

# Impact des bandes fleuries sur la régulation des bioagresseurs

La composition botanique des bandes fleuries affecte le taux de parasitisme par les micro-guêpes parasitoïdes en grandes cultures.

**ANTOINE GARDARIN, DOMINIQUE LE FLOCH, JUSTINE PIGOT ET MURIEL VALANTIN-MORISON**

UMR Agronomie - Inrae - AgroParisTech - Thiverval-Grignon.

**L**a gestion de nombreux insectes ravageurs du colza ou des légumineuses fait face à des limites techniques, du fait de la réduction des produits disponibles et de l'accroissement des résistances, et à des impasses environnementales et sociétales. Les méthodes de gestion des populations d'insectes doivent progresser vers un renforcement des processus de régulation naturelle s'appuyant sur la biodiversité comme levier. Nous avons comparé l'efficacité de plusieurs bandes fleuries pérennes sur la régulation des insectes du colza et de la féverole par des micro-guêpes parasitoïdes.

## Des insectes régulés par des micro-guêpes parasitoïdes

Les larves de plusieurs insectes ravageurs du colza (altises, charançons) ou des légumineuses (bruches) ont pour caractéristique commune de réaliser leur développement larvaire au sein des organes (tige, pétiole, fleur, silique, graine...) de leur plante-hôte. Ce développement, plus ou moins caché, leur confère une protection envers les prédateurs généralistes présents dans les parcelles cultivées, comme les carabes ou les araignées. En revanche, ces larves peuvent être parasitées par des micro-guêpes parasitoïdes spécialistes, inféodées à un hôte donné. Ces micro-guêpes sont capables de repérer leur hôte et d'y pondre un œuf. Le développement de la larve de micro-guêpe s'effectue aux dépens de la larve du ravageur, à l'intérieur de cette dernière, conduisant à sa mort. En moyenne, les taux de parasitisme atteignent 20 % pour le charançon des siliques, 40 % pour le charançon du bourgeon terminal (à l'échelle de la France en 2014-15<sup>(1)</sup>) et se situent autour de 50 % pour les méligèthes (en Normandie en 2008-2009<sup>(2)</sup>). Ces valeurs sont cependant extrêmement



variables selon les parcelles, les régions, les années et les espèces étudiées.

## Des ressources en nectar pour favoriser la régulation naturelle

### Fournir des ressources aux parasitoïdes

À l'état adulte, la plupart des micro-guêpes se nourrissent de substances sucrées, comme le nectar ou le miellat, qui sont des sources d'énergie. Il a ainsi été montré que la fourniture de ressources en nectar peut accroître la longévité, la dispersion et la reproduction des parasitoïdes<sup>(3)</sup>, ce qui peut se traduire par un parasitisme plus important des ravageurs. Les aménagements agroécologiques, comme des bandes fleuries pérennes, pourraient donc constituer un levier permettant de fournir des ressources et d'améliorer le contrôle biologique, en plus de fournir des habitats pour une diversité de prédateurs. Cependant, la nécessité de favoriser les parasitoïdes des ravageurs est rarement prise en compte lors de l'élaboration de la composition botanique des bandes fleuries.

En février-mars, les parasitoïdes d'altises et de charançons (*Tersilochus* sp.) visitent les fleurs de véronique de Perse (1, 2), de pissenlit (3) ainsi que les stipules de vesce produisant du nectar extrafloral à la base des feuilles (4, 5). En avril, les parasitoïdes de méligèthes (*Tersilochus heterocerus*) visitent les fleurs de glécoma faux-lierre (6) et de barbarée (7).

## RÉSUMÉ

**✦ CONTEXTE** - Les insectes s'attaquant aux cultures peuvent être régulés par des micro-guêpes parasitoïdes, dont les adultes sont souvent dépendants d'une alimentation sucrée, comme le nectar.

**✦ ÉTUDE** - Dans une expérimentation au champ, l'unité de recherche « Agro-

nomie » Inrae-AgroParisTech analyse la capacité de bandes fleuries pérennes à fournir des ressources alimentaires aux parasitoïdes.

L'essai compare l'effet de bandes fleuries contrastées, par leur composition en espèces, sur la régulation de cinq ravageurs du colza et de la féverole.

**✦ RÉSULTATS** - Le taux de parasitisme de quatre des cinq ravageurs étudiés augmente avec la proportion de plantes dans les bandes fleuries fournissant du nectar disponible et accessible pour les parasitoïdes. Les bandes fleuries semées avec le plus grand nombre d'espèces (29) restent les plus diversifiées

fonctionnellement au cours du temps, et sont donc les plus aptes à fournir des ressources pour une diversité d'insectes participant à la régulation des ravageurs à l'échelle pluriannuelle.

