
Des bandes fleuries pour la lutte biologique : étude du comportement du syrpe face à des stimuli visuels et de l'effet de trois mélanges fleuris sur les pucerons et leurs ennemis naturels

Auteur : Brigode, Mélanie

Promoteur(s) : Francis, Frédéric

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

Année académique : 2016-2017

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/3101>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Des bandes fleuries pour la lutte biologique : étude du comportement du syrphé face à des stimuli visuels et de l'effet de trois mélanges fleuris sur les pucerons et leurs ennemis naturels

BRIGODE MÉLANIE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2016-2017

PROMOTEUR: FRÉDÉRIC FRANCIS

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique¹ de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

¹ Dans ce cas, l'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre du personnel(s) enseignant de GxABT.

**Des bandes fleuries pour la lutte biologique: étude du
comportement du syrpe face à des stimuli visuels et de
l'effet de trois mélanges fleuris sur les pucerons et leurs
ennemis naturels**

BRIGODE MÉLANIE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU
DIPLOME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2016-2017

PROMOTEUR: FRÉDÉRIC FRANCIS

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon promoteur, Frédéric Francis, pour m'avoir permis de réaliser mon travail de fin d'études au sein de son service.

Je tiens ensuite à remercier tout particulièrement Séverin Hatt pour ses précieux conseils tout au long de la réalisation de mon travail, pour son aide précieuse, le temps qu'il m'a consacré et enfin les nombreuses relectures de ce travail.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont aidé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail. Notamment Antoine Boullis pour son aide et ses conseils pour l'élevage des syrphes.

Mes remerciements vont également à toute l'équipe de l'unité d'entomologie fonctionnelle et évolutive pour leur accueil.

Je voudrais également remercier Clara Amy pour les nombreuses heures passées ensemble sur le terrain.

Je remercie également mes parents qui m'ont permis de réaliser mes études, pour leur soutien et leur confiance en moi durant ces cinq dernières années.

Et enfin, tous mes amis et co-kotteurs qui ont rendu ces cinq années inoubliables. Et un grand merci à Florent Laval et Justine Lejoly pour les relectures.

Résumé

Actuellement, les dispositifs de bandes fleuries sont subventionnés par la politique agricole commune (PAC) principalement pour leur soutien à la biodiversité et pour la préservation des paysages agricoles. Mais ces dispositifs pourraient également favoriser le contrôle biologique des ravageurs par le soutien du développement de leurs ennemis naturels. Afin d'optimiser les mélanges fleuris, il est essentiel de connaître les traits floraux bénéfiques aux ennemis naturels. Dans un premier temps, le comportement de recherche de nourriture du syrphe *Episyrphus balteatus* (Diptera : Syrphidae) a été étudié après conditionnement sur du jaune, du rouge ou du vert (*i.e.* toujours trouver la nourriture sur une même couleur) afin de savoir si le comportement de ce dernier pouvait être modifié suite à des expériences positives de recherche de nourriture. Dans cette étude, hormis les syrphes conditionnés pour la couleur rouge qui ont été significativement plus attirés par la couleur jaune, aucune attirance pour l'une des couleurs testées n'a pu être démontrée suite au conditionnement. Dans un second temps, trois types de bandes fleuries ont été semés dans une parcelle de froment à Gembloux (Belgique). Les pucerons, criocères ainsi que leurs ennemis naturels ont été recensés (à l'aide de pièges jaunes, par observations directes dans le froment et par des transects dans les bandes fleuries) afin de tester l'attractivité d'un mélange de fleurs (annuelles, bisannuelles et pérennes), ainsi que de deux espèces florales avec des potentiels débouchés économiques, *Dimorphotheca pluvialis* (L.) et *Camelina sativa* (L.). C'est dans le froment à proximité des bandes constituées du mélange que les pucerons ont été significativement les moins abondants. Les ennemis naturels les plus abondants ont été les coccinelles, suivies des chrysopes puis des syrphes et enfin les parasitoïdes. Les différents mélanges ont attiré les ennemis naturels de la même manière tant dans les bandes que dans le froment, sauf pour les coccinelles qui ont été plus abondantes dans les pièges situés dans le mélange. Cette étude renforce l'hypothèse selon laquelle, les bandes fleuries pourraient également soutenir la lutte biologique et donc potentiellement réduire la dépendance des agriculteurs aux insecticides.

Mots-clefs : Conditionnement, lutte biologique par conservation, bandes fleuries, *Triticum aestivum* (L.), Aphididae, Chrysopidae, Coccinellidae, Syrphidae, parasitoïdes, *Camelina sativa* (L.), *Dimorphotheca pluvialis* (L.).

Abstract

Nowadays, wildflower strips are subsidized by the Common Agricultural Policy (CAP) for their support for biodiversity and for the preservation of agricultural landscapes. But it could also promote conservation biological control by supporting natural enemies. In order to optimise flower mixtures, it is needed to know which floral traits are beneficial for natural enemies. Firstly, the food search behaviour of the hoverfly *Episyrphus balteatus* (Diptera: Syrphidae) was studied after conditioning (always finding its food on the same colour) to know whether this behaviour could be modified by positive food researches. In this study, except for hoverflies conditioned for red that were significantly more attracted by yellow, no change of behaviour after conditioning could be proved. Secondly, three types of wildflower strips were sown in a field of wheat in Gembloux (Belgium). Aphididae, Chrysomelidae and their natural enemies were recorded (by yellow traps, direct observations in wheat or by transects in flower strips) to test the attractiveness of a mixture of wild flowers (annuals, biannuals and perennials), and two species with potential economic opportunities, *Dimorphotheca pluvialis* (L.) and *Camelina sativa* (L.). Aphids were less abundant in the wheat next to the strips with the mixture. The most abundant natural enemies were ladybirds, followed by lacewings then hoverflies and finally parasitoids. The different flower treatments attracted natural enemies in the same way in both strips and wheat, except for the ladybirds that were more abundant in traps in strips with the mixture. This study reinforces the hypothesis that wildflower strips could support biological control and thus potentially reduce farmers' dependence on insecticides.

Keywords : Conditioning, conservation biological control, wildflower strips, *Triticum aestivum* (L.), Aphididae, Chrysopidae, Coccinellidae, Syrphidae, parasitoid, *Camelina sativa* (L.), *Dimorphotheca pluvialis* (L.).

Table des matières

1. Introduction générale	1
2. Partie bibliographique	5
2.1. <i>De la biodiversité fonctionnelle aux services écosystémiques.</i>	5
2.2. <i>Conséquences de l'utilisation des pesticides.</i>	7
2.3. <i>Le contrôle biologique</i>	8
2.4. <i>Modèle d'étude</i>	14
2.5. <i>Conclusions et perspectives</i>	21
3. Matériel et méthodes	23
3.1. <i>Etude du comportement du syrpe face à des stimuli visuels</i>	23
3.2. <i>Effet de trois types de bandes fleuris sur les pucerons, les criocères et leurs ennemis naturels</i>	27
4. Résultats	32
4.1. <i>Etude du comportement du syrpe face à des stimuli visuels</i>	32
4.2. <i>Effet de trois types de bandes fleuries sur les pucerons, les criocères et leurs ennemis naturels</i>	36
5. Discussion	46
5.1. <i>Etude du comportement du syrpe face à des stimuli visuel</i>	46
5.2. <i>Effet de trois types de bandes fleuris sur les pucerons, les criocères et leurs ennemis naturels</i>	47

6. Conclusions et perspectives.....	52
7. Bibliographie	54

Table des figures

Figure 1 : Services et dis-services écosystémiques envers et provenant de l'agriculture (Zhang et al., 2007)	6
Figure 2 : Larve de syrphé se nourrissant d'un puceron.....	23
Figure 3 : Conditionnement des syrphes.....	24
Figure 4 : Tests de choix réalisés pour les syrphes conditionnés pour le rouge	25
Figure 5 : Tests de choix réalisés pour les syrphes conditionnés pour le vert	25
Figure 6 : Tests de choix réalisés pour les syrphes conditionnés pour le jaune.....	25
Figure 7 : Dispositif du test de choix (Vert V/S Jaune ici)	26
Figure 8 : Dispositif expérimental	27
Figure 9 : Bande constituée du mélange avec pièges et quadrats	29
Figure 10 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur rouge et testés pour le rouge et le jaune	32
Figure 11 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur rouge et testés pour le rouge et le vert	32
Figure 12 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur jaune et testés pour le jaune et le rouge	33
Figure 13 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur jaune et testés pour le jaune et le vert.....	33
Figure 14 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur verte et testés pour le vert et le jaune.....	34
Figure 15 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur verte et testés pour le vert et le rouge	34

Figure 16 : Dynamique temporelle de l'abondance moyenne (\pm écart-type) des pucerons, criocères et de leurs ennemis naturels piégés sur l'ensemble du site expérimental.	37
Figure 17 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels piégés dans les différentes bandes fleuries	39
Figure 18 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ravageurs piégés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin.....	40
Figure 19 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels piégés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin.....	41
Figure 20 : Evolution de l'abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels observés dans le froment au cours du temps sur l'ensemble du site expérimental.	41
Figure 21 : Evolution de l'abondance moyenne (\pm écart-type) des ravageurs observés dans le froment au cours du temps sur l'ensemble du site expérimental.	42
Figure 22 : : Abondance moyenne (\pm écart-type) de ravageurs observés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin.....	43
Figure 23 : Abondance moyenne (\pm écart-type) d'ennemis naturels observés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin.....	43
Figure 24 : Abondance moyenne (\pm écart-type) de prédateurs visitant les fleurs dans chaque type de bande.	44

Table des tableaux

Tableau 1 - Compositions florales des bandes.....	28
Tableau 2 : Test du rapport de vraisemblance du X^2 et p -valeurs associées des préférences d' <i>E. balteatus</i> conditionnés pour les couleurs	35
Tableau 3 : Nombre d'unités florales par espèce florale dans les bandes "mélange"	36
Tableau 4 : Abondance et diversité des ravageurs et de leurs ennemis naturels piégés sur l'ensemble du site expérimental.....	38
Tableau 5 : Effet des différents types de bandes fleuries sur les abondances d'ennemis naturels piégés dans les bandes à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs.	39
Tableau 6 : Effet des différents types de bandes fleuries et du témoin sur les abondances de ravageurs piégés dans le froment adjacent à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs	40
Tableau 7 : Effet des différents types de bandes fleuries et du témoin sur les abondances de ravageurs observés dans le froment adjacent à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs.	42
Tableau 8 : Taux de parasitisme moyen (\pm écart-type) des pucerons dans le froment en fonction du traitement	44
Tableau 9 : Effet des différents types de bandes fleuries sur les abondances d'ennemis naturels observés visitant les fleurs à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs.	45

1. Introduction générale

L'utilisation toujours plus importante d'engrais et pesticides de synthèse et de variétés à haute productivité a permis d'au moins doubler les rendements à l'échelle mondiale au cours des 50 dernières années (Matson, Parton, Power, & Swift, 1997). Ce processus dit d'intensification de l'usage des intrants dans l'agriculture a entraîné une spécialisation des exploitations agricoles et les opérations culturales ont gagné en efficacité grâce à l'utilisation des machines agricoles (Robert and Sutherland, 2016). Néanmoins cette augmentation des rendements a été associée à une simplification du paysage et à une perte de biodiversité. De plus, l'agriculture est aujourd'hui responsable d'une part non négligeable des émissions de gaz à effet de serre polluant l'air et entraînant un réchauffement global du climat (environ 20 % des émissions totales) (Tubiello et al., 2015). Elle est également impliquée dans la pollution et l'eutrophisation des eaux, dû à des rejets importants d'azote, qui contribuent par ailleurs aux pluies acides (Devine and Furlong, 2007). De plus, Kleijn et al. (2009) ont démontré que la richesse spécifique des plantes diminue avec l'intensification de l'utilisation des terres.

La biodiversité offre de nombreux services écosystémiques au-delà de la production de nourriture, comme le recyclage des nutriments, la régulation du microclimat ou encore la suppression d'organismes indésirables (Altieri, 1999). Mais la simplification du paysage entraîne une réduction de la capacité des écosystèmes pour la production de nourriture, la mise à disposition d'eau potable, de ressources forestières, la régulation du climat et la qualité de l'air. Parmi ces services, on retrouve entre autre celui de la régulation des populations de ravageurs du fait des relations trophiques entre organismes d'un même écosystème (J. Foley et al., 2005). Rusch et al. (2016) ont démontré que la simplification du paysage a un effet négatif sur le contrôle des ravageurs par leurs ennemis naturels. En effet, le contrôle biologique est 46 % plus faible dans les paysages simplifiés que dans les régions où le paysage est plus complexe. Ils en déduisent que la préservation et la reconstitution de milieux semi-naturels est une première étape fondamentale pour le contrôle biologique des ravageurs par leurs ennemis naturels.

Les insectes ravageurs causent d'importants dégâts aux cultures, ce qui impacte les rendements. Par exemple, les pertes de rendements dues à ces derniers sont estimées à 8 % pour le froment (*Triticum aestivum* L.) et 11 % pour les pommes de terre (*Solanum tuberosum* L.) en Europe du Nord. Ces pertes peuvent être réduites voire évitées par des mesures de protection des cultures (Oerke, 2006).

L'intensification agricole a conduit à une réduction et à une fragmentation des habitats semi-naturels qui engendrent un appauvrissement des populations d'ennemis naturels de ces ravageurs des cultures (Rusch et al., 2016). Meehan et al. (2011) ont démontré que le nombre de cultures traitées avec des insecticides augmente avec la taille des parcelles et diminue avec la proportion d'habitats semi-naturels dans les environs. Il y a donc un lien de causalité entre la simplification des paysages, la pression des ravageurs et l'utilisation de pesticides. Or, l'utilisation de ces produits n'est pas sans conséquence sur l'environnement et la santé humaine. Ils ne sont généralement pas inoffensifs pour les insectes auxiliaires réduisant potentiellement leur capacité de lutte biologique, ce qui renforce le besoin de contrôler les ravageurs, notamment par l'utilisation de pesticides chimiques (Devine and Furlong, 2007). Cependant, l'utilisation massive de ces produits entraîne l'apparition de résistances chez les organismes indésirables (Thieme, Heimbach, Müller, 2010). Il est donc nécessaire d'une part de trouver des moyens alternatifs de lutte contre les bioagresseurs et d'autre part de protéger la biodiversité afin notamment de conserver les services écosystémiques qu'elle apporte. De plus, l'augmentation du nombre d'exploitations en agriculture biologique traduit une envie des agriculteurs et des consommateurs de se détacher des produits phytopharmaceutiques et des fertilisants chimiques. En effet, en Belgique entre 2005 et 2015, le nombre d'exploitations en agriculture biologique est passé de 733 à 1717 (SPF Economie, n.d.).

Les mesures agro-environnementales (MAE) ont été créées suite à des préoccupations environnementales en 1995 par la politique agricole commune (PAC). Il s'agit d'une série de mesures favorables à la protection de l'environnement, au maintien des paysages ruraux ou à la conservation de la biodiversité en milieux agricoles. Ces mesures reposent sur un contrat volontaire entre les agriculteurs et les autorités publiques. Les agriculteurs qui mettent en place ces mesures reçoivent une aide financière (Servais, 2015). Ces mesures ont donc été introduites afin de limiter les impacts négatifs de l'agriculture intensive sur l'environnement (Ekroos et al., 2014). Néanmoins, ces auteurs ont proposé de

différencier les mesures en deux catégories à savoir les *mesures de conservation de la biodiversité* qui visent des espèces dont la conservation est préoccupante et les *mesures de services écosystémiques* qui ciblent plus particulièrement des espèces importantes à la réalisation de certains services tels que la pollinisation ou encore le contrôle biologique. Parmi ces dernières, on retrouve les bandes fleuries qui peuvent prendre diverses formes en fonction de leur composition et de leur disposition (Haaland, Naisbit and Bersier, 2011).

L'objectif premier des bandes fleuries est de maintenir et de promouvoir la diversité des habitats et des espèces (Tschumi et al., 2016). Outre l'aspect biodiversité, différentes études ont démontré que les MAE peuvent également promouvoir d'autres services écosystémiques (Whittingham, 2011). En effet, favoriser la biodiversité peut entraîner un contrôle biologique. Par exemple, Winqvist et al. (2011) ont trouvé qu'il y avait moins de pucerons (Hemiptera : Aphididae) dans les fermes biologiques avec une hétérogénéité de paysages, phénomène qui serait dû dans leur cas à une plus grande abondance de coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae) et d'oiseaux dans les paysages hétérogènes. Pour le cas des bandes fleuries, ces dernières participent au contrôle biologique des insectes ravageurs (Tschumi et al., 2016). La gestion des habitats via ces bandes permet de fournir de la nourriture, des proies et hôtes secondaires ou encore un abris contre les conditions défavorables (conditions climatiques, pulvérisation de pesticides) (Landis, Wratten and Gurr, 2000). Ce travail se focalise sur la capacité des bandes fleuries à offrir un service de lutte biologique contre les insectes ravageurs.

De nombreuses études ont démontré que les insectes répondent à des signaux visuels et olfactifs afin de s'orienter dans leur environnement, notamment pour identifier leur plante hôte ou une proie (Adedipe and Park, 2010; Primante and Dötterl, 2010; Schaller and Nentwig, 2000; Shi et al., 2009). Par exemple, le syrphe *Episyrphus balteatus* (DeGeer, 1776) (Diptera : Syrphidae), dont les larves sont prédatrices des pucerons, est attiré par la couleur jaune (Sutherland, Sullivan and Poppy, 1999). La connaissance de ces préférences est un outil indispensable à la création de mélanges fleuris favorables aux ennemis naturels, et potentiellement au contrôle biologique des ravageurs (Wäckers and van Rijn, 2012).

L'objectif de ce travail est dans un premier temps de déterminer si le syrphe (*E. balteatus*) peut être influencé par ses expériences précédentes de nourrissage dans le choix des sites de recherche de nourriture. Et dans un deuxième temps, de déterminer si des bandes fleuries peuvent améliorer le contrôle biologique des pucerons par leurs ennemis naturels dans une culture de froment d'hiver. Ici, nous avons testé les espèces de cameline (*Camelina sativa* (L.) Crantz) et de *Dimorphotheca* (*Dimorphotheca pluvialis* (L.) Moench) en bandes monospécifiques et un mélange de fleurs sauvages annuelles et pluriannuelles.

2. Partie bibliographique

2.1. De la biodiversité fonctionnelle aux services écosystémiques

Le biodiversité est décrite dans le Millennium Ecosystem Assessment comme la diversité de vie sur terre. Ses auteurs décrivent également les services écosystémiques comme les bénéfices que les humains peuvent obtenir des écosystèmes. Quatre types de services sont distingués, les services de régulation, de support, de provision et culturels (Watson and Zakri, 2005). La biodiversité des écosystèmes est à l'origine de ces services et préserver cette biodiversité est essentiel au maintien de ces services (Altieri, 1999). La biodiversité peut être décrite à différents niveaux, de la variation génétique au sein d'une espèce à la distribution des biomes sur la planète (Hooper et al., 2005). Au sein de la biodiversité, se trouve également la notion de diversité fonctionnelle qui concerne généralement les processus et les fonctions que les organismes réalisent en communauté au sein des écosystèmes. Généralement, cette diversité sera plutôt abordée avec la notion de traits fonctionnels (Petchey and Gaston, 2006). La notion de trait fonctionnel des fleurs est décrite plus loin dans ce travail.

Parmi les services de support, on retrouve notamment la structure et la fertilité des sols, le cycle des nutriments, la ressource génétique ou encore l'approvisionnement en eau (Zhang et al., 2007). Les écosystèmes assurent à la fois la mise à disposition de zones de refuge et de zone de reproduction pour les organismes vivants. La plupart des services écosystémiques reposant sur ces derniers, il est essentiel de préserver leurs zones de vie afin de maintenir les biens et services qu'ils procurent (De Groot, Wilson and Boumans, 2002). Holland et al. (2016) ont présenté différents habitats semi-naturels qui permettent le soutien de certains ennemis naturels des ravageurs des cultures. Par exemple, les bandes enherbées en bordure de parcelle apportent entre autres des conditions relativement stables en hiver. Durant l'automne et le printemps, elles favorisent la présence et la survie des ennemis naturels en leur fournissant des proies et hôtes secondaires ainsi qu'un abri contre les conditions défavorables.

