

Université d'Angers

Faculté des Sciences

CS 350012 boulevard Lavoisier

49045 Angers

Chambre d'Agriculture de la Vienne

Agropole

2133 Route de Chauvigny

86550 Mignaloux-Beauvoir

Evaluation de l'intérêt des Infrastructures Agroécologiques en milieu agricole, le cas des bandes fleuries



Rapport de stage de Master 2

Mention : BEE

Parcours GEB

Présenté par Manon Lavigne

Année universitaire 2023-2024

Promotion : 2024



ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) *Lavigne Manon*.....,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un
document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation
des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer
toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

A handwritten signature in black ink that reads "Lavigne Manon".

Cet engagement de non plagiat doit être inséré en première page de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Université d'Angers <i>Faculté des Sciences</i> 2 boulevard Lavoisier 49045 Angers Cedex	Master 2 Biodiversité Ecologie-Evolution Parcours Gestion de la biodiversité dans les socio-écosystèmes
Responsable du parcours de Master 2 :	
Allain PAGANO	
Manon Lavigne	Chambre d'Agriculture de la Vienne
Année universitaire 2023-2024	Maîtres de stage : Aurélie DELMAS et Caroline CAILLY
Titre du rapport	
Evaluation de l'intérêt des Infrastructure Agroécologiques en milieu Agricole, le cas des bandes fleuries	
Résumé (300 mots max + 5 mots-clés max) :	
<p>Le changement drastique des pratiques agricoles dans les années 50 en France a engendré de nombreux effets néfastes. Il a été observé une réduction de la disponibilité des habitats, une forte érosion hydrique des sols, une forte perte de diversité et d'abondance floristiques, une baisse d'abondance des papillons de prairie, des oiseaux des terres agricoles et un déclin général de la biodiversité dans les agrosystèmes. Face à ce constat, la mise en place d'Infrastructure Agroécologique (IAE) représente un des changements de pratiques permettant d'allier protection et favorisation de la biodiversité et rendement. Parmi les multiples types d'IAE existantes, on trouve les bandes fleuries. Si elles ont d'abord été promues comme moyen de lutte contre la pollution des eaux de surface et pour lutter contre l'érosion hydrique, elles sont aussi des installations de choix pour la biodiversité. Toutefois, les bandes fleuries ne jouissent pas forcément auprès des agriculteurs et/ou ne sont pas bien connues. C'est pourquoi, le programme Agrifaune de la Vienne a lancé en 2021 un projet de suivi de 30 bandes fleuries semées avec un mélange de semences créé pour la Vienne. Cette étude constitue le bilan de ce projet de suivis menés sur 3 ans. Les principaux points ressortant de l'étude confirme que le risque malherbologique est faible de même que celui</p>	

d'introduction de ravageurs dans la parcelle. Les bandes semées ont montré une plus grande diversité d'arthropode et d'abondance de carabes que les cultures adjacentes et certains bords de champs non semés échantillonnés. Certaines pratiques de mise en place et d'entretien des bandes ont été identifiées comme des facteurs influençant significativement la flore, comme par exemple la diminution de la dominance d'espèces adventices par rapport au mélange lorsqu'un broyage est effectué une fois par an. De manière générale, cette étude confirme que la bande fleurie est une IAE intéressante pour l'agrosystème.

Mots-clés :

Bandes fleuries, Agroécologie, Biodiversité, Flore, Arthropodes

Abstract (300 words max + 5 keywords max) :

The drastic change in agricultural practices in France in the 1950s has had a number of adverse effects. These include a reduction in habitat availability, severe soil water erosion, a significant loss of floral diversity and abundance, a decline in the abundance of grassland butterflies and farmland birds, and a general decline in biodiversity in agrosystems. Faced with this situation, the implementation of Agroecological Infrastructure (AEI) represents one of the changes in practices that can combine the protection and promotion of biodiversity with yields. Flower strips are one of the many types of AEI that exist. Although they were first promoted as a means of combating surface water pollution and water erosion, they are also an ideal installation for biodiversity. However, flower strips are not necessarily popular with farmers and/or are not well known. That's why, in 2021, the Agrifaune program in the Vienne launched a project to monitor 30 flower strips sown with a seed mix created for the Vienne region. This study is an assessment of this 3-year monitoring project. The main points to emerge from the study confirm that the weed risk is low, as is the risk of introducing pests into the plot. The sown strips showed greater arthropod diversity and carabid abundance than the adjacent crops and some of the unsown field margins sampled. Certain strip installation and maintenance practices were identified as factors significantly influencing the flora, such as the reduced dominance of weed species compared with the mixture when mulching was carried out once a year. Overall, this study confirms that the flower strip is an interesting AEI for the agrosystem.

Keywords :

Flower strips, Agroecology, Biodiversity, Flora, Arthropods

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux personnes qui ont contribué au bon déroulement de mon stage et à l'élaboration de ce rapport.

Tout d'abord, je remercie sincèrement Aurélie DELMAS et Caroline CAILLY, mes tutrices durant ce stage, pour m'avoir accueillie au sein de la Chambre d'agriculture et de la Fédération des Chasseurs de la Vienne et pour m'avoir encadrée tout au long de cette expérience. Leur disponibilité, leurs conseils et leur expertise ont été d'une aide précieuse pour moi.

Je veux aussi remercier les étudiants et Services Civiques qui ont travaillé sur ce projet ces trois dernières années et qui l'ont rendu possible.

Je tiens également à remercier Cédric KOSCIOLEK pour son aide tout au long du stage et ses conseils.

Enfin, je souhaite aussi adresser un grand merci à toute l'équipe de la Chambre d'agriculture de la Vienne pour leur accueil chaleureux, leur soutien et les échanges enrichissants que nous avons partagés. Leur gentillesse et leur bonne humeur ont grandement contribué à rendre cette expérience agréable et formatrice.

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
MATERIELS ET METHODES.....	5
Zone d'étude.....	5
Le mélange semé.....	6
La mise en place et l'entretien des bandes fleuries.....	6
Echantillonnage des taxons étudiés.....	7
Flore.....	7
Arthropodes.....	8
Classification des bords de champs non semés en fonction d'une typologie.....	9
Enquêtes.....	10
Analyses Statistiques.....	11
Flore.....	11
Variations de la diversité floristique des bandes fleuries.....	11
Pérennité du mélange semé.....	12
Evaluation du risque malherbologique.....	12
Arthropodes.....	13
Attractivité des bandes fleuries pour les arthropodes.....	13
Corrélation entre les populations d'auxiliaires et de ravageurs des bandes et des cultures adjacentes.....	14
Influence des variables floristiques sur les populations d'arthropodes.....	14
RESULTATS.....	14
Flore.....	14
Variations de la diversité floristique des bandes fleuries.....	17
Pérennité du mélange semé.....	17
Evaluation du risque malherbologique.....	20
Arthropodes.....	20
Attractivité des bandes fleuries pour les arthropodes.....	21
Corrélation entre les populations d'auxiliaires et de ravageurs des bandes et des cultures adjacentes.....	23
Influence des variables floristiques sur les populations d'arthropodes.....	23
Enquêtes auprès des agriculteurs.....	23
DISCUSSION.....	23
Flore.....	23
Variations de la diversité floristique des bandes fleuries.....	24
Pérennité du mélange semé.....	24
Evaluation du risque malherbologique.....	25
Arthropodes.....	25
Attractivité des bandes fleuries pour les arthropodes.....	25
Corrélation entre les populations d'auxiliaires et de ravageurs des bandes et des cultures adjacentes.....	26
Influence des variables floristiques sur les populations d'arthropodes.....	27
Conclusion.....	28

Introduction

Traditionnellement, les exploitations agricoles en Europe constituaient une mosaïque de parcelles gérées de manière extensive qui possédaient un taux de biodiversité élevé (Potter, 1997 ; Walk et Warner, 2000). A partir des années 1950, les exploitations agricoles ont connus d'importants changements dûs à une maximisation de leur production (Björklund *et al.*, 1999, Robinson et Sutherland, 2002 ; Siriwardena *et al.*, 2000), notamment avec la création de la Politique Commune Agricole (PAC) qui garantissait la sécurité des approvisionnements, un soutien financier et une garantie d'achat illimitée. Les techniques de travail du sol et de production se sont mécanisées et la simplification des parcelles devient une nécessité. De ce fait, la proportion des éléments des habitats semi-naturels, tels que les prairies, les bosquets et les haies diminue fortement (Benton *et al.*, 2003 ; Firbank *et al.*, 2008). Par exemple, il a été constaté une perte de 536 505 km de haies entre 1975 et 1987 en France, (Pointereau and Bazile, 1995). Les conséquences de ce remembrement, de l'intensification de la production, de la spécialisation des exploitations, ainsi que de l'utilisation massive d'intrants dans les parcelles sont multiples et alarmantes (Aguilera *et al.*, 2020 ; Benton *et al.*, 2002 ; Robinson et Sutherland, 2002 ; Stoate *et al.*, 2009). Ont été notées, une réduction de la disponibilité des habitats pour les espèces sauvages animales et floristiques (Tscharntke *et al.*, 2005), une forte érosion hydrique des sols (Montanarella *et al.*, 2003) et une pollution par la large diffusion des pesticides loin de leur point d'application (Martín-López *et al.* 2011). Il y a aussi eu une forte perte de diversité et d'abondance floristique (de 44% et de 66% respectivement en France) (Fried, 2007), une baisse d'abondance des papillons de prairie de 39% (Warren *et al.*, 2021), des oiseaux des terres agricoles d'environ 56% depuis les années 80-90 (en Europe), un déclin général de la biodiversité dans les agrosystèmes (Donald *et al.* 2006). Les principaux facteurs à l'origine de ce déclin sont l'intensification des pratiques agricoles et l'homogénéisation des paysages (Kleijn *et al.*, 2011 ; Tscharntke *et al.*, 2005 ; Jaureguiberry *et al.*, 2022).

Face à ce constat alarmant, des groupes de scientifiques ont commencé à réagir avec un regain d'une discipline nommée Agro-Ecologie. Si ce nom apparaît pour la première fois en 1928 (Klages, 1928), il ne refait réellement surface qu'au cours des années 1970 (Janzen, 1973 ; Harper, 1974 ; Loucks, 1977 ; Hernandez X., 1977 ; Gliessman, 1978). C'est une discipline qui tente de comprendre et répondre aux problèmes auxquels font face l'agriculture et la biodiversité. Elle a d'abord été définie comme l'application des concepts et principes de l'écologie au design et à la gestion d'agrosystèmes durables" (Gliessman, 1998). Plus tard, elle est désignée comme une discipline intégrative qui comprend des éléments de l'agronomie, de l'écologie, de la sociologie et de l'économie (Dalgaard et

al., 2003 ; Francis et al., 2008). L'objectif est de ne pas uniquement considérer l'agriculture avec le prisme de la productivité mais d'y intégrer la gestion des autres services écosystémiques desquels elle dépend, tels que la pollinisation, la gestion des ravageurs, la fertilité du sol ou le stockage du carbone (Broadbent et Carlton, 1978 ; Hajek, 2018 ; Fox et al., 2004 ; Lal, R. 2004 ; Zhang et al., 2007). Avec cette approche, l'agriculture se doit d'être un moyen favorisant et régulant ces services et se réfléchit non pas à l'échelle d'une exploitation mais d'un paysage (Jeanneret et al., 2021). C'est dans ce but que l'appellation "Infrastructure Agro-Ecologique" (IAE) a été donnée. Elle permet de valoriser et donc de protéger les espaces présents dans l'agrosystème, qui présentent des avantages, tant pour la biodiversité, que pour la qualité de l'eau, la protection contre l'érosion du sol, ou le développement des cultures (Solagro, 2007). Les IAE sont des habitats semi-naturels faisant partie de l'agrosystème, d'origine naturelle ou créés par l'Homme, qui ne reçoivent pas de traitement (pesticides, herbicides, engrains, etc..) et qui sont gérés de manière extensive (Solagro, 2007). Ces espaces sont une source de biodiversité majeure dans les agrosystèmes, leur pourcentage dans les exploitations est positivement corrélé à la diversité d'oiseaux et de plantes (Billeter et al., 2008). En 2007, les IAE représentent 20% de la surface agricole utile nationale (Solagro, 2007), mais n'étaient pas réparties de manière uniforme sur le territoire. Il est important de noter qu'il semblerait, que pour que ce type d'installation puisse jouer un rôle significatif en matière d'écologie et d'agronomie, il faut qu'elles occupent au moins 5% de la surface agricole utile, voire 15% pour être à un optimum (Solagro, 2007). Il existe plusieurs types d'IAE différentes comme : les haies, lisières, vergers de plein vent, prairies naturelles, bandes enherbées/fleuries, jachères florales, fossés, mares et les murets en pierre (Solagro, 2007). A plusieurs échelles on retrouve des structures qui ont opéré des changements pour faire face aux problèmes posés par l'agriculture intensive (cités précédemment) et tenter de protéger l'environnement.

Au niveau européen, par exemple, la PAC a connu plusieurs réformes qui ont abouti à la création de mesures qui visent à la valoriser des IAE. La première réforme a lieu en 1999. La nouveauté de la PAC cette année-là est que le respect de l'environnement devient une condition pour toucher les aides qu'elle octroie (Parlement Européen, 2023). Ensuite en 2007, la PAC met en place les Mesures Agro-Environnementales (MAE) (Chambre d'agriculture Meuse) puis les remplace en 2015 par les Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC). Ces mesures sont des contrats volontaires d'une durée de 5 ans entre l'Etat et les agriculteurs pour encourager ceux-ci à mener des pratiques agricoles plus respectueuses de l'environnement. Ce contrat offre une compensation des surcoûts et des pertes générées par la mise en place de ces pratiques. Le programme des MAEC a été mis à jour en 2023. Parmi les mesures de cette campagne mise à jour, on trouve des mesures qui portent sur la création ou la gestion d'espaces semi-naturels avec pour but la préservation des espèces ou le maintien de la

biodiversité de manière plus générale ([Chambre d'agriculture de la Vienne](#)). Ces espaces semi-naturels sont regroupés sous le terme, cité précédemment, d'Infrastructure Agroécologique (IAE). Au sein de ces contrats, il y a par exemple, “Préservation des milieux humides”, “Protection des espèces” ou encore “Création de couverts d'intérêt faunistique et floristique favorables aux polliniseurs et oiseaux communs des milieux agricoles” ([Chambre d'agriculture de la Vienne](#)). L'installation de ce type d'infrastructure pour la biodiversité n'est pas uniquement favorisée à l'échelle Européenne par la PAC, mais aussi à l'échelle nationale et locale.

