



Plantes et invertébrés des systèmes agroforestiers tempérés : influence des linéaires sous-arborés

Sébastien Boinot, D Mézière, J.-P Sarthou, P.-E Lauri, K. Barkaoui

► To cite this version:

Sébastien Boinot, D Mézière, J.-P Sarthou, P.-E Lauri, K. Barkaoui. Plantes et invertébrés des systèmes agroforestiers tempérés : influence des linéaires sous-arborés. 32 p., 2019. hal-02396254

HAL Id: hal-02396254

<https://hal.science/hal-02396254>

Submitted on 10 Dec 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PLANTES ET INVERTÉBRÉS DES SYSTÈMES AGROFORESTIERS TEMPÉRÉS

Influence des linéaires sous-arborés

Sébastien Boinot

Synthèse des travaux de thèse de doctorat

Encadrement : D. Mézière, J.-P. Sarthou,

P.-E. Lauri, K. Barkaoui

AVANT-PROPOS

Ce document a pour but de synthétiser les principaux résultats obtenus dans le cadre de ma thèse intitulée « Influence des linéaires sous-arborés sur les communautés de plantes et invertébrés des systèmes agroforestiers intra-parcellaires ». Ma thèse a été dirigée par Jean-Pierre Sarthou et Pierre-Éric Lauri et encadrée par Delphine Mézière et Karim Barkaoui. Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la participation des agriculteurs agroforestiers et l'aide d'Emilie Bourgade (Arbre et Paysage 32) et de David Condotta (Syndicat Mixte de Gestion Adour et Affluents), que nous tenons à remercier.

Mes travaux de thèse ont été financés par la Fondation de France, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (projet BAG'AGES : Bassin Adour-Garonne, quelles performances des pratiques AGroécologiquES ?) et l'INRA (projet SALSA : Les Systèmes Agroforestiers et leurs Linéaires Sous-Arborés).



Photo de couverture : © A. Lafon

INTRODUCTION

L'intensification agricole d'après-guerre a permis d'augmenter la productivité des systèmes, à travers la sélection génétique, l'utilisation de pesticides et de fertilisants minéraux, la mécanisation et la simplification des paysages agricoles. Cependant, de tels systèmes de production ne sont pas durables. L'utilisation de pesticides peut favoriser le développement de résistances (1, 2) et entraîne leur dispersion dans l'air, l'eau et le sol, menaçant ainsi la santé des écosystèmes dont font partie les humains (3, 4). De plus, la destruction des habitats semi-naturels tels que les forêts, haies, prairies, tourbières et bords de champs au profit des surfaces cultivées a engendré un déclin massif de la biodiversité (5). Les systèmes agroécologiques visent à réconcilier production agricole et conservation de la biodiversité, tirant profit des fonctions positives que cette dernière peut offrir, telles que la décomposition de la matière organique, la pollinisation et le contrôle biologique des ravageurs (Figure 1), tout en limitant ses impacts négatifs potentiels sur la production, via par exemple la compétition entre adventices et cultures ou les dommages causés par les ravageurs.

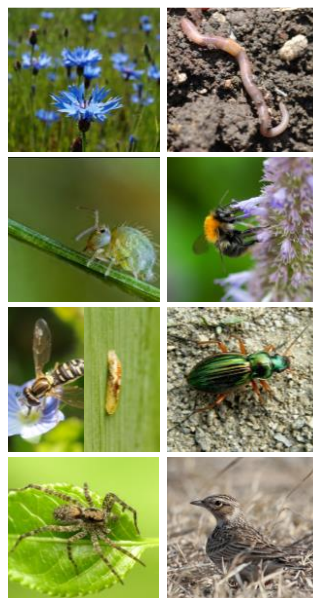


Figure 1. © de gauche à droite et de haut en bas : Anita, T. Stromberg, Sandra, F. De gier, T. Bresson, Nikk, M. Ahmed, K. Schulz, A. Maizlish

L'**agroforesterie intra-parcellaire**, qui consiste à associer arbres et grandes cultures dans une même parcelle, représente une grande opportunité pour la réintégration des habitats semi-naturels dans les champs. En l'absence de travail du sol et de semis sous les arbres, des bandes de végétation non cultivée se forment, que l'on appelle **linéaires sous-arborés (LSA)** (Figure 2).

Étant donné l'implantation des LSA à intervalles réguliers dans la parcelle, et la surface qu'ils occupent, il est probable que la dispersion des organismes et la quantité de refuges pour la biodiversité soient augmentées en agroforesterie intra-parcellaire, en comparaison de témoins agricoles. Cela pourrait résulter en une **augmentation des services et/ou dis-services écosystémiques en fonction de la nature des espèces favorisées** (adventices compétitives, ravageurs ou auxiliaires de culture). L'objectif de cette thèse est (i) de décrire la **réponse des communautés de plantes et invertébrés aux systèmes agroforestiers**, en interaction avec le mode de production (agriculture conventionnelle vs biologique) et (ii) d'évaluer les **effets positifs et négatifs des LSA** sur la **conservation de la biodiversité** et le **contrôle biologique des ravageurs et adventices**.

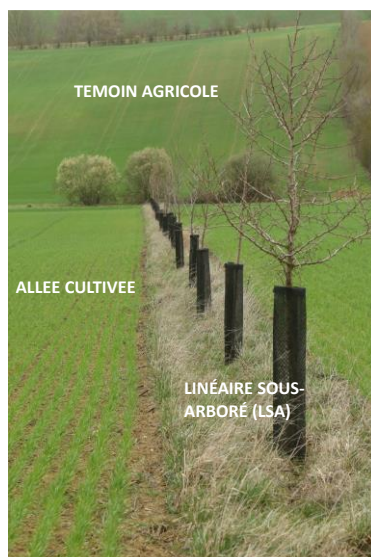


Figure 2. © J. Poulmarc'h

LES SYSTEMES AGROFORESTIERS INTRA-PARCELLAIRES : RESERVOIRS A ADVENTICES OU REFUGES POUR LA DIVERSITE VEGETALE ?¹

Les LSA sont souvent perçus comme des réservoirs à adventices, susceptibles de coloniser les allées cultivées et engendrer des pertes de rendement, mais aussi comme des refuges favorisant la conservation de la biodiversité. Pour déterminer si les LSA sont des réservoirs à adventices ou des refuges pour la diversité végétale, des relevés de flore ont été réalisés en mai 2017 dans les départements du Gers et des Pyrénées-Atlantiques, sur 16 parcelles de céréales d'hiver avec travail du sol sans labour, pour moitié en agriculture conventionnelle (quatre parcelles agroforestières et quatre témoins agricoles) et pour moitié en agriculture biologique (idem) (Figure 3).