Les services de régulation tels que la pollinisation ou encore le contrôle biologique reposent sur les services de support (Zhang et al., 2007). En effet, les insectes auxiliaires ont besoin d'habitats et de ressources alimentaires tels que le nectar ou le pollen pour se

développer (Lu et al., 2014). Les systèmes agricoles reçoivent des services positifs mais aussi négatifs des écosystèmes (Figure 1). Par exemple, les herbivores, granivores, frugivores et pathogènes font diminuer les rendements (Zhang et al., 2007).

La plupart de l'alimentation humaine provient de plantes cultivées et d'animaux domestiques, mais une part non négligeable de la population mondiale se nourrit également de plantes et d'animaux sauvages (De Groot et al., 2002). L'homme a modifié les écosystèmes pour maximiser les services écosystémiques de production ce qui modifie les relations entre les différents services. Par exemple, afin de réduire les dommages dus aux ravageurs, les agriculteurs utilisent des insecticides, mais ces derniers ont des conséquences sur des organismes non cibles et sur l'environnement, ce qui peut parfois augmenter les dégâts produits par les ravageurs (Zhang et al., 2007).

Gérer les agroécosystèmes dans l'optique qu'ils fournissent des services écosystémiques est un moyen d'assurer la viabilité des systèmes agricoles dans la mesure où l'usage d'intrants externes tend à être réduit (Lescourret et al., 2015). C'est dans cette optique que les politiques européennes ont mis en place des outils. Ces outils sont destinés à réduire les impacts sur la biodiversité et de compenser les impacts accidentels éventuels par une réparation des dommages causés ou par création de milieux semblables à ceux impactés. Parmi ces outils, on retrouve notamment la mise en place de bandes fleuries en bordure de parcelle (Bonnet et Lemaître-Curri, 2012).

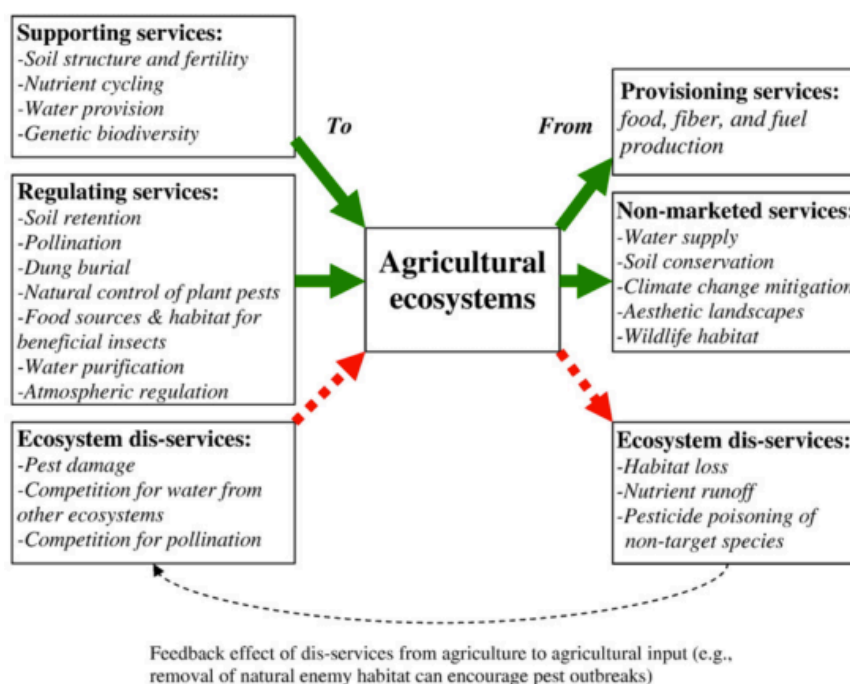


Figure 1 : Services et dis-services écosystémiques envers et provenant de l'agriculture (Zhang et al., 2007)

2.2. Conséquences de l'utilisation des pesticides

La spécialisation des agriculteurs pour certaines productions mène à une réduction de la diversité des cultures et élevages, ce qui entraîne une simplification des paysages agricoles (Altieri, 1999). Or, Rusch et al. (2016) ont démontré un effet négatif de la simplification du paysage sur le contrôle biologique des ravageurs (dans ce cas les pucerons) par leurs ennemis naturels. Meehan et al. (2011) ont quant à eux démontré que la proportion de cultures traitées avec des insecticides augmente avec la proportion et la taille des cultures et diminue avec la proportion d'habitats disponibles pour les auxiliaires. Ces études démontrent donc les liens entre intensification agricole, simplification du paysage, augmentation de la pression des ravageurs et utilisation de pesticides. Néanmoins ces derniers ne sont pas sans conséquences pour l'environnement et les populations d'ennemis naturels. De plus, de nombreux cas de résistances aux insecticides sont apparus, notamment dans le cas des cultures de colza (*Brassica napus* L.) (Thieme, Heimbach and Müller, 2010).

Les produits insecticides constituent la stratégie la plus utilisée depuis la seconde guerre mondiale pour lutter contre les insectes ravageurs des cultures (Debach, 1991). Malgré une politique environnementale visant à réduire l'utilisation de pesticides de moitié en France d'ici 2018, entre 2006 et 2014, l'utilisation de ces produits n'a pas diminué pour la plupart des grandes cultures (Hossard et al., 2017).

Les insecticides sont conçus pour éliminer les ravageurs, mais ils ont également des conséquences sur les organismes non cibles tels que les organismes qui recyclent les nutriments du sol, les pollinisateurs ou encore les ennemis naturels des ravageurs des cultures (Devine and Furlong, 2007; Stanley and Preetha, 2016). Cela peut entraîner une contamination ou une réduction de la ressource alimentaire des organismes des niveaux trophiques supérieurs. Par exemple en Grande-Bretagne, les populations d'oiseaux ont fortement diminué dans le paysage agricole entre les années 1960 et 1990 (Greenwood, 1995).

L'utilisation de ces produits aggrave les réductions de certains services écosystémiques tels que le contrôle biologique des ravageurs des cultures ou la pollinisation. Par exemple, Geiger et al. (2010) ont rapporté des effets négatifs significatifs des pesticides sur le contrôle biologique. Cependant, les nouveaux insecticides présentent une toxicité

moindre envers les mammifères et les oiseaux, certains sont même spécifiques envers certains ordres particuliers d'arthropodes (Devine and Furlong, 2007).

Selon la directive européenne 2009/128/CE, l'application de la protection intégrée des cultures est obligatoire depuis le 14 décembre 2011. Cela implique que les techniques présentant le moins de risques pour l'environnement et la santé humaine doivent être privilégiés pour lutter contre les ennemis des cultures. Selon Debach (1991), tout programme de lutte intégrée devrait inclure des méthodes de contrôle biologique.

2.3. Le contrôle biologique

Debach (1991) définit le contrôle biologique comme « l'utilisation d'ennemis naturels pour réduire les dommages causés par les organismes nuisibles ». Un ravageur est un organisme qui n'est pas désiré, du fait qu'il affecte négativement la croissance des plantes. Ils sont généralement nombreux et se nourrissent des plantes, réduisant leur biomasse ou leur qualité visuelle (Helyer, Cattlin and Brown, 2014). L'organisation internationale de lutte biologique distingue trois types de contrôles : (i) la lutte biologique classique consiste en une identification, une introduction et une acclimatation d'auxiliaires exotiques ; (ii) la lutte biologique par augmentation, élevage et lâchers d'ennemis naturels lorsque ceux-ci sont présents mais en nombre insuffisant pour un contrôle efficace des ravageurs ; (iii) la lutte biologique de conservation qui rassemble un ensemble de mesures mises en œuvres pour la préservation des ennemis naturels déjà présents dans l'environnement. Cela passe notamment par la gestion des habitats (Deguine et al., 2016). C'est sur cette dernière méthode que nous allons nous concentrer dans le cadre de ce travail.

Le contrôle biologique permet de prévenir les épidémies de maladies et de ravageurs (Helyer et al., 2014). La régulation des ravageurs par leurs ennemis naturels permet de réduire les dommages aux cultures (Holland et al., 2016). Cette même synthèse rapporte également que la lutte biologique permettrait de réduire l'utilisation de pesticides et les effets négatifs de ces derniers sur la santé humaine, l'environnement et les organismes non cibles.

2.3.1. *Contrôle biologique de conservation*

La lutte biologique de conservation se base sur l'exploitation d'ennemis naturels déjà présents dans l'agroécosystème en modifiant l'environnement pour encourager leur établissement et leur survie (Helyer et al., 2014). Cela implique la manipulation des habitats dans le but de fournir des ressources telles que le pollen et le nectar mais aussi des proies et hôtes de substitution aux ennemis naturels des ravageurs des cultures. Il s'agit également de fournir un abris pour l'hivernation ou par rapport aux travaux et traitements dans les parcelles. Ces ressources pour les auxiliaires peuvent être mises en places en bordure de culture, dans la culture ou encore comme composant du paysage à une échelle plus large (Landis et al., 2005). Holland et al. (2016) décrivent différents types d'habitats qui peuvent être mis en place pour une lutte biologique de conservation, comme les habitats linéaires herbacés, les habitats herbacés non pâturés, les bois et forêts ou encore les bandes d'arbustes et espèces ligneuses.

2.3.2. *Quelques exemples de contrôle biologique*

Les mouches blanches (Diptera : Bemisia, Trialeurodes) sont des prédateurs importants de nombreuses cultures à travers le monde comme par exemple la tomate ou le coton. C'est le genre *Bemisia* qui pose les problèmes économiques les plus importants. Ces insectes infligent des dommages aux plantes non seulement en s'en nourrissant, mais également car ils produisent une quantité importante de miellat, ce qui favorise le développement d'un champignon pathogène, la fumagine. Ils sont également vecteurs de certains virus comme par exemple le *tomato yellow leaf curl virus*. Ces mouches sont parasitées par des guêpes parasitoïdes (Hymenoptera) spécialisées et prédatées par certains hétéroptères et par les coccinelles (Helyer and Cattlin, 2014).

Les psylles qui sont des ravageurs très importants dans les vergers notamment de pommes (*Malus domestica* Borkh.) et de poires (*Pyrus communis* L.) peuvent causer d'importants dommages surtout au niveau des tiges en croissance. Ces insectes s'attaquent généralement à un hôte spécifique. Elles ont comme ennemis naturels les anthocoridés, les coccinelles, les chrysopes (Neuroptera : Chrysopidae) et d'autres insectes prédateurs généralistes (Helyer and Cattlin, 2014).

Les pucerons ont également de nombreux ennemis naturels comme les coccinelles, les chrysopes, les larves de syrphes ou encore plusieurs espèces d'hyménoptères parasitoïdes (Harrington, 2007). Plus de détails sur les ennemis naturels des pucerons sont donnés dans la partie « Ennemis naturels et leurs besoins » (Partie 2.4.2.).

Tous ces ennemis naturels ont besoin entre autre de pollen, de nectar, d'hôtes et proies alternatives ou encore d'abris afin de survivre et de pouvoir exercer leur effet de contrôle sur les ravageurs (Wäckers and van Rijn, 2012).

2.3.3. *La lutte intégrée*

Le concept de lutte intégrée inclut une notion de seuil pour l'application des mesures curatives de contrôle des ravageurs et une réduction de la fréquence d'application de pesticides à un niveau écologiquement et économiquement acceptable. La justification économique d'un traitement peut être évaluée en comparant le prix de l'intervention à celui des pertes évitées grâce à cette intervention (Oerke, 2006).

2.3.4. *Les bandes fleuries*

Les bandes fleuries sont généralement conçues pour promouvoir la biodiversité, mais elles pourraient également être composées pour favoriser le contrôle biologique des ravageurs. (Tschumi et al., 2016). En effet, beaucoup d'arthropodes entomophages dépendent de ressources florales à certains moments de leur cycle de vie (Lu et al., 2014). Par exemple, les larves d'*E. balteatus* se nourrissent de pucerons d'une large gamme d'espèces, mais les adultes dépendent du pollen et du nectar pour se nourrir (Helyer et al., 2014). Les coccinelles se nourrissent de proies tels les pucerons, mais aussi de ressources florales quand les proies viennent à manquer, à la fois au stade adulte et larvaire (Schaller and Nentwig, 2000; Wäckers and van Rijn, 2012). Un grand nombre de guêpes parasitoïdes dépendent aussi du nectar et du pollen des fleurs au stade adulte (Gillespie et al. 2016). La ressource florale constitue donc un outil important pour le support des prédateurs et des parasitoïdes (Wäckers and van Rijn, 2012).

Semer des bandes fleuries pourrait donc favoriser les ennemis naturels des ravageurs, et leurs actions de prédation et de parasitisme (contrôle *top-down*). Elles peuvent aussi entraîner un contrôle *bottom-up* car elles interfèrent visuellement et chimiquement pour la recherche de plantes hôtes et donc la colonisation par les herbivores (principalement les spécifiques) (Zehnder et al., 2007). Par exemple, Hatt et al. (2017) ont démontré que semer des bandes fleuries à l'intérieur de la culture de froment permet un accroissement de l'abondance en syrphes aphidiphages et une réduction de l'abondance de pucerons. En plus de la potentielle prédation des larves de syrphes, les bandes de fleurs sauvages ont augmenté la diversité de plantes à l'échelle de la parcelle. Comme le puceron repère ses plantes hôtes grâce à un ensemble de signaux visuels et olfactifs (Döring, 2014), cette diversité spécifique végétale accrue au sein de la parcelle a pu rendre la recherche de leurs plantes hôtes plus complexe. Il y a donc potentiellement un double mécanisme de contrôle, d'une part les ennemis naturels du puceron sont attirés et d'autre part le puceron a du mal à repérer sa plante hôte.

La quantité, la qualité, l'attractivité et l'accessibilité des ressources ainsi que le moment où les ressources sont disponibles sont des facteurs déterminants pour que les bandes fleuries favorisent la présence d'ennemis naturels (Tschumi et al., 2016). En effet, il faut une adéquation entre la phénologie et la morphologie des fleurs avec celles des insectes. De plus, pour un contrôle biologique effectif, il faut que les ennemis naturels attirés par la bande fleurie se déplacent dans la culture adjacente afin de s'attaquer aux ravageurs (Hatt et al., 2015). Une réflexion est donc nécessaire dans le choix des espèces florales à inclure dans un mélange. En effet, un mauvais choix d'espèce peut non seulement ne pas attirer les ennemis naturels recherchés mais peut également favoriser le développement des ravageurs ou encore favoriser le niveau trophique supérieur. Il existe une diversité de méthodes pour étudier les interactions ennemis naturels - fleurs. Affiner ces connaissances est nécessaire pour choisir les espèces florales qui favorisent le développement des ennemis naturels tout en minimisant celui des ravageurs (Wäckers and van Rijn, 2012).

- **Traits morphologiques des fleurs**

Les traits fonctionnels des fleurs peuvent être regroupés en trois catégories : les traits chimiques (émission de composés organiques volatiles), les traits architecturaux (par ex. la conformation de la corolle, la couleur des fleurs, la hauteur) et les traits phénologiques (date et durée de floraison). Tous ces traits ont un rôle dans les relations plantes-insectes (Hatt et al., 2015). En effet, toutes les espèces d'auxiliaires ne sont pas attirées ni ne visitent toutes les espèces de fleurs.

Les traits architecturaux ont leur importance car des espèces d'hyménoptères parasitoïdes et de prédateurs ont des pièces buccales courtes comme les syrphes ou les coccinelles par exemple. Il est donc nécessaire d'avoir des fleurs avec du nectar floral accessible ou avec du nectar extra floral pour que ces derniers puissent s'en nourrir (Balzan and Moonen, 2014). Il faut donc tenir compte de la taille des insectes que l'on veut favoriser, de la taille des pièces buccales de ceux-ci et de la profondeur de la corolle de l'espèce florale implantée. D'autres traits architecturaux ont également de l'importance comme la taille, la hauteur, la réflectance ultra-violette (UV) ou encore la couleur des fleurs (Wäckers and van Rijn, 2012). En effet, Sutherland et al. (1999) ont démontré une préférence d'*E. balteatus* pour la couleur jaune.

A propos des traits chimiques, les plantes produisent un grand nombre de composés organiques volatiles comme des terpenoïdes, benzoïdes ou encore des dérivés d'acides gras (Farré-Armengol et al., 2013). Ces composés peuvent servir de signaux olfactifs pour des relations inter- et intra-spécifiques comme par exemple l'attraction d'herbivores mais aussi de leurs ennemis naturels (Verheggen et al., 2013).

Enfin, faire coïncider la phénologie des fleurs (la date et la période de floraison) avec celle des insectes est essentielle afin que les ressources florales soient disponibles lorsque les insectes ciblées en ont besoin (Hatt et al., 2017; Vattala et al., 2006).

- ***Valeur nutritionnelle du pollen et du nectar***

Le nectar et le pollen constituent une ressource alimentaire importante pour les ennemis naturels des ravageurs des cultures. En effet, ils apportent des nutriments additionnels par rapport à ceux fournis par le miellat ou les proies et hôtes. Beaucoup de prédateurs et parasitoïdes dépendent en tout ou en partie des hydrates de carbone pour leur activité et leur métabolisme, l'énergie de ces derniers pouvant être rapidement métabolisée, intervenant notamment dans le vol (Lu et al., 2014).

La consommation de pollen améliore entre autres la longévité et la fécondité. Le pollen contient de la proline qui est un des 22 acides aminés qui entrent dans la composition des protéines. Cet acide aminé est essentiel pour l'initiation du vol chez beaucoup d'insectes (Lu et al., 2014). Le pollen contient également des acides aminés et des protéines essentiels notamment à la maturation des ovaires des femelles de syrphes et pour soutenir la production d'œufs (Laubertie, Wratten and Hemptinne, 2012).

Le nectar contient principalement du sucrose et ses dérivés (fructose et glucose), il contient également des acides aminés, des protéines, des lipides, des ions minéraux, des alkaloïdes, de l'éthanol, de l'eugénol, du méthyleugénol et d'autres sucres. La composition du nectar dépend des conditions environnementales de croissance de la plante, mais il contient généralement tous les acides aminés essentiels au développement et à la croissance des insectes (Lu et al., 2014). Il existe également du nectar extra-floral qui se trouve ailleurs que sur les inflorescences, la composition de ce nectar pouvant être différente de celle du nectar floral. Comme sa présence ne dépend pas de la floraison, il peut fournir une source de sucre tôt pendant la période de croissance et donc potentiellement aider au contrôle biologique des populations de ravageurs (Vattala et al., 2006). Par exemple, le Haricot de Lima (*Phaseolus lunatus* L.) produit du nectar extra floral (Radhika et al., 2010).

- ***Non effet et effets négatifs éventuels***

Cette réflexion sur le choix des espèces à semer basée sur les traits floraux est nécessaire car simplement semer des bandes fleuries en bordure de parcelle n'entraîne pas nécessairement un développement du contrôle biologique. En effet, Pfiffner et al. (2009) ont rapporté des effets variables du semis de bandes fleuries sur le taux de parasitisme de *Mamestra brassicae* (Linnaeus, 1758) et *Pieris rapae* (Linnaeus, 1758). Tschardt et al.

(2016) ont identifié cinq hypothèses pour expliquer que les milieux semi-naturels, parmi eux les bandes fleuries, ne favorisent pas le contrôle biologique. Soit (i) la population de ravageur n'a tout simplement pas d'ennemis naturels dans la région, ou (ii) la culture fournit une meilleure ressource alimentaire que le dispositif semi-naturel, ou (iii) le dispositif semi-naturel favorise plus les ravageurs que leurs ennemis naturels, ou (iv) le dispositif semi-naturel est insuffisant en quantité, est trop éloigné, la composition ou la configuration n'est pas adaptée, ou (v) les pratiques agricoles empêchent l'établissement des ennemis naturels. Par ailleurs, certains nectars contiennent des substances inhibant l'alimentation des ennemis naturels, induisant une toxicité. Les mélanges fleuris pourraient aussi favoriser le niveau trophique supérieur aux ennemis naturels pouvant entraîner une diminution du nombre de ces derniers (Balzan and Wäckers, 2013; Lu et al., 2014).

