

Les bandes fleuries régulent les ravageurs des cultures maraîchères et favorisent la biodiversité

Henryk Luka¹, Guendalina Barloggio^{1,2} et Lukas Pfiffner¹

¹Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, 5070 Frick, Suisse

²Université de Bâle, Département des sciences de l'environnement, 4056 Bâle, Suisse

Renseignements: Henryk Luka, e-mail: henryk.luka@fibl.org



Des bandes fleuries favorisent les auxiliaires qui déciment la noctuelle du chou, un ravageur de cette culture.

(Photo: Henryk Luka, FiBL)

Introduction

La biodiversité influence de nombreux services écosystémiques et processus dans les systèmes cultureux (Moonen et Barberi 2008). Le recours à une agrobiodiversité fonctionnelle permet d'utiliser ces services pour la régulation des ravageurs (Crowder et Jabbour 2014; Uyttenbroeck *et al.* 2015). Pour que les auxiliaires puissent réduire efficacement les ravageurs, il convient de les favoriser de manière ciblée par des mesures à l'échelle du paysage (Pfiffner *et al.* 2005; Tschumi *et al.* 2016). Les auxiliaires ont besoin pour ce faire d'habitats dans lesquels ils trouvent des refuges adaptés et des sources de nourriture en suffisance. Dans chaque type de culture, des valorisations sur mesure sont nécessaires en fonction du complexe ravageur-auxiliaire: elles vont des bandes

fleuries et surfaces écologiques pluriannuelles en bordure de champ (comme source) aux plantes à fleurs compagnes dans les cultures, ces dernières attirant les auxiliaires (Balzan *et al.* 2016). Les plantes à fleurs ne doivent favoriser que les auxiliaires et non pas les ravageurs (Wäckers *et al.* 2005; Van Rijn et Wäckers 2016). De nombreux auxiliaires sont des guêpes parasitoïdes qui, en raison de leur appareil buccal court, dépendent de fleurs dont le nectar est facilement accessible; autrement dit d'inflorescences ouvertes, planes et munies de tubes au diamètre large (Vattala *et al.* 2006) ou de nectar extrafloral (Winkler *et al.* 2009). En outre, la qualité du nectar doit avoir des effets positifs sur la durée de vie et la fécondité des guêpes parasitoïdes (Lavandero *et al.* 2006; Winkler *et al.* 2006; Lee et Heimpel 2008; Witting-Bissinger *et al.* 2008; Nafziger et Fadamiro 2011).

Dans le cadre de nos essais, nous avons choisi comme modèle le chou blanc. Les choux sont en effet attaqués par des ravageurs divers, mais ceux-ci sont à leur tour confrontés à de nombreux antagonistes (auxiliaires) (Ahuja *et al.* 2010). La longue durée de culture du chou blanc permet la constitution de populations d'auxiliaires par la gestion de leur habitat. L'importance économique des ravageurs et le recours relativement intensif aux insecticides sont d'autres raisons qui ont motivé le choix du chou comme culture modèle. Nos travaux se sont concentrés sur la noctuelle du chou (*Mamestra brassicae*). Ses principaux antagonistes sont des guêpes parasitoïdes, telles que *Trichogramma evanescens* et *Telenomus sp.*, qui parasitent les œufs de noctuelle, ainsi que *Microplitis mediator*, un braconidé parasitoïde des larves (fig. 1).

Nos objectifs étaient les suivants:

1. Sélectionner, sur la base des données de la littérature, des plantes à fleurs adaptées afin de favoriser les auxiliaires dans les cultures de choux.
2. Tester en laboratoire l'influence des plantes sélectionnées sur la fécondité et la durée de vie des parasitoïdes. Tester leur attractivité olfactive sur les guêpes.
3. Développer, tester et optimiser un mélange pour bandes fleuries dans les conditions de la pratique.
4. Etudier les effets des bandes fleuries en bordure de champ ainsi que des plantes compagnes dans les cultures de choux sur la régulation des ravageurs et la diversité des espèces.
5. Mesurer les répercussions sur le rendement des cultures de choux.

Résumé ■ Les ravageurs des cultures maraîchères bio peuvent être régulés grâce aux surfaces de promotion de la biodiversité. C'est ce que montrent des recherches pluriannuelles prenant comme modèle le chou, un de ses ravageurs (noctuelle du chou) et des auxiliaires (parasitoïdes des œufs et des larves de la noctuelle). Des bandes fleuries en bordure de parcelles et des plantes compagnes à l'intérieur des cultures ont permis de favoriser les auxiliaires. Des espèces adaptées aux bandes fleuries ont été sélectionnées sur la base de la littérature spécialisée et d'expériences en laboratoire, puis testées lors d'essais en champ. Lors des essais en laboratoire, l'offre en sarrasin, bleuets ou vesces a permis de prolonger la durée de vie des parasitoïdes de la noctuelle du chou de 43 à 85 %. Par rapport au témoin, le parasitage des larves de noctuelle était de 3 à 6 fois plus élevé. Dans les essais en champ, les bandes fleuries ont permis de doubler le parasitage des œufs de noctuelle une année sur deux. Lorsque des bleuets ont été semés comme plantes compagnes dans les cultures de choux, la prédation sur les œufs de noctuelle a augmenté de 8 à 95 % et le parasitage des larves de 35 à 68 %. La diversité des groupes d'auxiliaires à large spectre (carabes, staphylinins et araignées) a augmenté en moyenne de 46 % dans les bandes fleuries. Avec des plantes compagnes, les choux ont été, une année sur deux, plus lourds de 18 % que ceux cultivés sans bleuets. Ils présentaient en outre 41 % de moins de feuilles endommagées.