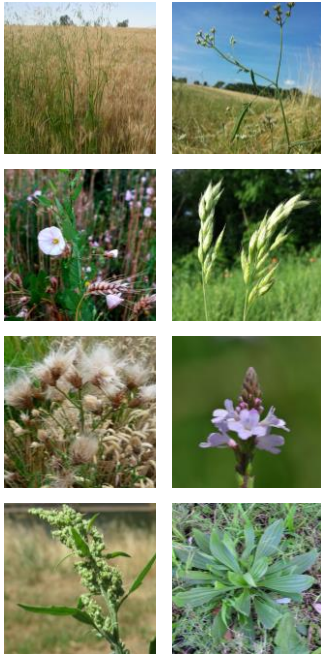
Figure 3. Couples de parcelles agroforestières (en vert) et témoins agricoles (en jaune).

© S. Boinot

Les espèces végétales ont été classées selon leur sensibilité aux perturbations agricoles, et considérées comme **agrotolérantes** (adaptées aux perturbations agricoles) ou à l'inverse **sensibles**

¹ Boinot, S., Fried, G., Storkey, J., Metcalfe, H., Barkaoui, K., Lauri, P.-É., Mézière, D., 2019a. Alley cropping agroforestry systems: Reservoirs for weeds or refugia for plant diversity? Agriculture, Ecosystems & Environment 284, 106584. 10.1016/j.agee.2019.106584

(6), sur la base de leur fréquence d'occurrence dans les champs cultivés issue d'une base de données nationale (Figure 4).



Les espèces sensibles sont celles qui présentent des fréquences d'occurrence dans les champs inférieures à 10%. De plus, les caractéristiques des plantes liées à leur tolérance aux perturbations agricoles et à leur stratégie de dispersion ont été récupérées dans des bases de données, afin d'évaluer par quels mécanismes les espèces sont capables de coloniser ou non les allées cultivées depuis les LSA.

Figure 4. Exemples de plantes agrotolérantes (à gauche) telles que la folle avoine, le liseron des champs, le chardon des champs et le chénopode blanc et sensibles (à droite) telles que le torilis des champs, le brome mou, la verveine officinale et le plantain lancéolé. © commons.wikimedia

L'étude révèle que **très peu d'espèces sont capables de disperser loin dans les allées cultivées**, excepté certaines espèces pérennes capables de reproduction végétative, dont la dispersion a sans doute été favorisée par le travail du sol. C'est le cas du liseron des champs (*Convolvulus arvensis*) et de la potentille rampante (*Potentilla reptans*). En effet, une fois coupés, les fragments végétatifs peuvent former de nouveaux plants. Par conséquent, la **compétition par les adventices** (estimée par le recouvrement relatif des adventices par rapport à celui de la culture) est **similaire entre systèmes agroforestiers et témoins agricoles** (Figure 5).

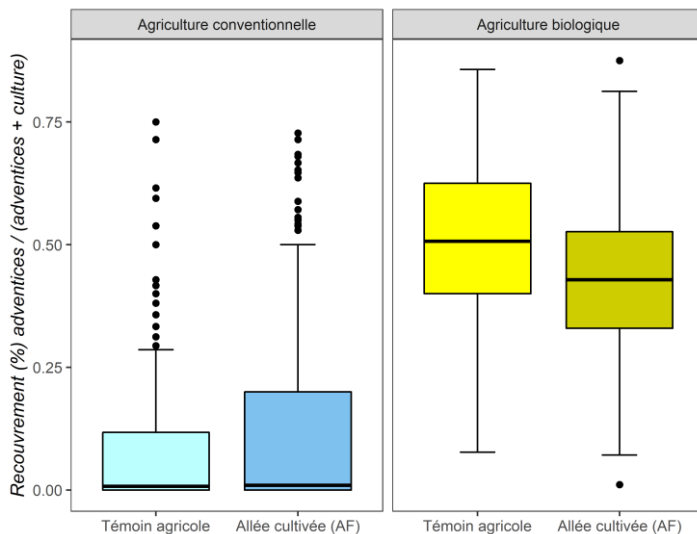


Figure 5. La compétition par les adventices (estimée par le recouvrement relatif des adventices par rapport à celui de la culture) est statistiquement similaire entre témoins agricoles et allées cultivées en agroforesterie, que ce soit en agriculture conventionnelle ou biologique.

En revanche, les LSA abritent **une flore riche et abondante**, avec de **fortes proportions en espèces sensibles**, en comparaison des allées cultivées et témoins agricoles (Figure 6). Les refuges offerts par les LSA sont particulièrement importants en agriculture conventionnelle, où les traitements herbicides limitent grandement le développement des plantes. Ces résultats montrent que **l'agroforesterie permet d'augmenter la diversité végétale au sein des parcelles** grâce à la présence des LSA, sans pour autant augmenter la compétition par les adventices dans les allées cultivées adjacentes.

Il est recommandé de maintenir une gestion contrastée entre les allées cultivées (*e.g.* travail du sol) et les LSA (*e.g.* absence de travail du sol) afin de favoriser des espèces végétales différentes dans chacun des habitats et éviter ainsi d'éventuels problèmes de colonisation par les adventices. En effet, peu d'espèces sont capables de tolérer à la fois les perturbations agricoles dans les allées et la compétition imposée par les communautés végétales déjà établies dans les LSA.

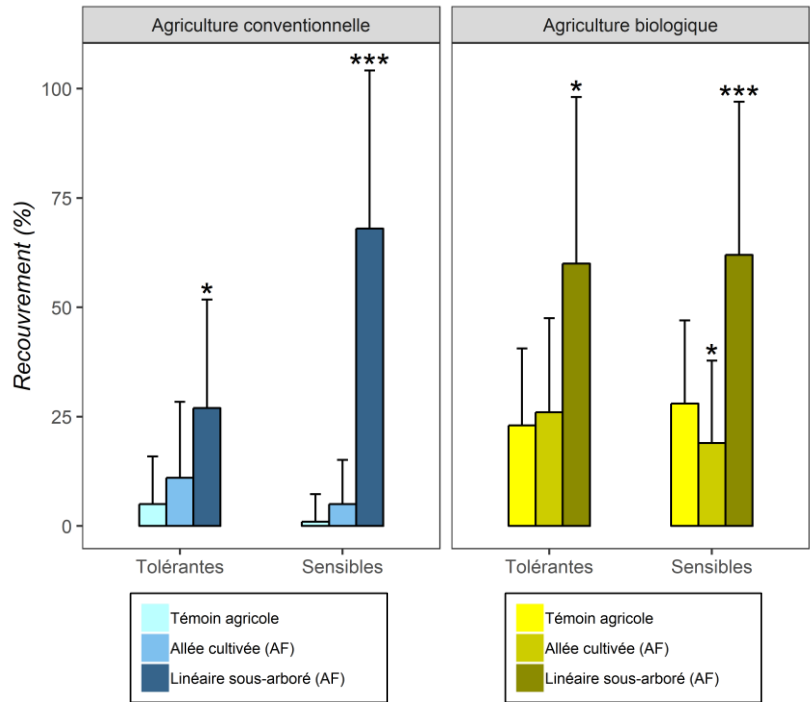


Figure 6. Les espèces agrotolérantes et sensibles sont plus abondantes dans les LSA que dans les témoins agricoles (significativité statistique indiquée par les étoiles), tandis que leur recouvrement est globalement similaire entre témoins agricoles et allées cultivées, que ce soit en agriculture conventionnelle ou biologique.

