contact avec le sol et assurer leur germination.

La culture ainsi que les bandes fleuries et enherbées ont été semées le 28 mars 2015 et la récolte de pois a eu lieu le 30 juin 2015.

3.4 Conditions météorologiques de l'expérimentation

La température et l'ensoleillement sont suivis au cours de la période de relevés, c'est-à-dire pendant le mois de juin.

Les jours des relevés, les températures maximales étaient comprises entre 24 °C et 29 °C, avec un ensoleillement allant de 11 h à 15 h. Les conditions de pluies et de vents étaient en revanche très proches : pas de précipitations et des rafales d'environ 35 km/h (Annexe I).

3.5 Variables étudiées

3.5.1 Suivi floristique

Le but de ce suivi est de mesurer l'évolution de la bande fleurie au cours de l'essai. Pour cela, l'inventaire de la diversité floristique des bandes fleuries et une estimation du recouvrement en fleurs sont réalisés à chaque visite sur la parcelle.

En parallèle, on note également la floraison du pois, qui donne une idée du stade de la culture et notamment sa sensibilité au puceron. En effet, le pois est sensible au puceron à la floraison et lors de la formation des gousses.

3.5.2 Suivi des populations d'insectes

Le suivi des populations d'insectes est réalisé à 3 dates différentes : les 4, 17 et 25 juin. Les dates sont choisies en fonction de la sensibilité de la culture au puceron, de la floraison de la bande fleurie et de la date de récolte estimée par le producteur. Le pois est sensible au puceron à partir de la fin mai et jusqu'à la récolte initialement estimée à la fin du mois de juin. La bande fleurie a commencé à fleurir à la fin du mois de mai, donc les 3 dates de collectes ont été réparties sur le mois de juin.

Dans les bandes

Les populations d'insectes sont suivies de deux façons : par des observations ponctuelles et par prélèvement d'insectes au filet fauchoir. Dans chaque répétition, trois zones d'une surface de 1 m² choisies de façon aléatoire sont successivement observées dans l'aménagement (Figure 6). Sont alors notés le nombre et les espèces d'insectes observés avec une détermination la plus poussée possible. Le passage du filet a lieu après les observations car il a tendance à faire fuir les insectes. Les prélèvements dans l'aménagement sont effectués par dix coups de filet et les insectes sont recueillis pour comptage et détermination *a posteriori*.

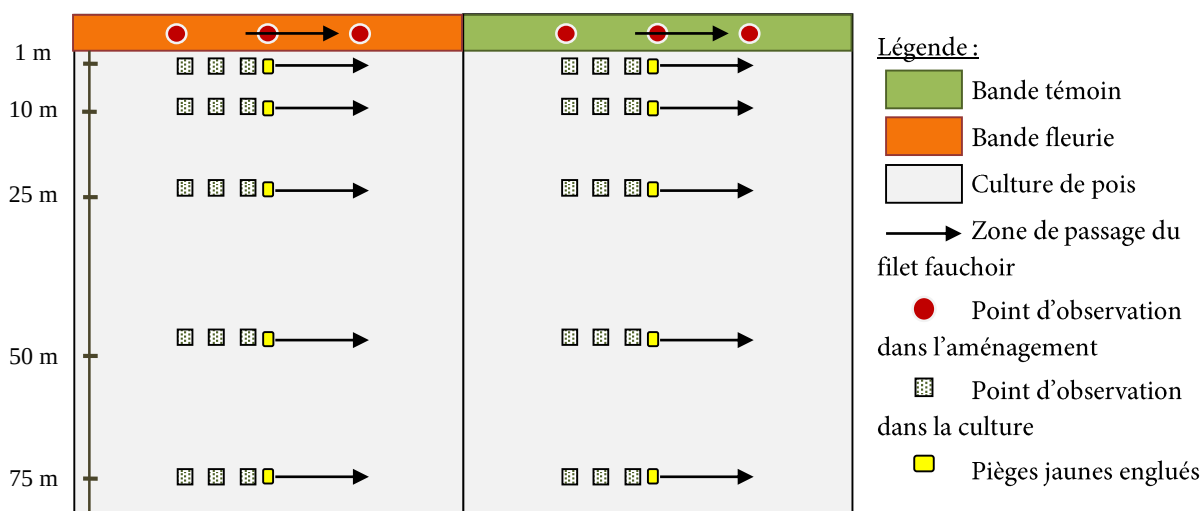


Figure 6 : Schéma du plan d'échantillonnage pour une répétition en culture de pois.

Dans la culture

Plusieurs méthodes de suivi des populations dans la culture sont utilisées à différentes distances de l'aménagement, à savoir à 1 m, 10 m, 25 m, 50 m et 75 m (Figure 6, Figure 7).

- Trois zones de 1 m² sont choisies aléatoirement et les insectes présents sont notés.

- Dix coups de filet fauchoir sont également réalisés dans la culture, dans une zone différente de celle où sont faites les observations.
- Un piège jaune englué est placé à chaque distance à l'aménagement, à hauteur de végétation. Il est laissé en place 6 jours avant relevé.

Les observations, les passages de filet fauchoir et le relevé des pièges sont réalisés le même jour.

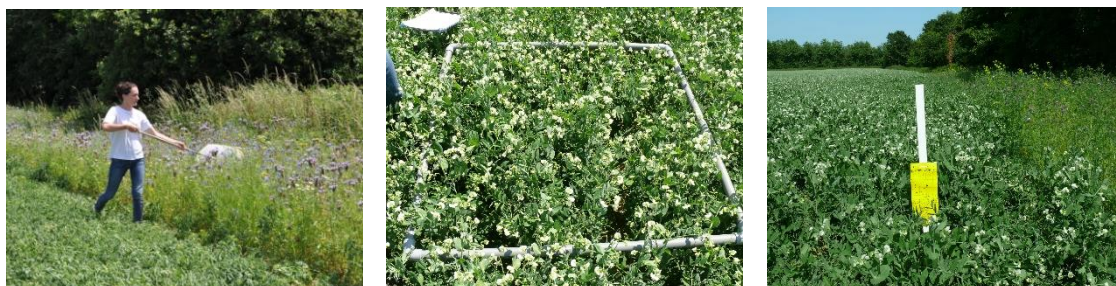


Figure 7 : Méthodes de collectes des données (de gauche à droite : filet fauchoir, observations sur 1 m² et pièges jaunes englués placés à hauteur de végétation ; photo : V. Rouillois ; Saint-Brieux-Des-Iffs ; 06-2015).

3.5.3 Notation de la récolte

La notation a eu lieu le 25 juin, cinq jours avant la récolte. Pour chaque distance à l'aménagement, une zone de 1 m² choisie de façon aléatoire est récoltée (Figure 8), soit au total 30 m² récoltés. La production est mesurée à travers la masse des gousses récoltées par m² et par le nombre de gousses par m².



Figure 8 : Zone ayant été récoltée (photo : V. Rouillois ; Saint-Brieux-Des-Iffs ; 06-2015).

3.6 Analyse statistique des données

3.6.1 Données entomologiques

Les insectes sont classés en différentes catégories. L'étude portant sur la protection du pois contre les pucerons, les catégories pertinentes sont celles qui concernent les pucerons, leurs prédateurs et leurs parasitoïdes. Le nombre de momies comptées permet d'avoir une idée de l'activité des hyménoptères parasitoïdes des pucerons. Les catégories d'insectes retenues pour les analyses sont détaillées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Détails de la composition des catégories d'insectes utilisées pour l'analyse des données entomologiques

Catégories	Taxons composant la catégorie
Les auxiliaires des pucerons	Coccinellidés, hyménoptères parasitoïdes, syrphidés à larve aphidiphage, névroptères, cantharidés, staphylinidés, carabidés, <i>Orius</i> et arachnides
Les syrphes à larve aphidiphage	<i>E. balteatus</i> , <i>Eupeodes</i> sp., <i>Sphaerophoria</i> sp., <i>Syrphus</i> sp., <i>Melanostoma</i> sp., <i>Scaeva</i> sp., <i>Platycheirus</i> sp.
Les pucerons	<i>A. pisum</i> et les autres espèces
Les momies de pucerons	Momies des genres <i>Aphidius</i> , <i>Aphelinus</i> et <i>Praon</i>

Les facteurs sont présentés dans le Tableau 4. Le facteur « Distance » est la distance à l'aménagement de bord de parcelle (bande enherbée ou bande fleurie) et le facteur « Méthode » est la méthode de collecte des données entomologiques. L'analyse des données se fait par milieu (bandes ou culture).

Tableau 4: Synthèse des facteurs et de leurs modalités.

Facteur	Nombre de modalités	Liste des modalités
Date	3	04/06 (date 1) ; 17/06 (date 2) ; 25/06 (date 3)
Distance	5	1 m ; 10 m ; 25 m ; 50 m ; 75 m
Méthode (dans les bandes)	2	Observations ; Filet fauchoir
Méthode (dans la culture)	3	Observations ; Filet fauchoir ; Pièges jaunes englués
Traitement	2	Bande témoin (T) ; Bande fleurie (BF)

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel R. La normalité des résidus et l'égalité des variances sont testées et si elles le permettent, des tests paramétriques sont réalisés (ANOVA à deux facteurs avec interactions). Sinon, des tests non paramétriques sont utilisés : test de Wilcoxon-Mann-Whitney ou test de Kruskal-Wallis selon le nombre de modalités des facteurs.

Les résultats sont également analysés en utilisant les modèles linéaires généralisés (GLM) avec une loi de poisson (données de comptage). Les modèles retenus sont ceux minimisant l'AIC.

3.6.2 Données sur la récolte

Le comptage du nombre exact de gousses étant chronophage (Figure 9), une estimation du nombre de gousses par m² est réalisée. Pour cela, sur 12 échantillons, le nombre de gousses exact est comparé au nombre de gousses théorique, calculé par une règle de 3 à partir du poids total des gousses et du poids de 50 gousses prises au hasard. Le modèle est validé par test t pour échantillons indépendants (p-valeur = 0.7538) après validation des conditions du test (test de Shapiro-Wilk sur les résidus : p-valeur = 0.4 ; test de Bartlett sur les résidus : p-valeur = 0.81).



Figure 9 : Tas de gousses pour comptage (photo : V. Rouillois ; Champigné ; 06-2015).

Une ANOVA à deux facteurs avec interaction est réalisée après vérification de la normalité des résidus et l'égalité des variances.

4 Resultats

4.1 Données générales de l'expérimentation

4.1.1 Données entomologiques

Au total, 46 841 insectes ont été collectés et déterminés pour cette étude. Environ 21 % ont été obtenus lors du premier relevé, contre 40 % lors du deuxième et 39 % lors du dernier relevé (Tableau 5).

Les principaux ordres représentés sont les Diptères, les Hémiptères, les Hyménoptères et les Coléoptères (Figure 10 : Effectif des insectes déterminés en fonction de l'ordre auquel ils appartiennent (effectif total : 45365 insectes, sauf momies). Parmi tous les insectes, on compte 18,9 % d'auxiliaires (principalement des Hyménoptères parasitoïdes) et 2,3 % de pollinisateurs.

Tableau 5 : Effectif des insectes déterminés en fonction de la date de collecte des données.

date	Effectif total	Effectif (en %)
04/06/2015	9812	20,95
17/06/2015	18813	40,16
25/06/2015	18216	38,89

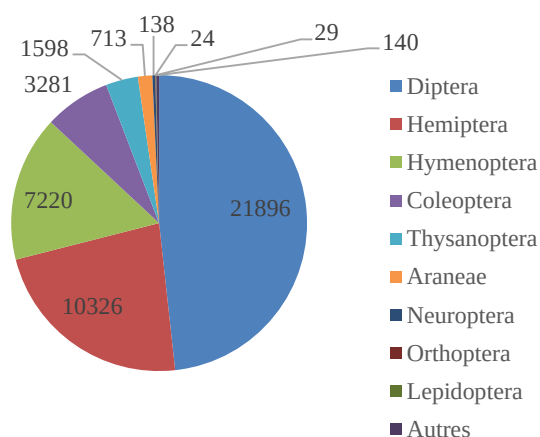


Figure 10 : Effectif des insectes déterminés en fonction de l'ordre auquel ils appartiennent (effectif total : 45365 insectes, sauf momies).

Les méthodes de collectes des données entomologiques donnent des effectifs différents, en particulier en fonction du milieu (Tableau 6). En moyenne, un prélèvement au filet fauchoir dans la culture a permis de capturer 166 insectes contre 659 insectes dans les bandes, soit environ quatre fois plus d'insectes dans les bandes.

Tableau 6 : Effectifs d'insectes en fonction de la méthode et du milieu de collecte des données (effectif total : 46841 insectes).

Méthode de collecte des données entomologiques	Nombre de relevés effectués	Insectes et momies
Filet fauchoir	108 prélèvements	26 818
- Dans la culture	90 prélèvements	14 947
- Dans les bandes	18 prélèvements	11 870
Observations	324 points	2518
- Dans la culture	270 points	2250
- Dans les bandes	54 points	268
Pièges jaunes englués	90 pièges	17 505

De façon générale, quelle que soit la méthode utilisée et le milieu, on observe davantage d'insectes du côté de la bande fleurie (Figure 11). Dans les bandes, les variations vont de + 4,6

% d'insectes capturés au filet fauchoir à 3,4 fois plus d'insectes observés. Dans la culture, des augmentations du nombre d'insectes de 9 %, 10,4 % et 30,8 % sont respectivement observées pour les captures au filet, les observations et les pièges jaunes englués.