En France, il existe, par exemple, le programme national AGRIFAUNE. Créé en 2006, il rassemble plusieurs partenaires : les Fédérations des chasseurs (FNC), les Chambres d'agriculture, l'Office français de la biodiversité (OFB) et les Fédérations des syndicats d'exploitants agricoles (FNSEA). Le but de ce partenariat est de contribuer au développement d'une agriculture avec des pratiques qui soient en faveur de la biodiversité et plus particulièrement de la petite faune sauvage. Pour cela, le programme est réparti sur plusieurs échelles (nationale, régionale et départementale). En Vienne, ce programme est mis en place depuis 2015 par la Fédération départementale des chasseurs (FDC) et la Chambre d'agriculture (CA) de la Vienne. Ce programme traite 9 thématiques, comme celles des bords de champs et de la diversification des paysages agricoles. C'est dans le cadre de ces thématiques que la CA et la FDC de la Vienne ont commencé l'accompagnement de l'installation d'IAE “bandes fleuries” en 2019, puis qu'un projet de suivis de plusieurs bandes a été lancé en 2021.

Les bienfaits apportés par cette IAE sont multiples. En effet, si les bandes enherbées/fleuries étaient d'abord et surtout considérées comme un système de lutte contre la pollution des eaux de surface et contre l'érosion hydrique des sols ([Cordeau et Chauvel, 2008](#) ; [de Snoo et de Wit, 1998](#) ; [Montanarella et al. 2003](#)), elles contribuent aussi à de nombreux autres services écosystémiques ([Habel et al., 2013](#) ; [Bengtsson et al., 2019](#)) qui les placent comme une IAE de choix.

Elles constituent des corridors écologiques et s'inscrivent dans les trames vertes et bleues. Par ailleurs, elles permettent aussi une diversification du paysage agricole qui amène souvent à une augmentation de la diversité de certains taxons ([Benton et al., 2003](#) ; [Gabriel et al., 2006](#)).

Elles représentent une source de diversité floristique pour le milieu agricole, qui en France a chuté de 44% entre 1974 et 2007 ([Fried, 2007](#)), et cela sans être une source de compétition majeure pour les cultures. Au contraire, il a été démontré que le fait de semer une bande fleurie ou une bande enherbée, diminue le risque de dispersion d'adventices venant de la bordure vers la culture ([Smith et al., 1994](#) ; [West et al., 1997](#)). A noter que le terme adventice désigne normalement toute espèce floristique non semée qui pousse dans les cultures, ([Bournerias, 1969](#)). Cependant, ici, ce terme sera remplacé par

“espèces spontanées” et les adventices désigneront uniquement les plantes se présentant comme une source de nuisibilité pour les cultures en termes de compétition.

Les bandes fleuries permettent le maintien d'une flore au moment où les cultures sont récoltées et représentent donc des supports de biodiversité importants dans le paysage agricole, de surcroît dans un contexte de plaine céréalière. Elles servent de zones de refuge (Smart et al., 2002 ; Fried et al., 2007), de ressource alimentaire ou de site de nidification à divers taxons, comme les oiseaux (Mallet, 2022), les insectes ou le gibier. En effet pour les pollinisateurs, comme les abeilles sauvages ou les colonies de bourdons, elles constituent aussi une zone de refuge, un site de nidification et une ressource alimentaire qui permet leur maintien dans la zone agricole au cours du temps (Ramseier H. et al. 2016 ; Vickery et al., 2004). Cette ressource alimentaire peut s'avérer cruciale pour les abeilles sauvages (spécialisées ou généralistes), qui ne parcourront pas de longue distance pour se nourrir et qui peuvent souffrir d'une compétition avec les abeilles domestiques (Boecking, 2013 ; Benz, 2015). De même pour les colonies de bourdons, pour qui, si elles viennent à manquer de nourriture pendant la phase la plus intensive d'élevage du couvain, la croissance de la colonie sera interrompue et la sensibilité des individus aux maladies sera accrue (Lehnher et Hättenschwiler 1990). Les bandes fleuries vont aussi servir de zone de refuge et de ressource alimentaire pour les auxiliaires (Sotherton, 1985). “Les auxiliaires sont les organismes vivants utiles à l'agriculture par leurs actions régulatrices des ravageurs” (Ferron P., 2002). Les ravageurs sont des arthropodes ou des gastéropodes (limace/escargots), par exemple, qui causent des dégâts, donc des pertes, dans les cultures. Les bandes enherbées ou fleuries aident au biocontrôle dans les parcelles, c'est-à-dire, la réduction de l'utilisation d'intrants à travers l'exploitation des relations auxiliaires ravageurs (Jourdheuil et al., 1991), car ce sont des habitats clés pour les auxiliaires de cultures (Bengtsson et al., 2019).

Malgré tout, les bandes fleuries ne jouissent pas forcément d'une excellente réputation auprès des agriculteurs, ou ne sont pas bien connues. Ils les voient comme un potentiel de risque d'introduction de certains ravageurs (Frank, 1998), de virus (Henry et al., 1993) ou adventices dans les parcelles (Cordeau et al., 2009). Ce sont ces freins, rencontrés chez les agriculteurs du territoire, qui ont motivé le lancement d'un projet de suivis de 30 bandes en 2021 par le programme Agrifaune en Vienne. Le but de ce projet était d'obtenir des arguments concrets, à partir de données locales sur le mélange semé, à exposer aux agricultrices et agriculteurs de la Vienne pour les convaincre d'installer plus de bandes fleuries dans le département. Cette étude constitue le bilan de ce projet de suivis mené sur 3 ans dans 30 bandes fleuries. Les freins exposés par les agriculteurs ont en partie orienté les choix des questions posées dans cette étude. Le but était principalement de désamorcer les peurs des exploitant(e)s en

montrant l'impact de l'installation de bandes fleuries sur la biodiversité des bords de champs concernés (flore et arthropodes) et sur celle des cultures (flore et arthropodes). L'objectif était également d'améliorer les recommandations pour la gestion des bandes existantes.

Pour la flore, nous avons étudié la diversité floristique des bandes fleuries, en examinant comment les différentes méthodes d'implantation et de gestion influencent cette diversité. En effet, de nos jours les bords de champs rescellent surtout d'espèces généralistes les plus nitrophiles et compétitives au détriment des espèces spécialistes de milieux pauvres ou particuliers ([Fried, 2007](#)). De plus on sait que le broyage modifie la richesse floristique dans les prairies. En moyenne une fauche annuelle augmente la richesse d'environ 32% par rapport à des prairies non fauchées selon F. Piseddu et al. (2021). Si on considère les bandes fleuries comme des petites prairies, il serait intéressant de savoir si les pratiques d'entretien exercent une influence significative sur leur flore. Nous avons donc tenté d'identifier quelles pratiques et quelles conditions de mise en place seraient les plus à même pour favoriser une forte diversité végétale au sein des bandes.

Ensuite, la pérennité du mélange semé a été examinée. Pour se faire, les variations du taux de sol nu, de la dominance des adventices ([Cordeau, 2010](#)) (deux facteurs qui, s'ils sont trop élevés aux yeux des agriculteurs, peuvent être des motifs pour détruire le couvert ou le ressemer) et du taux de dominance des graminées dans les bandes ont été mesurées. Les variations de ces facteurs ont été testées en fonction des différents types de mise en place et/ou de gestion. L'étude du taux de graminées a été faite car elles n'étaient pas présentes dans le mélange initial, mais ce sont des plantes fortement compétitrices qui dominent dans des milieux peu perturbés. Or, selon la théorie de Grime (1979), une perturbation est une perte partielle ou totale de biomasse pour une plante. Sachant que la gestion de la végétation est faite par un broyage ([Cauwer et al., 2005](#)), par une fauche avec exportation des foins ([Cauwer et al., 2006](#)) ou aucun entretien, il était donc intéressant de savoir dans quelle mesure le type d'entretien influence leur présence dans les bandes au cours du temps.

Le dernier point étudié pour la flore était l'impact de l'installation des bandes sur l'introduction d'espèces spontanées, qu'elles soient adventices ou non, dans la parcelle.

Concernant les arthropodes, premièrement, nous avons évalué l'intérêt des bandes fleuries en tant que zone attractive, tant pour les arthropodes en général que pour les auxiliaires de culture, par rapport aux bords de parcelles non semées. Nous avons focalisé notre étude sur deux types d'auxiliaires de culture : les prédateurs, qui se nourrissent des ravageurs, et les parasitoïdes, qui pondent leurs œufs dans les ravageurs, laissant à la fin du processus une momie. Nous avons aussi examiné les potentielles

différences de population de ravageurs entre ces deux milieux. Cette évaluation permettrait également de fournir de meilleurs conseils de gestion des bords de champs, si certains se révèlent aussi intéressants que les bandes pour les arthropodes. Deuxièmement, nous avons voulu estimer l'intérêt agronomique des bandes pour la parcelle. Le but était de savoir dans quelle mesure les populations d'auxiliaires présents dans les bandes étaient corrélées avec les populations de la parcelle. De la même manière, nous avons tenté d'évaluer le risque d'introduction de ravageurs dans les parcelles depuis les bandes en regardant la corrélation entre les populations des deux milieux. Enfin, nous avons essayé de déterminer quelles variables floristiques pouvaient avoir influencées la composition de la communauté des arthropodes des bandes fleuries au cours du projet.

Matériels et Méthodes

Zone d'étude

L'étude a pris part dans la moitié Sud du département de la Vienne (86) dans des exploitations agricoles qui sont majoritairement en grandes cultures. Pour cette étude 30 bandes fleuries, réparties sur 13 exploitations différentes ont été suivies pendant trois années, de 2021 à 2023 (Fig. 1). Malheureusement, seuls les suivis de 26 bandes ont été étudiés et seront présentés ici car les bandes n°19, 20, 24 et 25 ont été broyées et ressemées par un agriculteur au cours du projet.

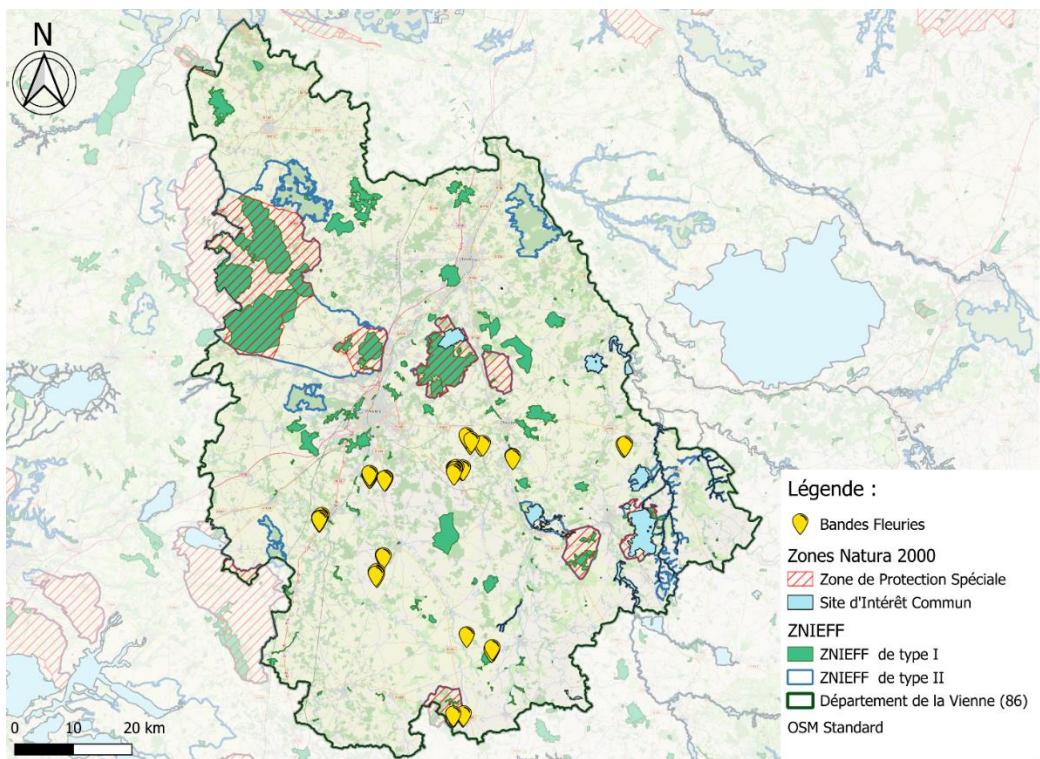


Figure 1 : Localisation des bandes fleuries du projet, des zonages du patrimoine naturel et des sites Natura 2000 présents autour de l'aire d'étude

Le mélange semé

Le choix du mélange a été réalisé en tenant compte de plusieurs objectifs. Les espèces choisies devaient être des espèces dites compagnes. C'est-à-dire des espèces qui apportent des bénéfices aux cultures principales, que ce soit en termes de croissance de santé ou de productivité. Ces bénéfices peuvent être apportés, soit en repoussant ou attirant des insectes nuisibles (qui attirent eux-mêmes des auxiliaires) pour les cultures, soit en améliorant la fertilité du sol (comme le font des légumineuses en fixant l'azote dans le sol). Ici, le choix a été fait de favoriser des espèces produisant du nectar et du pollen et étant attractives pour les auxiliaires de culture et les pollinisateurs, comme les abeilles sauvages polylectiques. Le mélange devait aussi être le plus pérenne possible et donc représenter une forte compétition suffisante contre les adventices, car l'usage d'herbicides n'était pas permis au cours des trois ans du projet. Cependant, il fallait limiter au maximum les plantes pouvant entrer en compétition avec les cultures adjacentes. Les deux dernières exigences étaient que les plantes choisies ne soient pas communément retrouvées dans les espaces agricoles et que les bandes puissent être déclarées au titre de jachères mellifères à la PAC. Cela n'est possible que si le mélange possède au minimum 6 espèces mellifères. Le mélange final qui a été semé était constitué de : Mélilot jaune (29%), Sainfoin (*Onobrychis viciifolia* 22%), Sarrasin (*Fagopyrum esculentum* 18%), Trèfle violet (*Trifolium pratense* 10%), Trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum* 10%), Minette (*Medicago lupulina* 3%), Bourrache (*Borago officinalis* 3%), Marguerite (*Leucanthemum vulgare* 3%), Souci (*Calendula officinalis* 1%) et Achillée millefeuille (*Achillea millefolium* 1%). La densité du semis conseillée aux agriculteurs était de 20kg/ha. Les bandes ont toutes été semées entre mars et juin 2021 (Tab. 1).