DISTRIBUTION DES INVERTEBRES HIVERNANTS DANS LES SYSTEMES AGROFORESTIERS : IMPLICATIONS POUR LA CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE ET LE CONTROLE BIOLOGIQUE¹

Le déclin massif des invertébrés à l'échelle mondiale est principalement causé par la destruction des habitats semi-naturels, l'intensification agricole et l'urbanisation. Les habitats semi-naturels sont particulièrement importants pour les invertébrés car ils leur servent de sites permanents d'alimentation, de reproduction, d'hivernation et de refuges lors des travaux agricoles. Par ailleurs, le succès de l'hivernation des invertébrés régit directement la dynamique des populations observées au printemps dans les parcelles, affectant donc la conservation de la biodiversité et le contrôle biologique des ravageurs et adventices. Or, les milieux cultivés, très souvent perturbés par le travail du sol et/ou par les traitements phytosanitaires, ne sont généralement pas propices à l'hivernation des invertébrés. Nous avons donc évalué si les LSA constituent des sites d'hivernation importants pour les invertébrés dans les systèmes agroforestiers intra-parcellaires, en comparaison des allées cultivées qui sont perturbées par le travail du sol.

Nous nous sommes concentrés sur les carabes, qui sont des prédateurs généralistes communs des milieux agricoles, mais en déclin à cause de l'intensification agricole. Ces coléoptères peuvent se nourrir de différents ravageurs tels que les pucerons ou les limaces par exemple, et peuvent aussi pour certaines

¹ Boinot, S., Poulmarc'h, J., Mézière, D., Lauri, P.-É., Sarthou, J.-P., 2019b. Distribution of overwintering invertebrates in temperate agroforestry systems: Implications for biodiversity conservation and biological control of crop pests. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 285, 106630. 10.1016/j.agee.2019.106630.

espèces consommer des graines d'adventices. Nous avons décrit les communautés de carabes par des caractéristiques liées à leur sensibilité aux perturbations agricoles mais aussi à leur fonction (*i.e.* régulation des adventices et ravageurs) (Figure 7).



Figure 7. A gauche : *Trechus quadristriatus*, un petit carabe carnivore hivernant à l'état larvaire et/ou adulte. A droite : *Harpalus dimidiatus*, un carabe de taille intermédiaire, majoritairement granivore et hivernant à l'état adulte. © N. Alric, R. Combes

Nous avons échantillonné les invertébrés hivernants à l'aide de tentes à émergence (Figure 8) de février à juin 2018 sur sept parcelles agroforestières (céréales d'hiver avec labour), au domaine de Restinclières dans le sud de la France.



Figure 8. Tentes à émergence permettant de comparer les invertébrés hivernants dans les allées cultivées vs LSA en agroforesterie. © S. Boinot

L'étude révèle que les LSA sont d'importants sites d'hivernation pour les invertébrés. En effet, 55% des groupes taxonomiques observés sont plus abondants dans les LSA que dans les allées cultivées, tandis que 14% sont plus abondants dans les allées cultivées, tandis que 14% sont plus abondants dans les allées (Figure 9).

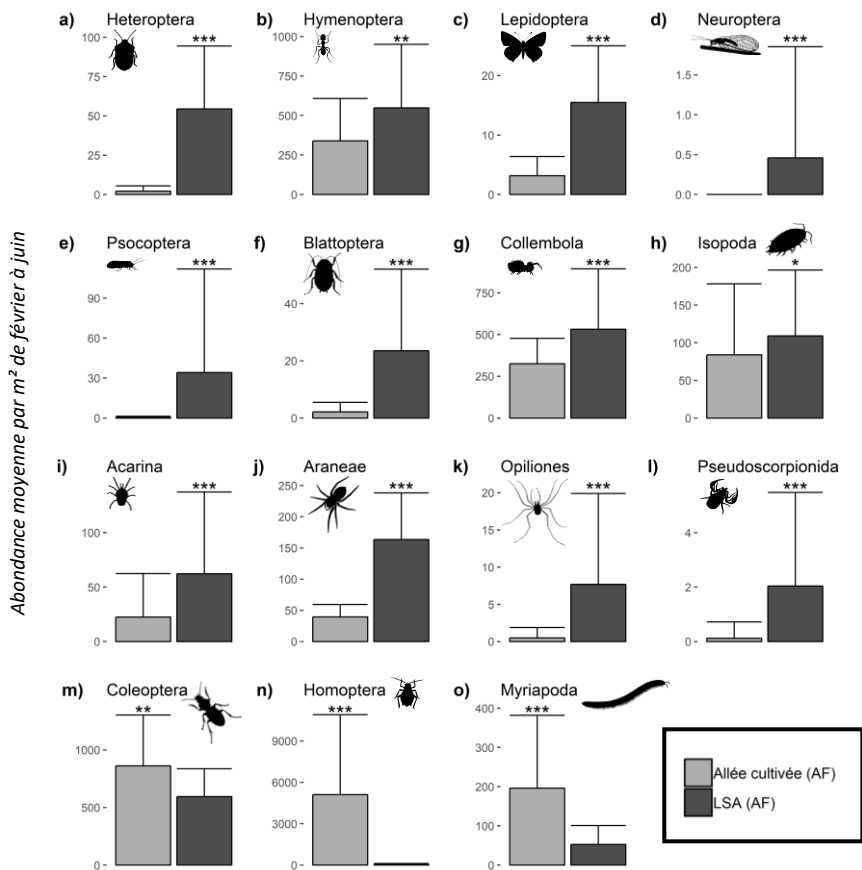


Figure 9. 55% des groupes taxonomiques observés hivernent majoritairement dans les LSA, tandis que 14% seulement sont plus abondants dans les allées cultivées (les groupes présentant des abondances similaires entre allées et LSA ne sont pas représentés).