Figure 1 | La noctuelle du chou (à gauche) et ses antagonistes: ichneumon parasitant les œufs (au milieu) et braconidé parasitant les larves (à droite). (Photos de g. à d.: Henryk Luka, FiBL; Claudia Daniel, FiBL; Henryk Luka, FiBL)

Tableau 1 | Aperçu du protocole d'essai ainsi que des organismes cibles et des valeurs cibles relevées

Année	Nombre de champs (plots par procédé)	Organismes	Valeurs cibles	Procédé	Distance aux bandes fleuries ou à la bordure du champ	
					Secteur proche	Secteur éloigné
2007 avec bandes fleuries	2 (4)	> œufs et larves de noctuelle du chou (<i>M. brassicae</i>)	1) prédation et parasitage des œufs 2) parasitage des larves	avec bleuets	3–10 m	29–32 m
				sans bleuets (témoin)	3–10 m	29–32 m
2009 sans bandes fleuries	8 (1)	> œufs et larves de <i>M. brassicae</i>	1) prédation et parasitage des œufs 2) parasitage des larves	avec bleuets	pas de relevé	22–30 m
				sans bleuets (témoin)	pas de relevé	22–30 m
2010 avec bandes fleuries	7 (1)	> œufs et larves de <i>M. brassicae</i> > carabes, staphylins et araignées	1) prédation et parasitage des œufs 2) parasitage des larves 3) diversité des espèces	avec bleuets	3–6 m	19–22m
				sans bleuets (témoin)	3–6 m	19–22m

Matériel et méthodes

Choix des plantes à fleurs

Une vaste recherche bibliographique a permis de sélectionner cinq espèces végétales annuelles prometteuses: l'ammi élevé (*Ammi majus*), le bleuets (*Centaurea cyanus*), le sarrasin commun (*Fagopyrum esculentum*), l'ibéris amer (*Iberis amara*), l'origan (*Origanum vulgare*) et la vesce cultivée (*Vicia sativa*). Leur influence sur la capacité de parasitisme et sur la durée de vie du braconidé parasitoïde *Microplitis mediator*, ainsi que sur son hôte, la noctuelle du chou (*Mamestra brassicae*), a été étudiée lors d'essais sous cage en laboratoire (dix répétitions par espèce végétale) (Géneau *et al.* 2012).

Afin de tester le potentiel d'attraction des substances odorantes des plantes sur *M. mediator*, des essais ont été menés en laboratoire (Belz *et al.* 2013) et en plein champ (Barloggio *et al.*, soumis) au moyen d'un olfactomètre en Y. De l'air inodore (témoin), du miel, des tiges ainsi que des fleurs des diverses plantes ont été utilisés pour comparaison.

Bandes fleuries et plantes compagnes

Le mélange pour bandes fleuries se composait des espèces principales suivantes: bleuets, sarrasin commun et vesce cultivée ainsi que des espèces compagnes telles que l'ammi élevé et le coquelicot. Il a été testé, des points de vue entomologique et botanico-herbologique, dans différentes proportions de mélange, dans trois régions biogéographiques, entre 2007 et 2015. Ce mélange continue d'être amélioré, au niveau de ses aptitudes botaniques (degré de couverture des espèces semées et spontanées) et entomologiques (régulation des ravageurs ainsi qu'effet positif sur la diversité des espèces).

En complément des bandes fleuries pour auxiliaires, des plants de bleuets âgés de six à huit semaines ont été plantés en juin, comme plantes compagnes dans les cultures de choux, afin d'attirer plus fortement les auxiliaires dans le champ et d'accroître leur capacité de parasitisme grâce à cette offre alimentaire supplémentaire.

Recensement des ravageurs et des auxiliaires au champ

Entre 2007 et 2010, des essais en champ ont été menés sur 17 sites du Plateau suisse. Les taux de prédation et de parasitage des œufs et des larves de noctuelle ont été mesurés lors d'essais avec ou sans bleuets et avec des bandes fleuries placées à deux distances différentes (tabl. 1).