La mise en place et l'entretien des bandes fleuries

Le projet étant basé sur le volontariat des agriculteurs, le placement des bandes a été décidé d'un commun accord entre les experts porteurs du projet et les agriculteurs. Le mélange était fourni directement aux agriculteurs avec des recommandations de mises en place, à savoir : faire une bande de 5 à 20 m de large, effectuer un faux-semis, semer avec une densité de 20kg/ha le mélange et ne pas broyer la bande entre le 15 mars et le 15 octobre de chaque année. Le faux-semis est une technique agricole qui consiste à retourner la terre en surface (travail superficiel) puis de laisser germer le stock

de graines du sol et ensuite de détruire ces plantes. Ce n'est qu'une fois ce premier passage fait que le mélange sera semé. Cela permet de contrôler le stock d'adventices. Toutefois, tous les agriculteurs n'ont pas tous suivis les recommandations. Deux agriculteurs ont fait le choix de rajouter une espèce dans le semis, de la fétuque élevée (*Festuca pratensis*) pour l'un et de la luzerne cultivée (*Medicago sativa*) pour le second, modifiant de fait la densité du mélange semé à 30kg/ha. De même, pour les itinéraires techniques (IT), les agriculteurs n'ont pas tous usé des mêmes procédés pour la mise en place de la bande et son entretien par la suite (Annexe.1).

Echantillonnage des taxons étudiés

Flore

Pour suivre le développement des espèces semées et la dissémination des adventices dans la parcelle, les relevés floristiques ont été effectués avec des quadra de 5x5m ou 3x8m, de sorte que la surface totale soit égale à 25m². Pour suivre le développement d'éventuels adventices dans la culture, des relevés ont aussi été faits dans les 5 premiers mètres de la culture adjacente à la bande. Un relevé par an entre fin mai et début juin a été effectué sur chaque bande et dans chaque culture adjacente.

Lors de chaque relevé, le descriptif global du couvert était estimé visuellement : le pourcentage de sol nu, densité des strates de végétation (inférieure et supérieure à 25cm), l'abondance et la dominance des espèces végétales en s'inspirant de la méthode de l'échelle de Braun-Blanquet (Mueller-Dombois and Ellenberg 1974). Le pourcentage de chaque espèce était estimé avec les classes suivantes : 5 pour plus 75% de recouvrement, 4 entre 50% et 75%, 3 entre 25% et 50%, 2 entre 5% et 25%, 1 moins de 5%.

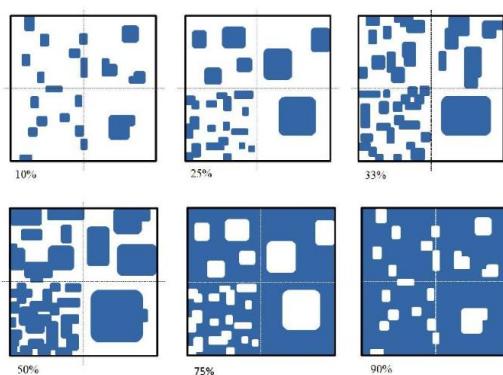


Figure 2 : Représentation schématique du recouvrement de la végétation (Rodwell, 2006)

Pour l'identification des espèces le Guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe (Streeter et al., 2009) et l'application PlantNet ont été utilisé.

Les plantes ont par la suite été classées dans 3 catégories en fonction de leur trait fonctionnel par rapport aux cultures : plante compagne, neutre, ou adventice. Les plantes qualifiées d'adventices sont des plantes qui ont été citées à la fois, lors des entretiens tenus avec les agriculteurs/trice du projet, dans l'ouvrage “Mauvaise herbes des cultures” ([Mamarot et Rodriguez, 2014](#)) et par les experts de la Chambre d'agriculture. Il en est de même pour les autres groupes fonctionnels (compagne et neutre).

Les données de la première année du projet (2021) n'ont pas pu être traitées car au moment des relevés pour la flore, seules 10 des bandes avaient été semées.

Arthropodes

Pour les arthropodes deux types d'échantillonnages ont été effectués : un avec des pots barber pour cibler les arthropodes rampants ([Alticini et Lundin, 2019](#) ; [Bonneil et al., 2015](#)) et le second avec un transect de capture au filet pour les arthropodes volants et plus particulièrement pour les abeilles car leur abondance est mieux estimée avec cette technique ([Perrot et al., 2018](#) ; [Westphal et al., 2008](#)).

Pour les pots Barber, 3 pots ont été disposés à la fin du mois d'avril chaque année pour chaque bande. Un premier au centre de la bande mellifère, un deuxième à 15m de celui-ci dans la culture et le troisième, sur un autre bord de champs non semé à au moins 100 m de celui installé dans la bande (Fig.3). Chaque pot a ensuite été recouvert d'un “toit” pour limiter l'évaporation et l'entrée de l'eau de pluie. Les pots ont été laissés en place pendant 7 jours avant d'être relevés.

Pour toutes les bandes l'opération a été renouvelée trois fois par an aux périodes suivantes : une première fin avril/début mai, une seconde fin juin/début juillet, une troisième fin août/début septembre. Pour les relevées au filet, trois transects de 20m ont été effectués aux mêmes emplacements et périodes que les pots barber.

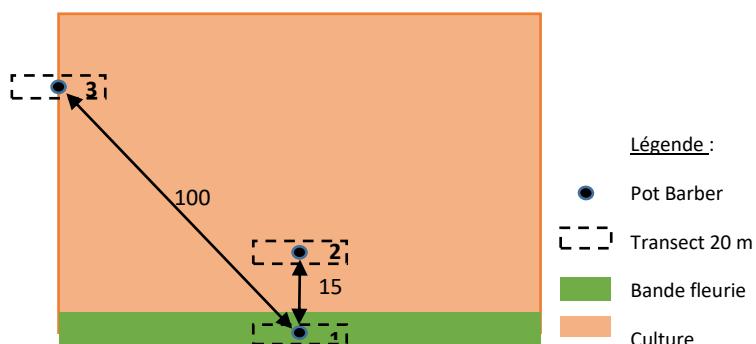


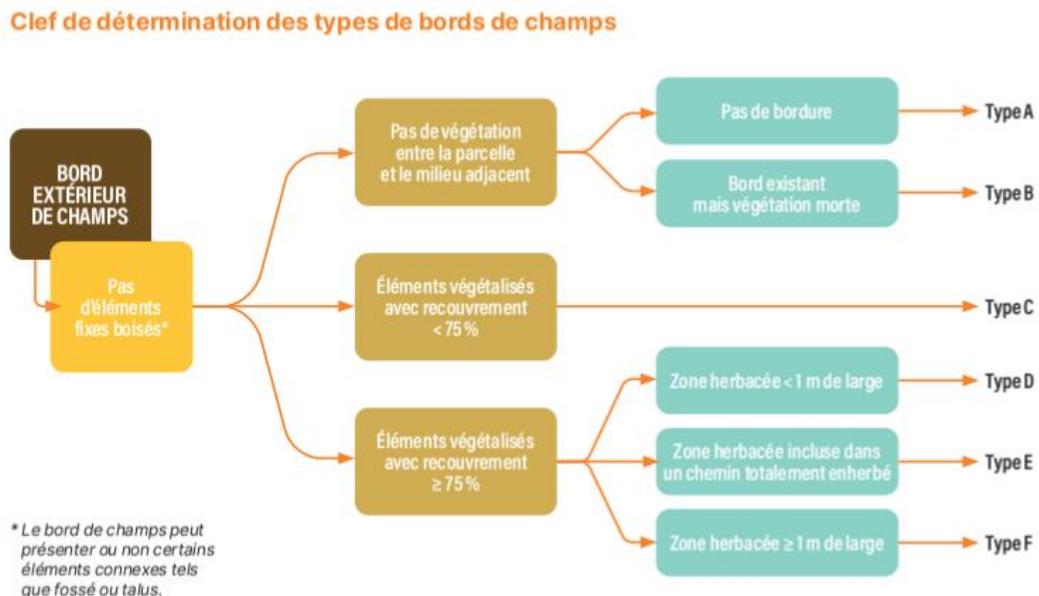
Figure 3 : Schéma de la disposition des piéges Barber et des transects effectués dans les bandes fleuries et la parcelle adjacente

L'identification des individus a été faite par les observateurs (un observateur différent chaque année), à l'aide des ouvrages suivants : les Insectes de France et d'Europe occidentale ([Chinery, 1986](#)), Guide pratiques des insectes et autres invertébrés des champs ([Corfdir, 2018](#)) et la Clé de détermination des Carabidés Paysages agricoles du Nord-Ouest de la France ([Roger et al.](#)). Les identifications ont par la suite été validées par une entomologiste Aurélie Delmas.

Seules données issues des pots Barber ont été analysées. En effet, à cause de forts biais observateurs ne pouvant être traités, les données des relevés faits à l'aide de filet fauchoir ont été exclues des analyses statistiques.

Classification des bords de champs non semés en fonction d'une typologie

Pour pouvoir comparer les données récoltées dans les bandes et celles des bords non semés, une classification de ces bords a été effectuée en suivant le Guide de la Typologie des bords extérieurs de champs fait dans le cadre du projet Agrifaune ([Swiderski et al., 2024](#)). (Fig. 4). 7 types différents de bords extérieurs de champs ont été identifiés : A, CH, D, DH, E, F et JH (Tab.1). Cette classification permettra aussi, par la suite de prodiguer des conseils de gestion des bords de champs existants.



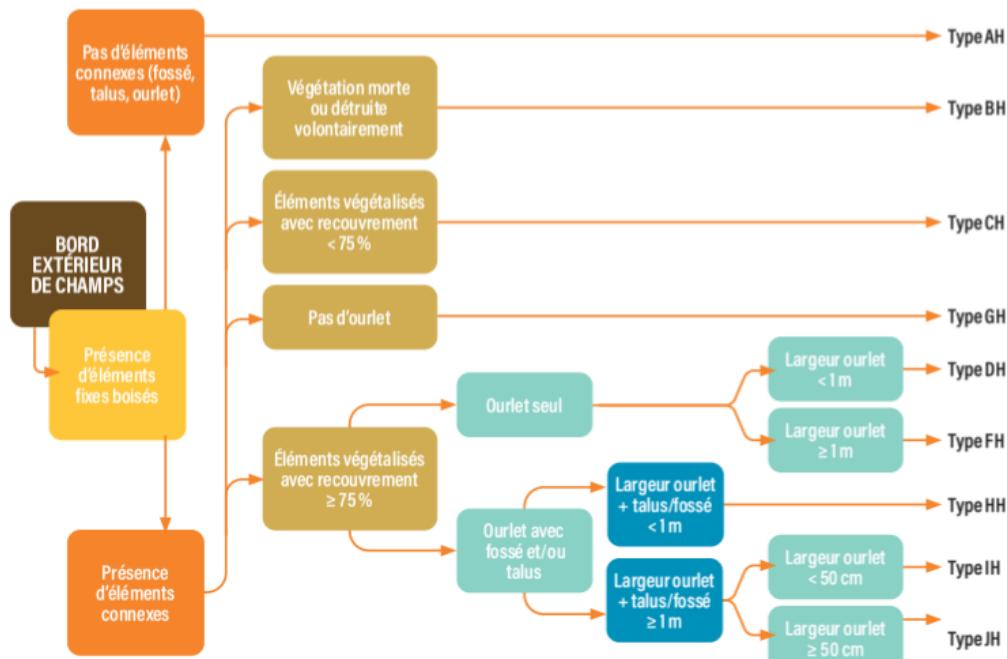


Figure 4 : Schéma extrait du guide de la typologie extérieure des bords de champs représentant le classement des types de bords de cultures

Tableau 1 : Typologie du bord extérieur de champs de chaque parcelle possédant une bande fleurie

N° Parcelle/ Bande	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	21	22	23	26	27	28	29	30
Typologie	F	D	D	F	F	D	D	JH	E	A	A	E	F	E	F	F	F	E	E	DH	CH	NA	E	F	F	CH

Enquêtes

A la fin des trois ans de suivis terrain, en 2024, des entretiens semi-directifs ont été menés avec les agriculteurs et agricultrices ayant participés au projet. L'objectif a été, d'une part, d'avoir accès à des informations complémentaires sur les exploitations sur lesquelles les bandes ont été installées, le travail du sol effectué en amont du semis, ainsi que sur les itinéraires techniques d'entretien effectués sur les bandes (Annexe.1). D'autre part, que les exploitant(e)s puissent évaluer la pénibilité du projet, les inconvénients et les avantages observés et ressentis (annexe...). Les entretiens n'ont pas pu être menés auprès de tous les agriculteurs par manque de disponibilité de certains. Une partie des informations manquantes a été trouvée par le biais d'archives d'appels téléphoniques ayant été fait avec les exploitants au cours du projet.

Analyses Statistiques

Tous les graphiques et les analyses statistiques ont été réalisés avec le logiciel Rstudio version 4.4.1. Les choix des tests ont été en partie faits avec le livre " Mixed-Effects Models in S and S-PLUS" de José C. Pinheiro et Douglas M. Bates (2000) et la page internet faite par N. Stefaniak (4 septembre 2018).

Des courbes d'espèces cumulées ont été effectuées par taxon/types de milieu/année, puis une régression linéaire a été faite, après transformation des données (log), pour savoir si l'effort d'échantillonnage avait été suffisant. La normalité de chaque variable a été testée avec un test de Kolmogorov et Smirnov (K.S. test). Tous les indices de diversité ont tous été calculés avec l'indice de Shannon ([Shannon et Weaver, 1963](#)).