Par ailleurs, les **ravageurs de culture** dominants (pucerons, limaces, taupins) **hivernent principalement dans les allées cultivées**, tandis que les **invertébrés fournissant des services** (décomposeurs de matière organique, régulateurs de ravageurs et d'adventices, pollinisateurs) **dépendent plus souvent de la présence des LSA pour passer l'hiver** (Figure 10).

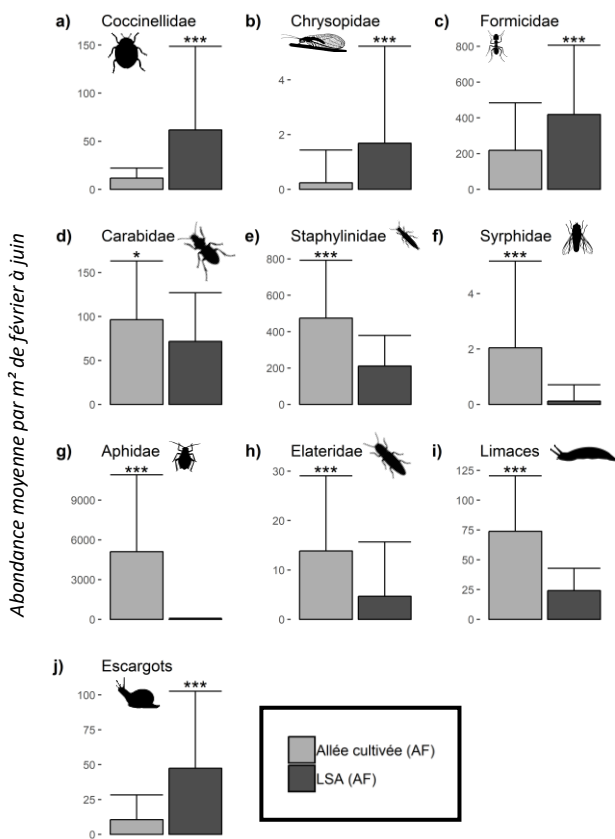


Figure 10. Les auxiliaires de culture dépendent plus ou moins des LSA pour passer l'hiver, selon les familles. Coccinelles, chrysopes et fourmis hivernent principalement dans les LSA tandis que les carabes, staphylinins et syrphes sont plus abondants dans les allées cultivées. Les principaux ravageurs de culture (pucerons, taupins et limaces) hivernent principalement dans les allées cultivées.

Enfin, les carabes sont plus abondants dans les allées cultivées (toutes espèces confondues) mais cela varie grandement d'une espèce à l'autre en fonction de leur sensibilité aux perturbations agricoles. Dans les allées cultivées se trouvent en majorité les carabes strictement carnivores, de petite taille et hivernant à l'état adulte et/ou larvaire, qui préfèrent les milieux perturbés. En revanche, les espèces sensibles (carabes principalement granivores, de grande taille et hivernant à l'état adulte uniquement) dépendent très fortement des LSA. En conclusion, **ces résultats suggèrent que l'agroforesterie permet, grâce à la présence des LSA, d'augmenter la conservation de la diversité en invertébrés sans pour autant favoriser l'hivernation des ravageurs dominants.** La dispersion des invertébrés bénéfiques serait ainsi facilitée en comparaison des témoins agricoles, grâce à la présence de sites d'hivernation favorables au sein même des parcelles.

DISPERSION DES PREDATEURS GENERALISTES DANS LES SYSTEMES AGROFORESTIERS : ROLE DETERMINANT DU MODE DE PRODUCTION¹

Afin de promouvoir la dispersion des ennemis naturels de ravageurs dans les champs, les systèmes agroécologiques reposent notamment sur la présence d'habitats semi-naturels autour voire à l'intérieur des parcelles. L'agriculture biologique permet aussi de favoriser la biodiversité, par la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires de synthèse mais aussi par la présence d'une flore adventice riche et abondante, offrant des micro-habitats et des ressources (pollen, nectar, graines, proies détritiques ou phytophages associés) aux invertébrés.

Nous avons évalué le potentiel de régulation des adventices et ravageurs par les communautés de prédateurs généralistes (carabes et araignées coureuses) dans les systèmes agroforestiers comparés aux témoins agricoles et selon le mode de production (agriculture conventionnelle vs biologique). Nous avons effectué des relevés de carabes et araignées à l'aide de pièges Barber (Figure 11) en mai et juin 2017 dans le département du Gers, sur 12 parcelles de céréales d'hiver avec un travail du sol sans labour (pour moitié en agriculture conventionnelle et pour moitié en agriculture biologique, avec trois couples de parcelles agroforestières et témoins agricoles dans chaque cas).



Figure 11. Piège barber permettant de capturer les prédateurs circulants au sol. © S. Boinot

¹ Boinot, S., Mézière, D., Poulmarc'h, J., Saintilan, A., Lauri, P.-É., Sarthou, J.-P. (under review). Ecological processes driving the spillover of ground-dwelling predators in alley cropping agroforestry fields: farming system matters.

L'étude révèle que l'effet de l'agroforesterie sur les communautés de prédateurs généralistes est modulé par le mode de production. **En agriculture conventionnelle, l'agroforesterie a un impact négatif sur les communautés de prédateurs** (Figure 12), qui peut s'expliquer par deux mécanismes. Premièrement, les LSA peuvent défavoriser ou gêner le déplacement des prédateurs dominants établis dans les champs, qui hivernent et chassent dans les milieux perturbés et ouverts (**effet « puits »** des LSA). C'est le cas des carabes strictement carnivores, en particulier ceux de petite taille (7, 8), dont l'activité-densité (*i.e.* l'abondance en individus circulants) est réduite de 50% en moyenne dans les allées cultivées, en comparaison des témoins agricoles. De plus, la dispersion des carabes granivores et araignées, qui hivernent dans les LSA, est limitée par la faible quantité et diversité de ressources dans les allées (**effet « rétention »** des LSA).

En agriculture biologique, l'agroforesterie favorise les communautés de prédateurs généralistes, en augmentant leur **activité-densité** et leur **complémentarité** (Figure 12), et donc potentiellement le contrôle biologique des adventices et ravageurs (**effet « source »** des LSA). En particulier, combiner agroforesterie et agriculture biologique favorise très largement les carabes majoritairement granivores et omnivores, qui consomment des graines adventices. Ces résultats suggèrent que l'efficacité des infrastructures agroécologiques pour favoriser les prédateurs généralistes dépend non seulement du contexte paysager, comme démontré par de précédentes études, mais aussi du mode de production, qui affecte la disponibilité en ressources et détermine l'intensité de dispersion des prédateurs entre habitats semi-naturels et cultivés. Ainsi, si les infrastructures agroécologiques sont

souvent perçues comme des sources d'ennemis naturels de ravageurs, leurs effets sur les communautés de prédateurs sont potentiellement mitigés par leurs effets de « puits » ou de « rétention », notamment en agriculture conventionnelle.