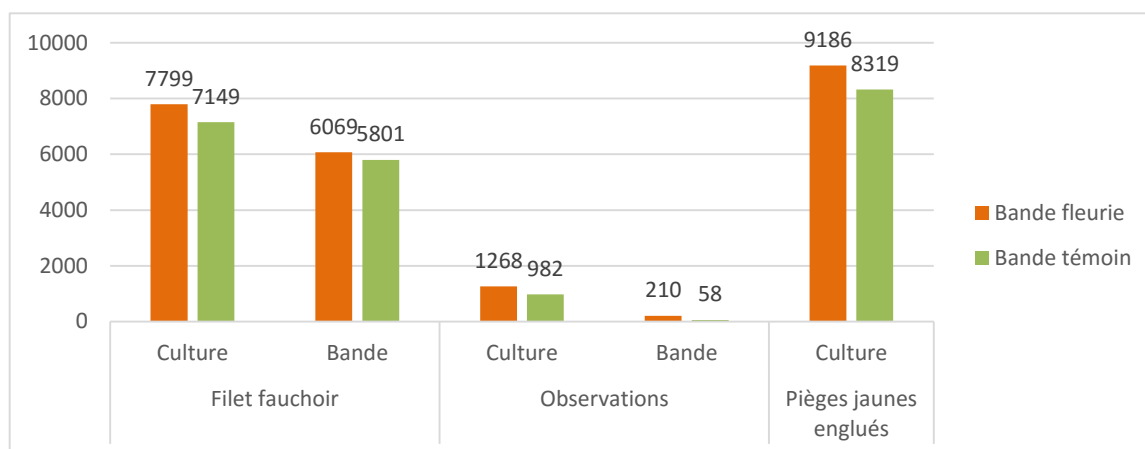


Figure 11 : Abondance des insectes déterminés en fonction de la méthode et du milieu d'échantillonnage (effectif total : 46841 insectes).

4.1.2 Données sur la récolte

Pour mesurer le rendement de la culture de pois, 30 m² de culture ont été échantillonnées, soit 146,46 kg de culture ramassés pour un peu plus de 38 000 gousses.

4.2 Suivi floristique des bandes fleuries

La Figure 12 met en évidence que la floraison du pois a débuté avant la semaine 22 (fin mai) et qu'il est donc sensible au puceron tandis que la bande fleurie n'est qu'à 5 % de floraison. Le pic de floraison du pois est observé en semaine 23 (début juin) lorsque la bande fleurie est à 20 % de sa floraison, puis le pois défleurit rapidement jusqu'à sa récolte en semaine 27 (30 juin). Lors de la récolte, la bande fleurie est à 75 % de floraison. Son maximum de floraison est atteint environ deux semaines après la récolte du pois puis la bande défleurit progressivement.

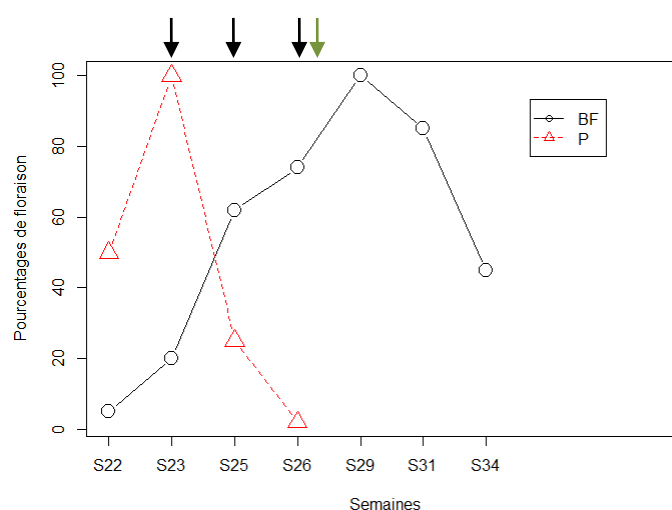


Figure 12 : Evolution du pourcentage de floraison de la bande fleurie (BF) et de la culture de pois (P) au cours du temps, en semaines (les dates de collectes sont indiquées par une flèche noire et la date de récolte du pois est indiquée par une flèche verte).

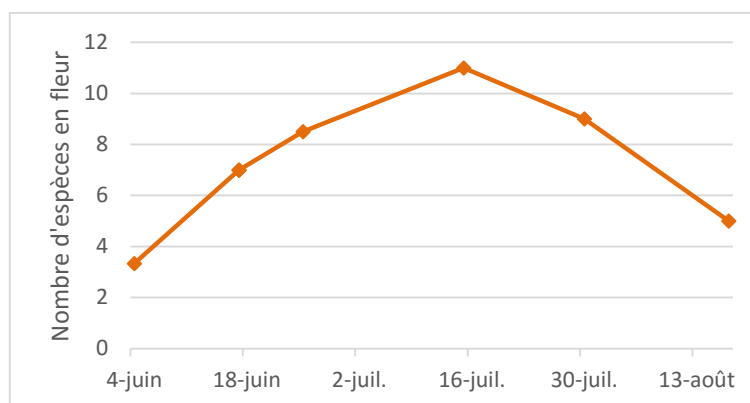


Figure 13 : Diversité floristique des bandes fleuries dans le temps.

4.3 Comparaison des différentes méthodes de collecte des données entomologiques

Le test de Shapiro-Wilk sur les résidus donne des p-valeurs inférieures à 0,05 pour les quatre catégories d'insectes sélectionnées dans les deux types de milieux, donc des tests non paramétriques sont réalisés.

4.3.1 Dans les bandes

Les données d'abondance des différentes catégories d'insectes issues des captures au filet fauchoir sont comparées aux données d'observations.

Pour les auxiliaires des pucerons, le test de Kruskal-Wallis donne une p-valeur de $2,88 \cdot 10^{-7}$, donc la méthode utilisée pour collecter les données a un effet sur les captures d'auxiliaires. En moyenne, par échantillon, 138,1 auxiliaires (SE = 17,19) sont échantillonnés au filet fauchoir contre 6,8 (SE = 1,38) avec les observations (Figure 14).

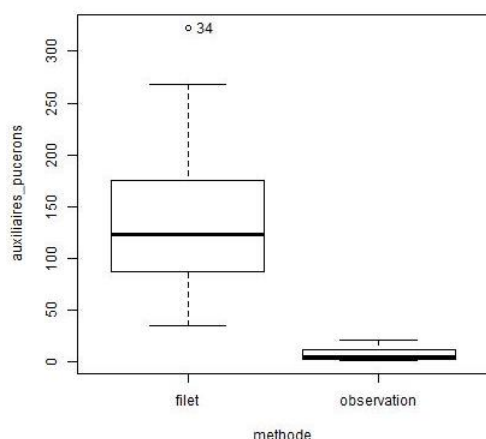


Figure 14 : Boîte à moustaches de l'abondance des auxiliaires des pucerons dans les bandes en fonction de la méthode de collecte des données.

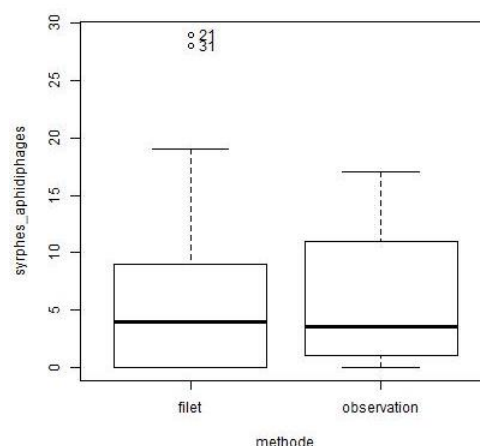


Figure 15 : Boîte à moustaches de l'abondance des syrphes aphidiphages dans les bandes en fonction de la méthode de collecte des données.

Pour les syrphes aux larves aphidiphages, le test de Kruskal-Wallis donne une p-valeur de 0.811 donc pas de différence (moyennes entre par). Environ 7,2 syrphes (SE = 2,17) sont capturés au filet fauchoir contre 5,3 syrphes (SE = 1,34) observés (Figure 15).

Les pucerons et les momies de pucerons n'ayant pas été observés dans les bandes, la comparaison des deux méthodes n'est pas possible. En moyenne, 4,8 momies (SE = 1,52) et 171 pucerons (SE = 57,19) ont été comptées dans les échantillons collectés au filet fauchoir.

4.3.2 Dans la culture

Les données d'abondances pour chaque catégorie d'insectes sont comparées suivant la méthode de collecte des données : filet fauchoir, observation ou piège jaune englué. Pour les pucerons, les observations dans la culture n'ont pas été réalisées donc seules les deux autres méthodes seront comparées.

Pour les auxiliaires des pucerons, le test de Kruskal-Wallis donne une p-valeur de $4,46.10^{-28}$, indiquant une différence significative des abondances suivant la méthode de collecte des données. Le test des comparaisons multiples place chaque méthode dans un groupe différent. En moyenne, le filet permet d'obtenir 43,4 auxiliaires (SE = 2,93) tandis que 17,2 auxiliaires (SE = 1,48) sont collés sur les pièges et 6,2 (SE = 0,48) sont observés (Figure 16).

Pour les syrphes aphidiphages, le test de Kruskal-Wallis donne une p-valeur de 0.386. Il n'y a donc pas de différence significative entre les trois méthodes. Les moyennes d'abondance de syrphes sont d'ailleurs proches : 1,9 syrphe (SE = 0,40) collé sur les pièges contre 1,8 syrphe (SE = 0,27) capturé au filet et 1,1 syrphe (SE = 0,17) observé (Figure 17).

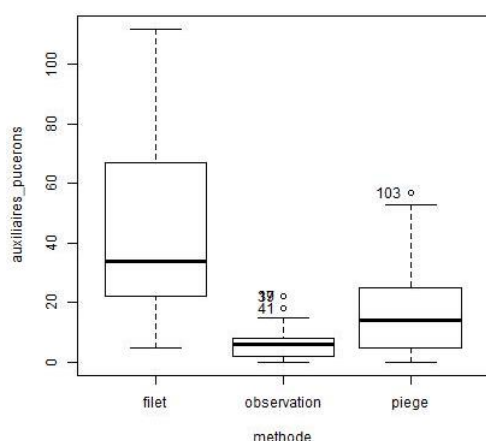


Figure 16 : Boîte à moustaches de l'abondance des auxiliaires des pucerons dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.

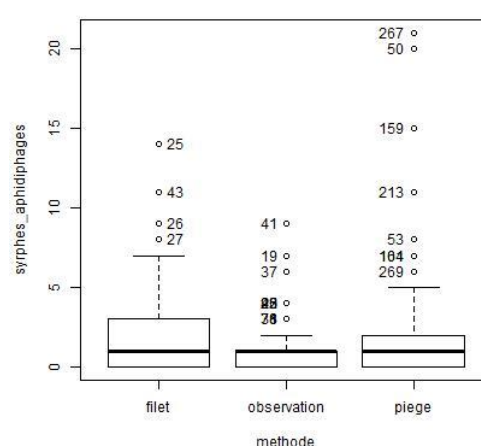


Figure 17 : Boîte à moustaches de l'abondance des syrphes aphidiphages dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.

Concernant les pucerons, le test de Wilcoxon-Mann-Whitney donne une p-valeur de $3.97.10^{-3}$ mettant aussi en évidence une différence entre les méthodes de collecte utilisées. En moyenne, 49,8 pucerons (SE = 11,95) sont obtenus dans un prélèvement au filet fauchoir contre 18,7 pucerons (SE = 2,03) collés par piège (Figure 18).

Pour les momies de pucerons, le test de Kruskal-Wallis donne une p-valeur de $9,62.10^{-41}$, donc un effet significatif de la méthode de collecte des données sur le nombre de momies. En revanche, le test des comparaisons multiples ne créent que deux groupes : d'un côté les observations et de l'autre le filet et les pièges. En moyenne, 14,2 momies (SE = 1,53) sont observées dans la culture contre 1,2 (SE = 0,22) dans les échantillons de filet fauchoir et 0,06 (SE = 0,02) sur les pièges (Figure 19).

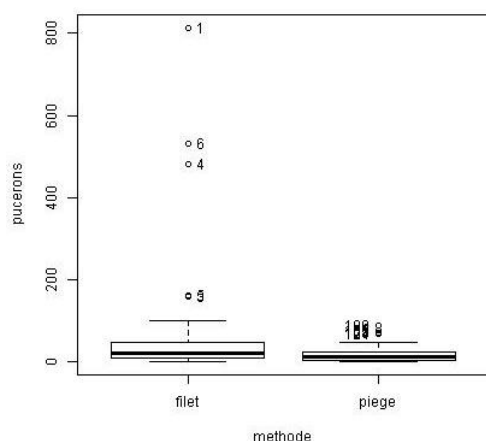


Figure 18 : Boîte à moustaches de l'abondance des pucerons dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.