**✦ MOTS-CLÉS** - Bande fleurie, parasitoïdes, colza, féverole.

### Assurer une disponibilité dans le temps

Pour être efficaces, et parmi les nombreux critères à prendre en compte, les plantes de la bande fleurie doivent fournir du nectar disponible (contraintes de date) et accessible (contraintes morphologiques) aux parasitoïdes. Les parasitoïdes adultes des altises, des charançons et des méligèthes du colza émergent en sortie d'hiver et ont une période d'activité concentrée sur quelques semaines, au cours de laquelle ils peuvent se nourrir de nectar. Par exemple, les parasitoïdes des grosses altises du colza émergent dès la mi-février et sont actifs tout le mois de mars, ceux des méligèthes ont une période d'activité en avril et les parasitoïdes de bruches en mai. Ainsi, la présence de plantes à floraison très précoce et étalée sur tout le printemps est centrale.

**Tableau 1 : les huit mélanges floraux comparés se différencient selon trois niveaux de richesse spécifique et deux niveaux de diversité fonctionnelle des plantes**

Dans chacune des quatre catégories, deux mélanges avec des listes d'espèces distinctes sont comparés.

|                              |    | Gradient de diversité fonctionnelle                                        |                                                                                                                                                 |
|------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              |    | Faible                                                                     | Élevée                                                                                                                                          |
|                              |    | Nectar floral<br>Six mois de fleurs<br>Port érigé<br>Corolles à tube court | Nectar floral, extrafloral et pollen<br>Dix mois de fleurs<br>Ports variés (érigé, rampant, en rosette)<br>Corolles à tube court et à tube long |
| Gradient de nombre d'espèces | 9  |                                                                            | Deux mélanges                                                                                                                                   |
|                              | 14 | Deux mélanges                                                              | Deux mélanges                                                                                                                                   |
|                              | 29 |                                                                            | Deux mélanges                                                                                                                                   |

### Assurer une accessibilité de la ressource

De plus, la capacité des parasitoïdes à accéder au nectar produit dans les fleurs est également limitée par une adéquation morphologique entre le parasitoïde et la fleur. Les micro-guêpes parasitoïdes sont de très petite taille (quelques millimètres de long) et prélèvent le nectar avec un appareil buccal de quelques dixièmes de millimètres de long au maximum. Ainsi, ils ne peuvent pas se nourrir sur les fleurs de légumineuses dont le nectar n'est accessible qu'aux insectes à langue longue (comme les bourdons et abeilles domestiques). Chez d'autres familles botaniques, comme les apiacées ou les brassicacées (photo 7), la corolle ouverte rend le nectar floral aisément accessible. Certaines plantes peuvent également produire du nectar extrafloral, c'est-à-dire sécrété au niveau de glandes présentes sur des parties végétatives, comme sur les stipules des vesces (photo 4) ou sur les bractées des boutons floraux des centaurées. Dans ce cas, le nectar est également aisément accessible car son accès n'est pas restreint par des pétales ou autres pièces florales. En conséquence, l'effet d'une bande fleurie ne peut pas être tenu pour acquis. Ces critères relatifs aux interactions plantes/insectes doivent être pris en considération pour concevoir des bandes fleuries contribuant à la régulation naturelle des insectes des cultures.

### Adapter la composition des bandes fleuries

#### Un dispositif sur quatre ans à Grignon

Dans l'objectif de progresser dans la connaissance des effets de la composition des bandes fleuries sur la régulation des ravageurs, une expérimentation analytique a été mise en place à Grignon (Yvelines) pour comparer différentes bandes fleuries pérennes entre 2013 et 2017. Afin de favoriser la gestion d'une diversité de ravageurs, à l'échelle de la rotation, les bandes fleuries doivent être en mesure de fournir des ressources alimentaires aux différentes espèces de prédateurs et de parasitoïdes qui les régulent. Ceci signifie qu'un nombre suffisamment élevé d'espèces de plantes ayant des traits diversifiés est nécessaire, par exemple en termes de périodes de floraison ou de morphologie florale.