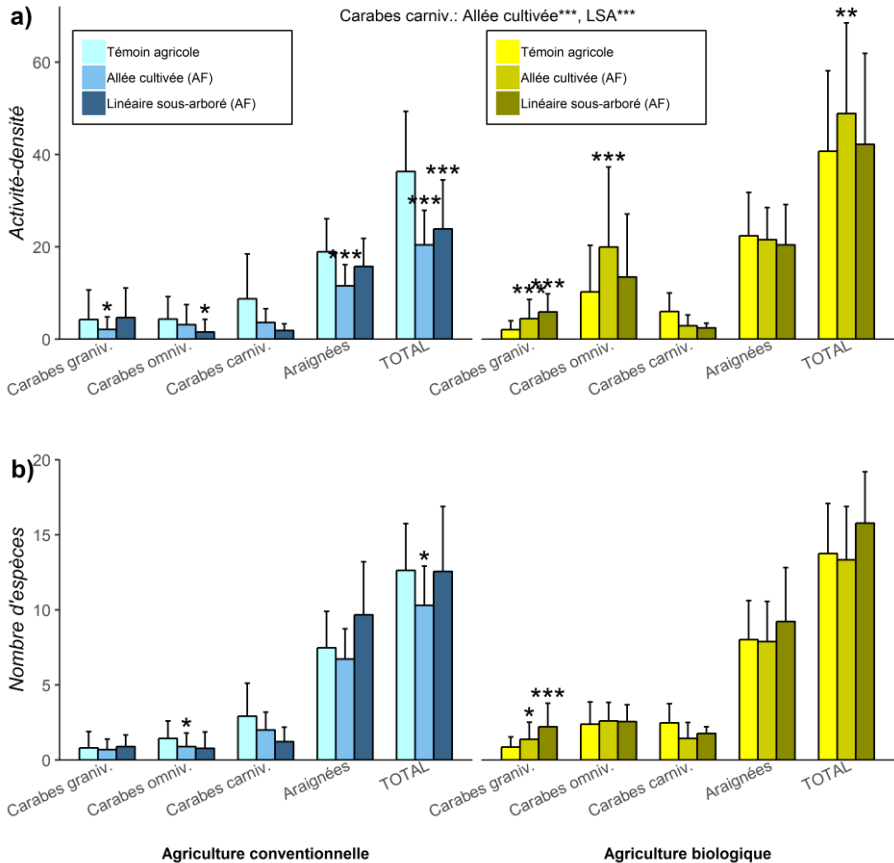


Figure 12. L'activité-densité des carabes carnivores est divisée par deux en agroforesterie (AF), quel que soit le mode de conduite. En agriculture conventionnelle, l'activité-densité des carabes granivores et des araignées coureuses est également réduite. En revanche, en agriculture biologique l'agroforesterie favorise nettement les prédateurs généralistes, en particulier les carabes majoritairement granivores et omnivores dont l'activité est doublée.
 graniv = granivores, omniv = omnivores, carniv = carnivores

DISCUSSION

Les résultats de cette thèse montrent que **les LSA sont des habitats précieux pour la conservation de la biodiversité** car ils abritent une forte diversité de plantes et d'invertébrés, ce qui devrait aussi favoriser des niveaux trophiques supérieurs tels que les oiseaux, mammifères, reptiles et amphibiens. Par ailleurs, **les LSA ne semblent guère constituer une source d'adventices ni favoriser l'hivernation des ravageurs dominants**. Il est encore difficile de tirer des conclusions concernant le contrôle biologique des ravageurs et adventices, bien que nos résultats suggèrent un effet positif des systèmes agroforestiers. En offrant des sites d'hivernation, les LSA peuvent favoriser la dispersion des carabes majoritairement granivores et des araignées coureuses dans les allées cultivées, ce qui devrait résulter en un contrôle biologique accru des adventices et ravageurs. Ceci est particulièrement vrai en agriculture biologique, tandis que des effets négatifs de « rétention » se produisent en agriculture conventionnelle. L'agroforesterie semble aussi impacter négativement les carabes strictement carnivores, en particulier ceux de petite taille qui hivernent et chassent dans les milieux ouverts et perturbés.

Cette thèse, dont les résultats ont été obtenus sur des céréales d'hiver avec travail du sol sans labour, a permis de combler un manque de connaissances sur la biodiversité en agroforesterie tempérée et de fournir des pistes de gestion des infrastructures agroécologiques, implantées pour favoriser la biodiversité et réduire l'utilisation de produits phytosanitaires.

Pistes de gestion des LSA pour les conseillers, techniciens et agriculteurs agroforestiers

En agroforesterie, trois leviers semblent prometteurs afin d'améliorer la fourniture de services écosystémiques¹ par les LSA : (i) **maintenir des arbustes entre les arbres de haut-jet**, (ii) **élargir les LSA**, et (iii) **faucher partiellement la végétation**.



Les arbres et arbustes n'ont pas été étudiés au cours de cette thèse, bien qu'ils permettent très certainement de favoriser la conservation de la biodiversité et le contrôle biologique des ravageurs. En effet, les ligneux offrent des micro-habitats aux invertébrés, servant à la reproduction, au repos, à l'estivation ou encore leur permettant d'échapper aux prédateurs (9). Les ligneux peuvent aussi représenter une source de nourriture

¹ tels que la pollinisation, le contrôle biologique des ravageurs, la protection des eaux et des sols et le stockage de carbone.

importante pour les pollinisateurs (pollen, nectar) mais aussi pour les prédateurs (proies invertébrées associées aux ligneux, pollen et nectar floral ou extra-floral) (10, 11). Les arbres et haies favorisent aussi les oiseaux et chauve-souris (12, 13), qui peuvent contribuer au contrôle biologique (14, 15). La combinaison de ligneux et de cultures devrait fournir une plus grande diversité de niches écologiques dans le temps et dans l'espace pour les invertébrés, permettant ainsi de réduire les probabilités de colonisation par les ravageurs. Enfin, les haies sont des éléments incontournables des paysages agricoles car elles favorisent la conservation de la biodiversité, la pollinisation, le contrôle biologique des ravageurs, le stockage de carbone, le cycle des nutriments ou encore la protection des sols et des eaux (16–20).