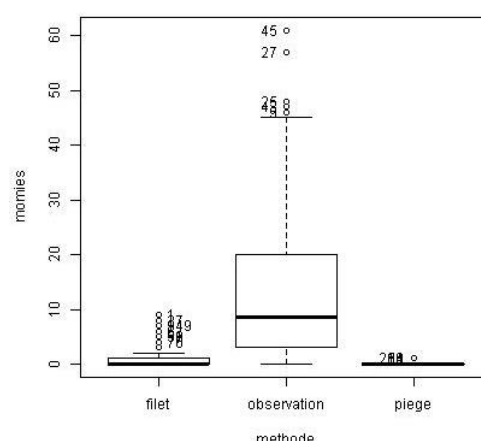


Figure 19 : Boîte à moustaches du nombre de momies de des pucerons dans la culture en fonction de la méthode de collecte des données.

4.3.3 Méthodes de collecte utilisées pour les analyses

La méthode de collecte des données retenue est celle qui donne la plus grande abondance d'insectes, en fonction des différentes catégories.

Que ce soit dans les bandes ou dans la culture, l'abondance des auxiliaires et des pucerons est plus importante dans les prélèvements au filet fauchoir. En revanche, le même nombre de syrphes est observé en fonction des différentes méthodes de collecte : les données issues des captures au filet sont conservées pour la suite des analyses. Dans la culture, le plus grand nombre de momies de pucerons est obtenu grâce aux observations. Les données issues des observations sont donc conservées pour les momies.

4.4 Intérêt d'une bande fleurie par rapport à une bande enherbée pour la lutte biologique

4.4.1 Intérêt à l'échelle de l'aménagement

Les données d'abondances des catégories d'insectes sont comparées en fonction de la date et du traitement (bande fleurie ou bande témoin).

Effet de la date de collecte

Pour les auxiliaires des pucerons, le test de Shapiro-Wilk sur les résidus donne une p-valeur de 0,137 et l'homoscédasticité est validée graphiquement. Une Anova est donc réalisée pour savoir s'il existe un effet de la date et un effet de la modalité (bande fleurie ou bande témoin) sur l'abondance des auxiliaires. Un effet significatif est mis en évidence, avec une p-valeur de 0,0139. Le test de Tukey HSD permet de comparer les dates entre elles (Tableau 7). Il montre que l'abondance des auxiliaires augmente dans le temps mais qu'il n'y a pas de différence significative entre la deuxième date et la dernière date de collecte des données.

Le test de Kruskal-Wallis est utilisé pour analyser l'effet date sur les données d'abondance des syrphes aphidiphages dans les bandes. Il montre une différence significative entre les dates avec une p-valeur de 0,032. Le test des comparaisons multiples montre que significativement moins de syrphes ont été capturés lors de la première collecte le 4 juin (Tableau 8).

Le test de Kruskal-Wallis est appliqué pour tester l'effet date sur les données concernant les pucerons. La p-valeur obtenue (0,42) suggère que la date de collecte de données n'a pas d'effet significatif sur l'abondance relevée.

Tableau 7 : Résultats du test de Tukey HSD de comparaison de l'abondance des auxiliaires des pucerons capturés dans les bandes en fonction de la date (différence significative : 90,619).

Date	Nombre d'observations	Moyenne	SE	Groupe
25/06/2015	6	178.333	30,71	a
17/06/2015	6	166.833	23,56	a
04/06/2015	6	69.167	8,73	b

Tableau 8 : Résultats du test des comparaisons multiples de l'abondance des syrphes capturés dans les bandes en fonction de la date.

Date	Nombre d'observations	Moyenne	SE	Groupe
17/06/2015	6	12.25	4,45	a
25/06/2015	6	11.33	4,00	a
04/06/2015	6	4.92	0,83	b

Effet du type d'aménagement en bord de parcelle

L'ANOVA réalisée sur l'abondance des auxiliaires des pucerons ne montre pas d'effet de la présence de la bande fleurie, ni d'effet d'interaction de la date avec le traitement.

Pour l'analyse de l'effet du traitement sur l'abondance des syrphes, la date du 4 juin est donc séparée des deux autres. Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney montre un effet significatif du traitement lors des deux dernières collectes (p-valeur = 0,013) avec en moyenne 17 syrphes dans la bande fleurie contre 4 dans la bande enherbée (Figure 20a et 20b). En revanche, le test ne montre pas de différence significative à la première date (p-valeur = 0,197).

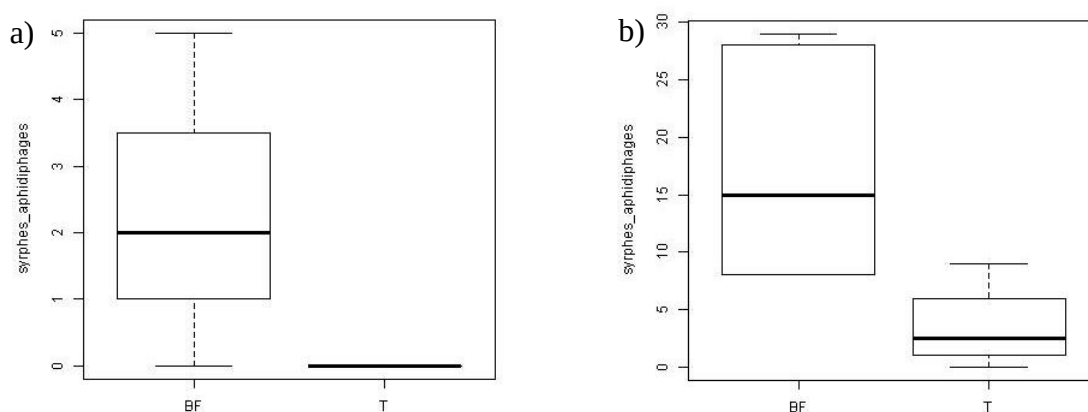


Figure 20 : Boîte à moustaches de l'abondance des syrphes aphidiphages dans les bandes : a) le 4 juin 2015, b) les 17 et 25 juin ; en fonction du traitement Bande fleurie (BF) ou Bande enherbée (T).

Le test de Wilcoxon-Mann-Whitney est utilisé pour vérifier l'effet du traitement sur les pucerons. Il donne comme p-valeur de 0.5457, c'est-à-dire que la présence de la bande fleurie n'a pas d'effet significatif sur l'abondance des pucerons dans les bandes.

4.4.2 Effet de la présence de la bande fleurie sur l'entomofaune dans la culture

Effet de la date de collecte des données

L'effet de la date sur l'abondance des différentes catégories d'insectes est synthétisé dans le Tableau 9. Pour les auxiliaires, les syrphes et les pucerons, des différences significatives sont observées entre toutes les dates, donc les analyses qui suivent sont réalisées par date. La différence entre le nombre de momies de pucerons observées est significative seulement entre les dates du 4 et du 25 juin, cependant les trois dates sont également distinguées pour l'analyse.

Tableau 9 : Synthèse de l'effet du facteur « date » pour les différentes catégories d'insectes utilisées pour la suite de l'analyse.

Catégorie d'insectes	Test de Kruskal-Wallis
Auxiliaires des pucerons	p-valeur = $1,682.10^{-13}$
Syrphes aphidiphages	p-valeur = $5,86.10^{-6}$
Momies de pucerons	p-valeur = 0,00661
Pucerons	p-valeur = $2,29.10^{-10}$

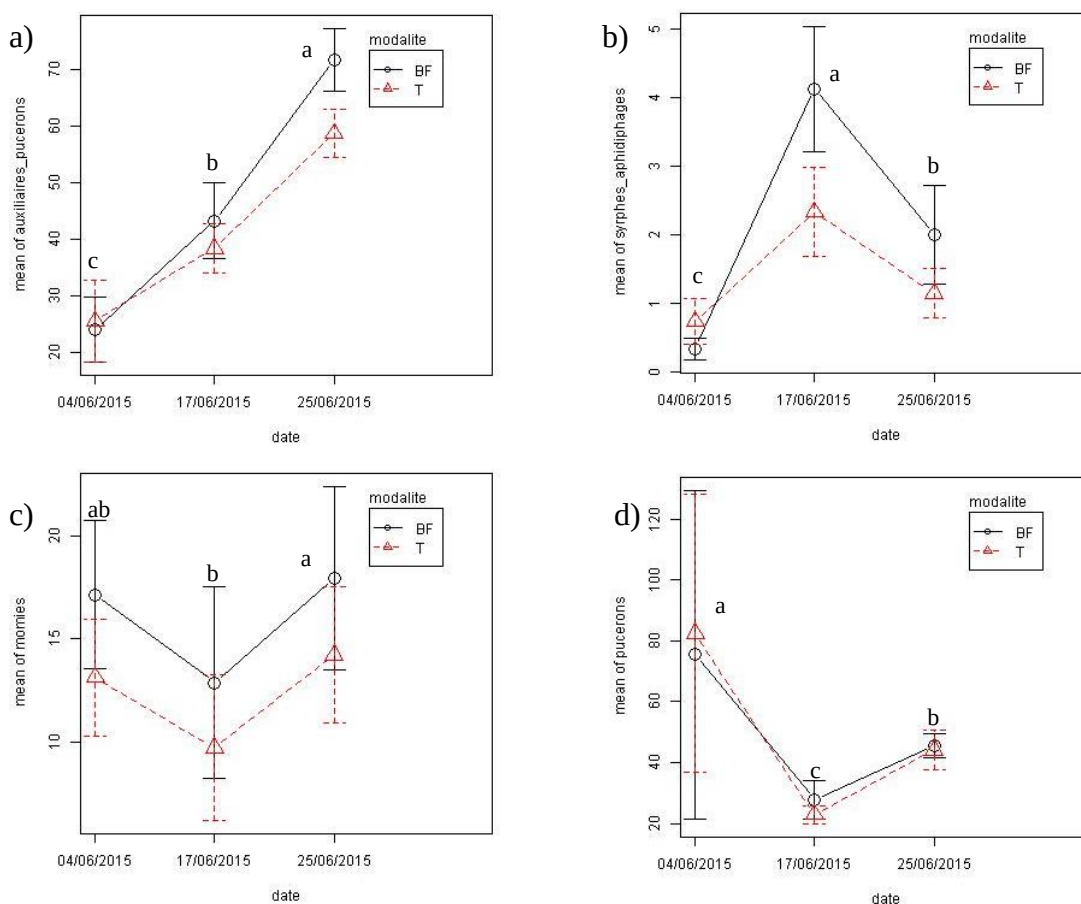


Figure 21 : Evolution de l'abondance des différentes catégories d'insectes dans la culture en fonction du temps et du traitement Bande fleurie (BF) ou Bande enherbée (T) : a) auxiliaires des pucerons, b) syrphes aphidiphages, c) momies de pucerons, d) pucerons (les lettres au-dessus des points correspondent aux groupes formés par les tests de comparaisons multiples sur les dates).

Le suivi de l'abondance des différentes catégories d'insectes dans le temps montre que ces insectes ne suivent pas la même dynamique (Figure 21). Si une augmentation significative du nombre d'auxiliaires est notée, le nombre de syrphes aphidiphages augmente le 17 juin puis diminue tandis que les populations de pucerons et le nombre de momies diminue le 17 juin puis augmente.

Effet du type d'aménagement en bord de parcelle sur l'entomofaune de la culture

Le choix des tests ainsi que les résultats des analyses de l'effet du traitement et de l'effet de la distance sont détaillés en Annexe II.

Les auxiliaires des pucerons

L'analyse par date révèle qu'il existe des différences significatives entre les abondances des auxiliaires à différentes distances (Tableau 10). Les tests de comparaisons multiples montrent davantage d'auxiliaires dans les premiers mètres de la culture, à proximité des bandes, et la tendance générale va dans le sens d'une diminution du nombre d'auxiliaires avec l'augmentation de la distance à l'aménagement (Figure 22). L'ANOVA sur les données de la troisième date montre qu'il existe également un effet de la bande fleurie sur les auxiliaires, avec en moyenne 72 auxiliaires du côté bande fleurie contre 59 côté bande enherbée (Figure 21d).

Les analyses utilisant les GLM donnent des résultats un peu différents : davantage de facteurs expliqueraient l'abondance des captures d'auxiliaires des pucerons mais les modèles retenus présentent une sur-dispersion des données, les rendant peu fiables (Annexe III).