2.4. Modèle d'étude

2.4.1. *Les ravageurs du froment*

Le froment peut être attaqué par divers organismes comme des champignons, des virus, des bactéries ou encore des insectes. Parmi ces derniers, on retrouve les pucerons et les criocères (Coleoptera : Chrysomelidae), mais aussi de nombreuses espèces de chenilles (Lepidoptera : Noctuidae), le thrips *Haplothrips tritici* (Kurdjumov, 1913) (Thysanoptera : Phlaeothripidae), de nombreuses espèces de mouches comme *Delia coarctata* (Fallén, 1825) (Diptera : Anthomyiidae), les criquets (Orthoptera : Acrididae) et les sauterelles (Orthoptera : Tettigoniidae) (Prescott, et al., 1986). Dans le cadre de ce travail, nous nous concentrerons sur les pucerons et les criocères.

Le criocère des céréales, *Oulema melanopa* (Linnaeus, 1758) est l'un des principaux ravageurs des céréales. Les dégâts, visibles sur la face supérieure des feuilles, sont provoqués par les morsures des larves (INRA, n.d.). Ces morsures peuvent entraîner des pertes de rendement allant de 14 à 25 % (Prescott, et al., 1986). Les ennemis naturels des criocères sont les coccinelles, les chrysopes, certaines punaises prédatrices (Hemiptera: Heteroptera) et les carabes adultes (Coleoptera : Carabidae) (Tschumi et al., 2015).

Il existe environ 4700 espèces de pucerons dans le monde dont une centaine sont considérées comme des ravageurs des cultures et causent des dégâts économiques importants (Harrington, 2007). Le puceron est un ravageur majeur dans les agroécosystèmes. Ils ont la capacité de se développer très rapidement, les colonies sont éphémères tant de le temps que l'espace (Almohamad, Verheggen and Haubruge, 2009). Les espèces de pucerons s'attaquant au froment sont : *Rhopalosiphum padi*, *Rhopalosiphum maidis*, *Sitobion avenae*, *Schizaphis graminum*, *Metopolophium dirhodum* et *Diuraphis noxia* (Prescott, et al., 1986). Les pucerons sont des piqueurs-suceurs qui se nourrissent de sève. Lorsqu'il se nourrit, le puceron injecte de la salive dans la plante, ce qui peut transmettre des virus ou des pathogènes comme le virus de la jaunisse nanisante de l'orge par exemple (Harrington, 2007).

2.4.2. *Ennemis naturels et leurs besoins*

Les ennemis naturels interagissent avec leurs proies et hôtes, entraînant la régulation des populations de diverses organismes, parmi eux les ravageurs des cultures. La plupart des insectes herbivores ont plusieurs ennemis naturels et beaucoup d'entre eux ont plusieurs proies ou hôtes. Certains sont cependant plus spécifiques. Du point de vue de la lutte biologique, on distingue trois types d'ennemis naturels à savoir les parasites (dont les parasitoïdes qui tuent leurs hôtes), les prédateurs et les pathogènes (Debach and Rosen, 1991). Ce travail se focalisera plus particulièrement sur les prédateurs et parasitoïdes des pucerons et des criocères.

- **Les prédateurs**

Beaucoup d'espèces sont prédatrices tant au stade larvaire qu'au stade adulte alors que d'autres ne le sont qu'au stade larvaire, les adultes se nourrissant de pollen, nectar et miellat (Helyer et al., 2014). Dans ce cas, c'est généralement la femelle non prédatrice qui recherche les hôtes afin de déposer ses œufs à proximité de ceux-ci. Les prédateurs peuvent être aussi bien des insectes broyeurs ou des piqueurs-suceurs. Dans ce dernier cas, les prédateurs se nourrissent des fluides de leurs proies. Il existe une grande diversité de taxons prédateurs d'insectes (Debach and Rosen, 1991).

- Les syrphes (Diptera : Syrphidae)

Les syrphes sont particulièrement connus pour leur mimétisme des bourdons, abeilles et guêpes (van Veen, 2004). Les larves de syrpe peuvent être saprophages, herbivores ou encore aphidiphages alors que les adultes se nourrissent exclusivement de ressources florales que sont le nectar et le pollen. Les syrphes aphidiphages sont donc des agents potentiels de lutte biologique (Laubertie et al., 2012; Wäckers and van Rijn, 2012).

Les femelles adultes ont deux types de comportements de recherche, à savoir la recherche de source de nourriture et la recherche de sites d'oviposition. Le choix du site de ponte peut être influencé par divers facteurs tels que l'habitat, la plante hôte, les espèces de pucerons, la disponibilité en pucerons, l'âge de la femelle ou encore la présence de composés volatiles sémiochimiques ainsi que le risque de compétition intra- ou interspécifique. Ce choix peut être déterminant car les descendants sont souvent obligés de se nourrir des hôtes choisis par la femelle lors de l'oviposition. Les femelles ont une mobilité élevée et peuvent donc distribuer leurs œufs sur de larges territoires. Elles sont également capables de repérer des colonies de pucerons plus tôt dans la saison que les autres prédateurs aphidiphages (Almohamad et al., 2009).

De manière générale, il y a une corrélation entre la longueur de la langue des insectes et la profondeur moyenne des fleurs visitées. Le choix floral reflète principalement l'accessibilité au nectar plutôt que l'accessibilité au pollen (Wäckers and van Rijn, 2012).

E. balteatus est une espèce de syrpe dont les larves sont prédatrices de plus d'une centaine d'espèces de pucerons. Il a de plus un taux élevé de reproduction et les larves sont particulièrement voraces, pouvant consommer 400 à 1000 pucerons au cours de leur développement. Cette espèce de syrpe est naturellement présente sur les terres arables d'Europe où elle est généralement l'espèce prédatrice de pucerons la plus abondante (Almohamad et al., 2009; Laubertie et al., 2012). La couleur serait le signal visuel le plus important pour *E. balteatus* (Primante and Dötterl, 2010). Sutherland, Sullivan, and Poppy, (1999) ont démontré qu'*E. balteatus* est significativement plus attiré par la couleur jaune que par le vert, le blanc ou encore le bleu, et plus particulièrement chez les jeunes syrphes naïfs et chez les femelles. De plus, il serait attiré par des longueurs d'ondes comprises entre 460 et 600 nm, ce qui correspond aux couleurs communes des anthères et du pollen (Shi et al., 2009).

En Belgique, on retrouve par ailleurs communément d'autres espèces aphidiphages telles que *Eupeodes corollae* (Fabricius, 1794), *Melanostoma mellinum* (Linnaeus, 1758), *Platycheirus manicatus* (Meigen, 1822), *Sphaerophoria scripta* (Linnaeus, 1758) ou encore *Syrphus ribesii* (Linnaeus, 1758) (Hatt et al., 2017).

- Les coccinelles (Coleoptera : Coccinellidae)

Les larves et adultes ont des pièces buccales broyeuses et ont la même ressource alimentaire. Ils se nourrissent principalement de pucerons et de cochenilles (Hemiptera : Coccoidea). Par exemple, *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera : Coccinellidae) peut consommer entre trois et quatre cent pucerons au cours d'une génération (stade larvaire et stade adulte) et *Hippodamia convergens* (Guérin-Méneville, 1842) peut quant à elle consommer jusqu'à 5000 pucerons sur une génération (Helyer and Cattlin, 2014).

La ressource florale n'est pas nécessaire pour leur survie, mais ils peuvent tout de même en dépendre en cas de manque temporaire de proies (Schaller and Nentwig, 2000; Wäckers and van Rijn, 2012). De nombreuses espèces de coccinelles consomment du nectar, du miellat, du pollen, des fruits ou encore des champignons lors de faible présence de proies afin d'augmenter leur survie. Chaque ressource alimentaire « non-hôte » possède ses propres caractéristiques nutritionnelles (Lundgren, 2009). Les espèces prédatrices principales en Belgique sont *Anatis ocellata* (Linnaeus, 1758), *Coccinella 7 punctata* (Linnaeus, 1758), *Harmonia 4 punctata* (Pontoppidan, 1763), *H. axyridis*, *Propylea 14 punctata* (Linnaeus, 1758), *Tytthaspis 16 punctata* (Linnaeus, 1761) (Hatt et al., 2017; Mouchon, 2016).

- Les chrysopes (Neuroptera : Chrysopidae, Hemerobiidae)

Les familles de chrysopes les plus importantes en terme de lutte biologique sont les Chrysopidae (chrysopes verts) et les Hemerobiidae (chrysopes bruns) (Debach and Rosen, 1991). Leurs larves sont prédatrices de pucerons, cochenilles et autres insectes à corps mou. Certaines espèces se nourrissent de proies et d'espèces florales alors que d'autres se nourrissent uniquement de pollen, nectar et miellat. Par exemple, les espèces *Chrysoperla* spp. ont besoin d'une source de sucre (nectar ou miellat) et de pollen pour atteindre leur capacité maximum de reproduction. Les pièces buccales des chrysopes sont courtes, ce qui limite le nombre d'espèces florales dont le nectar floral est exploitable (Rijn, 2012).

Villenave et al. (2006) ont démontré que le chrysope est opportuniste et est principalement attiré par de grandes étendues de plantes en fleur. Le miellat et le nectar fournissent aux chrysopes des levures symbiotiques. Certaines fleurs ne sont jamais visitées par les chrysopes car elles se referment au crépuscule, lorsque ces derniers se nourrissent. D'après des études récentes, *Chrysoperla carnae* (Stephens, 1836) est la principale espèce piégée en milieu agricole en Belgique (Hatt et al., 2017; Mouchon, 2016). Les chrysopes ayant des pièces buccales courtes, ils ne peuvent pas exploiter le nectar d'un grand nombre de fleurs (Wäckers and van Rijn, 2012). Les larves peuvent consommer jusqu'à plusieurs centaines de pucerons au cours de leur développement (Liu and Chen, 2001).

- **Les parasitoïdes**

Un parasite profite de son hôte à ses dépens. On distingue les parasites obligatoires qui ne peuvent survivre indépendamment de leur hôte et les parasites facultatifs qui le peuvent. On parlera de *parasitoïde* lorsque l'organisme tue son hôte au cours de son développement. Les parasitoïdes ont généralement un stade adulte libre et un stade larvaire durant lequel la larve se développe dans ou sur un hôte qu'elle tue. On distingue les endoparasites qui se développent dans leur hôte et les ectoparasites qui se développent hors de l'hôte (Helyer et al., 2014). Les endoparasites consomment tout ou une partie de leur hôte puis entrent en pupaison à l'intérieur de l'hôte jusqu'à l'émergence de l'adulte. Les adultes se nourrissent en général de miellat, pollen et nectar mais ceux de certaines espèces se nourrissent également des fluides des organismes hôtes. Par ailleurs, certains parasitoïdes peuvent faire une partie de leur cycle de développement comme endoparasites puis devenir ectoparasites et inversement (Debach and Rosen, 1991).

- Les hyménoptères parasitoïdes

Les hyménoptères (Hymenoptera) représentent l'ordre le plus abondant des insectes entomophages (Debach and Rosen, 1991). Les larves d'hyménoptères parasitoïdes sont généralement très spécialisées en ce qui concerne leur hôte. Pour les adultes, il existe deux types de comportements alimentaires. Pour le premier, l'hôte est lié à la source d'hydrates de carbone et donc il n'y a pas de différenciation entre la recherche de nourriture et la recherche d'un site de ponte. Pour l'autre, la source d'hydrates de carbone n'est pas liée à l'hôte et il est donc nécessaire pour les femelles de différencier la recherche de nourriture de

la recherche d'un site de ponte (Wäckers and van Rijn, 2012). Les adultes se nourrissent parfois de l'hôte dont l'hémolymphe contient des protéines et des lipides nécessaires pour la maturation des œufs, mais ces insectes dépendent également de la ressource florale pour leur développement. Le nectar floral et extra-floral ainsi que le miellat leur servent de source de sucre afin de remplir leur demande énergétique. Au-delà de cela, les parasitoïdes ont également besoin d'abris pour l'hiver, de sites d'oviposition ou encore d'hôtes alternatifs (Gillespie et al., 2016). Le choix de la ressource florale dépend non seulement de son accessibilité, de l'odeur et de la couleur des fleurs mais également de la composition du nectar (Vattala et al., 2006).

En Belgique, les hyménoptères parasitoïdes de pucerons appartiennent à la superfamille des Ichneumonidae, famille des Braconidae, sous-famille des Aphidiinae, tribu des Aphidiini et des sous-tribus des Aphidiina, Lysiphlebina, Monoctonina, Trioxina et des tribus Ephedrini et Praini. On en retrouve également dans la superfamille des Chalcidoidea, famille des Aphelinidae, sous-famille des Aphelininae du genre *Aphelinus* (Lopes et al., 2016). Les parasitoïdes les plus fréquemment rencontrés sont des familles et super-familles des Braconidae, Ichneumonidae, Chalcidoidea, Chrysoidea (Balzan and Moonen, 2014).

2.4.3. *Cameline (Brassicaceae) et Dimorphotheca (Asteraceae)*

- Cameline

La cameline (*Camelina sativa* (L.) Crantz) est une plante annuelle herbacée qui appartient à la famille des Brassicaceae. Son inflorescence est en grappe lâche et allongée, les pétales sont jaunâtres à jaunes, plus longs que larges. L'huile de cameline est autorisée en alimentation humaine et est riche en acides gras insaturés (90 %), principalement l'acide alpha-linolénique et l'acide linoléique. De plus, cette huile est également riche en vitamine E (Plut, Seyrig, and Leclerc, 2010). L'huile de cameline peut également être une source de matières premières pour la production de biocarburants. La qualité de l'huile est fortement dépendante des facteurs environnementaux. Pour avoir une place sur le marché, l'huile de cameline doit contenir plus de 30 % d'acide alpha-linolénique, moins de 3 % d'acide érucique, moins de 10 % d'acides gras saturés et un ratio acide alpha-linolénique / acide linoléique supérieur à 1 (Ghamkhar et al., 2010).

Il est reconnu que les syrphes sont d'importants pollinisateurs du colza (*Brassica napus* L.) (Jauker and Wolters, 2008). Il est donc possible que ces insectes soient également attirés par les fleurs de camelines. En effet, ces deux plantes sont de la même famille et présentent des fleurs assez semblables. Laubertie et al. (2012) rapportent également que les syrphes se nourrissent du pollen et du nectar de moutarde (*Sinapis arvensis* (L.)). Ceci renforce l'hypothèse que la cameline devrait être attractive pour les syrphes. Selon Jervis, Kidd, and Fitton (1993) les hyménoptères parasitoïdes seraient également favorisés par la moutarde. Il est donc probable que ces insectes soient également favorisés par la cameline. Le jaune étant une couleur attractive pour de nombreux insectes, il est possible que les autres ennemis naturels des pucerons tels que les coccinelles et chrysopes soient également attirés par cette espèce florale.

- Dimorphotheca

Dimorphotheca pluviialis (L.) Moench est une plante herbacée annuelle de la famille des Asteraceae. Elle est originaire d'Afrique du Sud-Ouest, plus particulièrement de la région du Cap. En fonction des conditions environnementales, elle peut atteindre une hauteur de 10 à 15 cm. L'espèce semble bien adaptée au climat maritime d'Europe du Nord-Ouest. Dans nos régions, elle se sème au mois d'avril, fleurit au mois de juillet et est récoltée au mois d'août. L'huile de *Dimorphotheca* constitue un matériau brut utilisé dans plusieurs domaines, parmi lesquels la pharmacie et la parfumerie (Hof et al., 1999).

Les Asteraceae sont typiquement visitées par les syrphes qui sont particulièrement sensibles au jaune et au pattern-UV contrasté des fleurs (Wäckers and van Rijn, 2012). Carrié et al. (2012) ont enregistré une attirance de plusieurs groupes d'insectes bénéfiques (notamment les hyménoptères parasitoïdes) de plusieurs espèces d'Asteraceae comme *Achillea millefolium* (L.) et *Leucanthemum vulgare* (Lam.). Il est donc possible que *Dimorphotheca* soit également attractive pour ces insectes auxiliaires.

2.5. Conclusions et perspectives

Actuellement, il est connu que les syrphes sont plus attirés par la couleur jaune que par le vert, le blanc ou encore le bleu (Sutherland, Sullivan, and Poppy, 1999). Mais il est intéressant de se demander si les syrphes peuvent associer une couleur à la présence de nourriture. Mondor and Warren (2000) ont réussi à modifier le comportement alimentaire des coccinelles en les conditionnant à se nourrir sur du vert ou du jaune. Pour ce qui est des syrphes, aucune étude n'a pu être trouvée en ce qui concerne leur conditionnement (c'est-à-dire les faire se nourrir sur une couleur unique pendant un certain temps et déterminer si leur comportement de recherche alimentaire s'en trouve modifié). Il serait intéressant de savoir si les syrphes peuvent associer une couleur à la présence de nourriture. En effet, cet insecte pourrait modifier son comportement de recherche de nourriture en fonction de ses expériences précédentes. C'est pourquoi, dans le cadre de ce travail, des syrphes (*E. balteatus*) ont été conditionnés à se nourrir sur trois couleurs (vert, jaune et rouge) afin de savoir si leur recherche de nourriture future est influencée par ce conditionnement.

Par ailleurs, de nombreuses études s'intéressent aux bandes fleuries principalement pour leur aspect biodiversité, ces bandes fleuries étant actuellement subventionnées par la Politique Agricole Commune. Mais ces dispositifs peuvent également fournir d'autres services écosystémiques comme le contrôle biologique des ravageurs des cultures, sauf qu'ils restent peu adoptés par les agriculteurs. Cela peut s'expliquer par divers facteurs à savoir, la faible prédictibilité de l'efficacité du contrôle basé sur les ennemis naturels en comparaison aux produits chimiques ou encore la complexité des interactions ravageurs - ennemis naturels (Holland et al., 2016). Par ailleurs, retirer un gain économique de ces bandes fleuries pourrait accroître leur intérêt. C'est pourquoi dans le cadre de ce travail, des espèces florales avec une finalité économique (Cameline et *Dimorphotheca*) ont été testées. Elles ont été comparées avec un mélange de diverses espèces florales connues pour avoir des effets bénéfiques sur les insectes auxiliaires.

Dès lors, les questions de recherches sont les suivantes :

- Le choix du site de nourrissage des syrphes est-il influencé par un conditionnement à une couleur unique ?
- Quels sont les effets de trois types de bandes fleuries (*i.e.* *Dimorphotheca* en culture pure, cameline en culture pure, et un mélange d'espèces annuelles/pluriannuelles) sur les populations de ravageurs du froment et leurs ennemis naturels dans les bandes et dans la culture adjacente (froment) ?
 - Quel est l'effet des différents mélanges fleuris sur les populations de ravageurs et d'ennemis naturels dans le froment adjacent ?
 - Y a-t-il des différences entre les différents mélanges fleuris dans le soutien aux populations d'ennemis naturels dans les bandes ?

3. Matériel et méthodes

3.1. Etude du comportement du syrphe face à des stimuli visuels

○ *Origine des syrphes :*

Les syrphes *E. balteatus* (Diptera : Syrphidae) furent élevés dans les caves de l'unité d'entomologie de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) à une température de 22 ± 1 °C, une photopériode de 16 :8 heures et une humidité relative de 50 ± 10 %. Ils furent maintenus dans des cages à filets de $75 \times 60 \times 90$ cm et nourris avec du pollen frais, du miel et du sucre. L'oviposition fut induite avec des plants de pois (*Vicia faba* L.) infestés de pucerons (*Acyrtosiphon pisum* Harris) introduits dans la cage pendant 24 heures. Les larves furent ensuite nourries avec les mêmes pucerons sur les mêmes plantes jusqu'à la pupaison (Figure 2).