L'élargissement des LSA diminuerait directement la surface de production agricole mais pourrait en contrepartie offrir de nombreux services. Des études sur les bords de champs ont montré que des bandes de végétation plus



larges tendent à abriter plus d'espèces végétales (21), mais aussi à favoriser les espèces sensibles aux perturbations agricoles en comparaison des adventices communes des champs (22, 23), ce qui s'expliquerait par une meilleure qualité environnementale à l'intérieur des larges bandes de végétation. Ceci permettrait de diminuer le risque de colonisation des allées cultivées par des adventices provenant des LSA. Par ailleurs, la réduction de l'eutrophisation du sol dans les bandes larges

permettrait de réduire la dominance des graminées compétitives à croissance rapide (24), ce qui augmenterait l'abondance et la diversité des espèces mellifères et favoriserait de nombreuses espèces de pollinisateurs et d'ennemis naturels de ravageurs. L'augmentation de la proportion d'habitats peu perturbés au sein de la parcelle augmenterait la disponibilité en ressources et la présence de refuges pour les invertébrés bénéfiques. Une étude a montré que malgré la perte de surface de production (3 à 8% dans cette étude), maintenir des infrastructures agroécologiques augmente les services de pollinisation et de contrôle biologique des ravageurs dans les cultures adjacentes, résultant en une production agricole globale plus élevée qu'en l'absence de ces habitats (25).

De plus, les bandes de végétation plus larges interceptent efficacement les résidus de pesticides, l'azote, le phosphore et les sédiments, préservant ainsi la qualité des sols et des eaux (17, 26, 27). Elargir les LSA pourrait aussi augmenter le stockage de carbone (28) et l'albédo de surface (29, 30) dans les parcelles de grandes cultures, ce qui pourrait contribuer à l'atténuation du changement climatique, si les LSA étaient implantés à plus large échelle. Enfin, il semble plus approprié d'utiliser la surface à proximité des rangées d'arbres à d'autres fins que la production agricole, étant donné que les pertes de rendement et de qualité de la culture sont plus fortes à proximité des rangées d'arbres âgés, probablement à cause de l'ombrage (31–33). Il reste à déterminer quelles configurations spatiales (*i.e.* surface occupée par les allées cultivées vs LSA) offrent un bon équilibre entre production agricole et fourniture de services écosystémiques.

Enfin, dans les milieux riches en nutriments, faucher la végétation permet de réduire la dominance des espèces compétitives et de grande taille, augmentant ainsi la richesse en espèces et la provision de fleurs pour les invertébrés (34–38). Il est important de retirer la biomasse après fauche pour favoriser la croissance des espèces, car une trop grande quantité de litière au sol peut empêcher la germination des graines (34, 36, 37). De plus, une fauche répétée avec retrait de biomasse permet de réduire le stock de nutriments dans le sol, créant des conditions favorables aux espèces moins rudérales (38, 39) et favorisant la protection de la qualité des eaux (via le prélèvement des polluants par les plantes compétitives fauchées) (21). Beaucoup d'espèces dicotylédones sont capables de se régénérer rapidement après la fauche, prolongeant ainsi la provision de fleurs jusqu'au début de l'automne (36, 38, 40).



Cependant, une fauche trop fréquente peut empêcher le développement des plantes à croissance plus lente, tandis qu'une fauche trop précoce peut affecter les espèces à grenaison tardive (37). De plus, la fauche effectuée par les machines forme des habitats très homogènes, épuisant temporairement les ressources, affectant le microclimat et tuant de nombreuses espèces animales (41, 42). La fauche

tardive détruit les structures végétales servant de sites d'hivernation pour certains invertébrés et les sites de nidification pour les oiseaux des champs (36). Dans l'ensemble, faucher une à deux fois par an avec retrait de la biomasse semble constituer un régime de perturbations intermédiaire maintenant une forte richesse en plantes et invertébrés (36, 38, 41, 43). Cependant, il est recommandé de préserver des zones refuges non fauchées, sous la forme de patchs ou de bandes (38, 42, 44, 45). Ces zones refuges peuvent être déplacées d'année en année afin d'éviter le déclin de la richesse en espèces dû aux graminées compétitives, qui dominent rapidement dans des conditions riches en nutriments (38). Les opérations fréquentes avec une faucheuse montée sur tracteur peuvent avoir un impact négatif sur les organismes du sol (46), c'est pourquoi il est conseillé d'utiliser des outils manuels autant que possible. Enfin, quelle période de l'année, mais aussi de la journée, est la plus appropriée pour faucher reste à étudier. La fauche en début de matinée devrait probablement être évitée car beaucoup d'invertébrés sont inactifs et cachés dans la végétation à ce moment de la journée.

Pour conclure, ces trois leviers de gestion des LSA (maintenir des arbustes, élargir les LSA, faucher partiellement la végétation) pourraient être combinés sur une même parcelle afin de favoriser une diversité d'habitats, chacun abritant des cortèges d'espèces végétales et animales qui leur sont propres et offrant différents services écosystémiques (17, 19, 47, 48).

Questions de recherche émergentes

Durant cette thèse, nous avons répondu à une question importante pour les agriculteurs agroforestiers : les LSA sont-ils des réservoirs à adventices ? Nous avons démontré que peu d'espèces sont capables de bien se développer à la fois dans les LSA et dans les allées cultivées avec travail du sol. Ce résultat soulève une nouvelle question, moins intuitive et à l'exact opposé de notre premier point de vue : **les LSA sont-ils une barrière à la dispersion des adventices ?** Certains auteurs ont montré que les bandes enherbées semées peuvent en effet réduire la dispersion des adventices depuis les habitats semi-naturels vers les champs ou inversement (49, 50). Ceci s'explique par le fait que les adventices typiques des champs cultivés sont adaptées aux perturbations agricoles, et ne pourraient persister sans elles. Ces espèces adventices sont incapables de s'installer dans les bandes enherbées semées, qui sont dominées par des graminées compétitives. De même, il a été montré que les champs de plus grande taille (donc moins influencés par les habitats semi-naturels adjacents) abritent des communautés adventices plus abondantes (51). Il est donc probable que les habitats semi-naturels, dont font partie les LSA, affectent la dynamique des populations adventices en constituant des habitats « puits », dans lesquels les adventices des champs ne sont guère performantes.