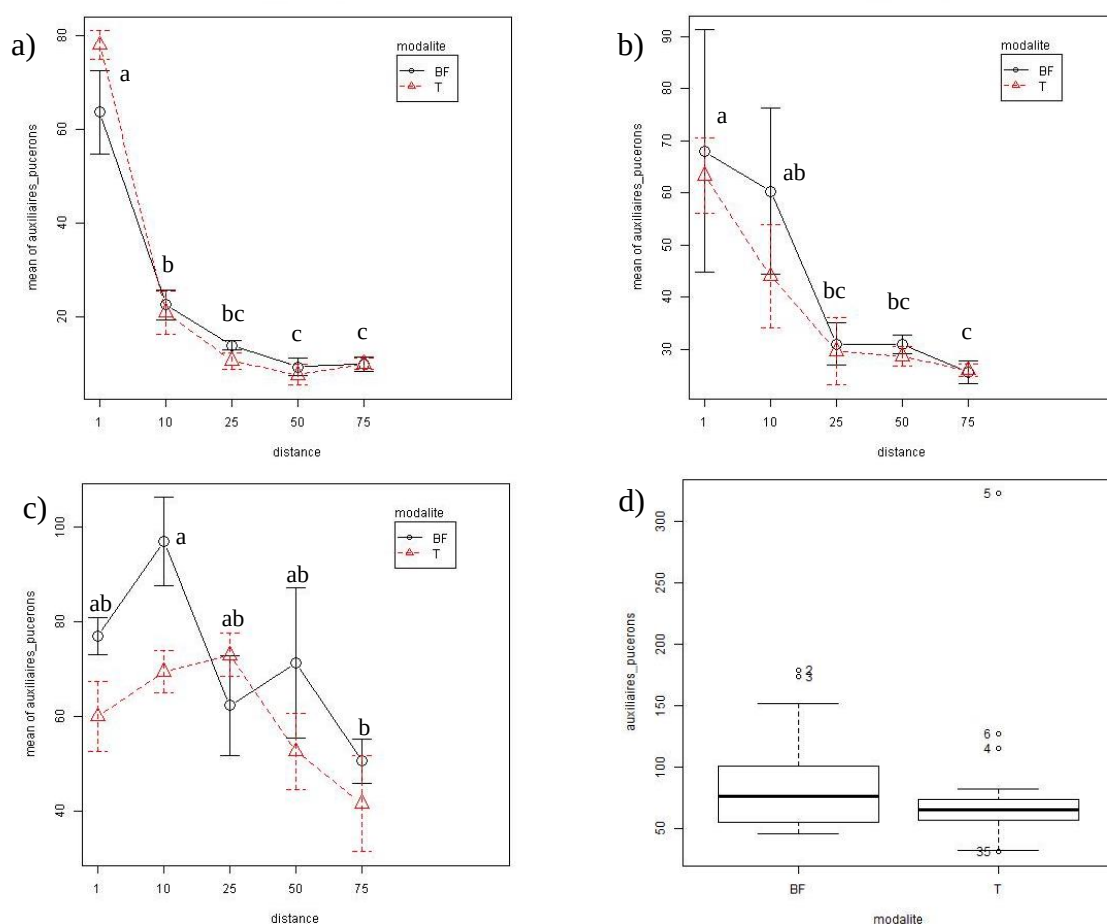


Figure 22 : Evolution de l'abondance des auxiliaires des pucerons dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015 (les lettres au-dessus des points correspondent aux groupes formés par les tests de comparaisons multiples sur les distances) ; la figure d est une boîte à moustaches de l'abondance des auxiliaires le 25/06/2015 en fonction du traitement.

Tableau 10 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur l'abondance des auxiliaires dans la culture.

Date	Tests statistiques	Facteurs à effet	p-valeur
04/06	ANOVA (Distance*Traitement)	Distance	4,83.10 ⁻¹³
17/06	Kruskal-Wallis (Distance) Wilcoxon-Mann-Whitney (Traitement)	Distance	0,0199
25/06	ANOVA (Distance*Traitement)	Traitement	0,0329
		Distance	0,0093

Les syrphes aphidiphages

Le facteur « distance » a un effet sur le nombre de syrphes capturés dans la culture le 4 juin et le 17 juin mais les résultats ne montrent pas d'effet le 25 juin et ils ne montrent pas non plus de différences entre le nombre de syrphes côté bande fleurie et côté bande enherbée (Tableau 11). Pour la date 2, un peu plus de syrphes sont comptés dans la culture avec bande fleurie mais la différence n'est pas significative (p-valeur = 0,085). Les effets de la distance sont semblables à ceux observés pour les auxiliaires : il y a généralement plus de syrphes à proximité des bandes (Figure 22b).

Les modèles retenus pour l'analyse avec les GLM donnent des résultats un peu différents : aucun effet des facteurs à la première date mais des effets aux deux autres dates. Les données étant légèrement sur-dispersées, ces résultats doivent être pris avec précautions (Annexe III).

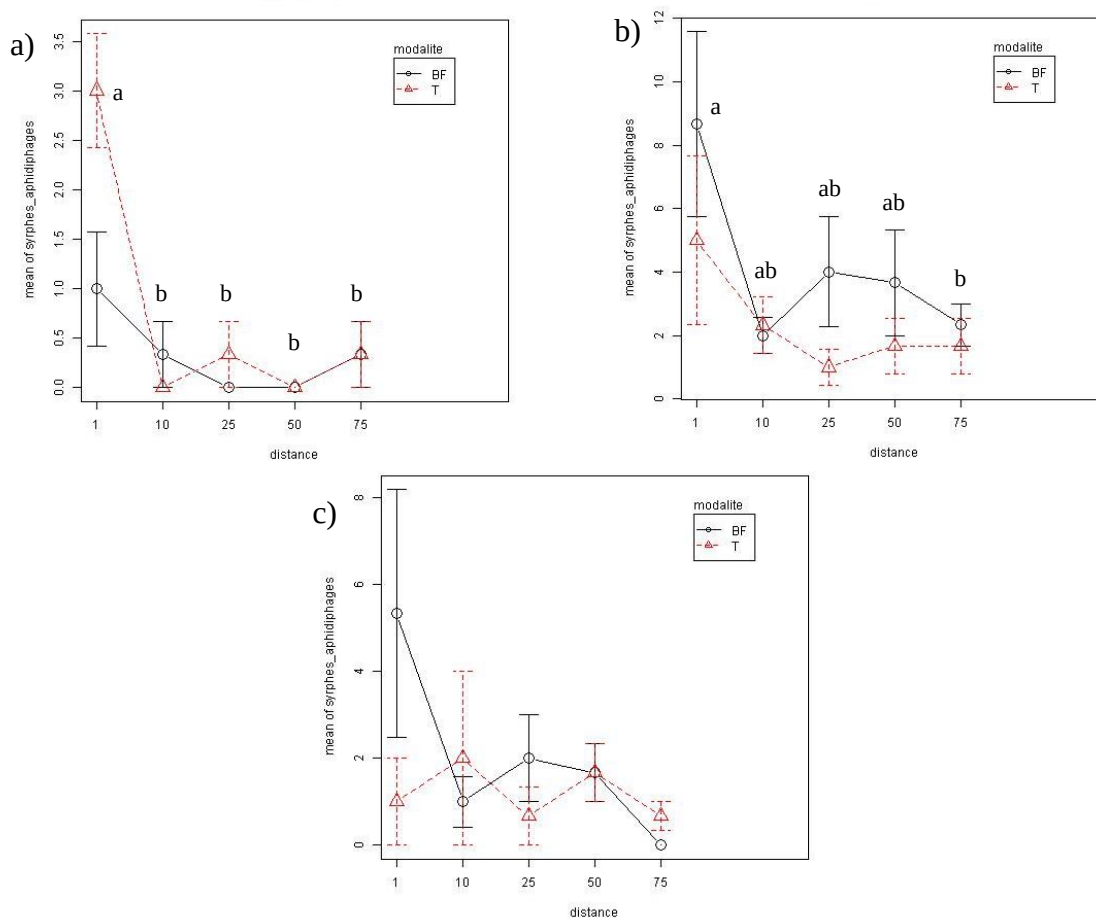


Figure 23 : Evolution de l'abondance des syrphes aphidiphages dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015 (les lettres au-dessus des points correspondent aux groupes formés par les tests de comparaisons multiples sur les distances).

Tableau 11 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur l'abondance des syrphes aphidipages dans la culture.

Date	Tests statistiques	Facteurs à effet	p-valeur
04/06	Kruskal-Wallis (distance)	Distance	0,072
	Wilcoxon-Mann-Whitney (Traitement)		
17/06	ANOVA (Distance*Traitement)	Distance	0,03
25/06	Kruskal-Wallis (distance)	/	/
	Wilcoxon-Mann-Whitney (Traitement)		

Les pucerons

Les tests ne suggèrent pas d'effet de la bande fleurie sur l'abondance des pucerons dans la culture. En revanche, il existe un effet de la distance à l'aménagement pour la première et la deuxième date. Pour la troisième date, la p-valeur est faible mais au-dessus du seuil donc la différence n'est pas significative (Tableau 12). La Figure 24 montre une évolution de la répartition des pucerons dans la culture. Lors des deux premières collectes, davantage de pucerons sont comptés à proximité des bandes. Le 25 juin, leur répartition est plus homogène : la différence d'abondance entre les dates n'est pas significative.

Les GLM donnent encore des résultats différents, avec davantage de facteurs à effet significatif mais les données sont une fois de plus sur-dispersées (Annexe III).

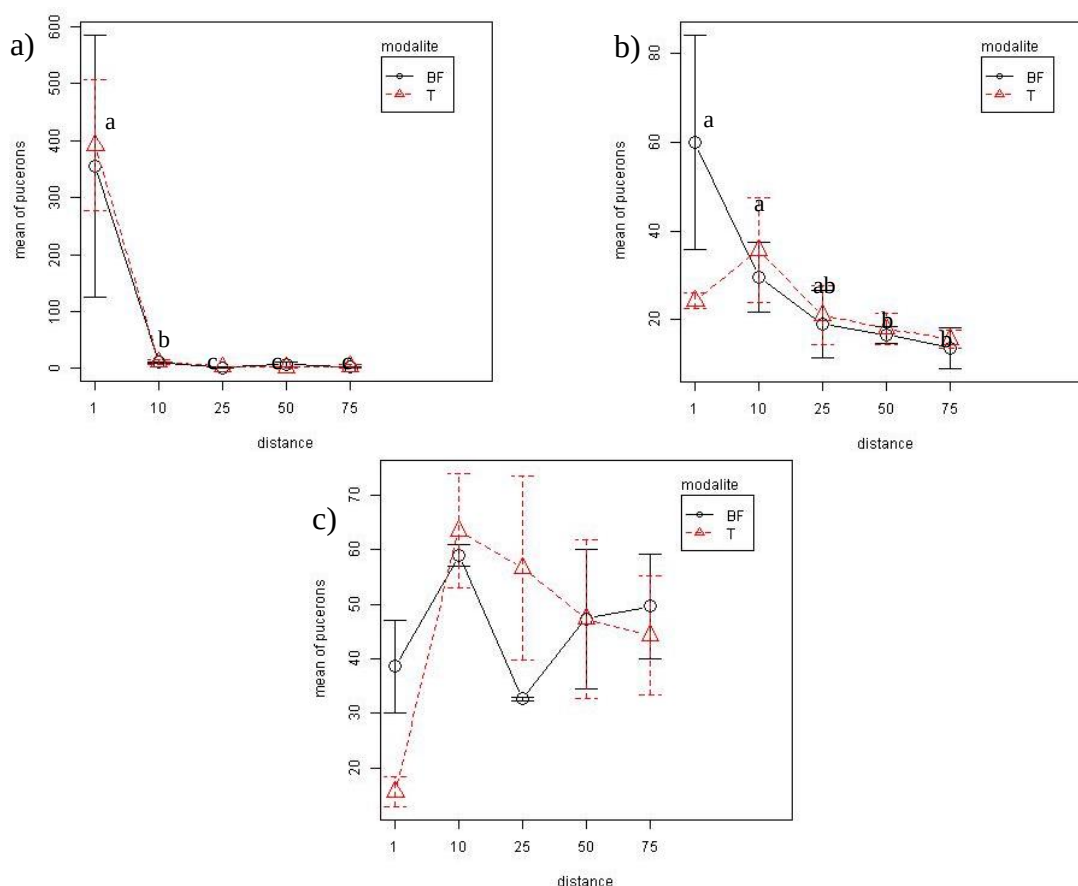


Figure 24 : Evolution de l'abondance des pucerons dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015 (les lettres au-dessus des points correspondent aux groupes formés par les tests de comparaisons multiples sur les distances).

Tableau 12 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur l'abondance des pucerons dans la culture.

Date	Tests statistiques	Facteurs à effet	p-valeur
04/06	Kruskal-Wallis (distance)	Distance	3,27.10 ⁻⁴
	Wilcoxon-Mann-Whitney (Traitement)		
17/06	Kruskal-Wallis (distance)	Distance	0,024
	Wilcoxon-Mann-Whitney (Traitement)		
25/06	ANOVA (Distance*Traitement)	/	/

Les momies de pucerons

Les tests montrent une différence significative de la distance à l'aménagement pour toutes les dates mais pas d'effet de la bande fleurie sur le nombre de momies comptées dans la culture (Tableau 13). Le nombre de momies dans la culture suit à peu près toujours la même répartition spatiale, avec un gradient d'abondance qui diminue avec la distance (Figure 25). Des momies sont retrouvées jusqu'à 75 m des bords de parcelle.

Les GLM donnent encore des résultats différents, avec davantage de facteurs à effet significatif mais les données sont une fois de plus sur-dispersées (Annexe III).