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Où 'H' est l'indice de Shannon, S est le nombre total d'espèces, et pi est la proportion d'individus appartenant à l'espèce i par rapport au total des individus observés. Cet indice mesure à la fois le nombre d'espèces présentes et leur abondance relative, offrant ainsi une vue d'ensemble de la diversité de la communauté étudiée.

Flore

Chaque année et pour les deux types de milieux, les bandes fleuries ou la culture, l'effort d'échantillonnage a été suffisant pour la flore. On atteint des plateaux d'espèces cumulées ($F=215.09$, $ddl=1$, $p=1.77*10^{-13}$ en 2022 ; $F=459.99$, $ddl=1$, $p=2.2*10^{-16}$ en 2023 pour le milieu de type culture et $F=331.85$, $ddl=1$, $p=1.47*10^{-15}$ en 2022 ; $F=381.2$, $ddl=1$, $p=3.09*10^{-16}$ en 2023 pour le milieu bande fleurie). Les variables d'intérêt calculées à partir des données floristiques sont : le taux de recouvrement par espèces à partir de l'indice de Braun Blanquet, par groupes fonctionnels (plante compagne, adventice, neutre) et pour les graminées ; la diversité floristique totale des bandes et celles des plantes compagnes. Les variables ont été calculées par numéro de bande par milieu (bande fleurie/culture/bord non semés) par année.

Variations de la diversité floristique des bandes fleuries

Pour l'étude des variations de la diversité floristique des bandes fleuries (K.S. test $p = 0.571$) nous avons testé les interactions entre la diversité et le temps (en année), la largeur des bandes, le type de

semis (faux-semis effectué) ainsi que l'IT (broyée oui ou non) avec un modèle de moindres carrés généralisés (GLS), en prenant en compte la corrélation et l'hétéroscédasticité des erreurs.

Pérennité du mélange semé

Pour connaître l'effet de la largeur des bandes fleuries, de leur entretien et du temps sur la présence des adventices, un ratio de dominance des adventices par rapport aux espèces semées inspiré du "weed dominance ratio" de A. Cordeau (2010) a été calculé :

$$R_{adv} = \log 10 \times \left(\frac{(recouvrement\ total\ des\ adventices\ + 1)}{(recouvrement\ total\ des\ espèces\ semees\ + 1)} \right)$$

Avec ce calcul, il y a une dominance d'adventices lorsque R_{adv} est positif. La normalité a été testée avec le test de Kolmogorov et Smirnov ($p = 0.9744$). L'influence des variables IT, Largeur et Temps a été testée avec un modèle linéaire mixte (LME), pour évaluer les effets fixes et aléatoires des variables étudiées, cela a permis de prendre en compte les variations intra-bandes et de mieux comprendre la complexité des relations au sein des données.

Sur le même principe, un ratio de dominance de sol nu $R_{sol\ nu}$ a été fait (K.S. $p=0.1939$). L'impact des variables IT, Largeur, Période de Semis, Faux-semis a été analysé à l'aide d'un modèle de moindres carrés généralisés (GLS), en prenant en compte la corrélation et l'hétéroscédasticité des erreurs.

$$R_{sol\ nu} = \log 10 \times \left(\frac{(recouvrement\ total\ de\ sol\ nu\ + 1)}{(recouvrement\ total\ des\ espèces\ semees\ + 1)} \right)$$

Par la suite, nous avons testé les effets de la largeur, du temps, de la technique de faux-semis et de l'entretien (broyage) sur la dominance des graminées dans les bandes (K.S. $p=0.973$). Ce test a été fait sur le ratio R_g avec un modèle de moindres carrés généralisés (GLS), en prenant en compte la corrélation et l'hétéroscédasticité des erreurs.

$$R_g = \log 10 \times \left(\frac{(recouvrement\ total\ de\ graminées\ + 1)}{(recouvrement\ total\ des\ espèces\ semees\ + 1)} \right)$$

Evaluation du risque malherbologique

Enfin, dans le but de répondre aux questions des agriculteurs sur l'éventuelle augmentation d'adventices dans la parcelle après installation d'une bande fleuries, un test de corrélation Spearman a été calculé (rs). Avec (d) la différence entre les deux rangs et n le nombre de paires de données.

$$rs = 1 - 6 \sum_{n=1}^{d^2} / n (n^2 - 1)$$

Arthropodes

Le niveau taxonomique retenu pour l'analyse des données est la famille. Les données récoltées sont l'abondance, qui correspond au nombre d'individus collectés, la composition spécifique, soit les espèces présentes dans la communauté et la diversité, qui correspond au nombre d'espèces appartenant à la communauté et prenant en compte l'abondance de chacune d'entre elles. L'abondance et la diversité ont été calculées par numéro de bande par type de milieu (bande/culture/bord non semé) par année. Ces variables ont été calculées pour groupes fonctionnels (ravageurs ou auxiliaires) et pour le total des individus récoltés. L'abondance de la famille des Carabidés a aussi été calculée pour chaque pot Barber par bande par année.

Attractivité des bandes fleuries pour les arthropodes

Premièrement, la question de l'intérêt des bandes fleuries pour les arthropodes par rapport aux bords non semés déjà existants sur les parcelles a été traitée. Pour ce faire, nous nous sommes d'abord intéressées à la variation de l'abondance des Carabes (K.S. $p = 0.01325$), des auxiliaires (K.S. $p < 0.05$) et des ravageurs (K.S. $p < 0.05$), puis aux variations de la diversité globale des arthropodes (K.S. $p = 0.1808$) et des auxiliaires (K.S. $p = 0.9033$). Un modèle linéaire généralisé mixte de Poisson négative (GLMM) avec la fonction glmer.nb du package lme4 a été utilisé pour analyser la relation entre les abondances et le type de milieu, en prenant en compte la sur-dispersion des données de comptage. Pour les tests menés sur la diversité (variables suivant une loi normale), un modèle de moindres carrés généralisés (GLS) a été utilisé, en prenant en compte la corrélation et l'hétéroscédasticité des erreurs.

Ensuite, nous avons voulu savoir s'il y avait une différence significative entre l'abondance et la diversité totale des arthropodes entre la bande et la parcelle. Pour ce faire les deux variables "Abondance" et "Diversité" ont été testées face au facteur "Milieu" (Culture ou Bande) à l'aide d'un test de Wilcoxon car les deux variables ne suivaient pas une loi Normale (K.S. test $p= 3.153E-05$ et $p= 0.014$ respectivement).

Corrélation entre les populations d'auxiliaires et de ravageurs des bandes et des cultures adjacentes

Deuxièmement, la corrélation entre la présence des auxiliaires dans les bandes et leur présence dans la culture a été estimée à l'aide de deux tests de corrélation de Spearman. La même procédure a été faite pour les populations de ravageurs puis entre les auxiliaires des bandes et les ravageurs des cultures.

Influence des variables floristiques sur les populations d'arthropodes

La troisième question que nous souhaitions aborder concernait les liens entre les variations de la flore et celles des arthropodes, afin de fournir de meilleures recommandations pour la gestion des bandes fleuries. Les variables de la flore considérées sont : la diversité floristique globale, la diversité des plantes compagnes (semées et spontanées confondues), ainsi que les ratios de dominance des adventices et des graminées. Leur influence a été testée, de manière globale sur l'abondance et la diversité des arthropodes en général (K.S. test abondance $p=$ et diversité $p=0.1476$), des auxiliaires (K.S. abondance $p=0.0528$ et diversité $p=0.9694$). Puis cela a été fait sur l'abondance de la famille des Carabidés (K.S. test $p<0.05$), des ravageurs (K.S. test $p<0.05$) et avec le ratio de dominance des ravageurs (K.S. test $p=0.9631$).

$$R_{rav} = \log 10 \times \left(\frac{(abondance\ ravageurs + 1)}{(abondance\ auxiliaires + 1)} \right)$$

Pour les variables suivant une loi normale, un modèle de moindres carrés généralisés (GLS) a été utilisé, en prenant en compte la corrélation et l'hétéroscédasticité des erreurs. Pour celles ne suivant pas une distribution normale, un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) a été fait en utilisant le package glmmTMB, ce qui a permis de prendre en compte à la fois les effets fixes et les effets aléatoires.

Résultats

Flore

En 2022, soit la deuxième année du suivi, le taux de recouvrement total de la flore est en moyenne de 90% ($\pm 19\%$), allant de 100% à 50%, avec 83% des bandes ayant un taux supérieur ou égal à 90%. Au total 85 espèces différentes ont été inventoriées au cours de cette année dans les 26 bandes fleuries. La diversité spécifique des bandes est en moyenne de 1.58 (± 0.94). Les dix espèces le plus fréquemment

rencontrées en 2022 sont : la Marguerite (*Leucanthemum vulgare*) 26 fois, le Mélilot jaune (*Melilotus officinalis*) 24 fois, le Trèfle des près (*Trifolium pratense*) 24 fois, l'Achillée millefeuille (*Achillea millefolium*) 17 fois, le Sainfoin cultivé (*Onobrychis viciifolia*) 13 fois, le Trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*) 15 fois, la Luzerne lupuline (*Medicago lupulina*) 13 fois, le Laiteron rude (*Sonchus asper*) 11 fois, le Pâturen des près (*Poa pratensis*) 10 fois, le Ray-grass (*Lolium multiflorum*) 8 fois . Cette année-là les plantes provenant du mélange dominent le couvert floristique avec presque 53% de recouvrement (Fig.5 et 6).

En 2023, soit la troisième année du projet, le taux de recouvrement total de la flore est en moyenne de 85% ($\pm 25\%$) variant de 100% à 10%, avec 79% des bandes ayant un taux supérieur ou égal à 90%. Dans les 26 bandes en 2023 97 espèces différentes ont été inventoriées. La diversité spécifique moyenne de cette année-là est 1.85 (± 0.95). Les dix espèces les plus fréquemment trouvées dans les bandes mellifères sont : Marguerite (*Leucanthemum vulgare*) 25 fois, l'Achillée millefeuille (*Achillea millefolium*) 22 fois, le Sainfoin cultivé (*Onobrychis viciifolia*) 16 fois, , Ray-grass Anglais (*Lolium perenne*) 15 fois, le Trèfle des près (*Trifolium pratense*) 14 fois, Pâturen commun (*Poa trivialis*) 14 fois, le Trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*) 13 fois, la Laitue sauvage (*Lactuca serriola*) 13 fois, le Géranium découpé (*Geranium dissectum*) 11 fois, la Bourrache officinale (*Borago officinalis*) 14 fois . Cette année-là les espèces spontanées ont pris le dessus dans les bandes fleuries avec au total 66% de taux de recouvrement (Fig. 5 et 6).

Au regard des espèces floristique recensées dans toutes les bandes, on observe une dominance des espèces du mélange lors de la seconde année du projet mais pas lors la troisième année où les espèces spontanées (adventices ou non) ont pris le dessus. Il faut cependant prendre en compte le fait que les compositions des bandes fleuries étaient loin d'être homogènes et que certaines avaient une dominance forte du mélange semé même la dernière année du projet, alors que d'autres n'en avait plus du tout. Néanmoins, on constate une dominance des espèces dites compagnes, c'est à dire des espèces qui vont interagir de manière bénéfique avec les plantes cultivées, par exemple en repoussant des ravageurs, en attirant des pollinisateurs ou en améliorant la fertilité du sol, pour les deux années.

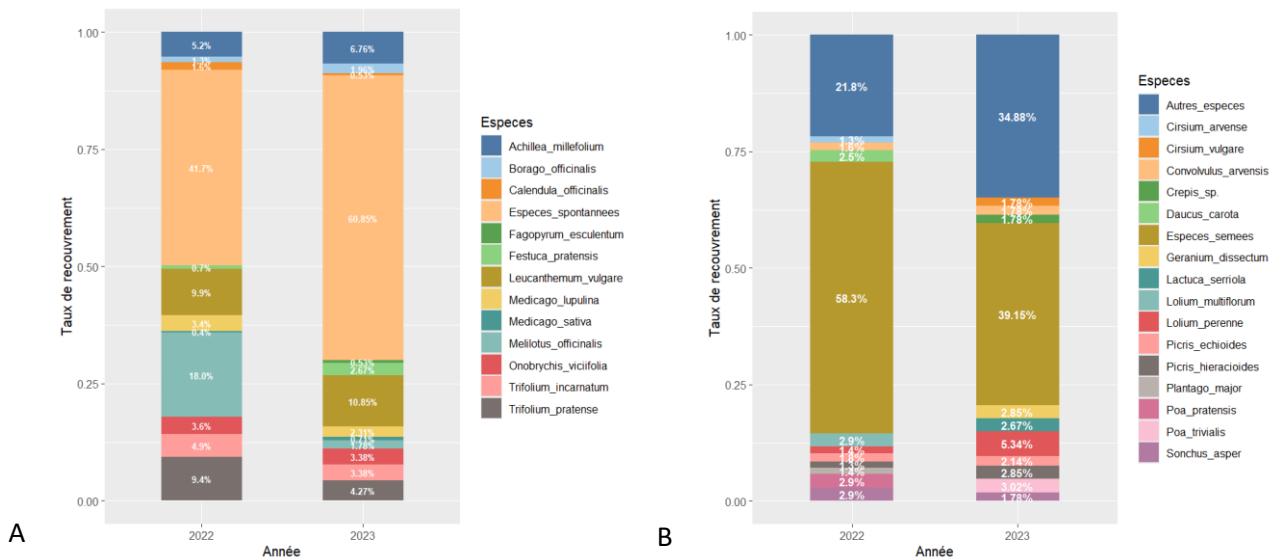


Figure 5 : Composition floristique des bandes fleuries en 2022 et en 2023 en pourcentage de recouvrement A) avec le détail des espèces semées présentes B) avec le détail 10 des espèces spontanées les plus abondantes.