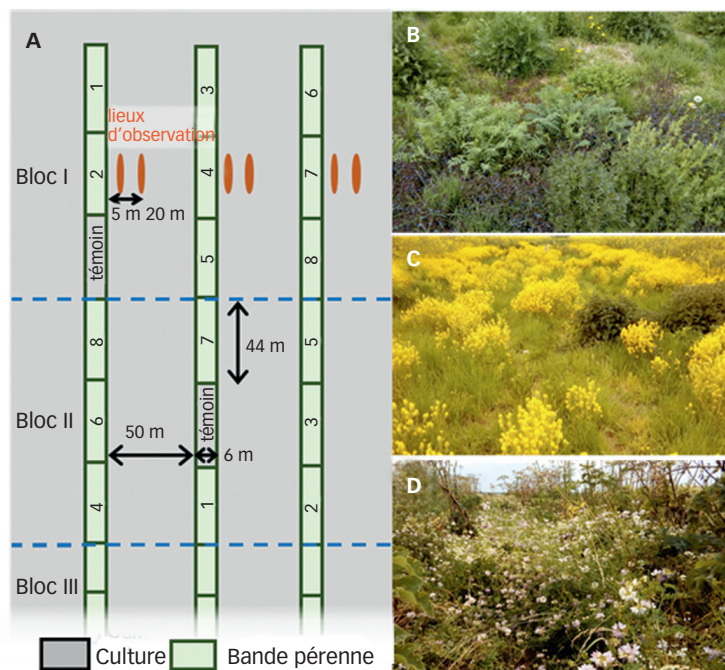
#### Huit mélanges comparés

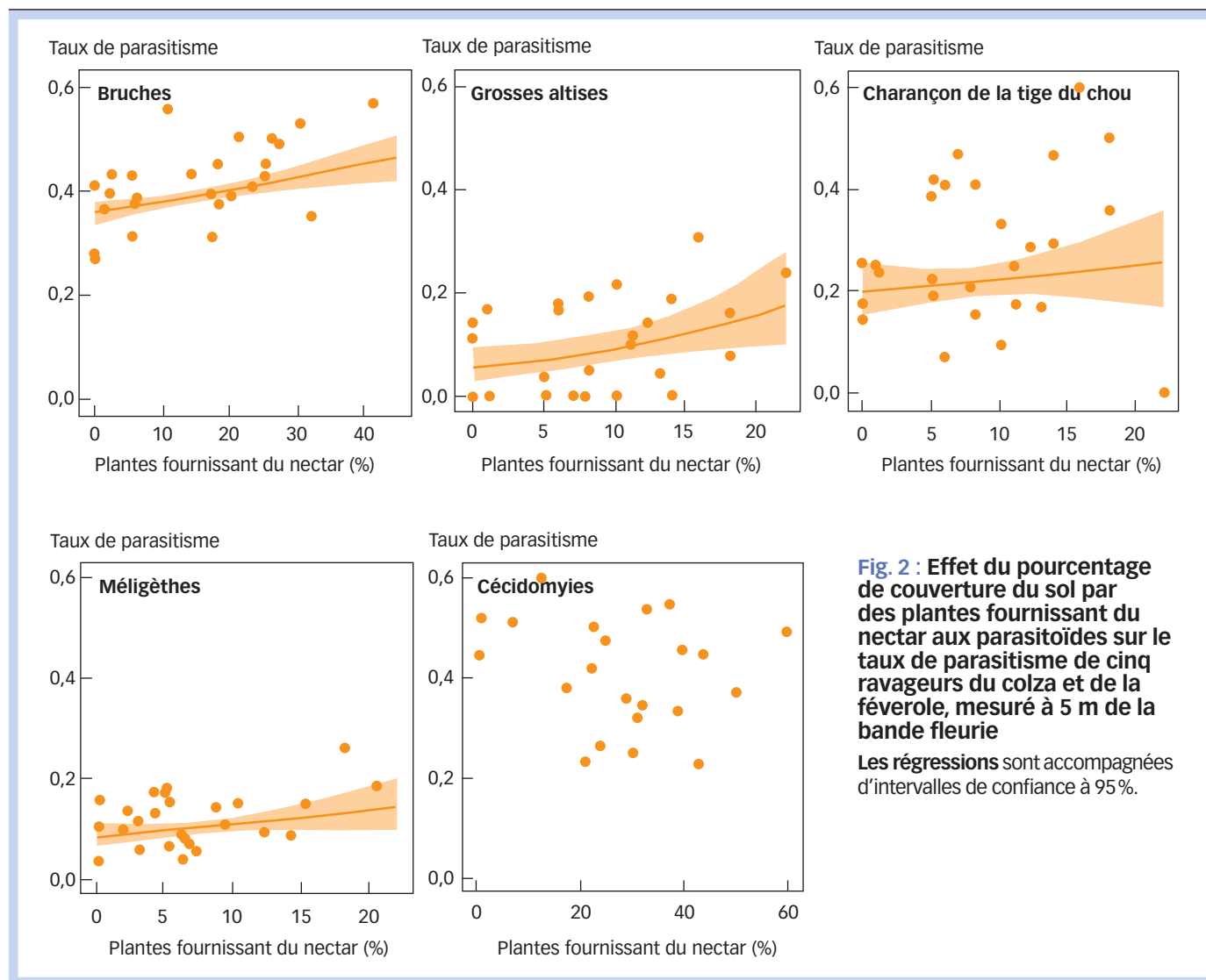
Sur la base de ces principes, nous avons conçu huit mélanges contrastés par leur nombre d'espèces semées (9, 14 ou 29), leur diversité fonctionnelle<sup>(4)</sup> (faible ou élevée) et composés de listes d'espèces distinctes (deux listes d'espèces) (Tableau 1). Les mélanges étaient essentiellement composés de dicotylédones, plantes à fleur dont beaucoup produisent du nectar, et de trois graminées. Nous avons choisi des espèces adaptées aux conditions locales et les plus susceptibles de se maintenir sur le long terme. Ainsi, les espèces semées (Tableau 2, disponible sur [www.phytoma-ldv.com](http://www.phytoma-ldv.com)) sont en majorité pérennes, indigènes en France et pour la plupart fréquentes sur les bordures de champs. Nous avons utilisé des semences d'origine locale (moitié nord de la France) selon leur disponibilité.