Pour mesurer le taux de prédation et de parasitage des œufs, des pontes de noctuelle du chou ont été obtenues en laboratoire (24 à 48 œufs par ponte) avant d'être exposées en champ durant deux à trois jours. Pour mesurer le parasitage, des larves de noctuelle apparues naturellement sur le champ ont été récoltées et analysées en laboratoire au moyen de la méthode PCR (réaction en chaîne par polymérase).

La diversité des espèces et l'abondance des auxiliaires prédateurs vivant à la surface du sol, tels que carabes, staphylins et araignées, ont été relevées en 2010 au moyen de quatre pièges à entonnoir par procédé (tabl. 1).

Estimation de la perte de récolte due aux ravageurs

Pour déterminer la perte de récolte, on a relevé, lors de deux essais en champ (2009 et 2010), le nombre de feuilles endommagées par des larves ainsi que le poids des têtes de choux dans des secteurs avec ou sans bleuets (les deux exempts d'insecticide) ainsi que dans un secteur du champ traité avec un insecticide (préparation Bt ou Spinosad).

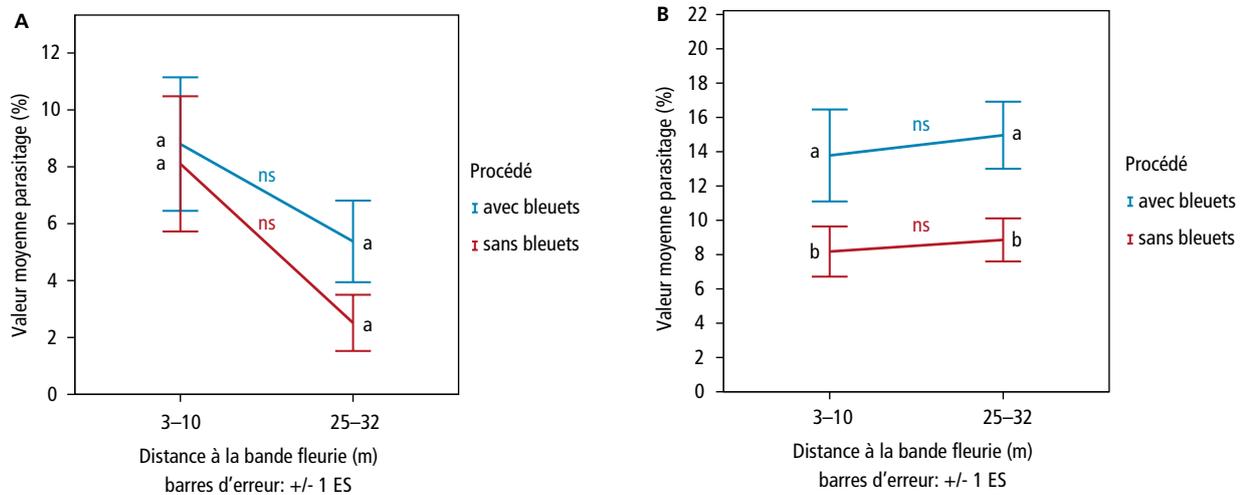


Figure 2 | Parasitage (A) et prédation (B) des œufs de noctuelle du chou à deux distances de la bande fleurie et selon procédé avec ou sans bleuets (témoin) en 2007. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$), ns: non significatif, ES: erreur standard.

Résultats et discussion

Choix des plantes

Les essais en laboratoire ont montré que quelques-unes des plantes testées augmentaient de manière significative ($p < 0,0001$) la durée de vie du braconidé *M. mediator* et le taux de parasitage (pontes). La durée de vie des guêpes femelles s'allongeait de 16 à 28 jours lorsqu'elles se nourrissaient de sarrasin, de bleuets (nectar de fleur et nectar extrafloral [NEF]) et de *V. sativa* (NEF). Lorsqu'il s'agissait d'ammi élevé et d'ibéris amer, leur durée de vie n'était que de 3 à 7 jours comme dans le témoin (eau) (Géneau *et al.* 2012). Les taux de parasitage les plus élevés étaient atteints avec le sarrasin, devant le bleuet (nectar de fleur et NEF) et la vesce cultivée (NEF). Chaque guêpe parasitait en moyenne 202 larves dans la variante avec le sarrasin et seulement 14,4 larves dans le témoin (eau). Les plantes testées n'ont pas favorisé la noctuelle ravageuse du chou (Géneau *et al.* 2012).

Les essais menés avec l'olfactomètre ont montré que le braconidé *M. mediator* était plus fortement attiré par le parfum des plantes à fleurs ou par le miel que par un témoin à l'odeur neutre ($p < 0,05$). Les bleuets sont en ce sens plus attractifs pour les parasitoïdes que le sarrasin commun ou la vesce cultivée (Belz *et al.* 2013). En raison également de ses autres propriétés positives, telles que la production de nectar extrafloral facilement accessible et une faible hauteur de pousse, le bleuet a été sélectionné comme plante compagne la mieux adaptée pour la culture du chou.