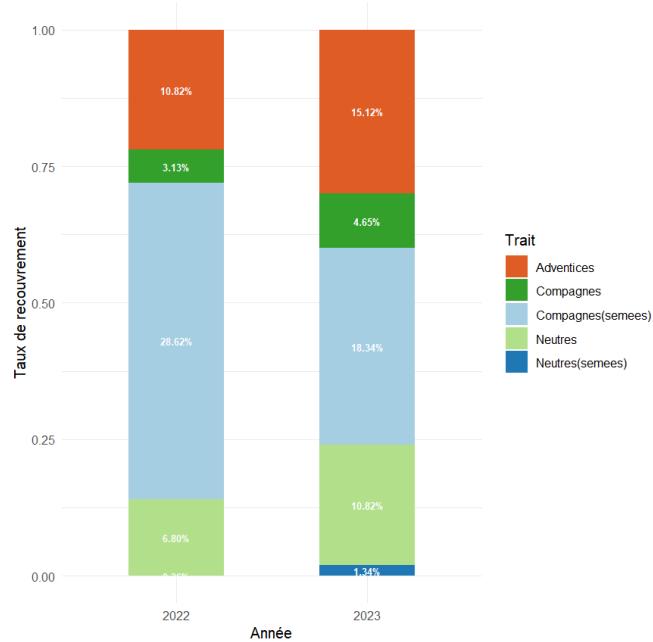


Figure 6 : Composition des bandes fleuries en 2022 et 2023 (en pourcentage de recouvrement) en fonction du trait fonctionnel des espèces.

Variations de la diversité floristique des bandes fleuries

Toutes les variables ont exercé une influence significative sur la diversité floristique : le temps ($p=0.0160$), la largeur ($p=0.0442$), le faux-semis ($p=0.0244$), l'IT ($p=0.0293$) (Fig.7). Pour la variable temps, la diversité floristique des bandes a augmenté entre 2022 et 2023 ($\beta = 0.2248$). La largeur et la diversité ont une relation négative, lorsque la largeur augmente, la diversité diminue ($\beta = -0.0064$). Le fait de pratiquer la technique du faux-semis avant de semer le mélange a fait diminuer significativement la diversité floristique des bandes n°15, 16 et 17 ($\beta = -0.7019$). Pour l'IT, on observe une plus grande diversité floristique dans les bandes non broyées ($\beta = 0.3781$) que dans celles broyées une fois par an.

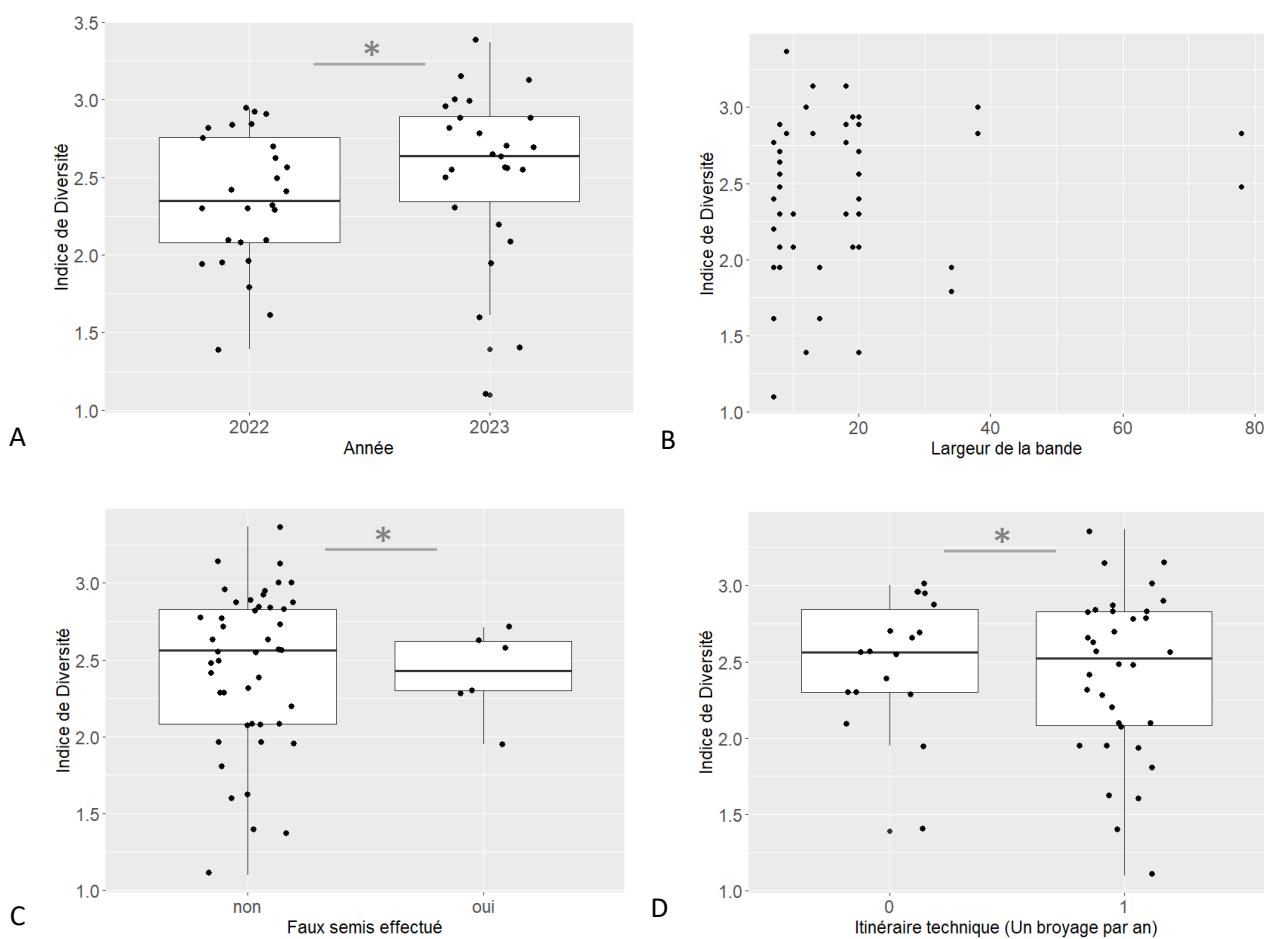


Figure 7 : Variations de la diversité floristique en fonction de : A) l'année de suivi ; B) la largeur de la bande ; C) de Faux-semis ; D) l'itinéraire technique. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

Pérennité du mélange semé

Ratio de dominance du sol nu

Les quatre variables testées exercent une influence significative sur la variation de $R_{sol\ nu}$ (Fig.8). Pour la période semis, les bandes semées en mai ($p=0.0001$) et en juin ($p=0.0069$) ont un $R_{sol\ nu}$ plus faible

que les bandes semées en avril ($\beta = -0.8853$ pour mai et $\beta = -0.9425$ pour juin). Les bandes semées en mars ne sont significativement différentes que celles semées au mois d'avril en termes de proportion ($p>0.05$). Les bandes semées après un faux-semis ont en moyenne un ratio de dominance de sol nu plus élevé que celles qui n'en ont pas eu ($\beta = 0.8412$, $p= 0.0054$). Pour la période d'IT, lorsque la bande n'a pas été broyée, il y a en moyenne une baisse du ratio de dominance du sol nu ($\beta = -1.2349$, $p= 0.0023$). Il n'y a pas de différence significative entre le $R_{sol\ nu}$ des bandes broyées en hiver et celle broyées en automne ($p = 0.8940$). Lorsque la variable largeur augmente et que tout autre paramètre est identique, cela induit une baisse du $R_{sol\ nu}$ ($\beta = -0.0325$; $p = 0.0001$). Cependant, les variables largeur et IT ainsi que Largeur et Période de semis induisent aussi des variations en interaction. Ainsi le fait de ne pas broyer modifie l'impact de l'augmentation de la largeur sur $R_{sol\ nu}$ et celui-ci devient positif ($\beta = 0.0524$; $p = 0.009$). De même, pour les bandes semées en mai, l'impact de la largeur devient positif ($\beta = 0.0328$; $p = 0.001$). Les interactions entre "largeur" et les périodes de "semis" et "IT" montrent que l'effet de "largeur" sur Rs dépend du contexte fourni par ces variables catégorielles.

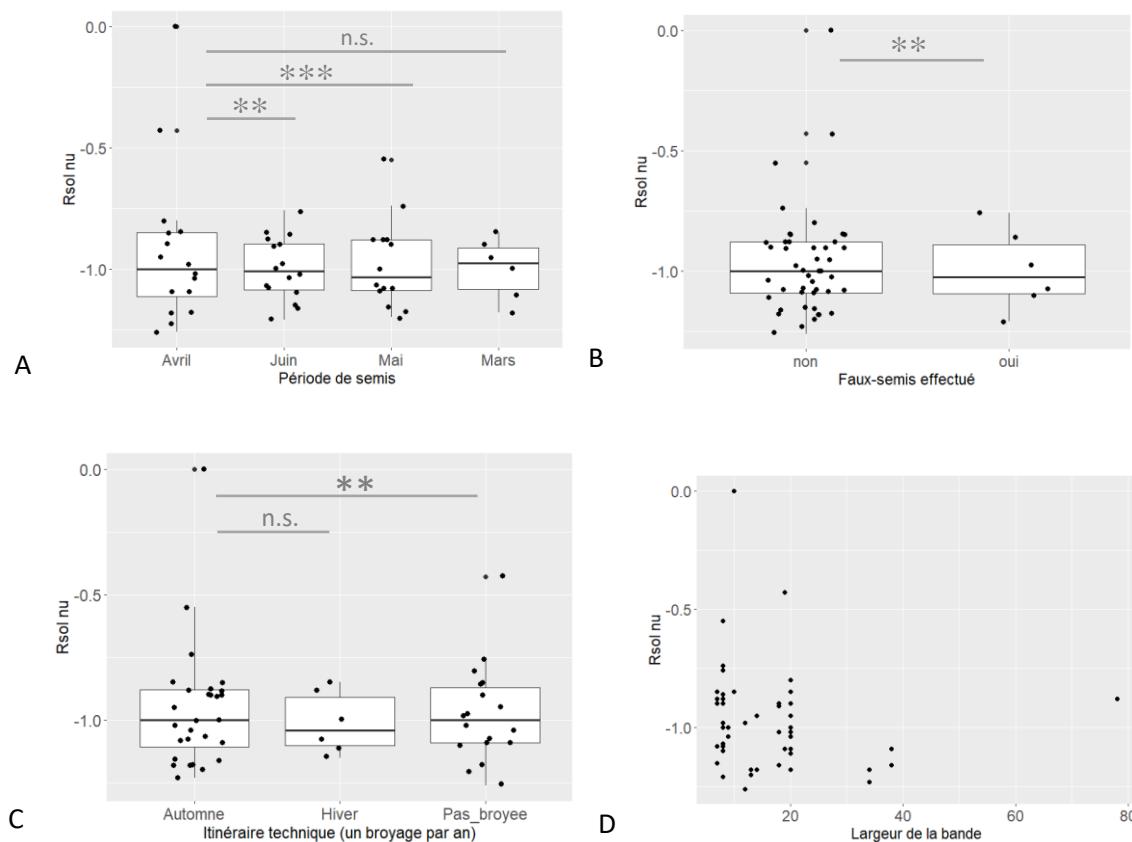


Figure 8 : Variation de ratio de dominance du sol nu ($R_{sol\ nu}$) par rapport aux espèces semées en fonction de : A) la période de semis ; B) de Faux-semis ; C) de l'itinéraire technique ; D) de la largeur de la bande. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

Dominance des adventices par rapport aux espèces semées

Les trois variables considérées dans ce test exercent une influence significative sur les variations du taux de dominance des adventices (Fig.9). On constate un effet positif significatif, du Temps indiquant une augmentation du R_{adv} en 2023 par rapport à l'année 2022 ($\beta = 0.1643$; $p= 0.0268$). Il y a un effet significatif négatif de la largeur de la bande sur le ratio R_{adv} ($\beta = -0.0117$; $p= 0.0033$). Cela signifie que plus la bande fleurie est large moins les espèces adventices dominent le recouvrement floristique. Pour l'IT, on constate que le fait de broyer les bandes une fois par an permet d'obtenir un ratio R_{adv} plus faible que lorsqu'il n'y a aucun entretien ($\beta = -0.2254$; $p= 0.0385$). Enfin, on note une interaction entre les variables "largeur" et "temps". Plus la bande prend de l'âge et est large plus le ratio de dominance d'adventice augmente ($\beta = 0.0069$; $p=0.0097$). On constate qu'aucun R_{adv} n'est positif, ce qui signifie que les adventices ne sont pas les plantes qui ont dominé par rapport au mélange semé.

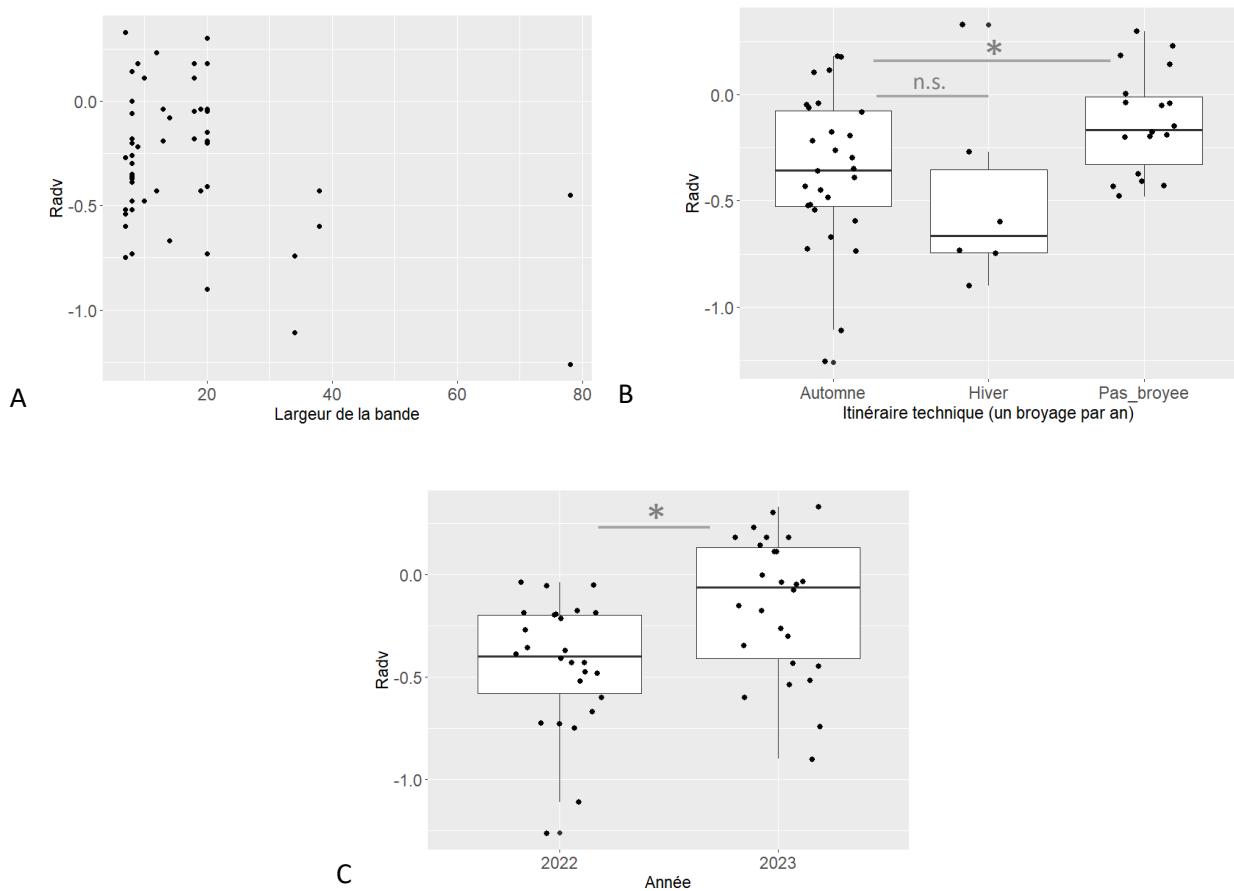


Figure 9 : Variations du ratio de dominance des adventices (R_{adv}) en fonction de : A) la largeur de la bande (en m) ; B) de l'IT ; C) de l'année du projet /âge de la bande. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, p<0.001***

Dominance des graminées par rapport aux espèces semées

L'étude de l'impact de l'entretien sur les variations de dominance des graminées dans les bandes par rapport aux espèces semées montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les bandes broyées une fois par an et celles non broyées ($p= 0.1387$). Seul l'âge de la bande s'est révélé exercer une influence notable sur Rg ($\beta = 0.3403$; $p=0.0001$).