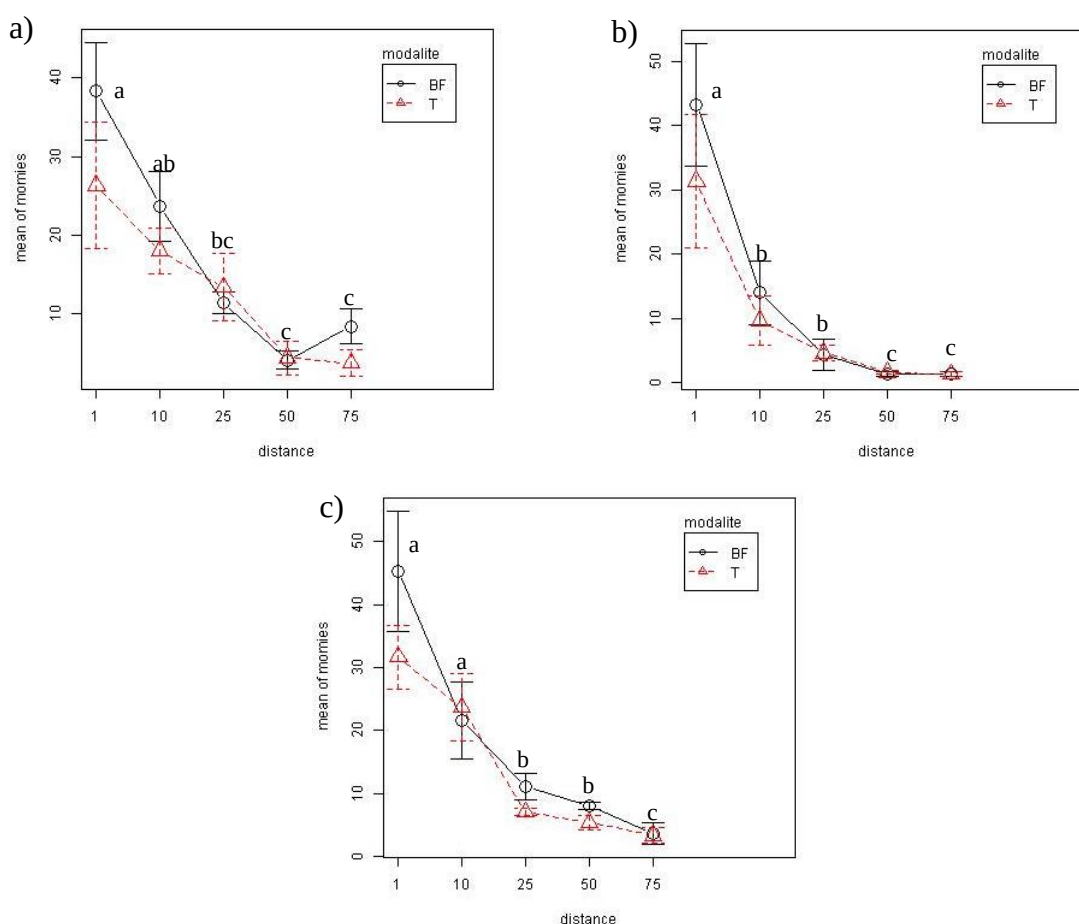


Figure 25 : Evolution du nombre de momies de pucerons dans la culture en fonction du type de bande (BF pour bande fleurie, T pour bande enherbée) et de la distance à cet aménagement aux dates suivantes : a) 04/06/2015, b) 17/06/2015 et c) 25/06/2015 (les lettres au-dessus des points correspondent aux groupes formés par les tests de comparaisons multiples sur les distances).

Tableau 13 : Synthèse des résultats de l'analyse par date des facteurs « traitement » et « distance » sur le nombre de momies de pucerons comptées dans la culture.

Date	Tests statistiques	Facteurs à effet	p-valeur
04/06	ANOVA (Distance*Traitement)	Distance	$4,52.10^{-6}$
17/06	Kruskal-Wallis (distance) Wilcoxon-Mann-Whitney (Traitement)	Distance	$1,48.10^{-4}$
25/06	Kruskal-Wallis (distance) Wilcoxon-Mann-Whitney (Traitement)	Distance	$7,9.10^{-5}$

4.4.3 Effet sur la production

Nombre de gousses estimé

Pour mesurer l'effet de la présence de la bande fleurie sur la production de gousses, une ANOVA à deux facteurs avec interaction (facteurs traitement et distance) est réalisée sur le nombre de gousses estimé (test de Shapiro-Wilk sur les résidus, p-valeur = 0.826 ; et homoscedasticité vérifiée graphiquement).

Les résultats ne montrent pas d'effets des facteurs ni de leur interaction, même si la p-valeur attribuée au facteur distance est proche du seuil (Tableau 14). Le test de Tukey des comparaisons multiples place toutes les distances dans un même groupe. Graphiquement, le nombre de gousses à 25 m se démarque (Figure 26) et le test LSD (Least Square Difference) le confirme (Tableau 15) mais ce test est moins conservateur.

Tableau 14 : Table d'ANOVA à deux facteurs avec interaction (Traitement et Distance) sur les données de rendement.

Facteur	p-valeur
Traitement	0.926
Distance	0.0588
Traitement:Distance	0.976

Tableau 15 : Résultats du test LSD sur le nombre de gousses estimé en fonction des distances à l'aménagement de bordure de parcelle.

Distance	Moyenne	SE	Groupe
25	1432.33	50,84	a
75	1290.83	34,59	a b
10	1246.67	58,04	b
50	1221	25,18	b
1	1203.83	70,01	b

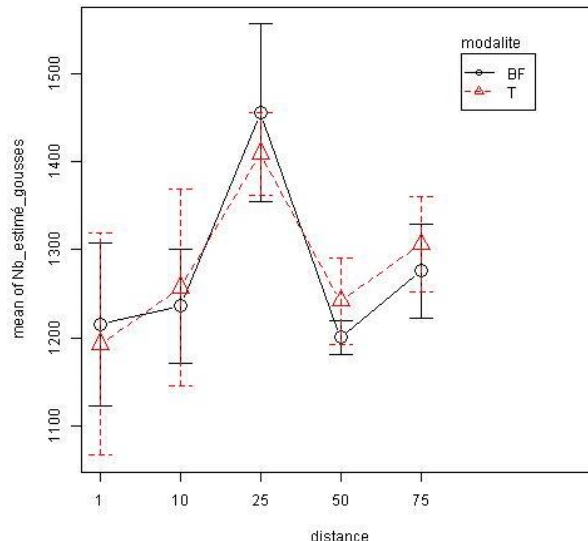


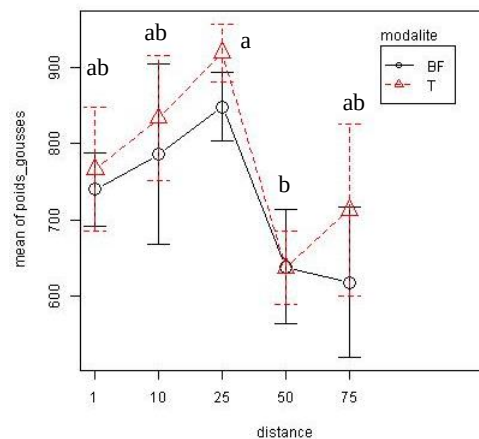
Figure 26 : Nombre de gousses estimé en fonction du type d'aménagement en bordure de la culture et de la distance à cet aménagement.

Poids des gousses par m²

Une ANOVA à deux facteurs avec interaction (facteurs traitement et distance) est également réalisée sur les données de poids. Les résultats montrent un effet de la distance (p-valeur = 0,0337) mais pas d'effet du traitement (p-valeur = 0,357) ni de l'interaction des deux

facteurs (p-valeur = 0,978). Le test des comparaisons multiples donnent un poids des gousses à 25 m supérieur aux autres distances et un moins bon à 50 m (Figure 27).

Figure 27 : Evolution du poids des gousses par m² en fonction de la distance de récolte et du traitement (les lettres au-dessus des points correspondent aux groupes formés par les tests de comparaisons multiples sur les distances).



5 Discussion

Méthodes de collectes des données

Les résultats montrent que les méthodes d'observation des insectes donnent souvent des abondances différentes en fonction des insectes étudiés. Le choix des différentes méthodes de collectes des données entomologiques a été déterminé suivant les insectes ciblés par l'essai et par la taille du dispositif. En effet, les pièges cornet et les tentes malaises ont une portée trop grande par rapport à la taille de l'essai (150 m nécessaires entre deux pièges, Annexe IV). Des méthodes plus précises ont donc été utilisées : le filet fauchoir, des observations visuelles et des pièges jaunes englués. Les pièges jaunes présentent l'inconvénient par leur couleur d'être attractif, donnant seulement des informations qualitatives (absence/présence), mais ils ont l'avantage d'être facile et rapide à mettre en place et relever. Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre le nombre de syrphes capturés au filet et le nombre observé. Cela montre que l'observation, non destructrice, est une méthode bien adaptée à ce type d'insectes. En revanche, elle ne convient pas à l'observation des auxiliaires de façon générale. La majorité des auxiliaires capturés étaient des parasitoïdes, et il est difficile de les voir, encore plus de les identifier, sur le terrain.

Intérêt de la bande fleurie à l'échelle de l'aménagement

En bordure de parcelle, les résultats ne montrent pas de différence d'abondance d'auxiliaires entre les deux types d'aménagements. Les résultats montrent d'ailleurs des abondances faibles (Figure 20a). Il est possible que les pollinisateurs de la super-famille des Apoidea (abeilles, bourdons), plus nombreux (Annexe V) soit entrés en compétition avec les syrphes pour les ressources florales. Ces ressources étaient assez faibles (20 % de floraison) et surtout constituées de fleurs précoces telle que la phacélie. Hogg et al. (2011) ont observé ce phénomène sur plusieurs fleurs et la phacélie en fait partie.

En revanche, pour les deux dernières dates de collectes, davantage de syrphes ont été observés dans les bandes fleuries. Il est fortement possible que cela soit lié à la floraison de la bande fleurie, supérieure à 60 % les 17 et 25 juin tandis que seulement 20 % de floraison a été noté le 4 juin. Ce résultat correspond aux conclusions de l'étude menée par Sutherland et al. (2001), sur l'impact de patch de fleurs sur l'abondance des syrphes. Les chercheurs ont conclu que plus le patch comportait de fleurs, plus de syrphes étaient observés.

Intérêt de la bande fleurie pour la régulation des pucerons dans la culture

Dans la culture, les résultats varient aussi en fonction de la date. Cela peut s'expliquer par le pourcentage de floraison de la bande fleurie mais d'autres facteurs entrent certainement en compte puisque les résultats ne montrent presque pas de différences significatives d'abondance en fonction du type d'aménagement en bordure. Néanmoins, de plus en plus d'auxiliaires sont comptés à chaque notation (Figure 21a). Lors de la dernière notation, la floraison de la bande fleurie a atteint 75 % et une différence significative d'abondance a cette fois été observée entre les deux aménagements. Il est intéressant de mettre en parallèle l'évolution des populations de syrphes et celles des pucerons. Les populations de syrphes ont augmenté puis diminué, au contraire des populations de pucerons qui ont diminué puis augmenté. Ce décalage peut s'expliquer par une régulation de type « bottom-up » des syrphes dont le développement larvaire dure de 10 à 15 jours. Les larves de syrphes étant des prédateurs spécialistes, la diminution des populations de pucerons dont ils dépendent va créer une compétition pour les ressources qui peut amener à une diminution des populations de syrphes. Les populations de pucerons et le nombre de momies suivent globalement la même dynamique.

Les parasitoïdes étant des auxiliaires spécialistes, leur activité et donc le nombre de momies est directement influencé par le nombre de pucerons.

Aucun effet de la présence de la bande fleurie sur les populations d'insectes n'a pu être mis en évidence, à part pour les auxiliaires lors de la troisième notation. La bibliographie a montré que la présence d'une bande fleurie ne donne pas toujours les effets escomptés (Woltz et al., 2012).

Cependant, des effets de la distance à l'aménagement fleuri ou enherbé ont été observés dans la culture. Pour les différentes catégories d'insectes, leur abondance diminue généralement avec la distance. Les résultats obtenus pour l'abondance des pucerons dans la culture sont à observer avec soin. Quelques jours avant la première date de relevé, l'agriculteur a pulvérisé un traitement aphicide sur la culture, sauf dans le premier mètre de la culture. Cela explique l'allure de la Figure 24a. C'est donc une dynamique de recolonisation que l'on observe (Figure 24). Concernant les observations de momies dans la parcelle, les résultats indiquent que des momies sont retrouvées jusqu'à 75 m dans la culture. Bien qu'on n'en retrouve qu'un faible nombre (Figure 25), cela montre que les parasitoïdes sont capables d'aller loin dans la culture. Cela contredit les résultats obtenus par Tylianakis et al. (2004), montrant que, dans un champ de blé, le taux de parasitisme décline de façon exponentielle en s'éloignant de la bande fleurie, jusqu'à atteindre 0 à 14 m. De façon générale, les autres études ne s'intéressaient pas à d'aussi grandes distances (Lavandero et al., 2005 ; Skirvin et al., 2011).

Production de pois

L'évaluation de la production des pois a mobilisé d'importantes ressources. La récolte n'a pas pu être mécanisée et le tri des gousses a dû être fait manuellement. Etape chronophage, la séparation des gousses et des plantes a été réalisée sur plusieurs jours. Les gousses ont progressivement séché mais pas toutes à la même vitesse. Il faut donc prendre du recul par rapport aux résultats comparant le poids des gousses. Il n'a pas été possible de conserver des lots homogènes en termes de degré d'humidité. Il est possible qu'une différence de poids existe en fonction du traitement mais qu'elle n'ait pas pu être mise en évidence du fait de ce problème technique.