Les huit mélanges ont été comparés à une neuvième modalité témoin « absence de bande » semée avec la culture implantée dans la parcelle adjacente. En

**Fig. 1 : Dispositif expérimental (A) et exemples de différentes bandes fleuries en mars (B), avril (C) et juin (D)**

Les mélanges sont numérotés de 1 à 8. Ils sont comparés entre eux et avec un témoin sans bande, semé avec la culture de chaque année. Ces neuf modalités sont répétées dans trois blocs (I, II, III). Photos : A. Gardarin





**Fig. 2 : Effet du pourcentage de couverture du sol par des plantes fournissant du nectar aux parasitoïdes sur le taux de parasitisme de cinq ravageurs du colza et de la féverole, mesuré à 5 m de la bande fleurie**

Les régressions sont accompagnées d'intervalles de confiance à 95 %.

octobre 2013, trois répétitions de chaque modalité ont été semées, en bandes de 6 × 44 m, dans une parcelle de 6,5 ha (Figure 1). Entre 2013 et 2017, la succession sur la parcelle fut escourgeon/maïs/féverole/colza, conduite sans traitement insecticide.

### Observation du parasitisme

En 2016 et 2017, nous avons mesuré, à 5 et à 20 m des bandes fleuries, le parasitisme de cinq ravageurs du colza et de la féverole : les grosses altises (*Psylliodes chrysocephala*), les charançons de la tige du chou (*Ceutorhynchus pallidactylus*), les méligèthes (*Brassicogethes aeneus*), les cécidomyies (*Dasineura brassicae*) et les bruches (*Bruchus rufimanus*). Le taux de parasitisme correspond à la proportion de ravageurs parasités par des micro-guêpes par rapport au nombre total de ravageurs. Il a été déterminé de différentes manières : par observation visuelle des œufs dans les larves (méligèthes), par dissection des cocons de nymphe (cécidomyies), par élevage des larves collectées dans les plantes (altises et charançon de la tige du chou) ou par l'examen des trous de sortie des graines de féveroles (bruches).

Nous avons analysé l'effet du recouvrement des plantes, semées ou spontanées, fournissant du nectar disponible et accessible aux parasitoïdes, sur les taux de parasitisme. Pour chaque espèce de parasi-

toïde, nous avons identifié les plantes qui fleurissent pendant la période d'activité du parasitoïde adulte et qui peuvent fournir du nectar (observation à la loupe binoculaire). Nous avons déterminé si le nectar était accessible en confrontant la taille de la tête du parasitoïde et de son appareil buccal à la forme de la fleur et à la profondeur du nectar mesurée à la loupe binoculaire<sup>(5)</sup>.