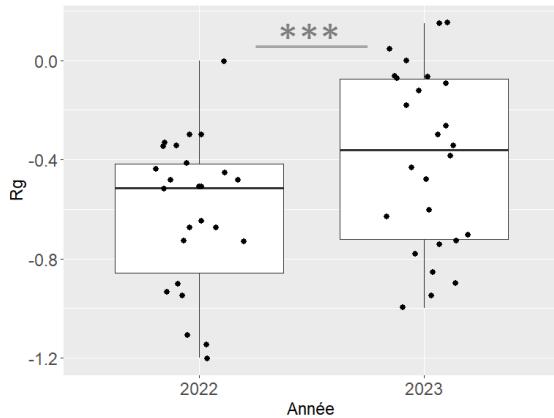


Figure 10 : Variations du ratio de dominance des graminées par rapport aux espèces semées au cours du temps. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, p<0.001***

Evaluation du risque malherbologique

Le test de corrélation de Spearman a montré une absence de corrélation entre les espèces floristiques retrouvées dans les bandes fleuries et celles retrouvées dans la partie adjacente des cultures ($Rs= -0.2898$; $S=112142565$; $p=1$).

Arthropodes

En 2021, en moyenne 16 familles ont été trouvées dans les bandes fleuries (± 5), variant de 4 à 27. Au total en 2021 dans les bandes fleuries, 2238 individus répartis dans au moins 36 familles (car certains individus, comme les collemboles, n'ont été identifiés que jusqu'à l'ordre) ont été contactés. Les trois familles avec la plus grande abondance d'individus la première année sont les Carabidés (253 individus), les Cynipidés (171 individus) et les Linyphiidae (166 individus).

En 2022 en moyenne 13 familles ont été trouvées dans les bandes fleuries (± 3), variant de 8 à 19. Au total en 2022 dans les bandes fleuries, 4628 individus appartenant à au moins 15 familles différentes (car certains individus, comme les collemboles, n'ont été identifiés que jusqu'à l'ordre) ont été

contactés. Les trois familles les plus abondantes en termes d'individus en 2022 sont : les Carabidés (717 individus), les Lycosidae (364 individus) et les Staphilinidae (109 individus).

En 2023 en moyenne 19 familles ont été trouvées dans les bandes fleuries (± 5), variant de 5 à 28. Au total en 2023 dans les bandes fleuries, 4753 individus de 28 familles différentes au moins (car certains individus, comme les collemboles, n'ont été identifiés que jusqu'à l'ordre) ont été contactés. Les trois familles les plus abondantes (en termes d'individus) en 2023 sont : les Carabidés (760 individus), les Lycosidae (554 individus) et les Cicadellidae (193 individus).

On constate qu'au cours du projet les espèces d'arthropodes catégorisées comme ravageurs n'ont pas dominé par rapport aux espèces auxiliaires (figure 10).

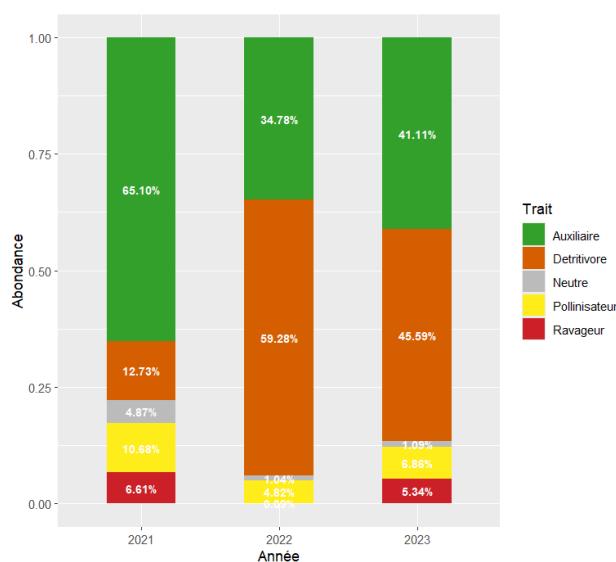


Figure 10 : Proportion de chaque groupe fonctionnel présent dans les bandes au cours des trois ans de suivis (récoltés dans les pots Barber)

Attractivité des bandes fleuries pour les arthropodes

Pour rappel, 7 types de bords extérieurs de champs ont été identifiés : A, CH, D, DH, E, F et JH (figure 4).

Pour la diversité globale des arthropodes, seuls deux types de bords extérieurs de champs ont montré une diversité significativement plus élevée que celle des bandes fleuries. Ce sont les bords de type E ($p=0.063$), qui sont des bords totalement inclus dans des chemins enherbés avec un recouvrement végétatif $\geq 75\%$ (Fig. 2), et les bords de type CH ($p= 0.0342$), bords avec un élément boisé adjacent et sur un élément connexe (talus, ourlet ou fossé) avec un recouvrement végétatif $< 75\%$.

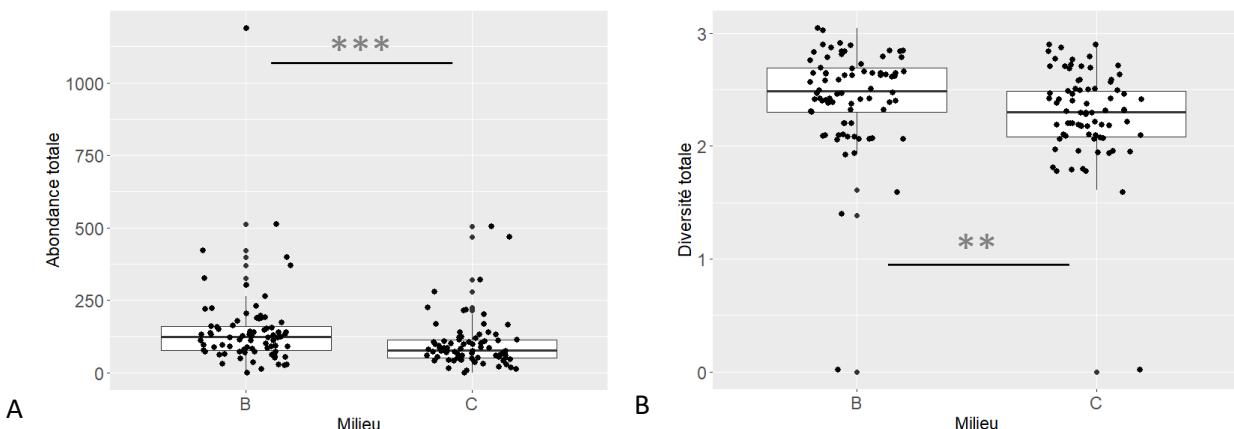
Aucune différence significative en termes de diversité d'auxiliaires entre les bandes fleuries et les bords de champs non semés n'a été noté et ce quel que soit leur typologie (toutes les p values sont supérieures à 0.05). Pour l'abondance des auxiliaires en revanche, les bords de type CH, E et F (zone herbacée >1m de large avec un taux de recouvrement végétal >75%) (Fig. 2) ont révélé une abondance significativement plus faible (respectivement $p = 0.0029$; $p = 0.0656$; $p = 0.0184$) et les bords de types D (zone herbacée de moins de 1m de large avec un taux de recouvrement végétal > 75 %) (Fig.2) ont montré une abondance significativement plus élevée ($p= 0.0071$).

En ne considérant dans ce groupe fonctionnel que la famille des Carabidés, on note des abondances d'individus notamment plus importantes dans les bords A ($p= 0.01315$), D ($p=0.0087$) et significativement plus faible dans les bords de type JH (bords avec un élément connexe, un taux de recouvrement végétal>75% et un ourlet >50cm) ($p=0.0256$).

On note une abondance significativement plus faible de ravageurs dans les bords de champs de type E ($p = 0.0483$) par rapport aux bandes fleuries. Les autres types de bords de champs ne sont pas significativement différents des bandes pour l'abondance des ravageurs (toutes les p value sont >0.05).

Les valeurs du ratio de dominance des ravageurs dans les bords de champs non semés ne sont significativement différentes de celles des bandes fleuries (toutes les pvalue >0.05).

En ce qui concerne l'attractivité des bandes fleuries par rapport à la culture, les tests de Wilcoxon ont montré qu'il y avait une abondance et une diversité d'arthropodes significativement plus élevées dans les bandes fleuries ($W =0.4050$ $p=0.0004$ pour l'abondance et $W= 3903.5$ $p= 0.0022$ pour la diversité) (figure 11).



*Figure 11 : Variations de l'abondance (A) et de la diversité (B) totale des arthropodes en fonction du type de milieu (Bande fleurie ou Culture). * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$*

Corrélation entre les populations d'auxiliaires et de ravageurs des bandes et des cultures adjacentes

Le test de corrélation de Spearman fait entre les populations d'auxiliaires des bandes fleuries et des cultures adjacentes montre une corrélation positive significative entre les deux groupes ($r_s=0.3357$; $S=50537$; $p=0.001419$). Cela montre que lorsqu'il y a plus d'auxiliaires dans les bandes fleuries, leur nombre augmente aussi dans la partie adjacente des cultures.

Le test effectué entre l'abondance des auxiliaires présents dans les bandes fleuries et l'abondance des ravageurs présents dans les cultures montre l'existence d'une relation positive entre les deux, $r_s = 0.293$ ($S=53808$; $p=0.0048$). Cela signifie que lorsque le nombre de ravageurs augmente dans la culture, le nombre d'auxiliaire présents dans la bande fleurie augmente.

Pour les ravageurs, aucune corrélation significative n'a été mise en évidence ($r_s= - 0.11$; $S=1027620$; $p=0.931$). Il n'y a donc aucun lien entre les variations des populations de ravageurs trouvés dans la bande et ceux trouvés dans la culture.

Influence des variables floristiques sur les populations d'arthropodes

Que ce soit pour l'abondance, la diversité des arthropodes de manière globale, des auxiliaires, ou l'abondance des Carabidés et des ravageurs ou encore le ratio de dominance des ravageurs, aucune variable floristique (Diversité floristique, diversité des plantes compagnes, R_{adv} , R_g) n'a eu d'influence significative (toutes les p-value >0.05).

Enquêtes auprès des agriculteurs

Il ressort des entretiens qu'aucune des bandes fleuries appartenant aux exploitants interrogés n'a posé de problème en termes d'introduction d'adventices ou de ravageurs au cours des trois ans du projet. De même, aucun dégât supplémentaire dû au gibier n'a été constaté. Tous les exploitants ont noté une augmentation de la présence de la petite faune dans les zones où les bandes ont été installées. Tous les exploitants interrogés se sont dit satisfaits de l'installation des bandes fleuries sur leur exploitation.

Discussion

Flore

Les analyses floristiques n'ont pu être menées que sur les 2 dernières années du projet car toutes les bandes n'ont pas été semées à temps en 2021. De plus, seules 26 bandes ont pu être analysées du fait de la destruction 4 d'entre elles par un agriculteur. Cette réduction de notre jeu de données associée à la grande variabilité des conditions de développement des bandes, font que la robustesse de nos

analyses a été amenuisée et de fait, ne nous a pas permis de tester des modèles aussi complets que ce que nous l'aurions souhaité.

Variations de la diversité floristique des bandes fleuries

Au cours du temps la diversité floristique des bandes a augmenté. Dans les bandes qui n'ont pas été broyées au cours du projet la diversité était plus élevée que dans celles broyées une fois par an. En revanche, nous avons constaté que la diversité floristique dans les bandes fleuries était influencée négativement par l'augmentation de la largeur des bandes et par la pratique d'un faux semis en amont du semis. Ces résultats, bien que significatifs, ne concernent que 3 bandes fleuries sur les 26 qui ont été suivies et dont les données ont pu être analysées. L'échantillonnage de ce type de bande n'est peut-être pas suffisant pour conclure qu'un faux-semis associé à une augmentation de la largeur de la bande fera effectivement baisser la diversité floristique de manière significative à chaque fois. Le fait que la diversité soit plus faible lorsque qu'un faux-semis a été fait en amont pourrait tout de même s'expliquer car cette technique permet de réduire le stock de semence dormant dans le sol et donc éviter leur développement avec le mélange. D'autres variables, montrées par d'autres études comme fortement impliquées dans la variabilité floristique des bandes enherbées, pourraient être étudiées pour maximiser les chances de favoriser une forte diversité floristique. D'après Cordeau (2010), les facteurs comme le type de sol ou le type de bordure adjacente, sont ceux qui expliquent le plus la variabilité floristique dans des bandes enherbées. Il aurait aussi pu être intéressant de faire des relevés floristiques dans les bords non semés pour pouvoir comparer leur diversité avec celle des bandes fleuries.