Figure 2 : Larves de syrphe se nourrissant d'un puceron

Afin de pouvoir commencer les expérimentations plus rapidement, une soixantaine de syrphes ont été fournis par le Centre de Recherches Agronomiques Wallon de Gembloux (CRA-W). Ces syrphes ont été transférés le 9 mars 2017. Ils avaient commencé à émerger dès le 28 février 2017.

- **Conditionnement :**

Dès l'émergence, les syrphes furent conditionnés à se nourrir sur une couleur (jaune 560 nm, vert 520 nm ou rouge 650 nm). Ils furent placés dans une cage à filet (25 × 25 × 40 cm) sur une période d'une à deux semaines, leur nourriture ayant été placée sur un rond en plastique de couleur (Superplastic, Liège) de 10 cm de diamètre (Figure 3). Une boîte de pétri avec un papier filtre recouvert de miel et saupoudré de pollen et de sucre fut collée au rond de plastique de couleur.

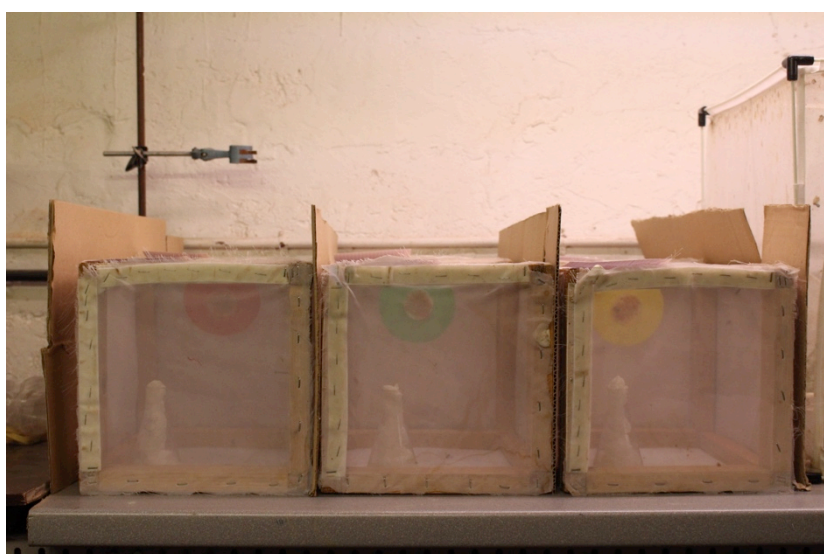


Figure 3 : Conditionnement des syrphes

- **Tests de choix :**

Chaque population (groupe de syrphes, de cinq à 15 individus, ayant été conditionnés en même temps dans une même cage) fut placée dans une cage de 88 × 45 × 45 cm, un rond en plastique de couleur de 10 cm de diamètre placé de chaque côté de la cage, d'un côté la couleur pour laquelle ils ont été conditionnés et de l'autre une des deux autres couleurs. Les syrphes furent introduits au milieu de la cage, et leur position (sur le rond de la couleur de conditionnement, à 15 cm de la couleur de conditionnement, à 15 cm de l'autre couleur, sur le rond de l'autre couleur, dans la zone neutre) (Figures 4-7) fut relevée toutes les 20 minutes pendant deux heures. Les syrphes ont été privés de nourriture 12 à 24 heures avant l'expérience.

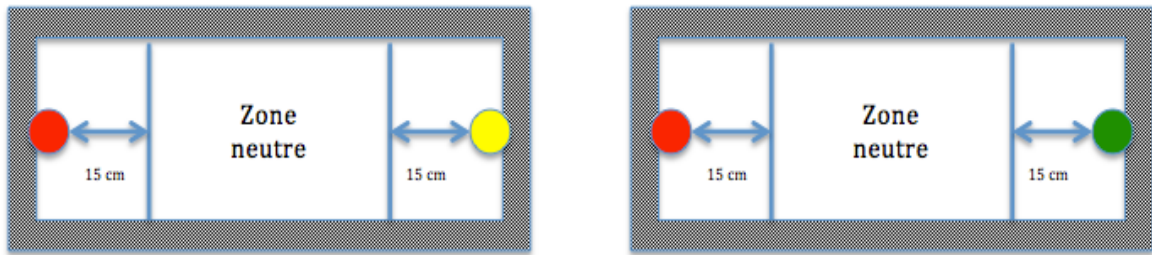


Figure 4 : Tests de choix réalisés pour les syrphes conditionnés pour le rouge

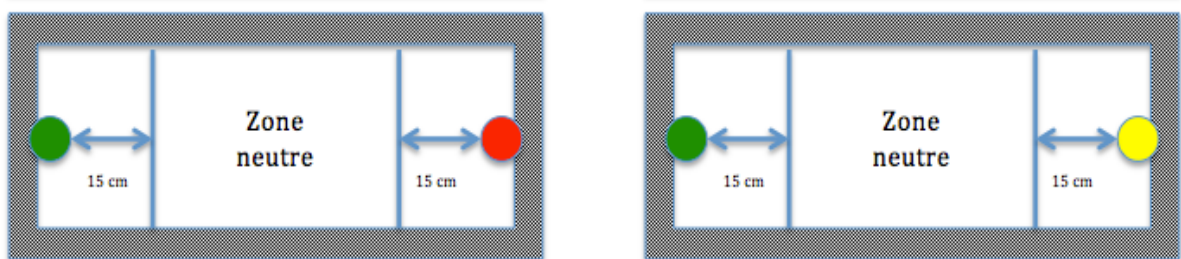


Figure 5 : Tests de choix réalisés pour les syrphes conditionnés pour le vert

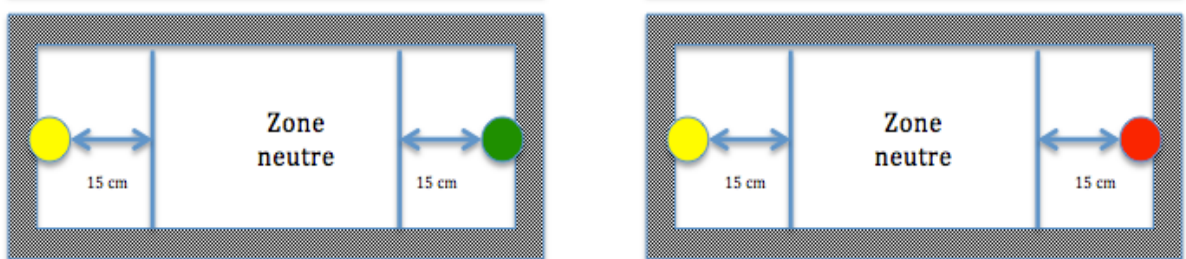


Figure 6 : Tests de choix réalisés pour les syrphes conditionnés pour le jaune

Les choix de durée de privation de nourriture et de temps d'observation ont été déterminés à partir de Xie et al. (2014) qui ont étudié les effets de certains volatils du froment notamment sur le comportement d'*E. balteatus*.



Figure 7 : Dispositif du test de choix (Vert V/S Jaune ici)

○ *Analyses statistiques*

Afin d'avoir une distribution binomiale, les résultats ont été traités en combinant les données « proche couleur » et « sur la couleur » et les résultats « zone neutre » ont été ignorés. Des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM, package 'lme4', fonction 'glmer') avec une distribution binomiale ont été ajustés afin d'évaluer une éventuelle préférence de couleur de la part des syrphes. La couleur a été considérée comme facteur fixe, les facteurs temps et lot ont été pris en compte comme facteurs aléatoires. Ces modèles ont été testés via un test de vraisemblance χ^2 . Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2014).

3.2. Effet de trois types de bandes fleuries sur les pucerons, les criocères et leurs ennemis naturels

○ Site de l'expérimentation et dispositif expérimental

L'expérimentation fut réalisée au sein de la ferme expérimentale *AgricultureIsLife* de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège), Province de Namur, 50°30'48.1"N 4°43'55.5"E. Il s'agissait d'une parcelle de froment d'hiver de 12 hectares. La partie Nord fut semée le 3 novembre 2016 avec la variété Anapolis après une culture de pommes de terre et la partie Sud le 25 novembre 2016 avec la variété KWS Smart après une culture de maïs (*Zea mays* L.).

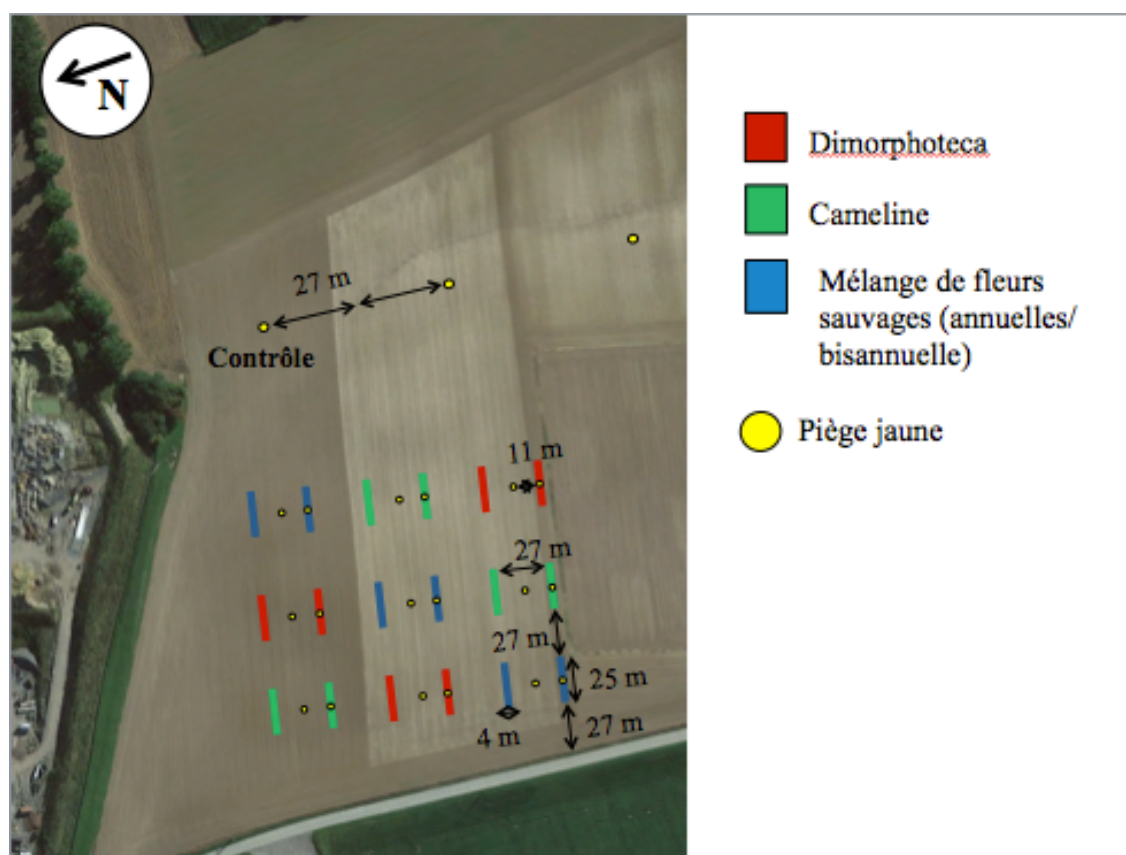


Figure 8 : Dispositif expérimental. Les variations de gris indiquent les parties Nord et Sud de la parcelle

Dix-huit bandes furent semées avec des espèces florales à 27 m les unes des autres. Trois types de bandes furent semés à savoir, de la cameline seule, de la *Dimorphotheca* seule et un mélange de différentes plantes annuelles et pluriannuelles. Le mélange fut composé de Carotte sauvage (*Daucus carota* L.), Onagre bisannuel (*Oenothera biennis* Linnaeus), Vipérine (*Echium vulgare* L.), Coriandre (*Coriandrum sativum* L.), Sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench), Chrysanthème des moissons (*Glebionis segetum* (L.) Fourr.), Compagnon blanc (*Silene latifolia alba* Poir.), Mauve musquée (*Malva moschata* L.), Géranium des Pyrénées (*Geranium pyrenaicum* Burm.f.), de Trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum* L.) et enfin de Trèfle blanc (*Trifolium repens* L.). Les proportions de chaque graine ont été calculées afin de semer le même nombre de graines de chaque espèce (Tableau 1). Chaque bande fut semée six fois (deux fois la même modalité en face l'une de l'autre) pour constituer trois répétitions et les bandes furent disposées en carré latin (Figure 8).

Tableau 1 - Compositions florales des bandes

Traitement	Genre espèce	Phénologie	Poids	
			g / ha	g/16m ²
Traitement 1				
Mélange floral				
Carotte sauvage	<i>Daucus carota</i>	bisannuelle	175	0,28
Onagre bisannuel	<i>Oenothera biennis</i>	bisannuelle	70	0,11
Vipérine	<i>Echium vulgare</i>	bisannuelle	507,5	0,81
Coriandre	<i>Coriandrum sativum</i>	annuelle	1400	2,24
Sarrasin	<i>Fagopyrum esculentum</i>	annuelle	1750	2,80
Chrysanthème des moissons	<i>Glebionis segetum</i>	annuelle	157,5	0,25
Compagnon blanc	<i>Silene latifolia alba</i>	pérenne	140	0,22
Mauve musquée	<i>Malva moschata</i>	pérenne	350	0,56
Géranium des Pyrénées	<i>Geranium pyrenaicum</i>	pérenne	350	0,56
Total			4900	7,84
Couverture de fond				
Trèfle incarnat	<i>Trifolium incarnatum</i>		100	0,16
Trèfle blanc	<i>Trifolium repens</i>		100	0,16
Traitement 2				
Dimorphotheca	<i>Dimorphotheca sp.</i>		5000	8,00
Traitement 3				
Cameline	<i>Camelina sativa</i>		5000	8,00

- *Quadrats et relevés floristiques*

Dans les bandes constituées du mélange floral, trois carrés d'1 m² (quadrats) furent placés après le semis dans chaque bande, à hauteur des pièges jaunes, afin d'évaluer la proportion de chaque espèce florale (Figure 9). Les relevés floristiques dans les quadrats furent réalisés le 11 juillet. Pour chaque quadrat, le nombre de plantes ainsi que le nombre d'unités florales ont été relevés pour chaque espèce. Une unité florale correspond à un ensemble de fleurs sur lequel un insecte peut se déplacer sans devoir voler.



Figure 9 : Bande constituée du mélange avec pièges et quadrats

- *Echantillonnage des insectes*

- Les pièges jaunes

Dans chaque répétition, dans la bande de fleurs au Sud, un piège jaune (Flora®, 27 cm de diamètre, 10 cm de profondeur) a été placé ainsi que dans le froment entre deux bandes semées avec les mêmes espèces florales (à 12 m de la bande Sud). Trois pièges jaunes furent également placés à 27 m à l'Est des bandes dans le froment pour servir de témoins (Figure 8). Ces pièges furent disposés sur un support en fibre de verre et maintenus à hauteur de végétation. Les pièges furent remplis avec de l'eau et quelques gouttes de liquide vaisselle (afin de réduire la tension superficielle de l'eau). Chaque semaine du 24 mai 2017 au 19 juillet 2017 (huit semaines), les pièges furent relevés dans le but d'évaluer l'abondance de pucerons et de leurs ennemis naturels à la fois dans les bandes et dans le froment.

Les insectes collectés furent conservés dans l'éthanol à 70 %, identifiés à l'espèce et dénombrés à l'aide des clés suivantes :

- ⇒ Syrphes : Veen, (2004)
- ⇒ Coccinelles : Branquart, (2000)
- ⇒ Pucerons : Leclant, (1982)
- ⇒ Chrysopes : San Martin, (2004)
- ⇒ Hyménoptères parasitoïdes : Kavallieratos et al. (2005); Rakhshani et al. (2008), (2012); Tomanović et al. (2009)

- Observations dans le froment

Chaque semaine des observations directes dans le froment furent réalisées. A proximité de chaque piège, 20 talles furent observées et les pucerons, criocères, larves de syrphes, larves et adultes de coccinelles ainsi que larves et adultes de chrysopes furent dénombrés. De plus, le parasitisme des pucerons fut évalué en dénombrant les pucerons parasités (momies). Afin d'observer un maximum d'insectes, les observations furent réalisées autant que possible par temps sec et ensoleillé.

- Transects dans les bandes fleuries

Des transects avec capture au filet furent réalisés dans les bandes fleuries. Chaque espèce florale fut observée à quatre reprises au cours de l'expérimentation. Lorsqu'un insecte se posait sur l'espèce florale observée, ce dernier était identifié et comptabilisé. Si l'identification directe n'était pas possible, l'insecte était capturé au filet et placé au congélateur à -20 °C. Ces observations furent réparties en deux demi-journées. En effet, un transect fut réalisé le matin et l'autre l'après-midi et ce durant deux journées différentes. Pour la cameline, les deux premiers transects furent réalisés le 21 juin et les deux suivants le 7 juillet. Pour le sarrasin, présent dans le mélange de fleurs, les deux premiers transects furent réalisés le 19 juin et les deux suivants le 7 juillet. Dans le cas de *Dimorphotheca*, les deux premiers transects furent réalisés le 7 juillet et les deux suivants le 19 juillet.

- Analyses statistiques

Des GLMM (package 'lme4', fonction 'glmer') avec une distribution de Poisson ont été ajustés dans le but d'évaluer l'effet des différents traitements sur l'abondance de pucerons, de criocères et de leurs ennemis naturels. Les traitements ont été introduits comme facteurs fixes. Le facteur « bande » (bandes fleuries numérotées de 1 à 9 et témoins numérotés de 1 à 3) a été pris en compte comme facteur aléatoire. Ensuite, un test de vraisemblance du χ^2 a été réalisé sur base des modèles ajustés. Enfin, les abondances moyennes ont été comparées avec des tests post-hoc de Tukey (package 'multcomp', fonction 'glht').