### Un taux de parasitisme corrélé avec la ressource en nectar

En 2016 et 2017, 41 des 55 espèces semées sont observées dans les bandes fleuries, ainsi que 44 espèces spontanées. Les espèces semées représentent en moyenne 93 % de la couverture végétale totale. Parmi toutes ces espèces, seules 16 à 36 fournissent du nectar disponible et accessible, selon les espèces de parasitoïdes considérées (Tableau 3, disponible sur [www.phytoma-ldv.com](http://www.phytoma-ldv.com)). De février à avril par exemple, les espèces qui fournissent du nectar accessible aux parasitoïdes d'altises, de charançons et de méligèthes sont le pissenlit (*Taraxacum officinale*), la barbarée (*Barbarea vulgaris*), le gléchoma faux-lierre (*Glechoma hederacea*) et les véroniques (*Veronica persica* et *V. hederifolia*). Ce sont d'ailleurs des plantes très visitées par les parasitoïdes d'après nos observations (photos p. 39). Les pâquerettes sont également



(1) Robert C., Bothorel S., Luce S., Lauvernay A., Leflon M., Delvare G., Streito J.-C., Pierre E., Cruaud P., Ollivier M., Genson G., Cruaud A. et Rasplus J.-Y., 2019. Coleotool - Développement d'outils moléculaires en vue d'identifier les principaux charançons ravageurs du colza et leurs auxiliaires parasitoïdes. *Innovations agronomiques* n° 71, p. 181-200.

(2) Rusch A., Valantin-Morison M., Sarthou J.-P. et Roger-Estrade J., 2011. Multi-scale effects of landscape complexity and crop management on pollen beetle parasitism rate. *Landscape Ecology* n° 26 (4), p. 473-486. doi:10.1007/s10980-011-9573-7

(3) Jervis M. A., Lee J. C. et Heimpel G. E., 2004. Use of behavioural and life-history studies to understand the effects of habitat manipulation. In: Gurr GM, Wratten SD, Altieri MA (eds) *Ecological engineering for pest management*. CSIRO, Wallingford, UK, p. 65-100.

(4) Ici, diversité des caractéristiques des plantes impliquées dans leurs interactions avec les insectes : diversité de ports de plantes, des dates et durées de floraison, de morphologie florale, des ressources alimentaires produites, etc.

(5) Gardarin A., Pigot J. et Valantin-Morison M., 2021. The hump-shaped effect of plant functional diversity on the biological control of a multi-species pest community. *Scientific Reports*, n° 11, 21635. doi.org/10.1038/s41598-021-01160-2

(6) Albrecht M., Kleijn D., Williams N. M., Tschumi M. et al., 2020. The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters* n° 23 (10), p. 1488-1498. doi:10.1111/ele.13576

visitée par les parasitoïdes mais leur nectar n'est pas accessible à ces derniers.

En moyenne, toutes bandes confondues, les taux de parasitisme les plus faibles sont ceux des méligèthes (11 %) et les plus élevés ceux des bruches (45 %), avec en général pas ou peu de différence entre les distances d'observation (5 ou 20 m des bandes). À 5 m des bandes, ces taux de parasitisme varient selon la bande fleurie étudiée. Pour quatre des ravageurs étudiés (altises, charançons, méligèthes et bruches), le taux de parasitisme à 5 m augmente avec le pourcentage de couverture du sol par des plantes produisant du nectar disponible et accessible<sup>(5)</sup> (Figure 2). Aucun effet de la ressource en nectar n'est observé pour les cécidomyies. À 20 m des bandes, les taux de parasitismes sont, en moyenne, aussi élevés qu'à 5 m sur l'ensemble de la parcelle, mais ils ne dépendent pas de la ressource florale présente dans la bande juste en face (les parasitoïdes se dispersent dans la parcelle, ce que l'on observe à 20 m d'une bande est affecté par les autres bandes les plus proches). Ceci montre que la ressource en nectar est bien un facteur limitant l'activité des parasitoïdes des quatre premiers ravageurs. Ainsi, adapter la composition des bandes fleuries est un moyen d'accroître leur régulation.

Dans le cas des cécidomyies, plusieurs hypothèses pourraient expliquer l'absence d'effet de la ressource en nectar, par exemple :

- le fait que les parasitoïdes ne se nourrissent pas du nectar fourni dans la bande fleurie ;
- le fait que cette ressource n'est pas limitante ;
- d'autres caractéristiques non prises en compte, comme l'attractivité des fleurs, ont interféré dans les interactions plantes/parasitoïdes.