L'autre moyen de mesurer la production sans la contrainte du temps est de comparer le nombre de gousses mais ce résultat n'est pas comparable avec des données de rendement. Cette méthode suppose plusieurs hypothèses dont certaines qui n'étaient pas vérifiées, notamment que les gousses contiennent en moyenne un même nombre de grains. Ces résultats doivent donc aussi être traités avec soin.

D'autre part, les pucerons induisent des pertes de rendement lorsqu'une explosion démographique a lieu et qu'elle n'est pas maîtrisée. Le producteur ayant des objectifs de production, il a pulvérisé un aphicide lorsque les pucerons ont commencé à devenir une menace. Il n'est donc pas étonnant de ne pas trouver d'effet de la présence de la bande fleurie.

Détermination des insectes et catégories choisies

La détermination des insectes n'a pas toujours pu se faire jusqu'à l'espèce. D'une part, ce n'était pas la volonté de l'entreprise et d'autre part certains insectes n'étaient pas aisément identifiables. Ce choix a influencé les catégories d'insectes utilisées pour les analyses. Les syrphes à larve aphidiphage forment une catégorie pertinente car ils sont facilement identifiables jusqu'au genre voire jusqu'à l'espèce, leurs larves sont assez efficaces contre les pucerons et ce sont des auxiliaires présents en abondance (Kopta et al., 2012). La catégorie des pucerons mélange plusieurs espèces du fait des difficultés à identifier les individus et du temps que cela aurait nécessité. Ainsi, dans la culture, ce sont quasiment à chaque fois uniquement

des pucerons verts qui ont été retrouvés mais ce n'est pas le cas dans les bandes. D'autres espèces de pucerons étaient aussi présentes, pouvant potentiellement devenir une source de pucerons pour la culture (notamment *Aphis fabae*, qui a de très nombreuses plantes hôtes [7]). Enfin, la détermination n'a pas été faite jusqu'à l'espèce pour les hyménoptères parasitoïdes. Certains individus ont été déterminés, notamment des *Aphidius* sp. mais aussi *Diglyphus isaea*, hyménoptère parasitoïde de larve de mouche mineuse. Ces individus ont été comptés en tant qu'auxiliaires bien qu'ils ne soient pas spécifiques des pucerons. Il est également possible que des auxiliaires n'aient pas été comptés comme tels, notamment des punaises prédatrices et des diptères.

Conditions de l'essai

Les conditions d'essai n'ont pas été optimales sur plusieurs autres points.

La bande enherbée, initialement mélange de fétuque et trèfle blanc, a subi un salissement important, transformant cette bande en enherbement spontané. De nombreuses espèces présentes ont pu être dénombrées : du chenopode, de la lampsane commune, de la véronique, des matricaires, du gallium, du sénécion commun ainsi que du laitron des champs. Parmi ces espèces, certaines sont intéressantes pour les auxiliaires, telle que la matricaire, rendant cette bande enherbée plus attractive que prévu.

Les résultats observés doivent être mis en lien avec le suivi floristique. La culture de pois étant précoce, avec des problématiques de pucerons à partir de fin mai, il aurait fallu que la bande fleurie soit en fleur à ce moment pour couvrir la période de sensibilité du pois au puceron. Le potentiel de « protection » de la bande fleurie est apparu tardivement pour la culture, avec une floraison atteignant 75 % à la récolte. Or, c'est lors du dernier relevé que davantage d'auxiliaires ont été observés dans la culture avec l'aménagement fleuri en bordure. Il serait donc intéressant d'avancer la date de semis à l'automne pour avancer la date de floraison pour le printemps suivant.

Analyse statistique

Les résultats diffèrent entre les deux méthodes d'analyses. On observe moins souvent un effet distance avec les GLM, mais plus souvent un effet du traitement (bande fleurie, bande enherbée) et un effet de la répétition alors que les tests non paramétriques n'avaient pas mis en évidence de différences. Les résultats des GLM ne donnent pas d'analyses comparatives et les meilleurs modèles sont parfois difficiles à interpréter. De plus, les modèles ne sont pas toujours validés du fait d'une valeur de l'AIC élevée et de la sur-dispersion des données.

Perspectives

Il serait intéressant d'avoir davantage de données pour pouvoir faire des analyses statistiques plus robustes, et de refaire l'étude avec un semis en automne pour que le moment de la floraison de la bande fleurie, vers la fin du mois d'avril, coïncide mieux avec la période de sensibilité du pois.

Conclusion

L'objectif de cet essai était d'évaluer, dans le cadre de la lutte biologique par conservation, l'impact de l'implantation d'une bande fleurie en bordure de parcelle sur les insectes et sur la production de pois par rapport à la présence d'une bande enherbée. Plusieurs questions découlent de cette problématique : quel est l'effet du type d'aménagement sur les populations d'insectes à l'échelle des bandes aménagées ? Cet aménagement a-t-il un effet sur les populations d'auxiliaires et de ravageurs dans la culture et existe-t-il un effet de la distance à l'aménagement ? Et quel effet existe-t-il sur la production des plantes ?

Les hypothèses posées sont presque toutes infirmées : les analyses n'ont pas mis en évidence de différence significative entre les populations de pucerons et le nombre de momies dans la culture en fonction du type d'aménagement en bordure. Pour les syrphes aphidiphages et les auxiliaires des pucerons, ces résultats dépendent de la date de relevé. Dans les aménagements, davantage de syrphes ont été dénombrés du côté de la bande fleurie lors des deux derniers relevés, lorsque la floraison de la bande était plus avancée. De même, les tests montrent significativement plus d'auxiliaires dans la culture avec l'aménagement fleuri en bordure, mais uniquement lors du dernier relevé. Ces résultats sont encourageants dans la mesure où la floraison de la bande fleurie n'était pas à son maximum. Un effet de la distance existe : une décroissance de l'abondance des insectes avec l'éloignement à l'aménagement a été observée. Des momies ont notamment été trouvées dans la culture jusqu'à 75 m dans la parcelle, montrant que les parasitoïdes sont capables de parasiter loin dans la culture. Concernant la production en gousses des plantes, elle n'a pas été affectée par le type d'aménagement en bordure.

L'estimation de la production a causé quelques difficultés, du fait des opérations manuelles chronophages. Les gousses ont séché de façon variable et cela a donc rendu l'analyse des poids complexe. Une des limites de l'étude est le retard de floraison de la bande fleurie par rapport à la culture. Ce retard explique peut-être le fait que très peu de tests aient montré un effet de l'aménagement fleuri. Les résultats concernant les auxiliaires de pucerons doivent aussi être nuancés du fait de la détermination peu poussée.

Les résultats de l'essai amènent à se demander si la différence observée sur les abondances d'auxiliaires et de syrphes en fonction de l'aménagement serait plus importante avec une floraison avancée de la bande fleurie. Il serait intéressant de renouveler l'essai en semant les bandes fleuries à l'automne pour avoir une floraison qui couvre la période de sensibilité du pois au puceron.

Références bibliographiques et sitographiques

Bibliographie

- Amiri-Jami, A. R., & Sadeghi-Namaghi, H. (2014). Responses of *Episyrphus balteatus* DeGeer (Diptera: Syrphidae) in relation to prey density and predator size. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(3), 207-211.
- Araj, S. E., Wratten, S., Lister, A., & Buckley, H. (2009). Adding floral nectar resources to improve biological control: Potential pitfalls of the fourth trophic level. *Basic and Applied Ecology*, 10(6), 554-562.
- Arvalis-Institut du Végétal (2011). Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialités des habitats. Restitution du programme CASDAR, Paris, 17 novembre 2011. 70 p.
- Baggen, L. R., & Gurr, G. M. (1998). The influence of food on *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera: Encyrtidae), and the use of flowering plants as a habitat management tool to enhance biological control of potato moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Biological control: theory and applications in pest management (USA)*.
- Baggen, L. R., Gurr, G. M., & Meats, A. (1999). Flowers in tri-trophic systems: mechanisms allowing selective exploitation by insect natural enemies for conservation biological control. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 91(1), 155-161.
- Balmer, O., Pfiffner, L., Schied, J., Willareth, M., Leimgruber, A., Luka, H., & Traugott, M. (2013). Noncrop flowering plants restore top-down herbivore control in agricultural fields. *Ecology and evolution*, 3(8), 2634-2646.
- Brennan, E. B. (2013). Agronomic aspects of strip intercropping lettuce with alyssum for biological control of aphids. *Biological Control*, 65(3), 302-311.
- Brewer, M. J., & Elliott, N. C. (2004). Biological control of cereal aphids in North America and mediating effects of host plant and habitat manipulations. *Annu. Rev. Entomol*, 49, 219-42.
- Carvell, C., Meek, W. R., Pywell, R. F., Goulson, D., & Nowakowski, M. (2007). Comparing the efficacy of agri-environment schemes to enhance bumble bee abundance and diversity on arable field margins. *Journal of Applied Ecology*, 44(1), 29-40.
- Colley, M. R., & Luna, J. M. (2000). Relative attractiveness of potential beneficial insectary plants to aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environmental Entomology*, 29(5), 1054-1059.
- Colloque de restitution du projet CASDAR «les entomophages en grandes cultures: diversité, service-rendu et potentialités des habitats». Novembre 2011.
- Denys, C., & Tscharrntke, T. (2002). Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows. *Oecologia*, 130(2), 315-324.
- Fiedler, A. K., Landis, D. A., & Wratten, S. D. (2008). Maximizing ecosystem services from conservation biological control: the role of habitat management. *Biological control*, 45(2), 254-271.
- FranceAgriMer(a). Les filières des fruits et légumes, données 2014. (2015) 94p.
- FranceAgriMer(b). Marché des oléo-protéagineux, statistiques de mai 2015. (2015) 120p. 29

- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological economics*, 68(3), 810-821.
- Gillespie, M., Wratten, S., Sedcole, R., & Colfer, R. (2011). Manipulating floral resources dispersion for hoverflies (Diptera: Syrphidae) in a California lettuce agro-ecosystem. *Biological Control*, 59(2), 215-220.
- Haaland, C., Naisbit, R. E., & Bersier, L. F. (2011). Sown wildflower strips for insect conservation: a review. *Insect Conservation and Diversity*, 4(1), 60-80.
- Haenke, S., Scheid, B., Schaefer, M., Tschardt, T., & Thies, C. (2009). Increasing syrphid fly diversity and density in sown flower strips within simple vs. complex landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 46(5), 1106-1114.
- Hogg, B. N., Bugg, R. L., & Daane, K. M. (2011). Attractiveness of common insectary and harvestable floral resources to beneficial insects. *Biological Control*, 56(1), 76-84.
- Hullé M., Turpeau-Ait Ighil E., Robert Y. & Monnet Y., 1999 : *Les pucerons des plantes maraîchères, cycles biologiques et activités de vol*. ACTA et Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) éditions, Paris, 351p.
- Irvin, N. A., Wratten, S. D., Frampton, C. M., Bowie, M. H., Evans, A. M., & Moar, N. T. (1999). The phenology and pollen feeding of three hover fly (Diptera: Syrphidae) species in Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Zoology*, 26(2), 105-115.
- Jonsson, M., Wratten, S. D., Landis, D. A., & Gurr, G. M. (2008). Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. *Biological control*, 45(2), 172-175.
- Jonsson, M., Wratten, S. D., Robinson, K. A., & Sam, S. A. (2009). The impact of floral resources and omnivory on a four trophic level food web. *Bulletin of entomological research*, 99(03), 275-285.
- Kopta, T., Pokluda, R., & Psota, V. (2012). Attractiveness of flowering plants for natural enemies. *Hort. Sci.(Prague)*, 39, 89-96.
- Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual review of entomology*, 45(1), 175-201.
- Laubertie, E. A., Wratten, S. D., & Hemptinne, J. L. (2012). The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness. *Biological Control*, 61(1), 1-6.
- Lavandero, B., Wratten, S., Shishehbor, P., & Worner, S. (2005). Enhancing the effectiveness of the parasitoid *Diadegma semiclausum* (Helen): movement after use of nectar in the field. *Biological control*, 34(2), 152-158.
- MacLeod, A. (1999). Attraction and retention of *Episyrphus balteatus* DeGeer (Diptera: Syrphidae) at an arable field margin with rich and poor floral resources. *Agriculture, ecosystems & environment*, 73(3), 237-244.
- Moonen, A. C., & Marshall, E. J. P. (2001). The influence of sown margin strips, management and boundary structure on herbaceous field margin vegetation in two neighbouring farms in southern England. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 86, 187-202.
- Morandin, L. A., Winston, M. L., Franklin, M. T., & Abbott, V. A. (2005). Lethal and sub-lethal effects of spinosad on bumble bees (*Bombus impatiens* Cresson). *Pest management science*, 61(7), 619-626.