4. Résultats

4.1. Etude du comportement du syrphe face à des stimuli visuels

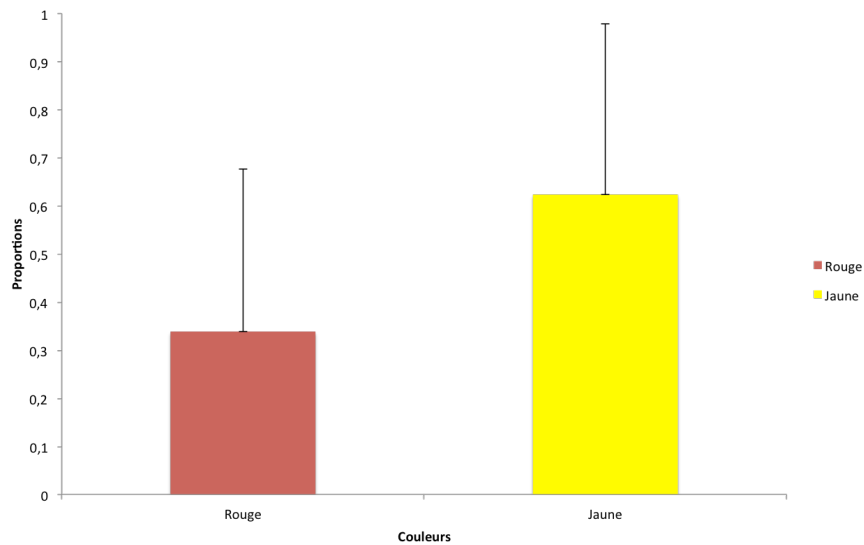


Figure 10 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur rouge et testés pour le rouge et le jaune

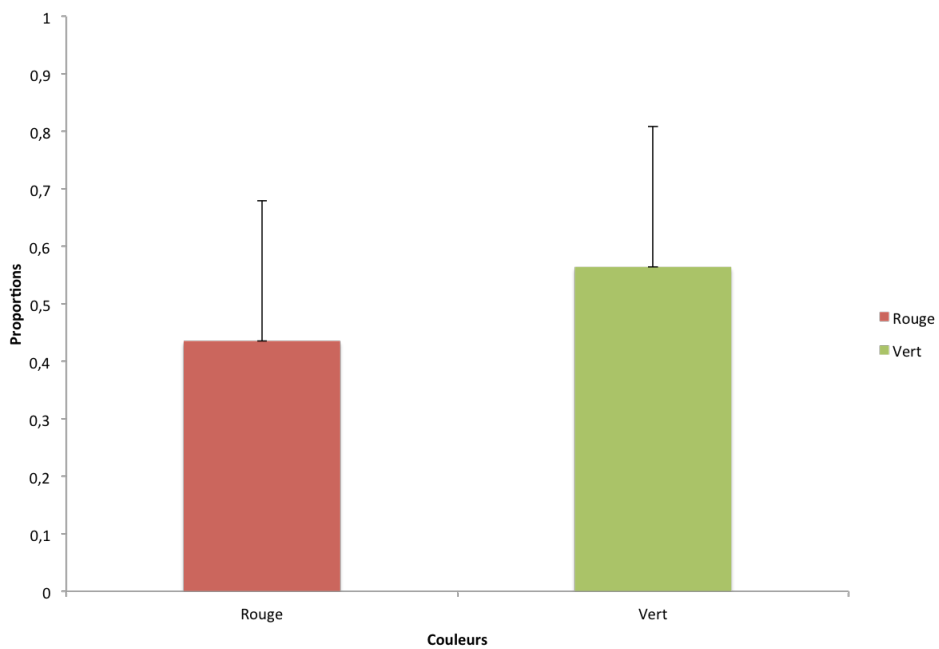


Figure 11 : Proportion moyenne (+écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur rouge et testés pour le rouge et le vert

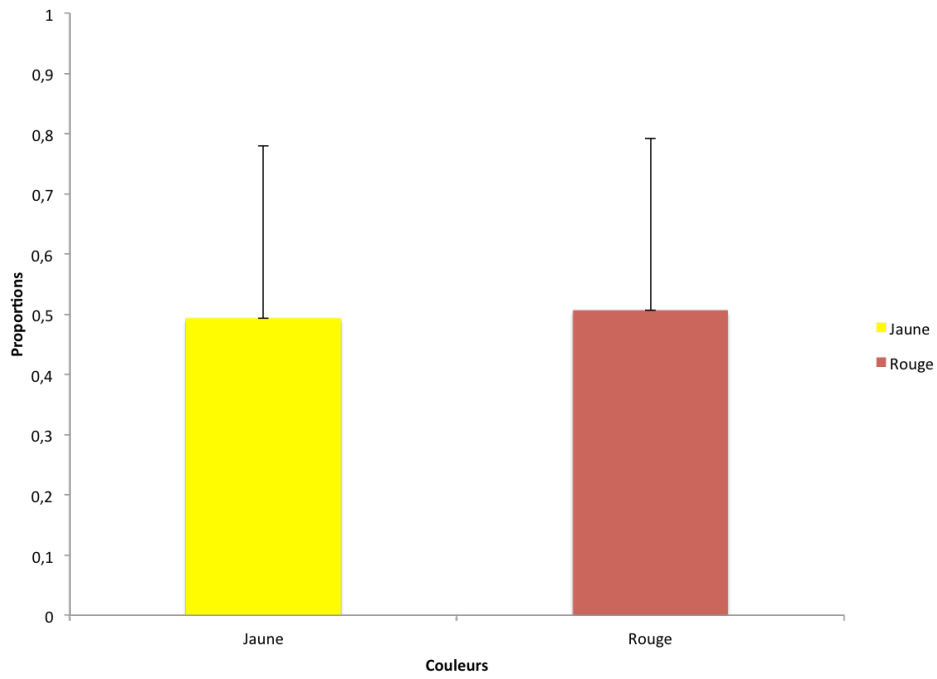


Figure 12 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur jaune et testés pour le jaune et le rouge

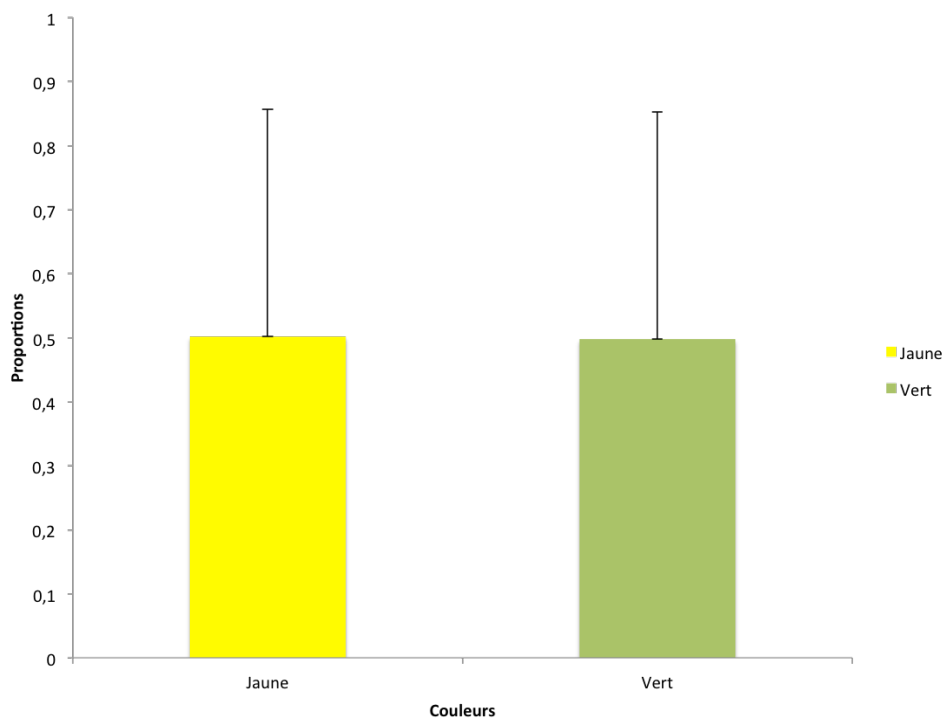


Figure 13 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur jaune et testés pour le jaune et le vert

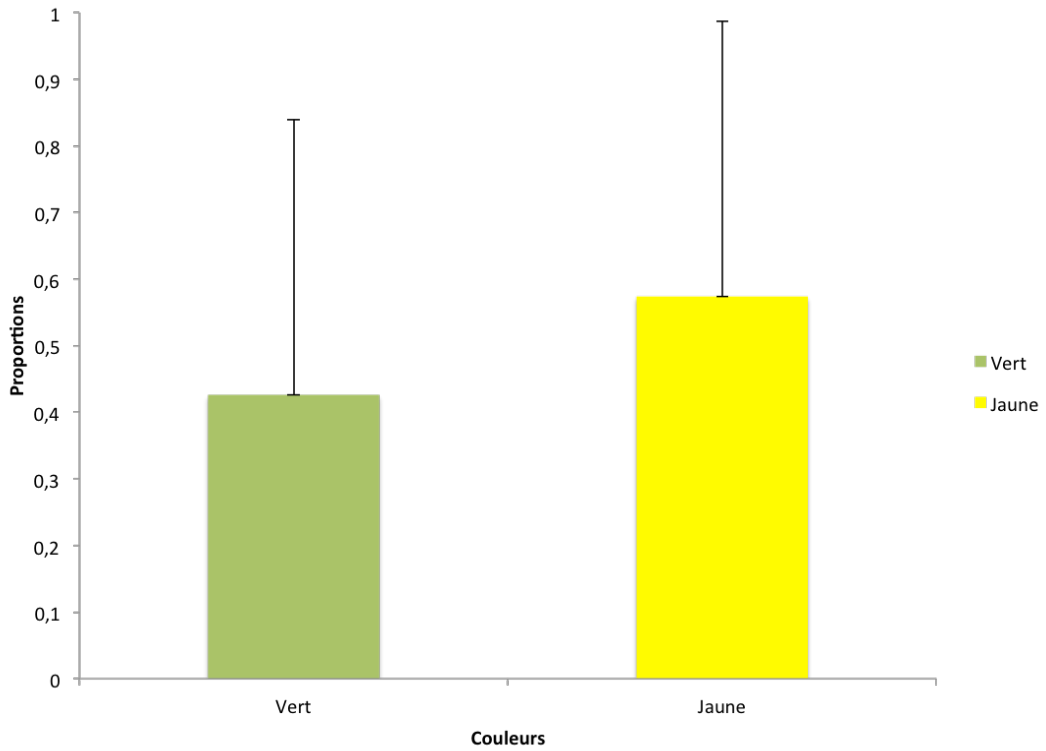


Figure 14 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur verte et testés pour le vert et le jaune

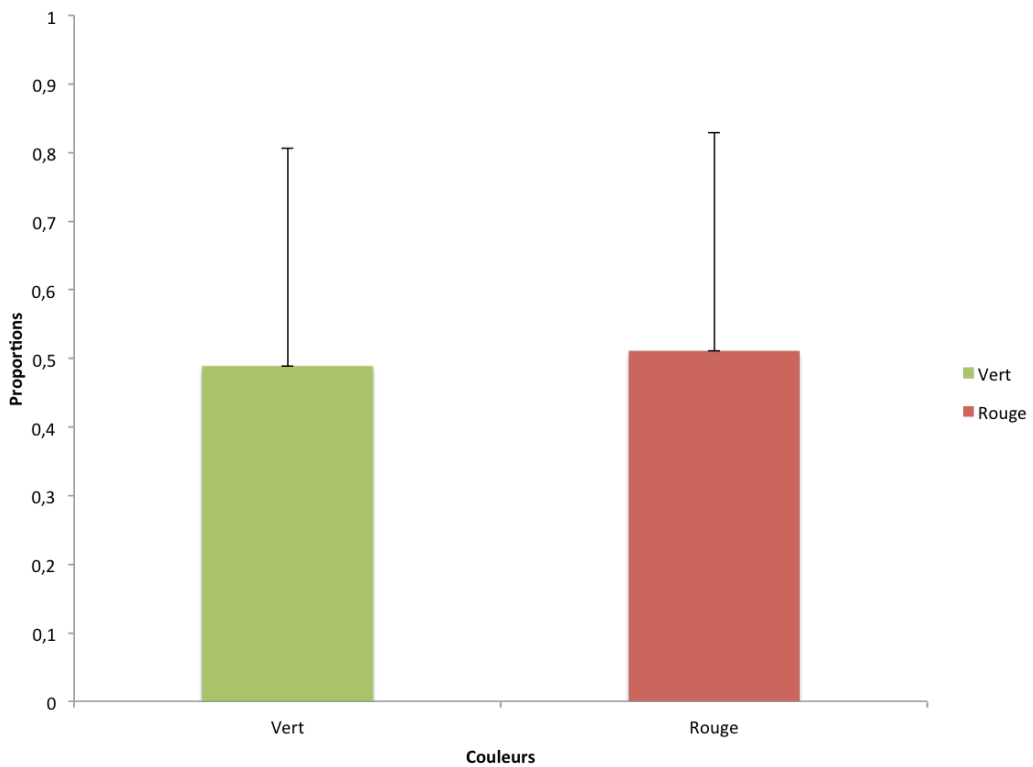


Figure 15 : Proportion moyenne (+ écart-type) de syrphes conditionnés pour la couleur verte et testés pour le vert et le rouge

Tableau 2 : Test du rapport de vraisemblance du χ^2 et p -valeurs associées des préférences d'*E. balteatus* conditionnés pour les couleurs

Test	df	χ^2 -valeurs	p -valeurs
Rouge V/S Jaune	1	10,241	0,001**
Rouge V/S Vert	1	1,6789	0,195
Jaune V/S Vert	1	1,4354	0,231
Jaune V/S Rouge	1	1,3559	0,244
Vert V/S Jaune	1	0,9609	0,327
Vert V/S Rouge	1	0,0076	0,930

Les syrphes conditionnés à se nourrir sur la couleur rouge, lorsqu'ils ont le choix entre le jaune et le rouge, sont significativement plus abondants sur la couleur jaune que sur la couleur rouge (Figure 10 ; Tableau 2). Par contre, aucune différence significative n'est observée lorsqu'ils sont confrontés à la couleur verte (Figure 11 ; Tableau 2). Lorsque les syrphes ont été conditionnés à se nourrir sur la couleur jaune et qu'ils sont confrontés au jaune et à l'une des deux autres couleurs (rouge et vert), ils ne montrent pas de préférence significative pour l'une des couleurs (Figure 12 et 13 ; Tableau 2). Il en va de même lorsque les syrphes ont été conditionnés à se nourrir sur la couleur verte (Figure 14 et 15 ; Tableau 2). Ces essais visant à tester le conditionnement des syrphes, par le biais de ronds de couleur différentes, sur leur comportement de recherche de nourriture ont permis de démontrer un effet inexistant de cet apprentissage (Figures 10 à 15).

4.2. Effet de trois types de bandes fleuries sur les pucerons, les criocères et leurs ennemis naturels

- *Floraison des bandes fleuries*

Comme le montre le tableau 3, c'est principalement le sarrasin qui a fleuri durant la période de l'expérimentation dans les bandes « mélange », suivi par la coriandre et enfin quelques chrysanthèmes des moissons.

Tableau 3 : Nombre d'unités florales par espèce dans les bandes "mélange"

	Quadrats	Sarrasin		Coriandre		Chrysanthème des moissons	
		Nombre de plantes	Nombre d'UF	Nombre de plantes	Nombre d'UF	Nombre de plantes	Nombre d'UF
Bande1	1	8	561	4	48	0	0
	2	9	802	8	74	1	3
	3	2	180	3	58	0	0
Bande 5	1	8	949	6	82	0	0
	2	6	446	2	23	0	0
	3	3	333	8	54	0	0
Bande 9	1	12	785	2	10	1	2
	2	0	0	2	24	2	2
	3	2	138	1	5	0	0
Total			4194		378		7

Pour les dates de floraison, le sarrasin a fleuri vers le 3 juin, la coriandre le 28 juin. Quant à la cameline et *Dimorphotheca*, elles ont fleuri à la mi-juin. En dehors des quadrats, il y avait quelques autres espèces florales qui commençaient à entrer en floraison mais de manière très clairsemée. Parmi ces espèces, on retrouve le trèfle incarnat qui est entré en floraison vers le 10 juillet, et aux alentours du 20 juillet, la vipérine, la mauve musquée et le géranium des Pyrénées sont également entrés en floraison.

- **Pièges jaunes**

Durant les huit semaines de piégeage, les pucerons ont été les ravageurs les plus abondants (en particulier *S. avenae*). En termes d'ennemis naturels, les coccinelles (majoritairement *H. axyridis*) étaient les plus abondantes, suivies des chrysopes (uniquement *C. carnae*), des syrphes (majoritairement des *S. scripta*) et enfin des parasitoïdes (Tableau 4).

Dans la figure 7, on peut observer un pic d'abondance de chrysopes et de coccinelles simultanément à un pic d'abondance de pucerons (le 28/06/17). Pour les parasitoïdes et les criocères, on n'observe pas de pic d'abondance. Quant aux syrphes, ils furent peu abondants dans les pièges. Un second pic d'abondance de pucerons fut observé le 12/06/17 mais du côté des ennemis naturels, seules les coccinelles semblent avoir été un peu plus abondantes cette semaine-là.

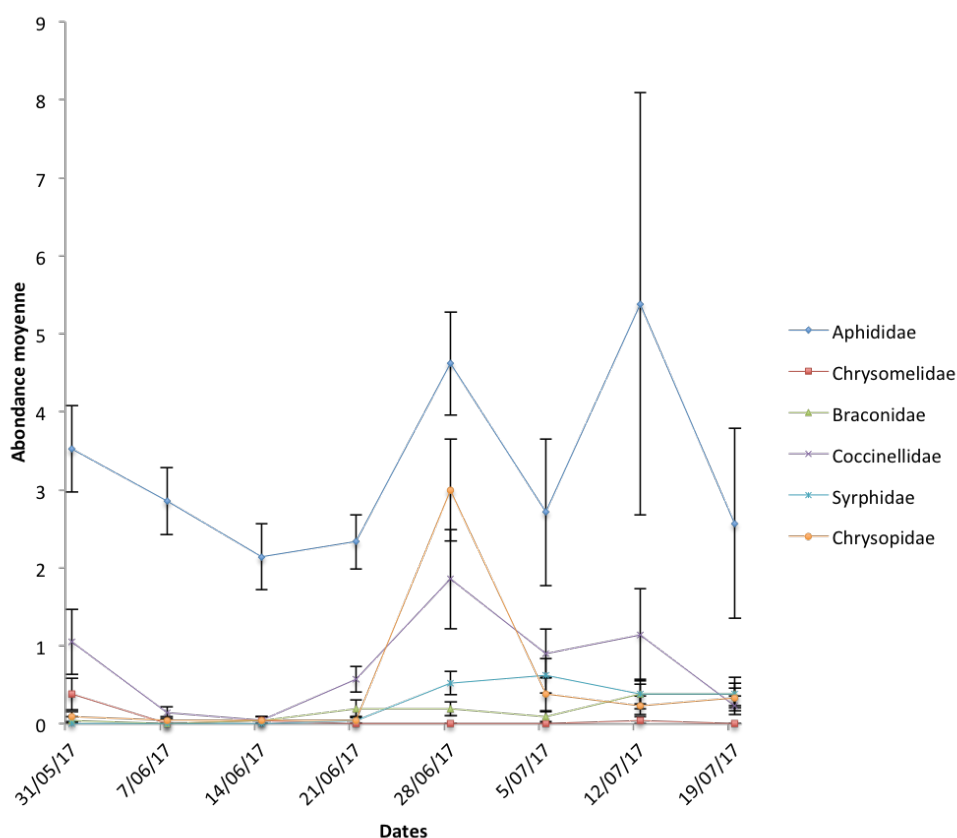


Figure 16 : Dynamique temporelle de l'abondance moyenne (\pm écart-type) des pucerons, criocères et de leurs ennemis naturels piégés sur l'ensemble du site expérimental.

Tableau 4 : Abondance et diversité des ravageurs et de leurs ennemis naturels piégés sur l'ensemble du site expérimental.

Type d'insecte	Famille et espèce	Abondance totale	%
	Aphididae	545	
	<i>Sitobion avenae</i>	459	84,22
	<i>Rhopalosiphum padi</i>	66	12,11
	<i>Metopolophium dirhodum</i>	20	3,67
Ravageurs			
	Chrysomelidae	10	
	<i>Oulema melanopa</i>	10	100
	Total	555	
	Braconidae	28	
Parasitoïdes			
	Total	28	
	Coccinellidae	123	
	<i>Harmonia axyridis</i>	75	60,98
	<i>Coccinella 7-punctata</i>	34	27,64
	<i>Propylea 14-punctata</i>	8	6,49
	<i>Adalia 10-punctata</i>	2	1,63
	<i>Chilocorus renipustulatus</i>	2	1,63
	<i>Hippodamia variegata</i>	2	1,63
	Syrphidae	41	
	<i>Sphaerophoria scripta</i>	25	60,98
Prédateurs	<i>Syrphus ribesii</i>	6	14,63
	<i>Episyrphus balteatus</i>	4	9,76
	<i>Eupodes corollae</i>	3	7,32
	<i>Scaeva pyrastris</i>	2	4,88
	<i>Platycheirus clypeatus</i>	1	2,43
	Chrysopidae	88	
	<i>Chrysoperla carnae</i>	88	100
	Total	280	

Tableau 5 : Effet des différents types de bandes fleuries sur les abondances d'ennemis naturels piégés dans les bandes à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs.

	df	χ^2 -valeurs	p-valeurs
Braconidae	2	5,203	0,074
Coccinellidae	2	5,393	0,067
Syrphidae	2	1,716	0,424
Chrysopidae	2	1,780	0,411

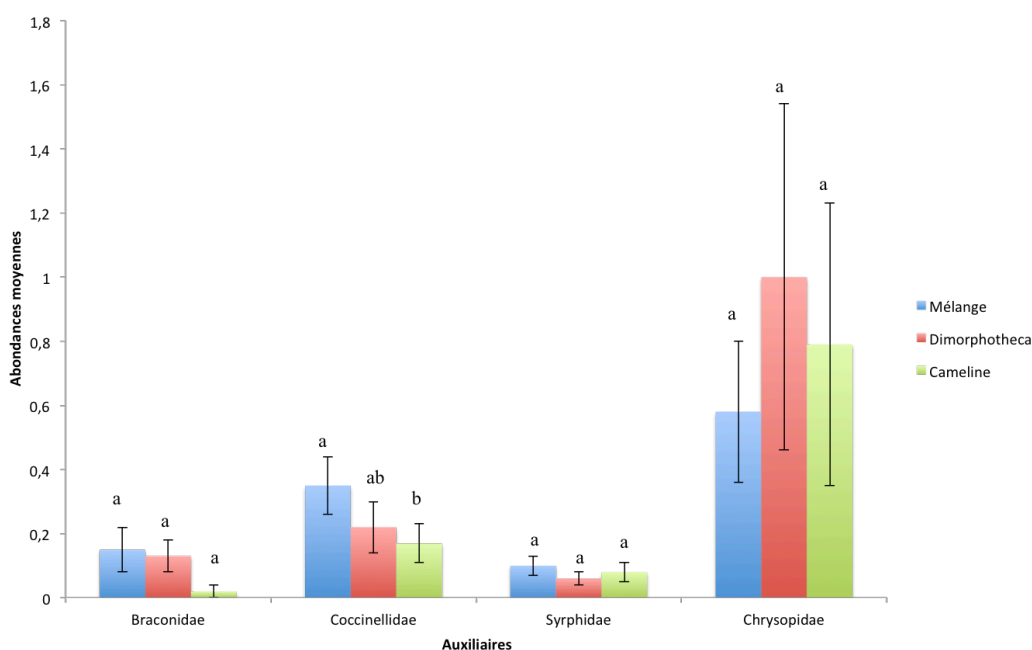


Figure 17 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels piégés dans les différentes bandes fleuries. Les lettres indiquent les différences significatives ($p < 0,05$) des moyennes avec des tests post-hoc de Tukey réalisés sur les GLMMs.