Essais de mélange

Les bandes fleuries se sont très bien établies sur six des neuf sites avec une couverture du sol des espèces semées de 42 à 61 %. Trois bandes mises en place sur des sols organiques dans le Seeland (Grand Marais) ont dû être retournées en raison d'une très forte prolifération de mauvaises herbes.

Le mélange actuel recommandé pour les bandes fleuries dans la culture du chou se compose de 18,3 % de sarrasin, 74,7 % de vesce, 6,8 % de bleuets et 0,2 % de coquelicot. Ce mélange a été agréé pour les surfaces de promotion de la biodiversité par l'Office fédéral de l'agriculture OFAG pour 2016 et donne donc droit à des contributions.

Régulation des ravageurs en plein champ

Dans les essais en plein champ avec des plantes compagnes (2009), de même que dans la combinaison bandes fleuries et plantes compagnes (2007 et 2010), le parasitage des œufs et des larves de *M. brassicae* a été étudié.

Bandes fleuries, parasitage et prédation des œufs

Les essais de 2007 (fig. 2A) et 2010 ont montré un effet de la distance sur le parasitage des œufs de noctuelle du chou: dans les secteurs proches des bandes fleuries, le parasitage des œufs étaient tendanciellement (mais pas significativement) plus élevé que dans les secteurs plus éloignés (fig. 2A). Un effet négatif de la distance a également été mis en évidence au cours d'autres travaux (Skirvin *et al.* 2011; Sigsgaard *et al.* 2013; Tschumi *et al.* 2016). Comme les petits parasitoïdes des œufs d'environ

0,6 à 1 mm ne volent pas activement, il n'y a manifestement pas d'effet d'attraction des habitats alentour vers les bandes fleuries et une propagation active au reste du champ n'est guère possible. Par contre, en ce qui concerne le taux de prédation sur les œufs de noctuelle du chou, la distance aux bandes fleuries n'avait d'influence significative ni dans l'essai de 2007 (fig. 2B) ni dans celui de 2010.

Bandes fleuries et parasitage des larves

La distance aux bandes fleuries n'avait pas d'influence significative sur le nombre de larves de noctuelle parasitées dans les essais de 2007 et 2010. En 2007, les taux de parasitage étaient cependant tendanciellement plus élevés dans le secteur proche des bandes fleuries que dans le secteur plus éloigné, alors qu'il n'y avait pas de différence en 2010. Cela pourrait être dû à la grande mobilité des parasitoïdes des larves. Comparés aux parasitoïdes des œufs, les parasitoïdes des larves de noctuelle sont en effet sensiblement plus gros (3–5 mm) et peuvent ainsi couvrir activement de plus longues distances. Yu *et al.* (2009) ont observé des trajets de vol de 5–6 km, parcourus en 85 minutes environ, pour *M. mediator*. Pour quelle raison alors le parasitage diminuait-il dans notre cas, déjà à partir de 20 à 30 m de distance des bandes fleuries? L'expérience menée en champ avec l'olfactomètre a permis d'établir que les parfums des bandes fleuries diminuaient de manière si drastique, à partir de 16 m de distance déjà, qu'ils n'étaient plus attractifs pour *M. mediator*. Tschumi *et al.* (2016) ont également constaté que l'effet des bandes fleuries sur la régulation des criocères (*Oulema* sp.) dans les céréales diminuait à partir de 20 m de distance. Sigsgaard *et al.* (2013) ont en outre montré que l'effet d'une bande fleurie sur la régulation des ravageurs s'affaiblissait nettement à partir de 11 m déjà. Nous supposons que les insectes, malgré une plus grande mobilité, ne trouvent pas les fleurs, parce qu'ils ne peuvent plus s'orienter grâce à leurs parfums sur de plus grandes distances.

Plantes compagnes, parasitage et prédation des œufs

Pour compenser l'effet négatif de la distance sur le parasitage et la prédation des œufs, des bleuets ont été plantés dans le champ, comme plantes compagnes. Le parasitage des œufs augmentait en présence de bleuets, les différences par rapport au témoin sans bleuets n'étant toutefois pas significatives dans tous les cas (2007, fig. 2A). Cela pourrait être dû au fait que les parasitoïdes disposaient d'autres sources de nourriture (p. ex. miellat des pucerons) ou qu'ils consommaient aussi des œufs de ravageurs dans lesquels ils avaient pondu (Rivero et West 2005, Ferracini *et al.* 2006, Vollhardt *et al.* 2010; Van Rijn