### Stabilité temporelle des bandes fleuries

Les ravageurs étudiés ici sont parasités par des parasitoïdes distincts (sauf peut-être pour les grosses altises et les charançons de la tige du chou), avec des cycles biologiques différents. Pour favoriser la régulation d'une diversité de ravageurs à l'échelle de la rotation, une diversité fonctionnelle de plantes apparaît nécessaire, ne serait-ce que pour couvrir des floraisons étalées toute l'année. Une diversité fonctionnelle élevée semble encore plus importante si d'autres ravageurs sont considérés (ex. : pucerons des céréales), d'autres modes de régulation (ex. : par prédation) et d'autres fonctions assurées par les bandes non étudiées ici (ex. : refuge pour les vertébrés).

Au cours des quatre années de l'essai, la diversité fonctionnelle des communautés végétales présentes dans les bandes fleuries et sa dynamique temporelle ont été caractérisées. La diversité fonctionnelle a

diminué dans les huit mélanges étudiés, du fait de la disparition de certaines espèces peu compétitives et des quelques espèces annuelles semées. Un effet très fort du nombre d'espèces semées est observé : à diversité fonctionnelle élevée et égale, les mélanges semés avec 29 espèces restent les plus fonctionnellement diversifiés tout au long de l'essai. La décroissance de la diversité fonctionnelle

est intermédiaire dans les mélanges avec 14 espèces semées et elle est la plus forte pour les mélanges ne contenant que neuf espèces. Dans ces mélanges, l'absence de levée de quelques espèces et la disparition de quelques espèces peu adaptées se traduit par une forte simplification des communautés végétales. À l'opposé, dans les mélanges contenant initialement 29 espèces, la perte de certaines d'entre elles est compensée par d'autres espèces assurant les mêmes fonctions, ce qui maintient la

diversité fonctionnelle du mélange et ainsi le service de régulation naturelle plus longtemps.

### Des aménagements à déployer

Dans la littérature scientifique, la contribution des bandes fleuries à la régulation d'insectes ravageurs est établie, mais son ampleur est très variable<sup>(6)</sup>. En comparant des bandes fleuries contrastées, l'expérimentation montre que la composition en espèces a un rôle clé vis-à-vis de la fourniture de ressources alimentaires aux parasitoïdes, et que des ressources en nectar augmentent le taux de parasitisme des coléoptères ravageurs du colza et de la féverole. Pour favoriser leur régulation, il est donc indispensable de prendre en compte explicitement cet objectif avant le semis de la bande fleurie, en raisonnant la composition en espèces au regard des besoins et de la biologie des insectes à favoriser et à réguler.

Dans les essais présentés, les taux de parasitisme plus élevés des ravageurs ne sont pas traduits par des dégâts moindres sur la culture ni par des rendements plus élevés. Ceci s'explique par le fait que la régulation par les parasitoïdes intervient sur les stades larvaires tardifs des ravageurs, après que les dégâts ont été réalisés. Cependant, un taux de parasitisme élevé implique une moindre reconstitution des populations pour l'année suivante. L'effet des parasitoïdes se trouve ainsi différé dans le temps, mais aussi dans l'espace compte tenu des capacités de dispersion des insectes (insuffisamment connues). Pour les ravageurs étudiés, l'implantation de bandes fleuries doit être raisonnée à l'échelle d'un paysage pour contribuer pleinement à réguler les populations de ravageurs. Il importe donc de combiner ce levier, à efficacité partielle, aux autres leviers agroécologiques, perturbant par exemple la colonisation de la culture (associations d'espèces) ou favorisant la capacité de la culture à tolérer les attaques d'insectes. □

Il importe de combiner ce levier aux autres leviers agroécologiques.

**REMERCIEMENTS** Ces travaux ont été financés par AgroParisTech, l'Inrae et le plan Écophyto. Nous remercions la ferme expérimentale d'AgroParisTech où s'est déroulée l'expérimentation et Gilles Grandjean pour la gestion technique de l'essai et ses conseils précieux. Nous remercions Claire Zucchetto, Jacqueline Gandar, Auria Frémont, Inès Masurel, Amaury Guillet, Anthony Herbin et Victoire Barillet pour leur appui essentiel aux observations de terrain et de laboratoire.