Une autre question reste en suspens concernant le contrôle biologique des ravageurs : **l'agroforesterie augmente-t-elle la complémentarité de niches ou la prédation intragilde entre ennemis naturels de ravageurs ?** Dans le cas de complémentarité de niches entre ennemis naturels, le contrôle biologique des ravageurs est efficace car les espèces prédatrices diffèrent par la façon, l'endroit et le moment où elles attaquent

les ravageurs (52). En revanche, la prédation intraguilde diminue le contrôle biologique des ravageurs car une espèce prédatrice (prédateur intraguilde) peut s'attaquer à un autre prédateur (proie intraguilde), avec lequel elle est en compétition pour une ressource (ravageur de culture) (52). Des études ont confirmé l'hypothèse de complémentarité de niches, montrant qu'une diversité d'ennemis naturels aboutit à un contrôle biologique accru des ravageurs (53–55). En agroforesterie et en agriculture biologique, la complexité structurale de la végétation pourrait offrir des niches écologiques pour une diversité d'ennemis naturels et réduire ainsi les risques de rencontres entre eux (*i.e.* prédation intraguilde) (56, 57). Les plantes favorisent également des proies alternatives (*e.g.* phytophages et décomposeurs de matière organique) qui peuvent aider les ennemis naturels à survivre en période de faible disponibilité en ravageurs, mais qui pourraient aussi les détourner des ravageurs dominants. Par ailleurs, il a été montré que la présence d'arbres et de LSA en agroforesterie favorise les oiseaux et micromammifères (12, 58), dont l'effet sur le contrôle biologique des adventices et invertébrés ravageurs semble mixte. En effet, les oiseaux et micromammifères peuvent aider à la régulation des adventices en consommant des graines, et peuvent aussi bien s'attaquer aux ravageurs qu'à leurs ennemis naturels (14, 59–62). Il apparaît nécessaire de tenir compte de l'ensemble des réseaux trophiques afin de comprendre les processus écologiques réduisant ou augmentant le contrôle biologique des ravageurs en agroforesterie.

Références bibliographiques

1. P. H. Thrall *et al.*, Evolution in agriculture: the application of evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems. *Evolutionary applications*. **4**, 200–215 (2011), doi:10.1111/j.1752-4571.2010.00179.x.
2. J. Storkey, P. Neve, What good is weed diversity? *Weed Research*. **58**, 239–243 (2018), doi:10.1111/wre.12310.
3. F. Sun, Y. Dai, X. Yu, Air pollution, food production and food security: A review from the perspective of food system. *Journal of Integrative Agriculture*. **16**, 2945–2962 (2017), doi:10.1016/S2095-3119(17)61814-8.
4. S. Foster, E. Custodio, Groundwater resources and intensive agriculture in Europe – Can regulatory agencies cope with the threat to sustainability? *Water Resources Management*. **33**, 2139–2151 (2019), doi:10.1007/s11269-019-02235-6.
5. C. Stoate *et al.*, Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of Environmental Management*. **63**, 337–365 (2001), doi:10.1006/jema.2001.0473.
6. T. Aavik *et al.*, What is the role of local landscape structure in the vegetation composition of field boundaries? *Applied Vegetation Science*. **11**, 375–386 (2008), doi:10.3170/2008-7-18486.
7. D. Baulechner, T. Diekötter, V. Wolters, F. Jauker, Converting arable land into flowering fields changes functional and phylogenetic community structure in ground beetles. *Biological Conservation*. **231**, 51–58 (2019), doi:10.1016/j.biocon.2019.01.005.
8. S. Boinot, J. Poulmarc’h, D. Mézière, P.-É. Lauri, J.-P. Sarthou, Distribution of overwintering invertebrates in temperate agroforestry systems: Implications for biodiversity conservation and biological control of crop pests. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **285**, 106630 (2019), doi:10.1016/j.agee.2019.106630.
9. W. T. Stamps, M. J. Linit, Plant diversity and arthropod communities: Implications for temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*. **39**, 73–89 (1998).
10. C. Bertrand *et al.*, Seasonal shifts and complementary use of pollen sources by two bees, a lacewing and a ladybeetle species in European agricultural landscapes. *J Appl Ecol*. **67**, 1 (2019), doi:10.1111/1365-2664.13483.

11. P. Donkersley, Trees for bees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **270-271**, 79–83 (2019), doi:10.1016/j.agee.2018.10.024.
12. S. Gibbs *et al.*, Avian diversity in a temperate tree-based intercropping system from inception to now. *Agroforestry Systems*. **90**, 905–916 (2016), doi:10.1007/s10457-016-9901-7.
13. J. S. P. Froidevaux, K. L. Boughey, C. L. Hawkins, M. Broyles, G. Jones, Managing hedgerows for nocturnal wildlife: Do bats and their insect prey benefit from targeted agri-environment schemes? *Journal of Applied Ecology*. **241**, 54 (2019), doi:10.1111/1365-2664.13412.
14. S. M. Kross, T. R. Kelsey, C. J. McColl, J. M. Townsend, Field-scale habitat complexity enhances avian conservation and avian-mediated pest-control services in an intensive agricultural crop. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **225**, 140–149 (2016), doi:10.1016/j.agee.2016.03.043.
15. D. Russo, L. Bosso, L. Ancillotto, Novel perspectives on bat insectivory highlight the value of this ecosystem service in farmland: Research frontiers and management implications. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **266**, 31–38 (2018), doi:10.1016/j.agee.2018.07.024.
16. M. Dainese, S. Montecchiari, T. Sitzia, M. Sigura, L. Marini, High cover of hedgerows in the landscape supports multiple ecosystem services in Mediterranean cereal fields. *Journal of Applied Ecology*. **54**, 380–388 (2017), doi:10.1111/1365-2664.12747.
17. L. van Vooren *et al.*, Ecosystem service delivery of agri-environment measures: A synthesis for hedgerows and grass strips on arable land. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **244**, 32–51 (2017), doi:10.1016/j.agee.2017.04.015.
18. S. van den Berge *et al.*, Species diversity, pollinator resource value and edibility potential of woody networks in the countryside in northern Belgium. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **259**, 119–126 (2018), doi:10.1016/j.agee.2018.03.008.
19. L. van Vooren *et al.*, Monitoring the impact of hedgerows and grass strips on the performance of multiple ecosystem service indicators. *Environmental Management*. **62**, 241–259 (2018), doi:10.1007/s00267-018-1043-4.
20. J. Holden *et al.*, The role of hedgerows in soil functioning within agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **273**, 1–12 (2019).
21. S. Tarmi, J. Helenius, T. Hyvönen, Importance of edaphic, spatial and management factors for plant communities of field boundaries.