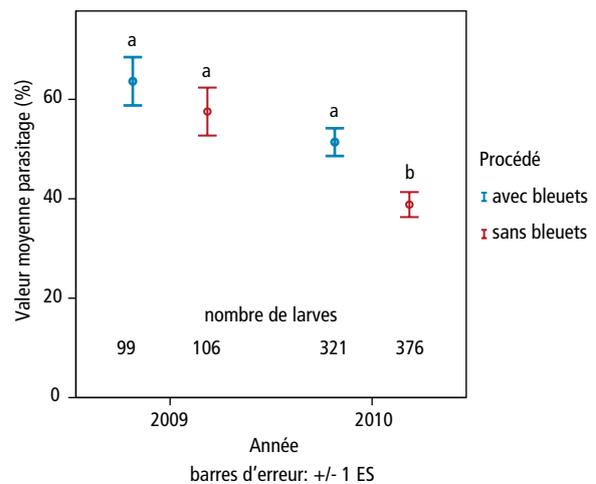


Figure 3 | Parasitage des larves de noctuelle du chou en 2009 et 2010 dans les cultures avec ou sans bleuets comme plantes compagnes. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$), ES: erreur standard.

et al. 2013). D'autres études menées en parallèle ont montré que les densités de pucerons dans les secteurs sans bleuets étaient plus élevées que dans ceux avec bleuets, où les prédateurs des pucerons – en particulier les chrysopes et les syrphes – étaient plus fréquents. Au stade adulte, ces insectes tirent en effet profit des plantes à fleurs comme source de nourriture (Tschumi *et al.* 2016; Van Rijn et Wäckers 2016).

La proportion d'œufs prédatés dans les parcelles avec bleuets comme plantes compagnes était en 2007 significativement plus élevée, quelle que soit la distance à la bande fleurie (fig. 2B). En 2010 également, la prédation sur les œufs était significativement plus élevée dans les parcelles avec bleuets ($p = 0,045$). Des effets similaires ont été observés en 2009, les différences n'étant toutefois pas significatives ($p = 0,072$).

En 2010, les densités mesurées d'araignées, de carabes et de staphylins prédateurs étaient, dans les trois cas, plus élevées dans les parcelles avec bleuets que dans celles sans bleuets (fig. 5B), ce qui pourrait également avoir contribué à une plus forte prédation des œufs de noctuelle.

Plantes compagnes, parasitage des larves

Le nombre de larves de noctuelle parasitées était plus élevé en 2007 et 2009 (fig. 3) dans les parcelles avec bleuets que dans la parcelle témoin, les différences n'étant toutefois pas significatives. Ce n'est qu'en 2010 que l'on a observé significativement plus de larves parasitées dans les parcelles avec bleuets que dans celles sans bleuets (fig. 3).

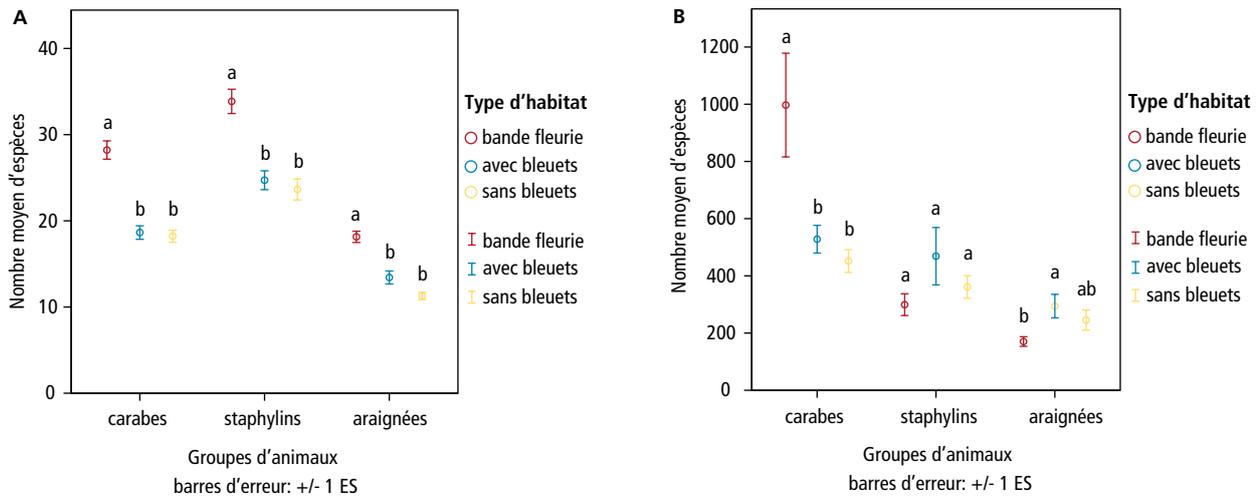


Figure 4 | Nombre moyen d'espèces (A) et densités d'activité moyennes (B) des carabes, staphylins et araignées dans la bande fleurie ainsi que dans le champ de chou avec ou sans bleuets. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$), ES: erreur standard.

L'infestation par la noctuelle (nombre de larves) était plus importante en 2007 et 2010 dans le secteur sans bleuets, ce qui dénote une influence positive des bleuets sur les parasitoïdes et les prédateurs. Manandhar et Wright (2015) ont montré que le sarrasin, en tant que plante compagne, pouvait influencer positivement les taux de parasitage par des guêpes trichogrammes de même que la densité de punaises prédatrices (*Orius* spp.).