Pérennité du mélange semé

L'examen de la pérennité du mélange des bandes fleuries a montré que l'itinéraire technique d'entretien avait un impact significatif sur les variations de dominance des adventices et du sol nu par rapport au mélange mais aucune sur celui du ratio des graminées. Ces résultats ne concordent pas avec l'étude menée par Cordeau *et al.* (2011) où les pratiques de travail du sol et d'itinéraire technique d'entretien (IT) n'avaient pas d'influence significative sur la dominance des adventices. Au regard des résultats la largeur de la bande semble être la deuxième variable ayant l'influence la plus large sur les variations de développement de la flore semée par rapport aux adventices et au taux de sol nu. Plus une bande est large plus la proportion de sol nu et d'aventice par rapport au mélange sera faible. Mais cela reste vrai si les bandes sont broyées une fois par an. Il vaut donc mieux semer des bandes assez larges et les broyer une fois par an pour espérer un meilleur maintien du mélange au cours du temps.

De même que pour l'étude des variations de diversité floristique nous aurions pu nous pencher sur l'impact d'autres variables qui ressortent comme ayant un fort impact sur la végétation de bande fleurie/enherbée. Par exemple nous aurions pu examiner l'impact du type de sol ou du type de bordure adjacente (Cordeau, 2010). Ou encore l'impact de l'apport d'intrants dans la parcelle adjacente, tel que de l'engrais, qui peut faire diminuer la diversité floristique de la bordure de champs, (Kleijn et Verbek, 2000), ou encore de pesticides et d'herbicides qui ont aussi un impact sur la flore des bordures (de Snoo, 1997 ; Marshall and Moonen, 2002).

Evaluation du risque malherbologique

Au sujet du risque malherbologique, l'absence corrélation entre les espèces présentes dans les bandes et celles des cultures, suggère que ce risque est faible. Cela concorde avec l'étude faite par Cordeau et al. (2012) et celle faite par De Cauwer et al. (2008). Dans la première étude les résultats montraient qu'au contraire d'introduire des adventices dans la parcelle, la mise en place de bandes enherbées réduisait la propagation des mauvaises herbes dans le champ adjacent. Dans la seconde montrait que le risque de contamination était concentré dans un rayon de 4m (du bord de la bande vers la bordure). Une étude de Schnee (et al., 2023) s'est focalisée sur l'analyse de la banque de semences du sol et a trouvé des résultats similaires aux précédents. Le nombre d'espèces et l'abondance en graines diminuait de manière continue dans les deux premiers mètres à partir du bord de champs. Cependant, les données de notre étude, collectées dans les champs n'avaient pas pour but d'expliquer cette relation en profondeur mais seulement de voir si les plantes de la bande étaient retrouvées dans la parcelle. Si nous avions voulu mieux estimer cette relation entre les plantes des deux milieux nous aurions dû effectuer un transect continu en avançant dans le champ ou faire plusieurs quadras. Cela nous aurait peut-être permis d'identifier un gradient de contamination et aurait été plus adapté (Dutoit, E. et Ourcival 1999 ; Cardina, Johnson & Sparrow 1997).

Arthropodes

Attractivité des bandes fleuries pour les arthropodes

Sur les sept types de bords extérieurs de champ rencontrés dans les parcelles où les bandes étaient semées (A, CH, D, DH, E, F et JH), six ont montré des différences significatives avec les populations d'arthropodes trouvées dans les bandes. Il y avait une plus importante abondance de Carabidés dans les bords de types A et D et plus d'auxiliaires dans les bords D que dans les bandes fleuries. Les bords

de type A correspondant à une absence de bord, les résultats obtenus n'étaient pas ceux attendus et les variables considérées dans cette analyse n'ont pas permis de les expliquer. Cependant, il faut tenir compte du fait que seules les bandes n°10 et 11 avaient un bord non semé de type A. De plus, ces deux bandes étant en fait une seule bande très longue, séparée en deux pour les analyses, elles partagent aussi le même bord non semé. Ce qui peut donc avoir faussé les résultats. D'autres variables pourraient aussi expliquer cette forte abondance en Carabidés, comme le type de culture semée sur les parcelles, ou encore le type de sol. Pour les bords de type D, correspondants à des bords herbacés de plus de 1m de large avec un recouvrement végétatif supérieur à 75 % (Tab.2), les résultats montrent qu'il faut valoriser ces bords et continuer leur gestion actuelle. A l'inverse les bords de type CH, E, F et JH ont montré moins d'abondance d'auxiliaires (CH, E, F) ou moins de carabes (JH) et/ou moins de diversité globale totale (CH, E) que les bandes semées. L'installation de bandes fleuries dans les parcelles possédant ces types de bords semble donc intéressante du point de vue agronomique et pour la biodiversité.

Les tests menés sur les différences de diversité et d'abondance des arthropodes entre les bandes fleuries et les cultures ont montré que les bandes étaient significativement plus intéressantes, on retrouve une abondance et une diversité significativement plus élevées dans celles-ci. Les résultats pour l'abondance concordent avec ceux 14 autres études sur 16 menées sur ce sujet et les résultats sur la diversité concordent avec 11 autres études sur 13 menées sur cette variable. Ces études sont rassemblées dans la review de Haaland (et al., 2011) et il est démontré que ces résultats ont atteint des majorités significatives dans les deux cas. Les bandes fleuries sont des IAE très intéressantes pour les arthropodes.

Corrélation entre les populations d'auxiliaires et de ravageurs des bandes et des cultures adjacentes

Les résultats du test de corrélation ont montré que les bandes fleuries n'ont pas d'impact majeur quant à l'introduction de nuisibles dans les cultures puisque qu'aucune corrélation entre les ravageurs des deux types de milieu n'a été mise en évidence.

A l'inverse, les résultats montrent qu'il existe une faible corrélation positive significative entre l'abondance des auxiliaires dans les bandes et leur abondance dans la parcelle. Cela montre donc l'intérêt des bandes fleuries pour la lutte biologique, les populations d'arthropodes dans la culture augmentant lorsque celle des bandes augmente. Cela est appuyé par la corrélation positive significative mise en évidence entre l'abondance des arthropodes dans les bandes et l'abondance des ravageurs dans la culture. Cela signifierait que lorsqu'il y a plus de ravageurs dans la parcelle le nombre d'auxiliaires dans la bande augmente au même titre que ceux présents dans la culture. Notre protocole n'était pas réellement pensé à l'origine pour quantifier la plus-value apportée par les bandes en termes de lutte

biologique, donc nous ne montrons ici qu'une existence de corrélation et ne définissons pas la relation entre les ravageurs et les auxiliaires. D'autres études se sont penchées plus spécifiquement sur ces relations et nos résultats corroborent avec celles-ci. Par exemple, dans l'étude de Tschumi ([et al., 2016](#)) des bandes de fleurs sauvages semées ont entraîné une importante réduction de chrysomèles dans les cultures céralières avoisinantes. Elles ont aussi permis une chute de 40% des dégâts causés dans les cultures proches des bandes par les ravageurs. Dans une seconde étude, faite cette fois-ci dans des cultures de pomme-de-terre, ils ont utilisé un mélange spécialement conçu pour attirer les prédateurs des pucerons, qui sont les principaux ravageurs de ces cultures. Après installation de ces bandes une réduction de 75% du nombre de pucerons a été notée ([Tschumi et al., 2016](#)).

Influence des variables floristiques sur les populations d'arthropodes

Aucune des variables floristiques, telles que la diversité floristique totale, la diversité de plantes dites compagnes, la valeur du ratio de dominance des adventices (R_{adv}) ou celui de dominance des graminées (R_g), n'a montré d'impact significatif sur les variations des arthropodes (abondance et diversité), des auxiliaires (abondance et diversité et abondance des Carabidés) ou des ravageurs (abondance et ratio de dominance par rapport aux auxiliaires). Si notre étude n'a pas permis de mettre en évidence des facteurs influençant les arthropodes, d'autres l'ont fait. Dans l'étude faite par Mei ([2021](#)) l'abondance des auxiliaires a été révélée comme positivement liée à la couverture florale ainsi qu'à la richesse des espèces floristiques. D'autres variables, que nous n'avons pas étudiées, semble aussi expliquer les variations d'arthropodes dans les cultures comme la proportion de prairie présente dans le paysage alentour. L'étude de Perrot ([et al., 2010](#)) montre en effet qu'une augmentation 0 à 50% de la proportion de prairie présente dans un rayon de 500m accroît la prédatation de pucerons de 20% dans des parcelles de colza.

Conclusion

Cette étude a permis de montrer que le fait de broyer les bandes fleuries une fois par an et d'avoir des bandes assez larges permet de réduire la dominance des adventices ainsi que la proportion de sol nu dans les couverts. Cependant on a moins de diversité floristique quand on broie et/ou qu'on a une bande large. Faire un faux-semis avant de semer le mélange semble faire diminuer le taux de sol nu mais aussi la diversité floristique. L'âge des bandes a joué un rôle dans l'évolution de la flore des bandes, faisant augmenter le ratio de dominance des graminées et celui des adventices. Cependant on note que le mélange s'est globalement assez bien maintenu au cours du temps, R_g , R_{adv} et $R_{sol\ nu}$ ne prenant que rarement des valeurs positives même la 3eme année du projet. Le risque malherbologique s'est avéré minime et aucun agriculteur n'a déploré de problème lié aux adventices.

Pour les arthropodes, les bandes se sont révélées plus riches en diversité ou en abondance (soit pour les arthropodes globaux, soit pour les auxiliaires, ou les carabes) que 4/7 types de bords non semés présents dans les parcelles étudiées. Aucun problème de contamination des cultures par les ravageurs des bandes n'a été révélé ni par les analyses ni par les témoignages des agriculteurs.

Nous avons donc répondu à nos objectifs de départ à savoir : quelles pratiques de mise en place et d'entretien des bandes fleuries favorisent leur bon développement, savoir si ces bandes représentent un intérêt par rapport à des bordures déjà en place pour les arthropodes et montrer que le risque malherbologique et celui d'introduction de ravageurs à la suite de la mise en place de bandes fleuries sont minimes.

Bibliographie

- Aguilera, Guillermo, Tomas Roslin, Kirsten Miller, Giovanni Tamburini, Klaus Birkhofer, Berta Caballero-Lopez, Sandra Ann-Marie Lindström, et al. (2020). « Crop Diversity Benefits Carabid and Pollinator Communities in Landscapes with Semi-Natural Habitats ». *Journal of Applied Ecology* 57, n° 11: 2170-79. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13712>.
- Bengtsson, J., J. M. Bullock, B. Egoh, C. Everson, T. Everson, T. O'Connor, P. J. O'Farrell, H. G. Smith, et R. Lindborg (2019). « Grasslands—More Important for Ecosystem Services than You Might Think ». *Ecosphere* 10, n° 2: e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>.
- Benton, Tim G., Juliet A. Vickery, et Jeremy D. Wilson (1 Avril 2003). « Farmland Biodiversity: Is Habitat Heterogeneity the Key? » *Trends in Ecology & Evolution* 18, n° 4: 182-88. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9).
- Benz, R., Jucker, P., Albrecht, M., Charrière, J.-D., Herzog, F., Jacot, K., Tschumi, M., Luka, H., Pfiffner, L., Ramseier, H., Knauer, K., Steinmann, P., Tschumi, E., & Silvestri, G. (2015). *Bandes fleuries pour les pollinisateurs et les autres organismes utiles—Sources de nourriture précieuses parmi les cultures* [Report]. AGRIDEA, Ch-Lausanne. <https://orgprints.org/id/eprint/28780/>
- Björklund, Johanna, Karin E Limburg, et Torbjörn Rydberg (1 Mai 1999). « Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden ». *Ecological Economics* 29, n° 2: 269-91. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00014-2).
- Bonneil, P, L M Nageleisen, et Christophe Bouget. (2015) « Catalogue des méthodes d'échantillonnage entomologique (Chap. 2, part. II) », <https://hal.inrae.fr/hal-02594086>
- Bournerias, M. (1969) Plantes adventices. Encyclopedia universalis, repris dans le IIIe Colloque sur la biologie des mauvaises herbes, 13 décembre (Seine-et-Oise), 259-260.
- Cardina, J., Johnson, G.A., & Sparrow, D.H. (1997). The nature and consequence of weed spatial distribution. *Weed Science*, 45, 364-373
- Chinery M. (1986). “Insectes de France et d’Europe occidentale” 2nd Edition, Flammarion
- Cordeau, Stéphane (2010). « Conséquences de la mise en place des bandes enherbées sur l’évolution de la flore adventice », s. d.

- Cordeau, Stéphane, Xavier Reboud, et Bruno Chauvel. (Juillet 2011). « Farmers' Fears and Agro-Economic Evaluation of Sown Grass Strips in France ». *Agronomy for Sustainable Development* 31, n° 3: 463-73. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0004-6>.
- Cordeau, S., Petit, S., Reboud, X., & Chauvel, B. B. (2012). "Sown grass strips harbour high weed diversity but decrease weed richness in adjacent crops." *Weed Research*, 52(1), 88. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00892.x>
- Corfdir V. (2018). "Guide pratique des insectes et autres invertébrés des champs", Editions France Agricole.
- Dainese, Matteo, Emily A. Martin, Marcelo A. Aizen, Matthias Albrecht, Ignasi Bartomeus, Riccardo Bommarco, Luisa G. Carvalheiro, et al. (16 Octobre 2019). « A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production ». *Science Advances* 5, n° 10 : eaax0121. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0121>.
- Dalgaard, T., Nicholas Hutchings, et John Porter (1 Novembre 2003). « Agroecology, scaling and interdisciplinarity ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 100: 39-51. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00152-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00152-X).
- De Cauwer, B., Reheul, D., D'Hooghe, K., Nijs, I. & Milbau, A. (2005) "Evolution of the vegetation of mown field margins over their first 3 years." *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109, 87-96.
- De Cauwer, B., Reheul, D., Nijs, I. & Milbau, A. (2006) "Impact of field margin vegetation and herbage removal on ingrowing and anemochorous weeds." *Communications in agricultural and applied biological sciences*, 71.
- De Cauwer, B, D Reheul, I Nijs, et A Milbau. (2008) « Management of Newly Established Field Margins on Nutrient-Rich Soil to Reduce Weed Spread and Seed Rain into Adjacent Crops ». *Weed Research* 48, n° 2 : 102-12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00607.x>.
- De Snoo, G. R, (1997) "Arable flora in sprayed und unsprayed crop edges. Agriculture Ecosystems and Environment", 66, 223-230.
- De Snoo, Geert R. de, et Paul J. de Wit. (1 September 1998) « Buffer Zones for Reducing Pesticide Drift to Ditches and Risks to Aquatic Organisms ». *Ecotoxicology and Environmental Safety* 41, n° 1: 112-18. <https://doi.org/10.1006/eesa.1998.1678>.
- Dudley, Nigel, et Sasha Alexander (3 Juillet 2017). « Agriculture and Biodiversity: A Review ». *Biodiversity* 18, n° 2-3: 45-49. <https://doi.org/10.1080/14888386.2017.1351892>.