- Obermaier, E., Heisswolf, A., Poethke, H. J., Randlkofer, B., & Meiners, T. (2008). Plant architecture and vegetation structure: two ways for insect herbivores to escape parasitism. *European Journal of Entomology*, 105(2), 233.
- Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun, R., Bout, A., Boll, R., & Poncet, C. (2012). Secondary plants used in biological control: a review. *International Journal of Pest Management*, 58(2), 91-100.
- Pfiffner, L., Merkelbach, L., & Luka, H. (2003). Do sown wildflower strips enhance the parasitism of lepidopteran pests in cabbage crops?. *International Organisation for Biological and Integrated Control of Noxious Animals and Plants/West Palaearctic Regional Section Bulletin*, 26(4), 111-116.
- Pfiffner, L., & Wyss, E. (2004). Use of sown wildflower strips to enhance natural enemies of agricultural pests. *Ecological engineering for pest management: advances in habitat manipulation for arthropods*, Csiro Publishing, Australia, 165-186.
- Pfiffner, L., Luka, H., Schlatter, C., Juen, A., & Traugott, M. (2009). Impact of wildflower strips on biological control of cabbage lepidopterans. *Agriculture, ecosystems & environment*, 129(1), 310-314.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345-353.
- Pywell, R.F., Meek, W.M., Carvell, C., Hulmes, L. & Nowakowski, M. (2007) The Buzz project: biodiversity enhancement on arable land under the new agri-environment schemes. *Aspects of Applied Biology*, 81, 61–68.
- Rusch, A., Valantin-Morison, M., Sarthou, J. P., & Roger-Estrade, J. (2010). 6 Biological Control of Insect Pests in Agroecosystems: Effects of Crop Management, Farming Systems, and Seminatural Habitats at the Landscape Scale: A Review. *Advances in agronomy*, 109, 219.
- Rusch, A. & Sarthou J.P. (2013). Gestion agroécologique des ravageurs des cultures. *Biofutur*, 32/343, pp. 33-36.
- Sarthou, J. P., Ouin, A., Arrignon, F., Barreau, G., & Bouyjou, B. (2005). Landscape parameters explain the distribution and abundance of *Episyrphus balteatus*. *European Journal of Entomology*, 102(3), 539-545.
- Schmidt, M. H., Lauer, A., Purtauf, T., Thies, C., Schaefer, M., & Tschardt, T. (2003). Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270 (1527), 1905-1909.
- SERAIL 2015, *Aphidoletes aphidimyza*.
- Sigsgaard, L., Betzer, C., Naulin, C., Eilenberg, J., Enkegaard, A., & Kristensen, K. (2013). The effect of floral resources on parasitoid and host longevity: prospects for conservation biological control in strawberries. *Journal of insect science (Online)*, 13(104), 1-17.
- Skirvin, D. J., Kravar-Garde, L., Reynolds, K., Wright, C., & Mead, A. (2011). The effect of within-crop habitat manipulations on the conservation biological control of aphids in field-grown lettuce. *Bulletin of entomological research*, 101(6), 623-631.
- Snyder, W. E., & Ives, A. R. (2003). Interactions between specialist and generalist natural enemies: Parasitoids, predators, and pea aphid biocontrol. *Ecology*, 84(1), 91-107.

- Sutherland, J. P., Sullivan, M. S., & Poppy, G. M. (2001). Distribution and abundance of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae) in wildflower patches and field margin habitats. *Agricultural and forest Entomology*, 3(1), 57-64.
- Symondson, W. O. C., Sunderland, K. D., & Greenstone, M. H. (2002). Can generalist predators be effective biocontrol agents? 1. *Annual review of entomology*, 47(1), 561-594.
- Twardowski, J. P., Hurej, M., & Klukowski, Z. (2005). The effect of the strip-management on reduction of *Aphis fabae* (Homoptera: Aphididae) populations by predators on sugar beet crop. *Journal of Plant Protection Research*, 45(3), 213-219.
- Tylianakis, J. M., Didham, R. K., & Wratten, S. D. (2004). Improved fitness of aphid parasitoids receiving resource subsidies. *Ecology*, 85(3), 658-666.
- van Rijn, P. C., Kooijman, J., & Wäckers, F. L. (2013). The contribution of floral resources and honeydew to the performance of predatory hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Biological Control*, 67(1), 32-38.
- van Rijn, P. C., & Wäckers, F. L. (2010). The suitability of field margin flowers as food source for zoophagous hoverflies. In *Working group 'Landscape Management for Functional Biodiversity': Proceedings of the meeting at Cambridge (UK), 29 June-1 July, 2010*. IOBC/WPRS.
- Vattala, H. D., Wratten, S. D., Phillips, C. B., & Wäckers, F. L. (2006). The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent. *Biological Control*, 39(2), 179-185.
- Vollhardt, I. M., Bianchi, F. J., Wäckers, F. L., Thies, C., & Tscharntke, T. (2010). Spatial distribution of flower vs. honeydew resources in cereal fields may affect aphid parasitism. *Biological Control*, 53(2), 204-213.
- Wäckers, F. L., & van Rijn, P. C. (2012). Pick and mix: selecting flowering plants to meet the requirements of target biological control insects. *Biodiversity and Insect Pests: Key Issues for Sustainable Management*, 139-165.
- Woltz, J. M., Isaacs, R., & Landis, D. A. (2012). Landscape structure and habitat management differentially influence insect natural enemies in an agricultural landscape. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 152, 40-49.
- Wratten, S. D., Gillespie, M., Decourtye, A., Mader, E., & Desneux, N. (2012). Pollinator habitat enhancement: benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 159, 112-122.

Sitographie

- [1] Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2015). Ecophyto : Les nouvelles orientations du plan. <http://agriculture.gouv.fr/ministere/ecophyto-les-nouvelles-orientations-du-plan> (consulté le 14/06/2015)
- [2] Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (2015). Projet agro-écologique. <http://agriculture.gouv.fr/agriculture-et-foret/projet-agro-ecologique> (consulté le 30-07-2015)
- [3] E. Turpeau, M. Hullé, B. Chaubet, INRA (2015) *Acyrtosiphon pisum* (Harris, 1776). <https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Pucerons/Acyrtosiphon/A.-pisum> (consulté le 12/05/2015)

- [4] UNILET. Les ravageurs. <http://www.unilet.fr/cultures/pois/pois.php?page=Ravageurs> (consulté le 12/05/2015)
- [5] E. Turpeau, M. Hullé, B. Chaubet, INRA. (2013) Syrphidae. <https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Predateurs-insectes/Diptera-Syrphidae> (consulté le 13/05/2015)
- [6] Entomo remedium. (2010) Les Syrphes. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [7] Entomo remedium. (2010) Les Coccinelles. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [8] Entomo remedium. (2010) Micro-Guêpes Parasitoïdes de Pucerons. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [9] Entomo remedium. (2010) Les Chrysopes. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [10] Entomo remedium. (2010) Les Carabes <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [11] Entomo remedium. (2010) Les Cantharides. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [12] Entomo remedium. (2010) Les Staphylins. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [13] Entomo remedium. (2010) Les Araignées. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [14] S. Chamont, INRA. (2014) Les punaises prédatrices, e-phytia. <http://ephytia.inra.fr/fr/C/11528/hypp-Punaises-predatrices> (consulté le 14/05/2015)
- [15] Entomo remedium. (2010) Les Punaises. <http://draaf.aquitaine.agriculture.gouv.fr/Fiches-ravageurs-auxiliaires-des> (consulté le 10/03/2015)
- [16] E. Turpeau, M. Hullé, B. Chaubet, INRA. (2015) *Aphis fabae* Scopoli, 1763. <https://www6.inra.fr/encyclopedie-pucerons/Especes/Pucerons/Aphis/Aphis-fabae> (consulté le 12/05/2015)

Année universitaire : 2014 - 2015

Spécialité :

Horticulture

Spécialisation (et option éventuelle) :

Gestion Durable du Végétal en Horticulture
et aménagements Paysagers

Mémoire de Fin d'Études

- ☒ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Gestion agroécologique des pucerons sur culture de pois par l'implantation d'une bande fleurie en bordure de culture de pois

ANNEXES

Par : Leslie RENAUDEAU



Soutenu à Angers le 10/09/2015

Devant le jury composé de :

Président : Josiane Le Corff

Maître de stage : Vincent Roulois

Enseignant référent : Yann Tricault

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Bruno Jaloux (Enseignant chercheur, Agrocampus Ouest)

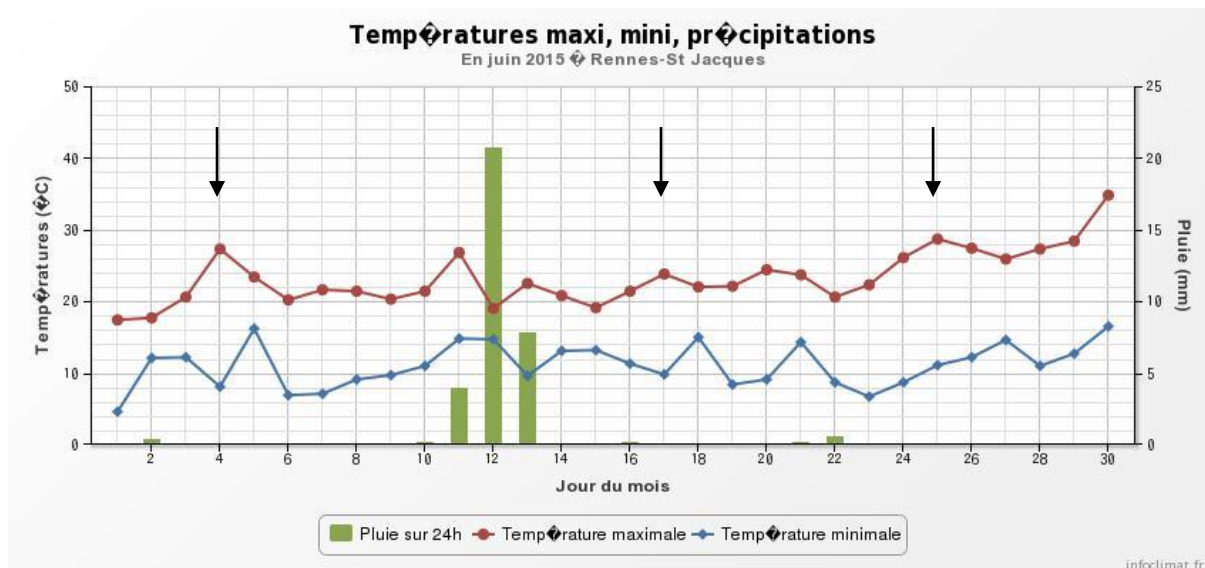
Anna Pollier (Doctorante, Agrocampus Ouest)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

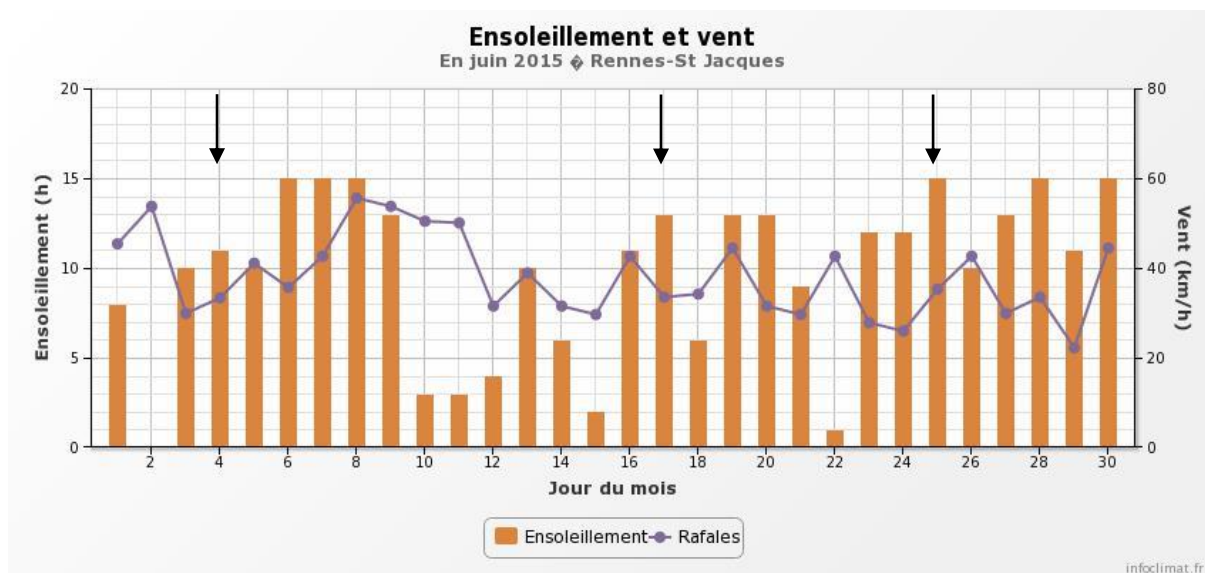
ANNEXE I – Conditions météorologiques lors du suivi entomologique

(source : <http://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/07130/juin/2015/rennes-st-jacques.html>)

Annexe I a : Températures et précipitations au cours du mois de juin 2015 à Rennes (les flèches indiquent les dates de relevés).



Annexe I b : Durées d'ensoleillement et vents en juin 2015 à Rennes (les flèches indiquent les dates de relevés).