Effets des bandes fleuries sur les auxiliaires

Afin d'évaluer les effets des bandes fleuries sur la biodiversité, on a analysé 53 431 carabes, staphylins et araignées en 2010 et identifié, pour ces trois groupes, 252 espèces différentes (Ditner *et al.* 2013; Luka *et al.* en préparation). Les carabes et les araignées, de même que les staphylins, sont d'importants auxiliaires et des bioindicateurs fiables (Hänggi 1989; Bohac 1999; Holland 2002; Luka 2004). Le nombre d'espèces des trois groupes (fig. 4A) et le nombre d'individus (densité d'activité) parmi les carabes étaient significativement plus élevés dans les bandes fleuries que dans le champ de chou (fig. 4B). Pour les trois groupes, la densité d'activité dans les parcelles avec bleuets comme plantes compagnes était plus élevée que dans les parcelles sans bleuets (fig. 4B). Cet effet positif des bandes fleuries et des plantes compagnes sur l'abondance des prédateurs a également été confirmé par d'autres études (Nilsson *et al.* 2015; Westphal *et al.* 2015).

Les bandes fleuries offrent un habitat à de nombreuses espèces exigeantes et rares, telles que les carabes *Amara littorea*, *Amara aulica* et les araignées *Diploce-*

phalus latifrons, *Dicymbium nigrum brevisetosum* ou *Xerolycosa miniata*. Ces espèces étaient présentes exclusivement dans les bandes fleuries. En outre, le carabe *Dolichus halensis* a été attesté dans ces bandes fleuries pour la première fois dans le nord-est de la Suisse et l'opilion *Nemastoma bidentatum* pour la première fois en Suisse. L'apparition de populations abondantes d'espèces rares, exclusivement dans les bandes fleuries, souligne l'importance écologique de ces surfaces de promotion de la biodiversité.

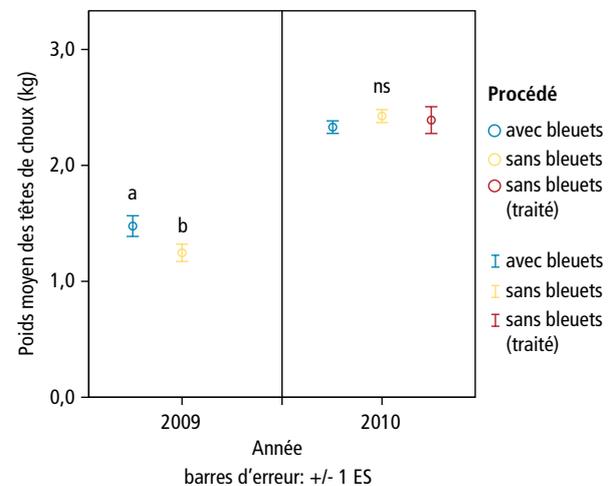


Figure 5 | Poids moyen des têtes de choux après élimination des feuilles endommagées. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$), ES: erreur standard, ns: non significatif.

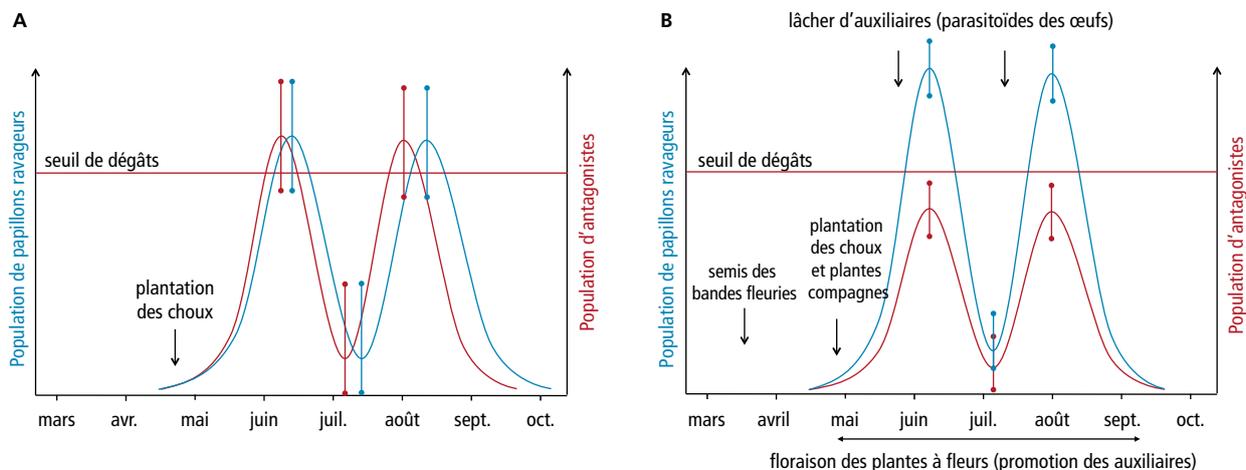


Figure 6 | Modèle théorique des interactions entre les populations de papillons ravageurs et de parasitoïdes dans la culture de chou, sans système de protection des plantes à faible niveau d'intrants (A) et avec système de protection des plantes à faible niveau d'intrants (B), période d'avril à septembre.