### POUR EN SAVOIR PLUS

**CONTACT** : Antoine.Gardarin@inrae.fr

**LIEN UTILE** : Tableaux 2 et 3, voir le site de Phytoma <http://www.phytoma-ldv.com>

**BIBLIOGRAPHIE** : voir notes 1, 2, 3, 5 et 6.

Tableau 2 : composition des huit mélanges testés

| Mélanges                                        | 1       | 2       | 3      | 4      | 5       | 6       | 7      | 8      |
|-------------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Diversité fonctionnelle semée                   | Faible  | Faible  | Élevée | Élevée | Élevée  | Élevée  | Élevée | Élevée |
| Richesse spécifique semée                       | Moyenne | Moyenne | Faible | Faible | Moyenne | Moyenne | Élevée | Élevée |
| Liste d'espèces                                 | 1       | 2       | 1      | 2      | 1       | 2       | 1      | 2      |
| <b>Dicotylédones</b>                            |         |         |        |        |         |         |        |        |
| <i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.        | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh.              | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Foeniculum vulgare</i> Mill.                 | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Hesperis matronalis</i> L.                   | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.                | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Medicago sativa</i> L.                       | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Securigera varia</i> (L.) Lassen             | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Trifolium pratense</i> L.                    | x       |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Achillea millefolium</i> L.                  | x       |         | x      |        | x       |         | x      |        |
| <i>Alliaria petiolata</i> Cavara & Grande       | x       |         | x      |        | x       |         | x      |        |
| <i>Heracleum sphondylium</i> L.                 | x       |         | x      |        | x       |         | x      |        |
| <i>Cyanus segetum</i> L.                        |         |         | x      |        | x       |         | x      |        |
| <i>Trifolium repens</i> L.                      |         |         | x      |        | x       |         | x      |        |
| <i>Veronica hederifolia</i> L.                  |         |         | x      |        | x       |         | x      |        |
| <i>Centaurea scabiosa</i> L.                    |         |         |        |        | x       |         | x      |        |
| <i>Euphorbia cyparissias</i> L.                 |         |         |        |        | x       |         | x      |        |
| <i>Hypericum perforatum</i> L.                  |         |         |        |        | x       |         | x      |        |
| <i>Tanacetum vulgare</i> L.                     |         |         |        |        | x       |         | x      |        |
| <i>Verbascum densiflorum</i> Bertol.            |         |         |        |        | x       |         | x      |        |
| <i>Ajuga reptans</i> L.                         |         |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Bellis perennis</i> L.                       |         |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Med.        |         |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Echium vulgare</i> L.                        |         |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Galium odoratum</i> (L.) Scop.               |         |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Malva sylvestris</i> L.                      |         |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Potentilla reptans</i> L.                    |         |         |        |        |         |         | x      |        |
| <i>Carum carvi</i> L.                           |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Cynoglossum officinale</i> L.                |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Daucus carota</i> L.                         |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Hypochaeris radicata</i> L.                  |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Jacobaea vulgaris</i> L.                     |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Lotus corniculatus</i> L.                    |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Onobrychis viciifolia</i> Scop.              |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Trigonella officinalis</i> (L.) Lam.         |         | x       |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.                 |         | x       |        | x      |         | x       |        | x      |
| <i>Cota tinctoria</i> L.                        |         | x       |        | x      |         | x       |        | x      |
| <i>Pastinaca sativa</i> L.                      |         | x       |        | x      |         | x       |        | x      |
| <i>Medicago lupulina</i> L.                     |         |         |        | x      |         | x       |        | x      |
| <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.               |         |         |        | x      |         | x       |        | x      |
| <i>Vicia sativa</i> L.                          |         |         |        | x      |         | x       |        | x      |
| <i>Cichorium intybus</i> L.                     |         |         |        |        |         | x       |        | x      |
| <i>Galium mollugo</i> L.                        |         |         |        |        |         | x       |        | x      |
| <i>Knautia arvensis</i> (L.) Coult.             |         |         |        |        |         | x       |        | x      |
| <i>Plantago lanceolata</i> L.                   |         |         |        |        |         | x       |        | x      |
| <i>Verbascum lychnitis</i> L.                   |         |         |        |        |         | x       |        | x      |
| <i>Geum urbanum</i> L.                          |         |         |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Glechoma hederacea</i> L.                    |         |         |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Lamium album</i> L.                          |         |         |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Ranunculus repens</i> L.                     |         |         |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Reseda luteola</i> L.                        |         |         |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i> Wiggers |         |         |        |        |         |         |        | x      |
| <i>Veronica persica</i> Poir.                   |         |         |        |        |         |         |        | x      |
| <b>Graminées</b>                                |         |         |        |        |         |         |        |        |
| <i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P. Beauv.     | x       | x       | x      | x      | x       | x       | x      | x      |
| <i>Dactylis glomerata</i> L.                    | x       | x       | x      | x      | x       | x       | x      | x      |
| <i>Schedonorus arundinaceus</i> Schreb.         | x       | x       | x      | x      | x       | x       | x      | x      |

**Tableau 3 : résultats de l'analyse de la compatibilité entre  
les caractéristiques morphologiques des fleurs et des parasitoïdes**

L'accès des parasitoïdes au nectar est estimé possible (1) ou impossible (0).