ANNEXE II - Résultats détaillés des analyses statistiques de l'effet de la bande fleurie sur l'entomofaune dans la culture

Facteurs : Trt = Traitement ; Dist = Distance

- Auxiliaires des pucerons

Date	Tests	Facteur et p-valeur associée		Tests post-hoc		
				Modalité	Moyenne	Groupe
04/06	Anova	Trt	0,516	T BF	25,467 23,933	
		Dist	4,83.10 ⁻¹³ *	1 10 25 75 50	70,83 21,83 12,33 10 8,5	a b b c c c
		Trt:Dist	0,141			
17/06	Wilcoxon-Mann-Whitney	Trt	0,7398	BF T	43,2 38,33	
	Kruskal-Wallis	Dist	0,01988	1 10 25 75 50	22,67 10,92 13,58 12,33 8,	a a b b c b c c
25/06	Anova	Trt	0,0329 *	BF T	71,67 58,64	a b
		Dist	0,0093 *	1 10 50 25 75	86 68,5 67,67 62 46,17	a a b a b a b b
		Trt:Dist	0,318			

- Syrphes aphidiphages :

Date	Tests	Facteur et p-valeur associée		Tests post-hoc		
				Modalité	Moyenne	Groupe
04/06	Wilcoxon-Mann-Whitney	Trt	0,555	T BF	0,733 0,333	
	Kruskal-Wallis	Dist	7,2.10 ⁻³ *	1 75 10 25 50	24,83 15,33 13,167 13,167 11	a b b b b
17/06	Anova	Trt	0,085	BF T	4,13 2,33	
		Dist	0,03 *	1 50 25 10 75	6,83 2,67 2,5 2,167 2	a a b a b a b b
		Trt:Dist	0,703			
25/06	Wilcoxon-Mann-Whitney	Trt	0,4534	BF T	2 1,14	
	Kruskal-Wallis	Dist	0,272	1 10 25 75 50	3,167 1,4 1,33 1,67 0,33	

- Pucerons

Date	Tests	Facteur et p-valeur associée		Tests post-hoc		
				Modalité	Moyenne	Groupe
04/06	Wilcoxon-Mann-Whitney	Trt	0,983	T BF	82,467 75,533	
	Kruskal-Wallis	Dist	$3,27.10^{-4} *$	1 10 50 25 75	27,5 20,25 11,67 9,167 8,92	a b c c c
17/06	Wilcoxon-Mann-Whitney	Trt	0,724	BF T	27,8 22,93	
	Kruskal-Wallis	Dist	0,0241 *	1 10 25 75 50	21,92 21,75 13,25 11,92 8,67	a a a b b b
25/06	Anova	Trt	0,851	BF T	45,467 44,214	
		Dist	0,072	10 50 7 25 1	60,8 47,33 47 44,67 27,167	a a b a b a b b
		Trt:Dist	0,278			

- Momies de pucerons

Date	Tests	Facteur et p-valeur associée		Tests post-hoc		
				Modalité	Moyenne	Groupe
04/06	Anova	Trt	0,137	BF T	17,13 13,13	
		Dist	$4,52.10^{-6} *$	1 10 25 75 50	32,33 20,83 12,33 6 4,167	a a b b c c c
		Trt:Dist	0,473			
17/06	Wilcoxon-Mann-Whitney	Trt	1	BF T	12,87 9,73	
	Kruskal-Wallis	Dist	$1,48.10^{-4} *$	1 10 25 50 75	26,83 20,5 15,33 8 6,83	a b b c c
25/06	Wilcoxon-Mann-Whitney	Trt	0,405	BF T	17,93 14,2	
	Kruskal-Wallis	Dist	$7,9.10^{-5} *$	1 10 25 75 50	26,58 22 13,58 10,58 4,75	a a b b c

ANNEXE III - Résultats des analyses avec les Modèles linéaires généralisés (GLM)

Facteurs : T = traitement ; D = distance ; R = répétition

- Auxiliaires des pucerons

Date	Modèle retenu	AIC	Residual Deviance	Résultats
04/06	T + R + D + T:D	333,46	183,10 / 25 ddl	D, R
17/06	T*D*R	251,4	72,256 / 24 ddl	Tout (T, R, D, T:D, T:R, R:D, T:D:R)
25/06	T + D + R + R:D	251,13	67,9 / 24 ddl	T, R:D, D

- Syrphes aphidiphages

Date	Modèle retenu	AIC	Residual Deviance	Résultats
04/06	T + R + D + R:D	58,856	27,371 / 22 ddl	
17/06	T + R + D + R:D	142,55	55,742 / 22 ddl	T, R, D
25/06	T + R + D + T:D	92,28	34,972 / 22 ddl	R, T, D, T:D

- Pucerons

Date	Modèle retenu	AIC	Residual Deviance	Résultats
04/06	T*R*D	1491,5	1355,5 / 22 ddl	Tout (T, R, D, T:D, T:R, R:D, T:D:R)
17/06	T + R + D + T:D + D:R + T:R	242,79	81,957 / 23 ddl	Tout (T, R, D, T:D, T:R, R:D)
25/06	T*R*D	388,64	212,11 / 21 ddl	T, T:R:D

- Momies

Date	Modèle retenu	AIC	Residual Deviance	Résultats
04/06	T*R*D	212,09	72,259 / 27 ddl	R, R:D
17/06	T + D	221,63	113,05 / 27 ddl	T, D
25/06	T + D	208,06	76,237 / 27 ddl	T, D

ANNEXE IV – Méthodes d'observation des insectes : cibles, avantages et inconvénients.

Annexe III a : Synthèse de l'utilisation des méthodes d'observation en fonction des insectes ciblés (à partir de).

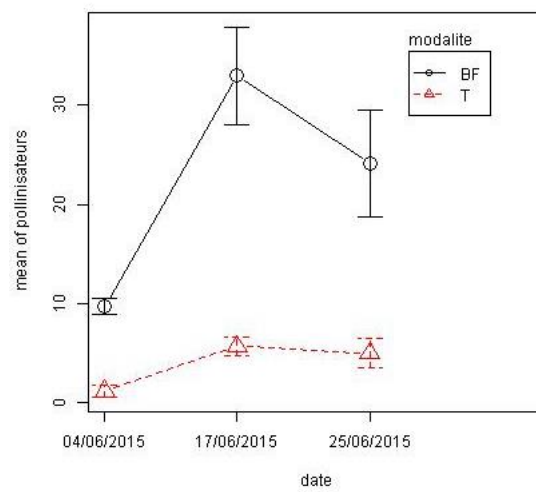
	Cuvette jaune	Pot Barber	Planche à invertébrés	Tente Malaise	Piège cornet	Observation visuelle	Filet fauchoir	Aspirateur
araignées		X				X	X	
carabes		X	X	X	X			
chrysopes et hémérobes				X	X	X	X	X
coccinelles				X	X	X	X	
hyménoptères parasitoïdes	X			X	X	X (momies)		X
staphylins		X	X	X	X			
syrphes	X			X	X	X		

Annexe III b : Synthèse des méthodes d'observation utilisées avec AuxiMORE

Méthode de suivi	Principaux groupes observés	Avantages	Inconvénients	Id	Sel
Cuvette jaune	Quelques espèces volantes (adultes): ravageurs du colza, hyménoptères parasitoïdes, certaines espèces de syrphes	Piège facile à installer Coûts temporels et financiers moyens Les individus sont capturés et peuvent donc être identifiés à l'espèce	L'attractivité du piège exerce un biais sur le nombre d'individus capturés et la sélectivité des espèces	X	X
Pot Barber	Arthropodes rampants (adultes): carabes, staphylins, araignées, taupins.	Piège non attractif Les individus sont capturés et peuvent donc être identifiés à l'espèce Information fiable (qualitative et quantitative) Coûts financiers moyens	Les pièges sont parfois dégradés par des amphibiens ou des mulots Les individus directement observés sur le terrain ne peuvent être identifiés à l'espèce Coûts temporels pouvant être importants	X	
Planche à invertébrés	Arthropodes rampants (adultes): carabes, staphylins, araignées, opilions, myriapodes, taupins. Mollusques : limaces et gastéropodes	Facile à installer Observation des arthropodes directement sur le terrain Peu onéreux	Biais possible sur le nombre et la diversité des espèces observées à cause de l'abri que la planche procure pour certains arthropodes		X
Tente Malaise	Espèces volantes (adultes): syrphes, hyménoptères parasitoïdes mais également d'autres groupes appartenant à des ordres entomologiques différents (Coléoptères, Lépidoptères, Hétéroptères...)	Permet de suivre différentes espèces volantes Les individus sont capturés et peuvent donc être identifiés à l'espèce Information fournie fiable	Difficile à installer Pièges couteux	X	
Piège cornet	Espèces volantes (adultes): syrphes, hyménoptères parasitoïdes mais également, tout comme les tentes Malaise, il est possible de capturer une grande diversité d'individus volants appartenant à des ordres différents.	Information fournie fiable Permet de suivre différentes espèces volantes Les individus sont capturés et peuvent donc être identifiés à l'espèce Moins onéreux que la tente Malaise	Difficile à installer, nécessiter d'installer deux pièges pour avoir des captures birectionnelles La diversité et l'abondance des différents spécimens est limitée par rapport aux captures de la tente Malaise.	X	
Observation visuelle	Œufs, larves et adultes des syrphes, chrysopes et coccinelles, pucerons et ravageurs de la culture	Observation des arthropodes directement sur le terrain Permet de suivre les ravageurs et les auxiliaires en même temps sur la culture	Investissement temporel pour les observations	X	

Id: identification à l'espèce possible; Se: sélectivité du piège

ANNEXE V – Evolution du nombre de pollinisateurs dans les aménagements en fonction du temps et du type d'aménagement observé.



	Diplôme : Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage Spécialité : Horticulture Spécialisation / option : Gestion Durable du Végétal en Horticulture et Aménagements Paysagers Enseignant référent : Yann Tricault	
Auteur(s) : Leslie RENAUDEAU Date de naissance* : 02/09/1991		Organisme d'accueil : Nova-Flore Adresse : 2 rue de la Remaroutière 49 330 Champigné
Nb pages : 62	Annexe(s) : 5	Maître de stage : Vincent ROULLOIS
Année de soutenance : 2015		
Titre français : Gestion agro-écologique des pucerons sur culture de pois par l'implantation d'une bande fleurie en bordure de parcelle		
Titre anglais : Agroecological management of the pea aphid on pea with a flower strip at the edge of the field		
Résumé (1600 caractères maximum) : En Bretagne, le puceron vert du pois, <i>Acyrtosiphon pisum</i>, est un insecte problématique sur culture de pois. La culture est sensible aux pullulations à partir du stade de floraison. Dans le but de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires, des méthodes alternatives sont testées et notamment la lutte biologique par conservation. La coopérative Triskalia a sollicité l'entreprise Nova-Flore pour participer à cet essai ayant pour but d'évaluer l'effet de l'implantation d'une bande fleurie sur l'entomofaune et la production de pois par rapport à une bande enherbée, à trois dates différentes. Une étude comparative des méthodes d'échantillonnage est réalisée. Les populations d'insectes sont comparées dans les bordures et dans la culture, en prenant en compte l'éloignement à l'aménagement. Les résultats montrent que lors des derniers relevés, l'abondance des syrphes est plus importante dans les bandes fleuries et que les auxiliaires des pucerons sont plus nombreux dans la culture avec l'aménagement fleuri à proximité. Ce résultat peut être lié à la floraison de bande fleurie, faible au début de l'essai puis à 75 % à la récolte du pois. Un effet de la distance à l'aménagement est presque toujours relevé, avec une diminution des abondances avec l'éloignement. Le nombre de momies de pucerons suit cette dynamique, avec des momies retrouvées à 75 m de la bordure. La production du pois n'est pas différente en fonction de l'aménagement en bordure. Il serait intéressant de réaliser un semis en automne pour que la floraison de la bande couvre la période de sensibilité du pois.		
Abstract (1600 caractères maximum) : The pea aphid, <i>Acyrtosiphon pisum</i>, is an issue on pea in Brittany. The crop is sensitive to pea aphid outbreaks from the flowering period. With the aim of reducing the use of protection products alternative methods are being tested as the conservation biological control. The agricultural cooperative Triskalia requested Nova-Flore to participate in a study. The aim of this study is to evaluate the impact of a flower strip on insects and pea production compared with a grassy strip, at three different dates. A comparative study has been realized to compare sampling methods. Insects are compared in the strips and in the crop with a distance effect to the strip. The results show that in the last samples, the abundance of Syrphid flies are higher in the flower strips and the beneficial insects are more numerous in the crop with flower strip at the edge. This may be linked to the flowering stage of the flower strip, low at the beginning and reaching 75 % at the pea harvest. A distance effect to the strip is almost always stated. The abundance of insects decreases with the distance to the strip. The number of aphid mummies follow this rule, and mummies can be found at 75 m from the edge. An autumn sowing would be interesting to cover the pea sensitivity with the flowering stage of the flower strip.		
Mots-clés : bande fleurie, <i>Acyrtosiphon pisum</i> , lutte biologique par conservation, insectes auxiliaires Key Words: flower strip, <i>Acyrtosiphon pisum</i> , conservation biological control, beneficial insects		

* *Elément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires*

Document à déposer sur moodle en format .txt