Effets sur le rendement

L'objectif principal des essais était de réduire les dommages occasionnés par la noctuelle du chou. Dans les parcelles avec des plantes compagnes, le poids moyen des têtes de chou était en 2009 d'environ 18 % plus élevé que dans les parcelles sans plantes compagnes (fig. 5). En 2010, on n'a constaté de différence de rendement ni entre ces deux catégories, ni avec les parcelles conventionnelles traitées avec un insecticide (fig. 5). Le nombre de feuilles de chou endommagées avait significativement diminué en 2009 (41 %) dans les parcelles avec des plantes compagnes ($p = 0,0005$). Bien que le parasitage ait été plus élevé en 2010 dans les parcelles avec bleuets, on n'a pas mesuré de différence de rendement (fig. 5) (Balmer *et al.* 2014).

Conclusions

Les essais en laboratoire et en champ présentés ici montrent que la mise en place «sur mesure» de bandes fleuries et de plantes compagnes permet de favoriser les antagonistes des papillons ravageurs dans la culture biologique de chou.

Si l'on considère la dynamique des populations de guêpes parasitoïdes (auxiliaires) et de leurs hôtes (papillons ravageurs), on constate que les auxiliaires apparaissent avec un certain décalage (fig. 6A). À l'avenir, les populations d'auxiliaires devraient être installées à partir d'avril déjà grâce à des mesures de promotion ciblées, combinées avec des lâchers massifs de parasitoïdes des œufs *Telenomus* sp., de manière à pouvoir réduire les ravageurs dès le début de leur développement et maintenir ainsi les pertes économiques sous un seuil tolérable (fig. 6B).

Ces trois prochaines années, un système de protection des plantes à faible niveau d'intrants sera testé du point de vue de ses effets sur la régulation des papillons ravageurs. On analysera dans ce but un autre complexe ravageur-auxiliaire: celui de la piéride du chou (*Pieris rapae*) et du braconidé *Cotesia rubecula*. ■

Remerciements

Financement: Fondation Bristol, Office fédéral de l'environnement OFEV, Fonds Coop pour le développement durable, Fondation Ernst Göhner, Fondation Parrotia, Schöni Swissfresh SA, Fondation Singenberg, Fondation caritative de la banque Vontobel, Fondation Dreiklang, Fondation Werner Steiger, Fondation pour le maintien de la diversité végétale au niveau international, et UE (développement de l'organisme de biocontrôle *Telenomus* sp.).

Collaboration: tous les agriculteurs, Prof. Peter Nagel, PD Dr Jan Beck, Prof. Mathias Kölliker, Prof. Walter Salzburger (Université de Bâle), Prof. Felix Wäckers (Université de Lancaster), PD Dr Michael Traugott (Université d'Innsbruck), Dr Werner Marggi et Dr Hannes Baur (Musée d'histoire naturelle de Berne), Pius Andermatt et Oliver Kindler (Syngenta, Stein), Johannes Burri (Fenaco), Dr Oliver Balmer (Institut tropical suisse), Dr Elodie Belz (Vannes), Dr Céline Généau (Syngenta Bâle). Nous remercions en outre Dr Claudia Daniel et Dr Thomas Alföldi (FiBL) pour leur relecture critique du manuscrit.

Riassunto

Le strisce fiorite regolano i parassiti nell'orticoltura e rivalutano le terre coltivate dal profilo ecologico

Studi pluriennali aventi le culture di cavolo come sistema modello, così come il suo parassita la nottua del cavolo e i parassitoidi delle sue uova e larve (organismi utili), mostrano come i parassiti nell'orticoltura possano essere regolati attraverso la promozione della biodiversità. Gli organismi utili sono stati promossi mediante strisce fiorite ai margini del campo e specifici fiori piantati al suo interno. Le piante adatte alle strisce fiorite sono state selezionate sulla base della letteratura scientifica e di alcuni esperimenti in laboratorio, e successivamente verificate sul campo. Negli esperimenti in laboratorio l'apporto di grano saraceno, fiordaliso o veccia dolce ha prolungato la durata di vita dei parassitoidi delle larve di nottua del cavolo dal 43 all'85 per cento. La parassitizzazione delle larve di nottua del cavolo, rispetto al controllo, è aumentata da 3 a 6 volte. Negli esperimenti sul campo mediante le strisce fiorite la parassitizzazione delle uova di nottua del cavolo in un anno su due è raddoppiata. Il fiordaliso inserito nel campo di cavolo ha potuto incrementare la predazione delle uova di nottua del cavolo dall'8 al 95 per cento e la parassitizzazione delle larve dal 35 al 68 per cento. La diversità delle specie di gruppi di organismi utili generalisti (coleotteri carabidi e stafilinidi nonché ragni) è aumentata nelle strisce fiorite in media del 46 per cento. I cavoli intercalati con i fiordalisi, un anno su due, hanno presentato un peso maggiore del 18 per cento rispetto a quelli senza fiordaliso e il 41 per cento in meno di foglie danneggiate da insetti erbivori.