Dans les bandes fleuries, il n'y a pas de différence significative par rapport aux différents types de bandes, sauf chez les Coccinellidae qui ont été significativement plus piégés dans les bandes contenant le mélange fleuri que dans la cameline (Figure 17 ; Tableau 5).

Tableau 6 : Effet des différents types de bandes fleuries et du témoin sur les abondances de ravageurs piégés dans le froment adjacent à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs. ‘-’ indique que le modèle n’a pu être ajusté à cause d’une abondance trop faible d’individus

	df	χ^2 -valeurs	p-valeurs
Aphididae	3	4,343	0,227
Chrysomelidae	-	-	-
Braconidae	3	2,657	0,448
Coccinellidae	3	5,799	0,122
Syrphidae	-	-	-
Chrysopidae	3	2,629	0,453

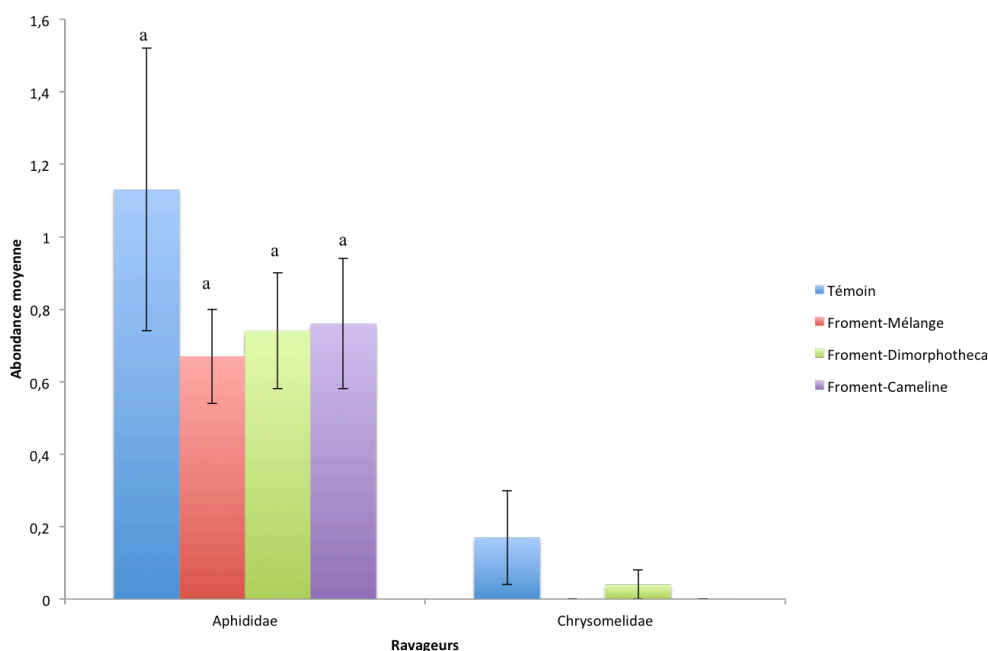


Figure 18 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ravageurs piégés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin. Les lettres indiquent les différences significatives ($p < 0,05$) des moyennes avec des tests post-hoc de Tukey réalisés sur les GLMMs. Les abondances de Chrysomelidae furent trop faibles pour réaliser les tests statistiques.

Dans les pièges placés dans le froment (entre les bandes fleuries et dans le froment témoin), aucune différence significative concernant l’abondance d’Aphididae piégés n’a été observée (Figure 18 ; Tableau 6). Il en va de même pour l’abondance des Braconidae, Coccinellidae et des Chrysopidae (Figure 19 ; Tableau 6). Pour les Chrysomelidae et les Syrphidae, leur faible présence n’a pas permis de réaliser les tests statistiques.

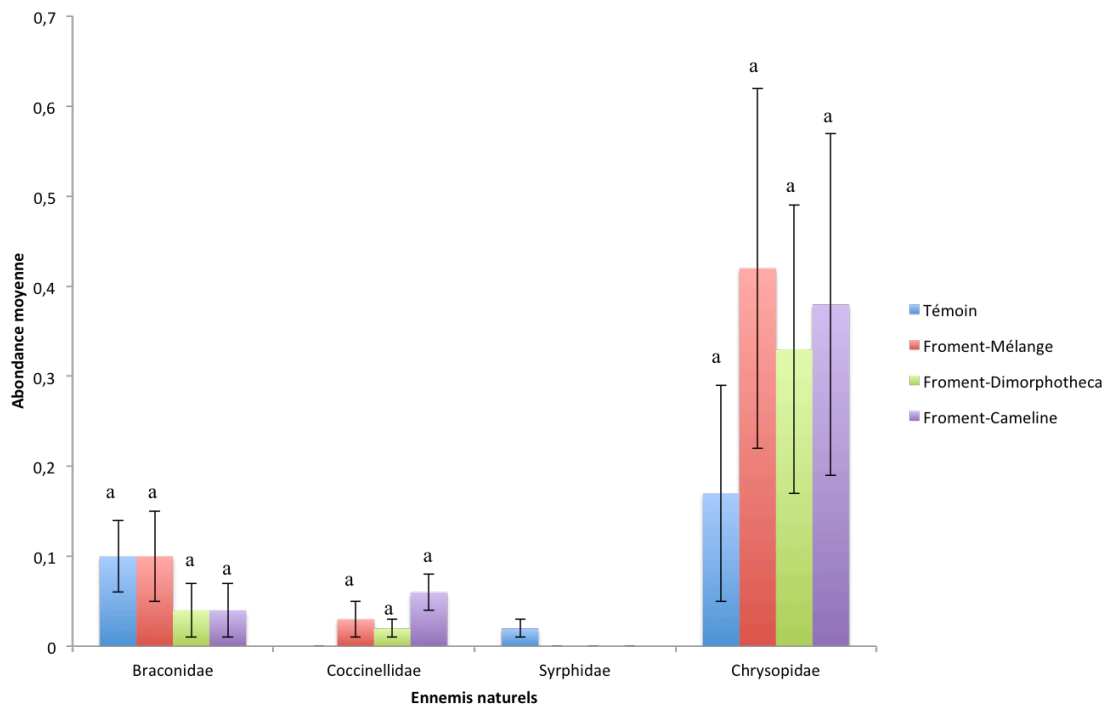


Figure 19 : Abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels piégés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin. Les lettres indiquent les différences significatives ($p < 0,05$) des moyennes avec des test post-hoc de Tukey réalisés sur les GLMMs. Les abondances de Syrphidae furent trop faibles pour réaliser les tests statistiques.

- *Observations dans le froment*

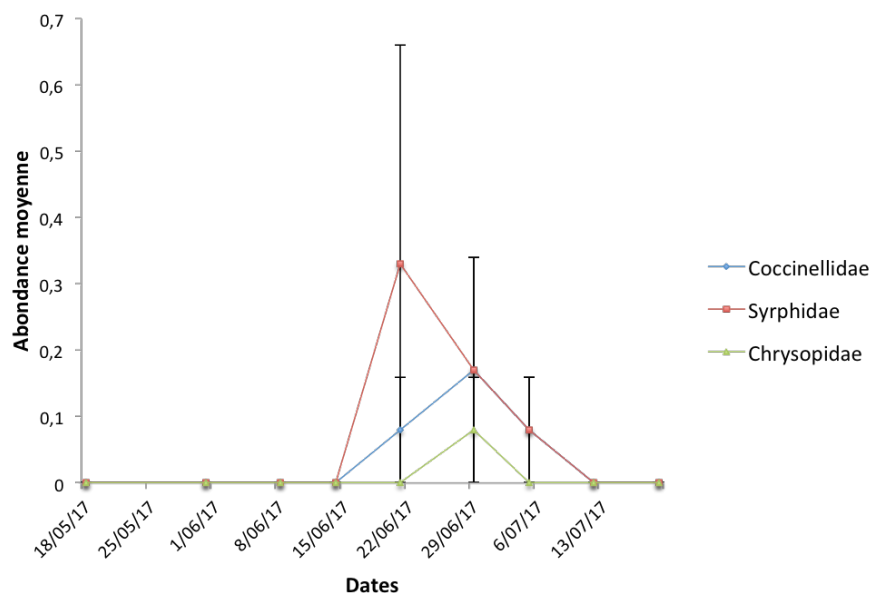


Figure 20 : Evolution de l'abondance moyenne (\pm écart-type) des ennemis naturels observés dans le froment au cours du temps sur l'ensemble du site expérimental.

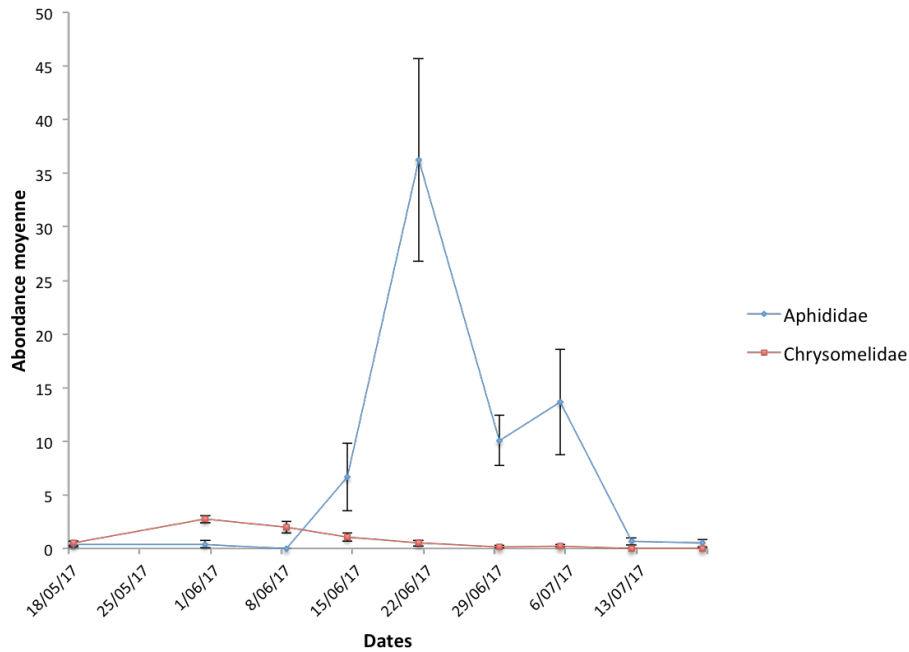


Figure 21 : Evolution de l'abondance moyenne (\pm écart-type) des ravageurs observés dans le froment au cours du temps sur l'ensemble du site expérimental.

Dans le froment, avant le 22/06/17, aucun prédateur des pucerons et des criocères n'a été observé. Pour les Syrphidae, un pic d'abondance a été observé le 22/06/2017 et pour les Coccinellidae et les Chrysopidae, le pic d'abondance a été observé le 29/06/ 2017 (Figure 20).

Pour les ravageurs, un pic de présence de pucerons a été observé le 22/06/17 et un second pic plus faible a également été observé le 06/07/2017 (Figure 21).

Tableau 7 : Effet des différents types de bandes fleuries et du témoin sur les abondances de ravageurs observés dans le froment adjacent à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs.

	df	χ^2 -valeurs	p-valeurs
Aphididae	3	7,7944	0,050
Chrysomelidae	3	0,6092	0,894

Pour les observations dans le froment, les Aphididae ont significativement été moins observés dans le froment à proximité des mélanges fleuris qu'à proximité de la cameline et dans le froment témoin (Figure 22 ; Tableau 7).

Les statistiques concernant les ennemis naturels n'ont pas pu être réalisées au vu des faibles nombres observés tout au long des observations (Figure 23).

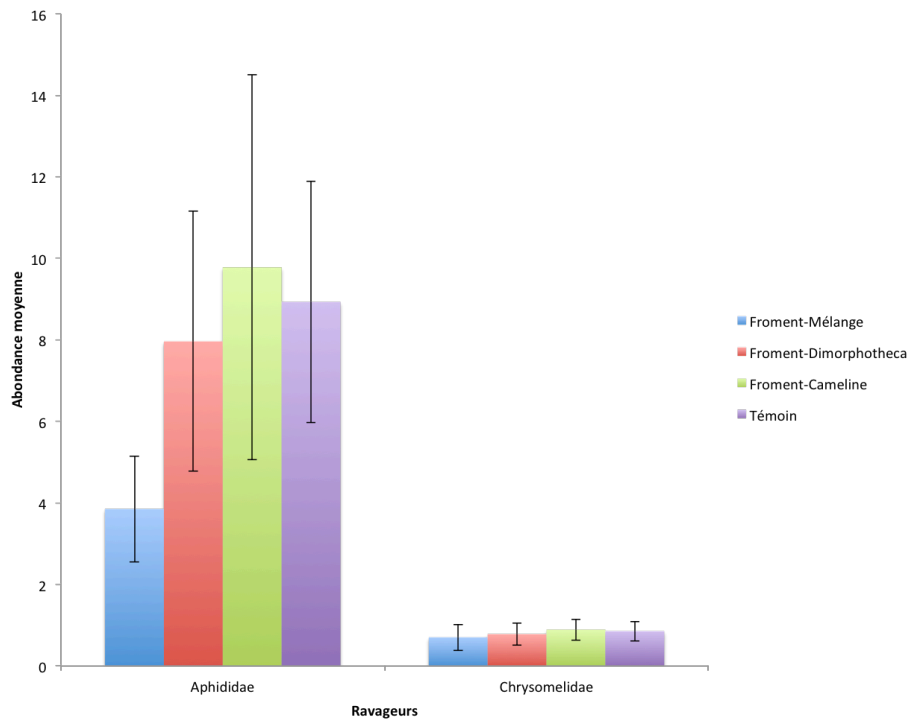


Figure 22 : : Abondance moyenne (\pm écart-type) de ravageurs observés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin. Les lettres indiquent les différences significatives ($p < 0,05$) des moyennes avec des tests post-hoc de Tukey réalisés sur les GLMMs.

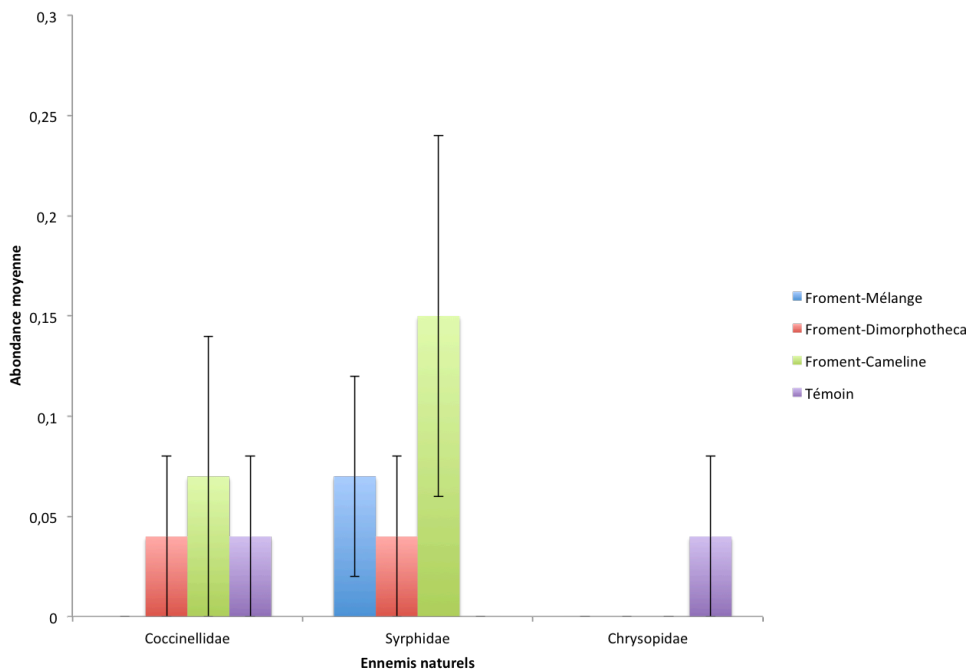


Figure 23 : Abondance moyenne (\pm écart-type) d'ennemis naturels observés dans le froment adjacent aux bandes fleuries et dans le froment témoin. Les abondances furent trop faibles pour réaliser les tests statistiques.

Tableau 8 : Taux de parasitisme moyen (\pm écart-type) des pucerons dans le froment en fonction du traitement (taux = nombre de momies / [nombre de momies + nombre de pucerons] \times 100)

	Froment- Mélange	Froment- Dimorphotheca	Froment- Cameline	Témoin
Taux de parasitisme	0,56 \pm 1,67%	0,94 \pm 2,48%	1,78 \pm 5,33%	0,43 \pm 1,28%

Le tableau 8 montre les taux de parasitisme moyen pour la totalité des observations dans le froment. Il faut noter que les momies (pucerons parasités) ont été retrouvées uniquement le 21/06/17 et le 29/06/17. Les nombres de momies observés étant trop faibles, les statistiques n'ont pas pu être réalisées.

- **Transect**

Dans les bandes contenant les mélanges fleuris, seuls les transects sur le sarrasin ont été réalisés car c'était l'espèce florale dominante.