Dutoit, T., Gerbaud, E. & Ourcival, J. M. (1999). Field boundary effects on soil seed banks and weed vegetation distribution in an arable field without weed control (Vaucluse, France). *Agronomie*, 19(7), 579-590.

Firbank, Les G., Sandrine Petit, Simon Smart, Alasdair Blain, et Robert J. Fuller (4 September 2007). « Assessing the Impacts of Agricultural Intensification on Biodiversity: A British Perspective ». *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2183>.

Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland TA, Creamer N., Harwood R., L. Salomonsson, J. Helenius, D. Rickerl, R. Salvador, M. Wiedenhoeft, S. Simmons, P. Allen, M. Altieri, C. Flore&R. Poincelot (17 Juillet 2003) « Agroecology: The Ecology of Food Systems ». *Journal of Sustainable Agriculture* 22, n° 3: 99-118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10.

Fried, G. (2007) Variations spatiales et temporelles des communautés adventices des cultures annuelles en France. Thèse de l'université de Bourgogne. <https://doi.org/10.1080/12538078.2010.10516198>.

Fried, G., Girod, C., Jacquot, M. & Dessaint, F. (2007) répartition de la flore adventice à l'échelle d'un paysage agricole : analyse de la diversité des pleins champs et des bordures. Conférence du COLUMA journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes (afpp), 2019 pp. 245- 254. afpp, Dijon. « Grasslands—more important for ecosystem services than you might think-Bengtsson- cosphere - Wiley Online Library ». <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ecs2.2582>.

Gabriel, D., Roschewitz, I., Tscharntke, T., & Thies, C. (2006). “Beta diversity at different spatial scales: Plant communities in organic and conventional agriculture.” *Ecological Applications: A Publication of the Ecological Society of America*, 16(5), 2011-2021. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2011:bdadss\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2011:bdadss]2.0.co;2)

Haaland, C., Naisbit, R. E., & Bersier, L.-F. (2011). “Sown wildflower strips for insect conservation: A review”. *Insect Conservation and Diversity*, 4(1), 60-80. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2010.00098.x>

Henry M., George S., Arnold G.M., Dedryver C.A., Kendall D.A., Robert Y., Smith B.D. (1993) “Occurrence of barley yellow dwarf virus (BYDV) isolates in different farmland habitats in western France and southwest England.” *Ann. Appl. Biol.* 123, 315-329

Habel, Jan Christian, Jürgen Dengler, Monika Janišová, Péter Török, Camilla Wellstein, et Michal Wiezik. (1 septembre 2013) « European Grassland Ecosystems: Threatened Hotspots of Biodiversity ». *Biodiversity and Conservation* 22, n° 10 : 2131-38. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0537-x>.

- Hajek, Ann E., et Jørgen Eilenberg, 2018. *Natural Enemies: An Introduction to Biological Control*. Cambridge University Press.
- Ion, Nicoleta, Jean-François Odoux, et Bernard E. Vaissière (1 décembre 2018). « Melliferous Potential of Weedy Herbaceous Plants in Crop Fields of Romania from 1949 to 2012 ». *Journal of Apicultural Science* 62, n° 2 : 149-65. <https://doi.org/10.2478/jas-2018-0017>.
- Jaureguiberry Pedro, Titeux Nicolas, Wiemers Martin, Bowler Diana E., Coscieme Luca, Golden Abigail S, Guerra Carlos A., Ute Jacob, Yasuo Takahashi, Josef Settele, Sandra Díaz, Zsolt Molnár, and Andy Purvis (11 novembre 2022) « The Direct Drivers of Recent Global Anthropogenic Biodiversity Loss ». *Science Advances* 8, n° 45: eabm9982. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9982>.
- Jeanneret, Ph., S. Aviron, A. Alignier, C. Lavigne, J. Helfenstein, F. Herzog, S. Kay, et S. Petit (1 août 2021). « Agroecology Landscapes ». *Landscape Ecology* 36, n° 8 : 2235-57. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01248-0>.
- Jourdheuil, Pierre, Pierre Grison, et Alain Fraval (Novembre 1991). « La lutte biologique : un aperçu historique ». *COURRIER DE LA CELLULE ENVIRONNEMENT INRA* 15, n° 15 : 37-60.
- Lehnher, B., and J. Hättenschwiler(1990). "Nectar and pollen plants." 160-pp.
- Loucks, Orie L. (1977) « Emergence of Research on Agro-Ecosystems ». *Annual Review of Ecology and Systematics* 8 : 173-92.
- Mallet, Pierre. « Rôle des infrastructures et des pratiques agroécologiques pour la conservation de la biodiversité dans les systèmes de grandes cultures en Camargue », 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7652924>.
- Mamarot J. et Rodriguez A. (2014) “Mauvaises herbes des cultures”, Edition n°4, ACTA.
- Marshall E.J.P., Moonen A.C. (2002) Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 89, 5-21. doi:10.1016/S0167-8809(01)00315-2
- Mei, Zulin, Gerard Arjen de Groot, David Kleijn, Wim Dimmers, Stijn van Gils, Dennis Lammertsma, Ruud van Kats, et Jeroen Scheper. (1 octobre 2021) « Flower availability drives effects of wildflower strips on ground-dwelling natural enemies and crop yield ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 319: 107570. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107570>.
- Mota, Lucie, Violeta Hevia, Carlos Rad, Joana Alves, António Silva, José A. González, Jorge Ortega-Marcos, et al. (2022) « Flower Strips and Remnant Semi-Natural Vegetation Have Different Impacts on Pollination and Productivity of Sunflower Crops ». *Journal of Applied Ecology* 59, n° 9 : 2386-97. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14241>.

- Pischeddu, F., Bellocchi, G., & Picon-Cochard, C. (2021). Mowing and warming effects on grassland species and harvested biomass : Meta-analyses. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(6), 74. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00722-y>
- Perrot, Thomas, Sabrina Gaba, Maryline Roncoroni, Jean-Luc Gautier, et Vincent Bretagnolle (1 novembre 2018). « Bees increase oilseed rape yield under real field conditions ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 266 : 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.020>.
- Perrot, Thomas, Adrien Rusch, Camille Coux, Sabrina Gaba, et Vincent Bretagnolle (14 avril 2021). « Proportion of Grassland at Landscape Scale Drives Natural Pest Control Services in Agricultural Landscapes ». *Frontiers in Ecology and Evolution* 9 : 607023. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.607023>.
- Pinheiro José C. et Bates Douglas M. (2000). " Mixed-Effects Models in S and S-PLUS"
- PlantNet. (2023). *PlantNet Identification*. <https://identify.plantnet.org>
- Pointereau P. & Bazile D. (1995). L'arbre des champs : haies, alignements et prés-vergers ou l'art du bocage. Editions Solagro
- Robinson, Robert, et William Sutherland (26 juin 2002). « Post-war Changes in Arable Farming and Biodiversity in Great Britain ». *Journal of Applied Ecology* 39 : 157-76. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00695.x>.
- Roger J.L., Jambon O., Bouger G. "Clé des Carabidés paysages agricoles du Nord-Ouest de la France"
- Schnee, Liesa, Laura M. E. Sutcliffe, Christoph Leuschner, et Tobias W. Donath. (avril 2023) « Weed Seed Banks in Intensive Farmland and the Influence of Tillage, Field Position, and Sown Flower Strips ». *Land* 12, n° 4: 926. <https://doi.org/10.3390/land12040926>.
- Smart, S. M., Bunce, R. G. H., Firbank, L. G. & Coward, P. (2002) Do field boundaries act as refugia for grassland plant species diversity in intensively managed agricultural landscapes in Britain? *Agriculture Ecosystems & Environment*, 91, 73-87.
- Sotherton N.W. (1985) The distribution and abundance of predatory coleoptera overwintering in field boundaries. *Ann. Appl. Biol.* 106, 17-21
- Stefaniak Nicolas (4 septembre 2018). "Formation SFP 2018 : Les modèles linéaires mixtes. (s. d.)". Consulté 13 août 2024, à l'adresse https://regnault.perso.math.cnrs.fr/R_tuto/Intro_modeles_lineaires_mixtes.html
- Stoate, Chris, András Báldi, Pedro Beja, Nigel Boatman, Irina Herzon, Anne Doorn, Geert R. Snoo, Laszlo Rakosy, et C Ramwell. (1 septembre 2009) « Ecological Impacts of Early 21st Century Agricultural Change in Europe—A Review ». *Journal of environmental management* 91 : 22-46. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.005>.

- Streeter, D., Hart-Davis, C., Hardcastle, A., Cole, F., & Harper, L. (2009). Guide Delachaux des fleurs de France et d'Europe. Delachaux et Niestlé.
- Swiderski C., Bouron A., Verneau B., Blondeau P. (2024). "Typologie des bords extérierus de champs" Teja Tscharntke, Alexandra M. Klien, Andreas Kruess, Ingolf Steffan-Dewenter and Carsten Thies. (2005) « Landscape Perspectives on Agricultural Intensification and Biodiversity – Ecosystem Service Management ». *Ecology Letters* 8 : 857-74.
- 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 & Environment*, 220, 97-103. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.001>
- Tschumi, M., Albrecht, M., Collatz, J., Dubsky, V., Entling, M. H., Najar-Rodriguez, A. J., & Jacot, K. (2016). Tailored flower strips promote natural enemy biodiversity and pest control in potato crops. *Journal of Applied Ecology*, 53(4), 1169-1176. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12653>
- Benton, T. G., Vickery, J. A., & Wilson, J. D. (2003). Farmland biodiversity : Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution*, 18(4), 182-188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9)
- Warren, Martin, Dirk Maes, Chris Swaay, Philippe Goffart, Hans Van Dyck, Nigel Bourn, Irma Wynhoff, Dan Hoare, et Sam Ellis. « The decline of butterflies in Europe (12 janvier 2021): Problems, significance, and possible solutions ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118 . <https://doi.org/10.1073/pnas.2002551117>.
- West, T. M., Marshall, E. J. P. & Arnold, G. M. (1997). "Can sown field boundary strips reduce the ingress of aggressive field margin weeds? Brighton crop protection conference: weeds." (B. c. p. council), pp. 985-990. Brighton crop protection council, Brighton, UK.
- Westphal, Catrin, Riccardo Bommarco, Gabriel Carré, Ellen Lamborn, Nicolas Morison, Theodora Petanidou, Simon G. Potts, et al. (2008) « Measuring Bee Diversity in Different European Habitats and Biogeographical Regions ». *Ecological Monographs* 78, n° 4 : 653-71. <https://doi.org/10.1890/07-1292.1>.

Annexes

Annexe 1 : Les itinéraires techniques de mise en place et d'entretien des 26 bandes fleuries

Bande	Type agriculture de l'exploitation	Date semis	Travail du en amont (Profond/superficiel)	Herbicides avant semis	Faux semis en amont	Ajout de semences	Entretien (broyage)	Période de broyage
1	Conventionnelle	31/03/2021	Superficiel	Non	Non	1	1	Automne
2	Conventionnelle	31/03/2021	Superficiel	Non	Non	1	1	Automne

3	Conventionnelle	31/03/2021	Superficiel	Non	Non	1	1	Automne
4	Conventionnelle	14/04/2021	Profond	Non	Non	0	0	Pas broyée
5	Conventionnelle	14/04/2021	Profond	Non	Non	0	0	Pas broyée
6	Conventionnelle	14/04/2021	Profond	Non	Non	0	0	Pas broyée
7	Conventionnelle	14/04/2021	Profond	Non	Non	0	0	Pas broyée
8	Conventionnelle	14/04/2021	Profond	Non	Non	0	0	Pas broyée
9	Conventionnelle	15/04/2021	Superficiel	Non	Non	0	0	Pas broyée
10	Conventionnelle	16/04/2021	Profond	Non	Non	1	1	Automne
11	Conventionnelle	16/04/2021	Profond	Non	Non	1	1	Automne
12	ACS	28/05/2021	Direct	Oui	Non	0	1	Automne
13	ACS	28/05/2021	Direct	Oui	Non	0	1	Automne
14	ACS	28/05/2021	Direct	Oui	Non	0	1	Automne
15	Biologique	01/06/2021	Superficiel	Non	Oui	0	0	Pas broyée
16	Biologique	01/06/2021	Superficiel	Non	Oui	0	0	Pas broyée
17	Biologique	01/06/2021	Superficiel	Non	Oui	0	0	Pas broyée
18	ACS	Mai-2021	Superficiel	Oui	Non	0	1	Automne
21	ACS	Mai-2021	Superficiel	Oui	Non	0	1	Automne
22	ACS	Mai-2021	Superficiel	Oui	Non	0	1	Automne
23	ACS	Mai-2021	Superficiel	Oui	Non	0	1	Automne
26	HVE3	15/06/2021	Superficiel	Non	Non	0	1	Automne
27	HVE3	15/06/2021	Superficiel	Non	Non	0	1	Automne
28	HVE3	15/06/2021	Superficiel	Non	Non	0	1	Automne
29	Conventionnelle	15/06/2021	NA	NA	Non	0	1	Hiver
30	Conventionnelle	15/06/2021	NA	NA	Non	0	1	Hiver