Bibliographie

- Ahuja I., Rohloff J. & Bones A., 2011. Defence mechanisms of Brassicaceae: implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management. *In: Sustainable Agriculture*, vol. 2 (Eds. E. Lichtfouse et al.), Springer, Netherlands, 623–670.
- Balmer O., Pfiffner L., Schied J., Willareth M., Leimgruber A., Luka H. & Traugott M., 2013. Noncrop flowering plants restore top-down herbivore control in agricultural fields. *Ecology and Evolution* 3 (8), 2634–2646.
- Balmer O., Gèneau C., Belz E., Weishaupt B., Förderer G., Moos S., Ditner N., Juric I. & Luka H., 2014. Wildflower companion plants increase pest parasitism and yield in cabbage fields: Experimental demonstration and call for caution. *Biological Control* 76, 19–27.
- Balzan M. V., Bocci G. & Moonen A.-C., 2016. Utilisation of plant functional diversity in wildflower strips for the delivery of multiple agroecosystem services. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 158, 304–319.
- Barloggio G., Tamm L., Oberhänsli T., Nagel P. & Luka H., 2015. The egg parasitoid *Telenomus* sp. as a novel biocontrol agent to prevent the cabbage moth. *Acta fytotechn. zootechn.* 18, 47–49 (online).
- Belz H., Kölliker M. & Balmer O., 2013. Olfactory attractiveness of flowering plants to the parasitoid *Microplitis mediator*: potential implications for biological control. *BioControl* 58, 163–173.
- Crowder D. W. & Jabour E., 2014. Relationships between biodiversity and biological control in agroecosystems: Current status and future challenges. *Biological Control* 75, 8–17.

Summary

Flower strips control pests in vegetable production and ecologically upgrade arable land

Multi-year studies of the model system 'cabbage', the pest 'cabbage moth' and the latter's egg and larval parasitoids (beneficials) demonstrate how pests can be controlled in vegetable production with the help of tailored biodiversity areas. Beneficials were encouraged by means of flower strips on field margins and companion plants within the field. Suitable plants for the flower strips were selected on the basis of the scientific literature and in-house laboratory experiments, and tested in field trials. In laboratory trials, the provision of buckwheat, cornflowers or common vetch extended the lifespan of the cabbage-moth parasitoids by 43% to 85%. Parasitisation of the cabbage-moth larvae increased three- to six-fold over that of the control. In the field trials, flower strips increased the parasitisation of cabbage-moth eggs twofold in one of two years. Used as a companion plant in the cabbage field, cornflowers increased predation on cabbage-moth eggs by 8% to 95% and the parasitism of the larvae by 35% to 68%. The species diversity of broadly effective groups of beneficials (ground beetles, short-winged beetles and spiders) increased by an average of 46% in the flower strips. In one of two years, cabbage heads grown with companion plants were 18% heavier than those grown without cornflowers, and had 41% fewer leaves with feeding damages.

Key words: flowering strips, conservation biological control, cabbage, companion plants, floral subsidies, natural enemies.

- Ditner N., Balmer O., Beck J., Blick T., Nagel P. & Luka H., 2013. Effects of experimentally planting non-crop flowers into cabbage fields on the abundance and diversity of predators. *Biodivers Conserv* 22, 1049–1061.
- Gèneau C. E., Wäckers F.L., Luka H., Daniel C. & Balmer O., 2012. Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoids: *Basic and Applied Ecology* 13 (1), 85–93.
- Barloggio G., Kölliker M. & Balmer O., déposé. Testing the attractiveness of flower volatiles for insects in the field: a new approach. *Arthropod-Plant Interactions*.
- Pfiffner L., Luka H. & Schlatter C., 2005. Schädlingsregulation gezielt verbessern. *Ökologie & Landbau* 134 (2), 51–53.
- Tschumi M., Albrecht M., Bärtschi C., Collatz J., Entling M. H. & Jacot K., 2016. Perennial, species-rich wildflower strips enhance pest control and crop yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 220, 97–103.
- Van Rijn P. C. J., Kooijman J. & Wäckers F. L., 2013. The contribution of floral resources and honeydew to the performance of predatory hoverflies (*Diptera: Syrphidae*). *Biological Control* 67, 32–38.
- Wäckers F.L., Van Rijn P.C.J. & Bruin J., (Ed.) 2005. *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects*. Cambridge University Press, 356 p.
- Yu H., Zhang Y., Wu K., Wyckhuys K. & Guo Y., 2009. Flight potential of *Microplitis mediator*, a parasitoid of various lepidopteran pests. *BioControl* 54 (2), 183–193.

Une bibliographie exhaustive est disponible auprès des auteurs.