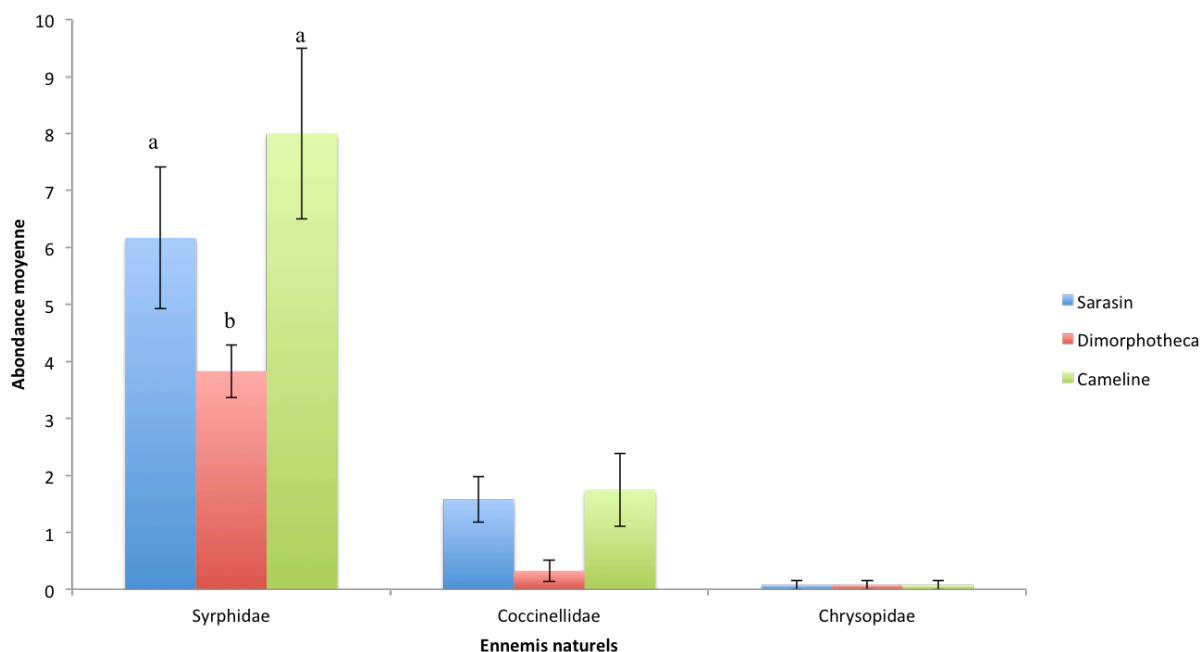


Figure 24 : Abondance moyenne (\pm écart-type) de prédateurs visitant les fleurs dans chaque type de bande. Les lettres indiquent les différences significatives ($p < 0,05$) des moyennes avec des tests post-hoc de Tukey réalisés sur les GLMMs. Les abondances de Coccinellidae et de Chrysopidae furent trop faibles pour réaliser les tests statistiques.

Les Syrphidae ont été significativement plus observés sur les fleurs de camelines et de sarrasin que sur les fleurs de *Dimorphotheca*. Les tests statistiques n'ont pas pu être réalisés pour les Coccinellidae ni pour les Chrysopidae au vu de leur faible abondance lors des transects (Figure 15 ; Tableau 9).

Tableau 9 : Effet des différents types de bandes fleuries sur les abondances d'ennemis naturels observés visitant les fleurs à partir des tests de vraisemblance du χ^2 réalisés sur les GLMMs. '-' indique que le modèle n'a pu être ajusté à cause d'une abondance trop faible d'individus

	df	χ^2 -valeurs	p-valeurs
Syrphidae	2	14,398	0,001
Chrysopidae	-	-	-
Coccinellidae	-	-	-

5. Discussion

5.1. Etude du comportement du syrphe face à des stimuli visuels

Les résultats présentés précédemment ne montrent pas d'effet significatif du conditionnement sur le comportement de recherche alimentaire d'*E. balteatus* lorsqu'ils sont habitués à se nourrir pendant minimum sept jours sur une couleur unique.

Contrairement à ce que Sutherland et al. (1999) avaient démontré, les syrphes testés ici n'ont pas non plus montré de préférence pour la couleur jaune, sauf lorsque les syrphes étaient conditionnés pour la couleur rouge. Dans cette étude, les auteurs avaient notamment pris en compte l'âge des syrphes et ont démontré que la préférence diminuait avec l'âge. Les syrphes de moins de 20 jours présentant une attirance plus importante pour la couleur jaune. Dans la présente étude, les syrphes testés avaient entre 7 et 15 jours. Ils peuvent donc être considérés comme « jeunes » et auraient donc pu présenter une préférence pour le jaune. Mais dans l'étude de Sutherland et al. (1999), le test de préférence a été réalisé avec de la nourriture (pollen) sur les cibles de couleur, ce qui diffère de la présente expérience et qui pourrait expliquer la différence de résultats. Il est possible ici de supposer que la présence de nourriture est déterminante dans l'effet d'attraction de la couleur sur les syrphes. Cette hypothèse mériterait cependant d'être vérifiée.

Un autre fait qui pourrait expliquer cette différence de résultats est la longueur d'onde du support utilisé. En effet, la couleur jaune utilisée dans la présente expérience avait un pic de longueur d'onde à 560 nm alors que dans les travaux de Sutherland et al. (1999), le pic de réflectance du jaune était entre 460 et 520 nm. D'après Lunau (2014), la discrimination spectrale (*i.e.* la capacité à distinguer les couleurs) chez les Diptères est meilleure entre 420 et 495 nm, ce qui pourrait expliquer qu'un jaune d'une longueur d'onde de 560 nm ne soit pas particulièrement attractif.

En ce qui concerne le conditionnement, Mondor and Warren (2000) ont conditionné des coccinelles (*H. axyridis*) à se nourrir soit sur du jaune, soit sur du vert, soit sur les deux couleurs en même temps. Ils ont démontré que cette espèce modifiait son comportement de recherche alimentaire en fonction de ses expériences précédentes. *E. balteatus* n'a pas montré les mêmes résultats. Cependant un élément important diffère entre la présente étude

et celle de ces auteurs : les coccinelles avaient été conditionnées avec une couleur associée à de la nourriture et une couleur sans nourriture. Ces insectes ont donc été soumis à des expériences positives et négatives en termes de recherche de nourriture. Or dans la présente étude, les syrphes ont été conditionnés uniquement avec la couleur présentant de la nourriture. Ils ont donc été uniquement soumis à une expérience positive en termes de recherche de nourriture. La modification du comportement des coccinelles peut donc être due soit aux expériences positives (aller plus vers la couleur qui présentait de la nourriture lors du conditionnement), soit aux expériences négatives (aller moins souvent vers la couleur qui ne présentait pas de nourriture lors du conditionnement). Il serait donc intéressant d'inclure une couleur sans nourriture dans la cage de conditionnement afin de déterminer si les expériences négatives en termes de recherche de nourriture peuvent modifier le comportement d'*E. balteatus*.

Enfin, comme le comportement des syrphes sans conditionnement n'a pas été observé dans le cadre de ce travail, il est difficile de pouvoir déterminer si un changement de comportement a été adopté. Afin de renforcer les hypothèses tirées de ce travail, il serait pertinent de comparer des syrphes non conditionnés à des syrphes conditionnés avec le même dispositif que celui utilisé pour le test de choix.

5.2. Effet de trois types de bandes fleuries sur les pucerons, les criocères et leurs ennemis naturels

- **Effets des différents mélanges fleuris pour le soutien aux populations d'ennemis naturels dans les bandes**

Au vu des résultats présentés ci-avant, il semblerait que les Braconidae, Syrphidae et Chrysopidae aient été influencés de la même manière par les trois types de bandes. En revanche, les Coccinellidae ont été significativement plus abondants dans le mélange que dans les bandes de cameline. Dans le mélange, toutes les espèces semées n'avaient pas poussé et fleuri à la période de piégeage : on retrouvait principalement du sarrasin et de la coriandre (Tableau 3). Ce serait donc ces deux espèces florales qui auraient favorisé la présence des Coccinellidae. Comme les bandes fleuries ont été semées au printemps, il est normal que toutes les espèces n'aient pas poussé et fleuri cet été. Les mélanges contiennent

notamment des espèces bisannuelles et pérennes qui ne fleuriront que l'année prochaine. Certaines espèces ont d'ailleurs commencé à fleurir à la fin des observations, c'est le cas notamment du trèfle incarnat et du chrysanthème des moissons.

Les Chrysopidae ont été les prédateurs les plus retrouvés dans les pièges tant dans le froment que dans les bandes fleuries. Ces insectes se nourrissent à la fois de pucerons et de ressources florales (nectar et pollen) (Wäckers and van Rijn, 2012). Néanmoins, ils ont été très peu observés lors des transects, potentiellement parce qu'ils sont principalement actifs au crépuscule (Villenave et al., 2005).

A l'inverse, les syrphes sont restés faiblement présents dans les pièges tout au long de l'expérimentation, tous traitements confondus. Par contre, de nombreux syrphes ont été observés dans les bandes fleuries lors des transects. Selon Almohamad, Verheggen and Haubruge (2009), les syrphes adultes ont deux types de comportement de recherche : le premier consiste à rechercher de la nourriture que sont le nectar et le pollen des fleurs, et le second à rechercher des sites de ponte que sont les colonies de pucerons. Dans les transects, les Syrphidae ont été significativement plus observés sur les fleurs de sarrasin et de cameline que sur les fleurs de *Dimorphotheca*. L'abondante présence de Syrphidae sur les fleurs de sarrasin est cohérent avec Colley and Luna, (2000), qui avaient démontré que parmi onze espèces florales, le sarrasin était l'une des plus visitées avec la moutarde (*Sinapis arvensis* (L.)). Dans la présente étude, les syrphes ont également été significativement plus observés sur les fleurs de cameline. Cette dernière étant une Brassicaceae de couleur jaune comme la moutarde, ces observations concordent avec l'étude de Colley and Luna, (2000).

Les taux de parasitisme sont restés relativement faibles et ont une très grande variabilité. Cette variabilité peut s'expliquer par le fait que les momies ont été observées uniquement les 21 et 29 juin. Il faut noter que ces dates correspondent au premier pic d'abondance des pucerons. Théoriquement, il est surprenant de retrouver si peu de parasitoïdes. En effet ces insectes ont besoin de la ressource florale pour leur développement (Gillespie et al., 2016). Cependant, d'autres études similaires ont également recensé de faibles nombres de parasitoïdes et de faibles taux de parasitisme (Hatt et al., 2017; Tschumi et al., 2016).

Les pics d'abondance des Aphididae, Chrysopidae et Coccinellidae ont eu lieu fin juin (28/06/17). A cette date, seuls le sarrasin et la coriandre (dans le mélange), la cameline et *Dimorphotheca* étaient en fleur. Après cette date, les ennemis naturels ont été faiblement piégés. Le second pic concernait les Aphididae et les Coccinellidae. A ce moment, le sarrasin et la coriandre (dans le mélange), la cameline et *Dimorphotheca* étaient toujours en fleur (12/07/17). Contrairement aux Syrphidae, les Chrysopidae et Coccinellidae ne dépendent pas uniquement de la ressource en pucerons pour le développement de leur stade larvaire (Wäckers and van Rijn, 2012). Il est donc possible que les espèces florales présentes avant les pics d'abondances de pucerons aient soutenu le développement relativement précoce et en plus grande abondance des Coccinellidae et des Chrysopidae par rapport aux Syrphidae.

Dimorphotheca est une Asteraceae (Hof et al., 1999). Les plantes de cette famille ont tendance à présenter du nectar facilement accessible pour les insectes qui s'en nourrissent (Wäckers and van Rijn, 2012). De nombreuses études ont démontré que les Asteraceae sont attractives pour de nombreux insectes dont les Coccinellidae, les Chrysopidae et les Syrphidae (Carrié et al., 2012; Martínez-uña et al., 2013; Tooker et al., 2006; Wäckers and van Rijn, 2012). Il est donc étonnant que ces insectes aient été très peu retrouvés dans les bandes de *Dimorphotheca*. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce manque d'attractivité. Tout d'abord, il se peut que les autres types de bandes aient été plus attractifs que cette espèce. En effet, le sarrasin et la coriandre sont deux espèces florales connues pour être attractives pour les ennemis naturels (Colley and Luna, 2000). Il est possible aussi que leurs composés volatils ou leur couleur aient particulièrement retenu l'attention des ennemis naturels qui se sont alors détournés de *Dimorphotheca*. En effet, parmi les Asteraceae, on retrouve des espèces reconnues pour leur attractivité envers les ennemis naturels, notamment *A. millefolium* ou encore *L. vulgare* (Carrié et al., 2012). C'est pourquoi dans un premier temps *Dimorphotheca* avait été considérée comme potentiellement attractive. Mais cette dernière ne présente pas exactement les mêmes traits floraux que les autres espèces attractives. Tout d'abord, *A. millefolium* et *L. vulgare* sont de couleur blanche alors que dans la présente étude, les bandes de *Dimorphotheca* étaient principalement jaunes et oranges. Comme vu ci-avant, bien que le jaune soit une couleur connue pour être attractive pour les ennemis naturels (Adedipe and Park, 2010; Sutherland et al., 1999), il est possible qu'ici, les longueurs d'ondes des fleurs de *Dimorphotheca* ne correspondent pas aux longueurs d'ondes attractives pour les ennemis naturels. Il faudrait néanmoins vérifier cette hypothèse en

mesurant la longueur d'onde des fleurs jaunes de *Dimorphotheca*. D'autres traits floraux relatifs à la vision ont pu également intervenir comme la réflectance et les contrastes UV (Koski and Ashman, 2014).

Quant à la cameline, elle semble avoir soutenu le développement des ennemis naturels. En effet, hormis les Coccinellidae qui étaient moins présents dans les pièges situés dans la cameline, dans toutes les autres observations, elle semble avoir soutenu le développement des ennemis naturels au même titre que le mélange.

- **Effet des différents mélanges fleuris sur les populations de ravageurs et d'ennemis naturels dans le froment adjacent**

Les différents mélanges n'ont pas influencé la présence des ravageurs et de leurs ennemis naturels dans les pièges placés dans le froment à proximité des bandes par rapport aux pièges placés dans le froment « témoin ». Cependant, lors des observations, il y avait significativement plus d'Aphididae dans le froment témoin et dans celui entouré de cameline que dans celui entouré des bandes constituées du mélange fleuri. Il faut noter que dans les pièges, ce sont uniquement des pucerons ailés qui sont considérés alors que pour les observations, ce sont principalement des pucerons aptères. Malgré le fait qu'il n'y ait pas eu de différence significative entre le nombre de pucerons capturés dans les pièges dans les différents traitements, les différences obtenues via les observations indiquent un développement moindre des colonies de pucerons aptères dans le froment à proximité du mélange fleuri. Ceci est cohérent avec Hatt et al. (2017) qui ont observé une diminution de l'abondance des pucerons dans le froment situé entre des bandes fleuries, par rapport au froment témoin.

Deux mécanismes peuvent intervenir pour favoriser cette réduction : l'effet *bottom up*, et l'effet *top down* (Zehnder et al., 2007). En ce qui concerne l'effet *bottom up*, comme les pucerons utilisent des signaux olfactifs et visuels pour trouver leurs plantes hôtes (Döring, 2014), l'hypothèse était que la présence de bandes de fleurs adjacentes au froment leur complique la tâche. Or, ce fut le cas uniquement pour le mélange fleuri. La composition de la bande fleurie adjacente au froment semble donc être un facteur influençant le vol et le développement des pucerons dans le froment adjacent. Il est possible que le mélange fleuri, avec sa diversité de signaux visuels et olfactifs du fait de sa composition diversifié, ait

négativement affecté le vol et la multiplication des pucerons (Root, 1973; Verheggen et al., 2013).

Les bandes fleuries aurait pu aussi agir comme culture piège pour ces ravageurs (Shelton and Badenes-Perez, 2006). Néanmoins, les différentes espèces florales semées ne faisant pas partie des hôtes potentiels pour les pucerons observés, limitant donc cette hypothèse dans la présente étude. Pour ce qui est de l'effet *top down*, un nombre important de coccinelles et de chrysopes ont été observés dans les pièges. Lors des transects, ce sont majoritairement des syrphes qui ont été observés. Dans tous les cas, il y a eu très peu de différences significatives entre les différentes bandes, notamment à cause d'une variation importante des abondances entre les répétitions (écart-types élevés). Cette variabilité peut être due à la grande mobilité de ces prédateurs au stade adulte comparé aux pucerons, les premiers ayant pu se déplacer facilement entre les différentes bandes. Bien que la différence ne soit pas significative, le nombre de chrysopes observés dans les pièges situés dans le froment témoin était inférieur aux nombres observés dans les pièges situés dans le froment proche des bandes de fleurs. Il se peut donc que les chrysopes aient tout de même joué un rôle dans la réduction du nombre de pucerons dans le froment proche des bandes mélange. De plus, les premiers pics d'abondance entre les pucerons, les chrysopes et les coccinelles ont eu lieu en même temps, et le second pic chez les pucerons correspond à une légère augmentation chez les coccinelles. Ces hypothèses sont soutenues par des études précédentes, rapportant un accroissement de l'abondance de chrysopes et une réduction de la densité de pucerons dans des cultures adjacentes au sarrasin (Jacometti, Jørgensen and Wratten, 2010). De plus, (Morris and Li, 2000) avait observé une densité importante de syrphes et une réduction du nombre de pucerons dans des cultures adjacentes à la coriandre.

Les présentes observations ne permettent pas de séparer les potentiels effets *top down* et *bottom up*. Malgré que de potentiels effets de synergies ne sont pas clairement identifiables ici, le mélange de fleurs diversifiées semble être l'option qui favorise le mieux la réduction du nombre de pucerons, donc la lutte biologique contre ce ravageur du froment.

6. Conclusions et perspectives

Les syrphes n'ont pas présenté de modification de comportement de recherche de nourriture suite à leur conditionnement. Ils n'ont pas non plus montré de préférence pour une couleur par rapport à une autre. Par la suite, il serait intéressant de tester des syrphes non conditionnés avec le même dispositif afin de démontrer une éventuelle préférence ou non de ces insectes pour l'une des trois couleurs et donc de pouvoir déterminer si le conditionnement a eu un impact sur leur comportement.

Un autre aspect qu'il pourrait être intéressant de développer est le conditionnement avec une couleur ne présentant pas de nourriture et une couleur présentant de la nourriture. Une telle expérience permettrait de savoir si le syrphes apprend de ses expériences négatives de recherche de nourriture.

Dans les écosystèmes naturels ou agricoles, les insectes ne sont pas uniquement soumis à des stimuli visuels. En effet, d'autres facteurs tels que les stimuli olfactifs peuvent intervenir. Il serait donc également intéressant d'inclure des composés volatils dans les expériences à venir. Par exemple, si suite à des expériences négatives de recherche de nourriture les syrphes se détournent d'une couleur, il est possible que des stimuli olfactifs attirent tout de même l'insecte vers cette couleur. Au vu de l'attractivité apparente du sarrasin et de la coriandre dans l'expérimentation de terrain, il semblerait également intéressant d'inclure la couleur blanche dans les tests comportementaux.

L'expérimentation de terrain a renforcé l'hypothèse selon laquelle toutes les espèces florales ne sont pas toutes aussi attractives pour les ennemis naturels. La cameline et *Dimorphotheca* sont des espèces qui pourraient être valorisées financièrement après la récolte. Il était donc intéressant de savoir si elles pouvaient également favoriser le développement des ennemis naturels. A l'issue de cette expérience, il semblerait que *Dimorphotheca* ne soit pas particulièrement attractive pour ces derniers. En revanche la cameline semble prometteuse. Cependant, le soutien aux ennemis naturels ne s'est pas traduit par une réduction significative des ravageurs dans la culture de froment adjacente. Comme cette expérience n'a été menée que sur une saison agricole, des études à long plus terme semblent indispensables pour confirmer et compléter ces observations. De plus, il

serait intéressant de tester ces espèces sur d'autres cultures et donc en présence d'autres ravageurs et ennemis naturels dans le cadre d'une rotation de culture. En effet, les rotations sont communément utilisées, notamment comme outil de lutte contre les ravageurs.

Les dispositifs de bandes fleuries sont actuellement subsidiés par la PAC pour favoriser la protection de l'environnement, le maintien des paysages ruraux et la conservation de la biodiversité en milieux agricoles. L'abondance moindre en pucerons dans le froment adjacent au mélange de fleurs renforce l'hypothèse selon laquelle, ces dispositifs pourraient également soutenir la lutte biologique et donc potentiellement réduire la dépendance des agriculteurs aux insecticides. Par la suite, il serait intéressant de réaliser des études complémentaires testant une diversité de mélanges afin de mieux comprendre les interactions tri-trophiques fleurs – ennemis naturels – ravageurs, avant de promouvoir à grande échelle cette pratique, tout du moins d'ores-et-déjà prometteuse.