L'accès n'a pas été évalué (ne) pour les espèces qui ne sont pas en floraison pendant la période de vol observée  
des parasitoïdes. Les espèces qui n'ont pas fleuri ou ne produisant pas de nectar ne sont pas représentées.

| Parasitoïdes                   | <i>Tersilochus</i> sp. 1<br>(hôte : <i>P. chrysocephala</i> ) | <i>Tersilochus</i> sp. 2<br>(hôte : <i>C. pallidactylus</i> ) | <i>Tersilochus heterocerus</i><br>(hôte : <i>B. aeneus</i> ) | <i>Triaspis thoracica</i><br>(hôte : <i>B. rufimanus</i> ) | <i>Inostemma</i> sp.<br>(hôte : <i>D. brassicae</i> ) | Morpho-espèce 1<br>(hôte : <i>D. brassicae</i> ) | Morpho-espèce 2<br>(hôte : <i>D. brassicae</i> ) |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Nombre total d'espèces         | 78                                                            | 78                                                            | 78                                                           | 68                                                         | 67                                                    | 78                                               | 78                                               |
| Espèces en fleur               | 16                                                            | 16                                                            | 23                                                           | 51                                                         | 59                                                    | 59                                               | 59                                               |
| Espèces produisant du nectar   | 16                                                            | 16                                                            | 22                                                           | 44                                                         | 49                                                    | 49                                               | 49                                               |
| Espèces avec nectar accessible | 13                                                            | 13                                                            | 17                                                           | 20                                                         | 36                                                    | 36                                               | 36                                               |
| <i>Achillea millefolium</i>    | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Ajuga reptans</i>           | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Alliaria petiolata</i>      | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Anthemis tinctoria</i>      | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Anthriscus caucalis</i>     | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Anthriscus sylvestris</i>   | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Barbarea vulgaris</i>       | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Bellis perennis</i>         | 0                                                             | 0                                                             | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Capsella bursa-pastoris</i> | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Cardamine hirsuta</i>       | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Centaurea cyanus</i>        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Centaurea scabiosa</i>      | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Cynoglossum officinale</i>  | ne                                                            | ne                                                            | 0                                                            | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Echium vulgare</i>          | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Epilobium tetragonum</i>    | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Euphorbia cyparissias</i>   | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Euphorbia helioscopia</i>   | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Fallopia convolvulus</i>    | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Galium aparine</i>          | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Galium mollugo</i>          | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Geranium dissectum</i>      | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Geranium molle</i>          | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Geum urbanum</i>            | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Glechoma hederacea</i>      | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Heracleum sphondylium</i>   | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Hesperis matronalis</i>     | ne                                                            | ne                                                            | 0                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Hypochaeris radicata</i>    | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Lamium hybridum</i>         | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Lamium purpureum</i>        | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Lapsana communis</i>        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Leucanthemum vulgare</i>    | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Lotus corniculatus</i>      | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Malva sylvestris</i>        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Matricaria perforata</i>    | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Medicago lupulina</i>       | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Medicago sativa</i>         | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Mellilotus officinalis</i>  | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Myosotis arvensis</i>       | 0                                                             | 0                                                             | 0                                                            | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Onobrychis viciifolia</i>   | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Pastinaca sativa</i>        | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Picris echioides</i>        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Picris hieracioides</i>     | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Polygonum aviculare</i>     | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Securigera varia</i>        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Senecio vulgaris</i>        | 0                                                             | 0                                                             | 0                                                            | 0                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Silene dioica</i>           | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Sisymbrium officinale</i>   | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Sonchus asper</i>           | ne                                                            | ne                                                            | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Stellaria media</i>         | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Taraxacum officinale</i>    | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Torilis arvensis</i>        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | ne                                                         | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Trifolium pratense</i>      | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Trifolium repens</i>        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 1                                                          | 1                                                     | 1                                                | 1                                                |
| <i>Valerianella</i> sp.        | ne                                                            | ne                                                            | ne                                                           | 0                                                          | 0                                                     | 0                                                | 0                                                |
| <i>Veronica hederifolia</i>    | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Veronica persica</i>        | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | 1                                                          | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Veronica polita</i>         | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |
| <i>Vicia sativa</i>            | 1                                                             | 1                                                             | 1                                                            | ne                                                         | ne                                                    | ne                                               | ne                                               |