7. Bibliographie

- Adedipe, F. and Park, Y. (2010). Visual and olfactory preference of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) adults to various plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 13, 319–323. <http://doi.org/10.1016/j.aspen.2010.07.004>
- Almohamad, R., Verheggen, F. J. & Haubruge, É. (2009). Searching and oviposition behavior of aphidophagous hoverflies (Diptera: Syrphidae): a review. *Biotechnologie, Agronomie, Soci{é}t{é} et Environnement*, 13(3), 467–481. Retrieved from <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/81394>
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 19–31. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Balzan, M. V. and Moonen, A. (2014). Field margin vegetation enhances biological control and crop damage suppression from multiple pests in organic tomato fields. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 150, 45–65. <http://doi.org/10.1111/eea.12142>
- Balzan, M. V. and Wäckers, F. L. (2013). Flowers to selectively enhance the fitness of a host-feeding parasitoid : Adult feeding by *Tuta absoluta* and its parasitoid *Necremnus artynes*. *Biological Control*, 67, 21–31. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2013.06.006>
- Bonnet, X. and Lemaître-Curri, E. (2012). Les services écosystémiques et leur valorisation. *Responsabilité & Environnement*, 68, 21–28.
- Branquart, J.-Y. and Baugnée, E. (2000). *Clef de terrain pour la reconnaissance des principales coccinelles de Wallonie*. Wavre: Jeunes & Nature asbl.
- Carrié, R. J. G., George, D. R. and Wäckers, F. L. (2012). Selection of floral resources to optimise conservation of agriculturally-functional insect groups. *Journal of Insect Conservation*, 16, 635–640. <http://doi.org/10.1007/s10841-012-9508-x>
- Colley, M. R. and Luna, J. M. (2000). Relative Attractiveness of Potential Beneficial Insectary Plants to Aphidophagous Hoverflies (Diptera: Syrphidae). *Environmental Entomology*, 29(5), 1054–1059. <http://doi.org/10.1603/0046-225X-29.5.1054>
- De Groot, R. S., Wilson, M. A. and Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393–408. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)

- Debach. (1991). *Biological control by natural enemies* (2e éd.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Deguine, J.-P., Gloanec, C., Laurent, P., Ratnadass, A. and Aubertot, J.-N. (2016). *Protection agroécologique des cultures*.
- Devine, G. J. and Furlong, M. J. (2007). Insecticide use: Contexts and ecological consequences. *Agriculture and Human Values*, 24, 281–306.
<http://doi.org/10.1007/s10460-007-9067-z>
- Döring, T. F. (2014). How aphids find their host plants, and how they don't. *Annals of Applied Biology*, 165, 3–26. <http://doi.org/10.1111/aab.12142>
- Ekroos, J., Olsson, O., Rundlöf, M., Wätzold, F. and Smith, H. G. (2014). Optimizing agri-environment schemes for biodiversity, ecosystem services or both? *Biological Conservation*, 172, 65–71. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.02.013>
- Farré-Armengol, G., Filella, I., Llusia, J. and Peñuelas, J. (2013). Floral volatile organic compounds: Between attraction and deterrence of visitors under global change. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15, 56–67.
<http://doi.org/10.1016/j.ppees.2012.12.002>
- Foley, J., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R. and Chapin, S. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), 570–574.
<http://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., ... Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11, 97–105. <http://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>
- Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N. and Francis, C. (2010). Camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) as an alternative oilseed: molecular and ecogeographic analyses. *Genome*, 53, 558–567. <http://doi.org/10.1139/g10-034>
- Gillespie, M. A. K., Gurr, G. M. and Wratten, S. D. (2016). Beyond nectar provision: The other resource requirements of parasitoid biological control agents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 159, 207–221. <http://doi.org/10.1111/eea.12424>
- Greenwood, J. J. (1995). A second Silent Spring? *Trends in Ecology & Evolution*, 10(7), 264–266. [http://doi.org/10.1016/S0169-5347\(00\)89091-6](http://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)89091-6)
- Haaland, C., Naisbit, R. E. and Bersier, L.-F. (2011). Sown wildflower strips for insect conservation : a review. *Insect Conservation and Diversity*, 4, 60–80.
<http://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x>

- Hatt, S., Lopes, T., Boeraeve, F., Chen, J. and Francis, F. (2017). Pest regulation and support of natural enemies in agriculture : Experimental evidence of within field wildflower strips. *Ecological Engineering*, 98, 240–245.
<http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.080>
- Hatt, S., Uyttenbroeck, R., Bodson, B., Piqueray, J., Monty, A. and Francis, F. (2015). Des bandes fleuries pour la lutte biologique : état des lieux , limites et perspectives en Wallonie – Une synthèse bibliographique . *Entomologie Faunistique*, 68, 159–168.
- Hatt, S., Uyttenbroeck, R., Lopes, T., Mouchon, Pi., Chen, J., Piqueray, J., ... Francis, F. (2017). Do flower mixtures with high functional diversity enhance aphid predators in wildflower strips? *European Journal of Entomology*, 114, 66–76.
<http://doi.org/10.14411/eje.2017.010>
- Helyer, N., Cattlin, N. and Brown, K. (2014). *Biological control in plant protection*. (C. Press, Ed.) (Edition, S). Boca Raton, Florida: Taylor & Francis group.
- Hof, L., Keizer, L. C. P., Elberse, I. A. M. and Dolstra, O. (1999). A model describing the flowering of single plants, and the heritability of flowering traits of *Dimorphotheca pluvialis*. *Euphytica*, 110, 35–44. <http://doi.org/10.1023/A:1003701700116>
- Holland, J. M., Bianchi, F. J. J. A., Entling, M. H., Moonen, A.-C., Smith, B. M. and Jeanneret, P. (2016). Structure, function and management of semi-natural habitats for conservation biological control: A review of European studies. *Pest Management Science*. <http://doi.org/10.1002/ps.4318>
- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., ... Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <http://doi.org/10.1890/04-0922>
- Hossard, L., Guichard, L., Pelosi, C. and Makowski, D. (2017). Lack of evidence for a decrease in synthetic pesticide use on the main arable crops in France. *Science of the Total Environment*, 575, 152–161. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.008>
- INRA. (n.d.). Criocères des céréales. Retrieved from <http://www7.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3oulmel.htm>
- Jacometti, M., Jørgensen, N. and Wratten, S. (2010). Enhancing biological control by an omnivorous lacewing: Floral resources reduce aphid numbers at low aphid densities. *Biological Control*, 55(3), 159–165.
- Jauker, F. and Wolters, V. (2008). Hover flies are efficient pollinators of oilseed rape. *Oecologia*, 156, 819–823. <http://doi.org/10.1007/s00442-008-1034-x>

- Jervis, M. A., Kidd, N. A. C. and Fitton, M. G. (1993). Flower-visiting by hymenopteran parasitoids. *Journal of Natural History*, 27, 67–105.
- Kavallieratos, N. G., Tomanović, Ž., Starý, P., Athanassiou, C. G., Fasseas, C., Petrović, O., ... Veroniki, M. A. (2005). *Praon* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of Southeastern Europe: Key, host range and phylogenetic relationships. *Zoologischer Anzeiger*, 243, 181–209. <http://doi.org/10.1016/j.jcz.2004.11.001>
- Kleijn, D., Kohler, F., Baldi, A., Batary, P., Concepcion, E. ., Clough, Y., ... Verhulst, J. (2009). On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of the Royal Society B*, 276, 903–909. <http://doi.org/10.1098/rspb.2008.1509>
- Koski, M. H. and Ashman, T. (2014). Dissecting pollinator responses to a ubiquitous ultraviolet floral pattern in the wild. *Functional Ecology*, 28, 868–877. <http://doi.org/10.1111/1365-2435.12242>
- Landis, D. a., Menalled, F. D., Costamagna, A. C. and Wilkinson, T. K. (2005). Manipulating plant resources to enhance beneficial arthropods in agricultural landscapes. *Weed Science*, 53(6), 902–908. <http://doi.org/10.1614/WS-04-050R1.1>
- Landis, D. A., Wratten, S. D. and Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annu. Rev. Entomol.*, 45, 175–201.
- Laubertie, E. A., Wratten, S. D. and Hemptinne, J. (2012). The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera : Syrphidae) fitness. *Biological Control*, 61, 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.12.010>
- Leclant, F. (1982). *Les pucerons des plantes cultivées clé d'identification*. Montpellier: Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier Institut National de la Recherche Agronomique.
- Lescourret, F., Magda, D., Richard, G., Adam-Blondon, A. F., Bardy, M., Baudry, J., ... Soussana, J. F. (2015). A social-ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 68–75. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.04.001>
- Liu, T. and Chen, T. (2001). Effects of three aphid species (Homoptera : Aphididae) on development , survival and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera : Chrysopidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 36(3), 361–366.

- Lopes, T., Libert, P.-N., Starý, P., Japoshvili, G., Hatt, S. and Francis, F. (2016). Checklist of Aphidiinae (Hymenoptera: Braconidae) and *Aphelinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) species from Belgium with respectively four and three new records. *Zootaxa*, 4092(4), 548–560. <http://doi.org/10.11646/zootaxa.4092.4.5>
- Lu, Z., Zhu, P., Gurr, G. M., Zheng, X., Read, D. M. Y., Heong, K., ... Xu, H. (2014). Mechanisms for flowering plants to benefit arthropod natural enemies of insect pests : Prospects for enhanced use in agriculture. *Insect Science*, 21, 1–12. <http://doi.org/10.1111/1744-7917.12000>
- Lunau, K. (2014). Visual ecology of flies with particular reference to colour vision and colour preferences. *J. Comp. Physiol. A.*, 200, 497–512. <http://doi.org/10.1007/s00359-014-0895-1>
- Lundgren, J. G. (2009). Nutritional aspects of non-prey foods in the life histories of predaceous Coccinellidae. *Biological Control*, 51, 294–305. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2009.05.016>
- Martínez-uña, A., Martín, J. M., Fernandez-Quintanilla, C. and Dorado, J. (2013). Provisioning floral resources to attract aphidophagous hoverflies (Diptera : Syrphidae) useful for pest management in central Spain. *Entomological Society of America*, 106(6), 2327–2335.
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G. and Swift, M. J. (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, 277, 504–509. <http://doi.org/10.1126/science.277.5325.504>
- Meehan, T. D., Werling, B. P., Landis, D. A. and Gratton, C. (2011). Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108. <http://doi.org/10.1073/pnas.1100751108>
- Mondor, E. D. B. and Warren, J. E. L. (2000). Unconditioned and conditioned responses to colour in the predatory coccinellid , *Harmonia axyridis* (Coleoptera : Coccinellidae). *Eur. J. Entomol.*, 97, 463–467.
- Morris, M. C. and Li, F. Y. (2000). Coriander (*Coriandrum sativum*) “companion plants” can attract hoverflies, and may reduce pest infestation in cabbages. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 28, 213–217.
- Mouchon, P. (2016). *Les bandes fleuries et les lisières forestières dans les paysages agricoles , outils de gestion des insectes ravageurs*. Gembloux Agro-Bio Tech et Groupe ISA Lille.

- Oerke, E.-C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31–43.
<http://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- Petchey, O. L. and Gaston, K. J. (2006). Functional diversity: Back to basics and looking forward. *Ecology Letters*, 9, 741–758. <http://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2006.00924.x>
- Pfiffner, L., Luka, H., Schlatter, C., Juen, A. and Traugott, M. (2009). Impact of wildflower strips on biological control of cabbage lepidopterans. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, 310–314. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.003>
- Plut, C., Seyrig, C. and Leclerc, C. (2010). Huile de cameline. *Phytotherapie*, 8, 105–108.
<http://doi.org/10.1007/s10298-010-0544-y>
- Prescott, J. M., Brunett, P. A., Saari, E. E., Ransom, J., Bowman, J., de Miliano, W., ... Bekele, G. (1986). *Wheat Diseases and Pests a guide for field identification*. (CIMMYT, Ed.). Mexico: Mexico, D.F.
- Primante, C. and Dötterl, S. (2010). A syrphid fly uses olfactory cues to find a non-yellow flower. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 1207–1210. <http://doi.org/10.1007/s10886-010-9871-6>
- R. Harrington, H. F. van E. (2007). *Aphids as crop pests*.
- Radhika, V., Kost, C., Mithofer, A., & Boland, W. (2010). Regulation of extrafloral nectar secretion by jasmonates in lima bean is light dependent. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(40), 17228–17233. <http://doi.org/10.1073/pnas.1009007107>
- Rakhshani, E., Kazemzadeh, S., Starý, P., Barahoei, H., Kavallieratos, N. G., Četković, A., ... Tomanović, Ž. (2012). Parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of northeastern Iran: aphidiine-aphid-plant associations, key and description of a new species. *Journal of Insect Science (Online)*, 12, 1–26.
<http://doi.org/10.1673/031.012.14301>
- Rakhshani, E., Talebi, A. A., Starý, P., Tomanović, Ž., Kavallieratos, N. G. and Manzari, S. (2008). A review of *Aphidius Nees* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in Iran: Host associations, distribution and taxonomic notes. *Zootaxa*, 1767, 37–54.
- Robert, A. R. and Sutherland, W. J. (2002). Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology* 2002, 39, 157–176.
<http://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00695.x>
- Robert T. Watson, A.H. Zakri, H. Z. (2005). Ecosystems AND HUMAN WELL-BEING: synthesis. *Biodiversity Synthesis*.

- Root, R. B. (1973). Organization of a Plant-Arthropod Association in Simple and Diverse Habitats : The Fauna of Collards (Brassica Oleracea). *Ecological Monographs*, 43(1), 95–124.
- Rusch, A., Chaplin-Kramer, R., Gardiner, M. M., Hawro, V., Holland, J., Landis, D., ... Bommarco, R. (2016). Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, 198–204. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>
- San martin, G. (2004). *Clé de détermination des Chrysopidae de Belgique*. Sarmento: Jeunes & Nature.
- Schaller, M. and Nentwig, W. (2000). Olfactory orientation of the seven-spot ladybird beetle, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae): Attraction of adults to plants and conspecific females. *Eur. J. Entomol.*, 97, 155–159.
- Servais, L. (2015). Mesures Agro- Environnementales (MAE). *Wallonie Elevages*, 60–62.
- Shelton, A. M. and Badenes-Perez, F. R. (2006). Concepts and applications of trap cropping in pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, 51, 285–308. <http://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.150959>
- Shi, J., Luo, Y. B., Bernhardt, P., Ran, J. C., Liu, Z. J. and Zhou, Q. (2009). Pollination by deceit in *Paphiopedilum barbigerum* (Orchidaceae): A staminode exploits the innate colour preferences of hoverflies (Syrphidae). *Plant Biology*, 11, 17–28. <http://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2008.00120.x>
- SPF Economie. (n.d.). Statistics Belgium.
- Stanley, J. and Preetha, G. (2016). *Pesticide Toxicity to Non-target Organisms. African Journal of Biotechnology* (Vol. 9). <http://doi.org/10.1007/978-94-017-7752-0>
- Sutherland, J. P., Sullivan, M. S. and Poppy, G. M. (1999). The influence of floral character on the foraging behaviour of the hoverfly, *Episyrphus balteatus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 93, 157–164. <http://doi.org/10.1023/A:1003844307934>
- Team, R. C. (2014). A Language and Environment for Statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*.
- Thieme, T., Heimbach, U., Müller, A. (2010). *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests*. (I. H. Williams, Ed.). Estonia: Institute of Agricultural and Environmental Sciences.
- Thieme, T., Heimbach, U. and Müller, A. (2010). Chemical Control of Insect Pests and Insecticide Resistance in Oilseed Rape. In *Biocontrol-Based Integrated Management of Oilseed Rape Pests* (pp. 313–335). <http://doi.org/10.1007/978-90-481-3983-5>

- Tomanović, Ž., Petrović, A., Starý, P., Kavallieratos, N. G., Žikić, V. and Rakhshani, E. (2009). *Ephedrus Haliday* (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in Serbia and Montenegro: Tritrophic Associations and Key. *Acta Entomologica Serbica*, 14(1), 39–53.
- Tooker, J. F., Hauser, M., Hanks, L. M. (2006). Floral Host Plants of Syrphidae and Tachinidae (Diptera) of Central Illinois. *BioOne*, 99(1), 96–112.
- Tscharntke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., Declerck, F., Gratton, C., ... Zhang, W. (2016). When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>
- Tschumi, M., Albrecht, M., Bärtschi, C., Collatz, J., Entling, M. H. and Jacot, K. (2016). Perennial, species-rich wildflower strips enhance pest control and crop yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.001>
- Tschumi, M., Albrecht, M., Collatz, J., Dubsky, V., Entling, M. H., Najjar-rodriguez, A. J. and Jacot, K. (2016). Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, 53, 1169–1176. <http://doi.org/10.1111/1365-2664.12653>
- Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., Jacot, K. and Tschumi, M. (2015). High effectiveness of tailored flower strips in reducing pests and crop plant damage. *Proc. R. Soc. B*, 282.
- Tschumi, M., Herzog, F., Tschumi, M., Albrecht, M., Dubsky, V. and Jacot, F. H. K. (2016). Les bandes fleuries pour auxiliaires limitent les ravageurs dans les grandes cultures. *Recherche Agronomique Suisse*, 7(6), 260–267.
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Ferrara, A. F., Golec, C., Jacobs, H., Flammini, A., ... Sanchez, M. J. S. (2015). The Contribution of Agriculture , Forestry and other Land Use activities to Global Warming , 1990 – 2012. *Global Change Biology*, 21, 2655–2660. <http://doi.org/10.1111/gcb.12865>
- Van veen, M. P. (2004). *Hoverflies of Northwest Europe Identification keys to the syrphidae*. (K. Publishing, Ed.) (second edi). Zeist, The Netherlands.
- Vattala, H. D., Wratten, S. D., Phillips, C. B. and Wäckers, F. L. (2006). The influence of flower morphology and nectar quality on the longevity of a parasitoid biological control agent. *Biological Control*, 39, 179–185. <http://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2006.06.003>

- Verheggen, F. J., Haubruge, E., De Moraes, C. M. and Mescher, M. C. (2013). Aphid responses to volatile cues from turnip plants (*Brassica rapa*) infested with phloem-feeding and chewing herbivores. *Arthropod-Plant Interactions*, 7, 567–577.
<http://doi.org/10.1007/s11829-013-9272-1>
- Villenave, J. O., Deutsch, B. R., Lodé, T. H. and Rat-morris, E. L. (2006). Pollen preference of the *Chrysoperla* species (Neuroptera : Chrysopidae) occurring in the crop environment in western France. *Eur. J. Entomol.*, 103, 771–777.
- Villenave, J., Thierry, D., Mamun, A. Al, T., L. and Rat-Morris, E. (2005). The pollens consumed by common green lacewings *Chrysoperla* spp. (Neuroptera : Chrysopidae) in cabbage crop environment in western France. *Eur. J. Entomol.*, 102, 547–552.
- Wäckers, F. L. and van Rijn, P. C. J. (2012). Pick and Mix : Selecting Flowering Plants to Meet the Requirements of Target Biological Control Insects. In *Biodiversity and Insect Pests: Key Issues for Sustainable Management* (pp. 139–165).
<http://doi.org/10.1002/9781118231838.ch9>
- Whittingham, M. J. (2011). The future of agri-environment schemes: Biodiversity gains and ecosystem service delivery? *Journal of Applied Ecology*, 48, 509–513.
<http://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01987.x>
- Winqvist, C., Bengtsson, J., Aavik, T., Berendse, F., Clement, L. W., Eggers, S., ... Bommarco, R. (2011). Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe. *Journal of Applied Ecology*, 48, 570–579. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01950.x>
- Xie, H.-C., Durieux, D., Jia, F., Yong, L., Claude, B., Eric, H., ... Ju-Lian, C. (2014). Effect of wheat plant volatiles on aphids and associated predator behavior: selection of efficient infochemicals for field study. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(6), 1470–1478. <http://doi.org/10.7679/j.issn.2095>
- Zehnder, G., Gurr, G. M., Kühne, S., Wade, M. R., Wratten, S. D. and Wyss, E. (2007). Arthropod Pest Management in Organic Crops. *Annual Review of Entomology*, 52, 57–80. <http://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091337>
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K. and Swinton, S. M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, 64, 253–260.
<http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>