- Agriculture, Ecosystems & Environment*. **131**, 201–206 (2009), doi:10.1016/j.agee.2009.01.016.
22. T. Aavik, J. Liira, Quantifying the effect of organic farming, field boundary type and landscape structure on the vegetation of field boundaries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **135**, 178–186 (2010), doi:10.1016/j.agee.2009.09.005.
 23. G. Fried, A. Villers, E. Porcher, Assessing non-intended effects of farming practices on field margin vegetation with a functional approach. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **261**, 33–44 (2018), doi:10.1016/j.agee.2018.03.021.
 24. T. I. David, J. Storkey, C. J. Stevens, Understanding how changing soil nitrogen affects plant–pollinator interactions. *Arthropod-Plant Interactions*. **75**, 97 (2019), doi:10.1007/s11829-019-09714-y.
 25. R. F. Pywell *et al.*, Wildlife-friendly farming increases crop yield: evidence for ecological intensification. *Proceedings. Biological sciences*. **282**, 20151740 (2015), doi:10.1098/rspb.2015.1740.
 26. L. Patty, B. Réal, J.-J. Gril, The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate and soluble phosphorus compounds from runoff water. *Pesticide Science*. **49**, 243–251 (1997).
 27. T. J. Schmitt, M. G. Dosskey, K. D. Hoagland, Filter strip performance and processes for different vegetation, widths, and contaminants. *Journal of Environmental Quality*. **28**, 1479–1489 (1999).
 28. R. Cardinael *et al.*, Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon — A case study in a Mediterranean context. *Geoderma*. **259-260**, 288–299 (2015), doi:10.1016/j.geoderma.2015.06.015.
 29. E. L. Davin, S. I. Seneviratne, P. Ciais, A. Olioso, T. Wang, Preferential cooling of hot extremes from cropland albedo management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. **111**, 9757–9761 (2014), doi:10.1073/pnas.1317323111.
 30. D. Carrer, G. Pique, M. Ferlicoq, X. Ceamanos, E. Ceschia, What is the potential of cropland albedo management in the fight against global warming? A case study based on the use of cover crops. *Environmental Research Letters*. **13**, 44030 (2018), doi:10.1088/1748-9326/aab650.
 31. P. Pardon *et al.*, Effects of temperate agroforestry on yield and quality of different arable intercrops. *Agricultural Systems*. **166**, 135–151 (2018), doi:10.1016/j.agsy.2018.08.008.
 32. P. Pardon *et al.*, *Juglans regia* (walnut) in temperate arable agroforestry systems: effects on soil characteristics, arthropod diversity and crop

- yield. *Renewable Agriculture and Food Systems*. **3**, 1–17 (2019), doi:10.1017/S1742170519000176.
33. L. Raatz *et al.*, How much do we really lose?-Yield losses in the proximity of natural landscape elements in agricultural landscapes. *Ecology and Evolution*. **16**, 443 (2019), doi:10.1002/ece3.5370.
 34. S. Tarmi, J. Helenius, T. Hyvönen, The potential of cutting regimes to control problem weeds and enhance species diversity in an arable field margin buffer strip. *Weed Research*. **51**, 641–649 (2011), doi:10.1111/j.1365-3180.2011.00888.x.
 35. S. Jakobsson, C. Bernes, J. M. Bullock, K. Verheyen, R. Lindborg, How does roadside vegetation management affect the diversity of vascular plants and invertebrates? A systematic review. *Environmental Evidence*. **7**, 289 (2018), doi:10.1186/s13750-018-0129-z.
 36. A. Kirmer, K. Rydgren, S. Tischew, Smart management is key for successful diversification of field margins in highly productive farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **251**, 88–98 (2018), doi:10.1016/j.agee.2017.09.028.
 37. M. Tälle *et al.*, Similar effects of different mowing frequencies on the conservation value of semi-natural grasslands in Europe. *Biodiversity and Conservation*. **27**, 2451–2475 (2018), doi:10.1007/s10531-018-1562-6.
 38. J. Piqueray *et al.*, Management of grassland-like wildflower strips sown on nutrient-rich arable soils: The role of grass density and mowing regime. *Environmental Management* (2019), doi:10.1007/s00267-019-01153-y.
 39. B. de Cauwer, D. Reheul, I. Nijs, A. Milbau, Management of newly established field margins on nutrient-rich soil to reduce weed spread and seed rain into adjacent crops. *Weed Research*. **48**, 102–112 (2008), doi:10.1111/j.1365-3180.2007.00607.x.
 40. J.-Y. Humbert, J. Pellet, R. Arlettaz, Does delaying the first mowing date benefit biodiversity in meadowland? *Environmental Evidence*. **1**, 1–13 (2012).
 41. J. Noordijk *et al.*, Effects of vegetation management by mowing on ground-dwelling arthropods. *Ecological Engineering*. **36**, 740–750 (2010), doi:10.1016/j.ecoleng.2010.01.003.
 42. O. Cizek, J. Zamecnik, R. Tropek, P. Kocarek, M. Konvicka, Diversification of mowing regime increases arthropods diversity in species-poor cultural hay meadows. *Journal of Insect Conservation*. **16**, 215–226 (2012), doi:10.1007/s10841-011-9407-6.

43. K. Uchida, A. Ushimaru, Biodiversity declines due to abandonment and intensification of agricultural lands: patterns and mechanisms. *Ecological Monographs*. **84**, 637–658 (2014).
44. M. H. Schmidt, S. Rocker, J. Hanafi, A. Gigon, Rotational fallows as overwintering habitat for grassland arthropods: the case of spiders in fen meadows. *Biodiversity and Conservation*. **17**, 3003–3012 (2008), doi:10.1007/s10531-008-9412-6.
45. G. Bonari *et al.*, Management of semi-natural grasslands benefiting both plant and insect diversity: The importance of heterogeneity and tradition. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **246**, 243–252 (2017), doi:10.1016/j.agee.2017.06.010.
46. J.-Y. Humbert, J. Ghazoul, G. J. Sauter, T. Walter, Impact of different meadow mowing techniques on field invertebrates. *Journal of Applied Entomology*. **42**, 337 (2010), doi:10.1111/j.1439-0418.2009.01503.x.
47. J. Schirmel, J. Thiele, M. H. Entling, S. Buchholz, Trait composition and functional diversity of spiders and carabids in linear landscape elements. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **235**, 318–328 (2016), doi:10.1016/j.agee.2016.10.028.
48. J. M. Holland *et al.*, Utilisation of agri-environment scheme habitats to enhance invertebrate ecosystem service providers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **183**, 103–109 (2014), doi:10.1016/j.agee.2013.10.025.
49. S. Cordeau, S. Petit, X. Reboud, B. Chauvel, The impact of sown grass strips on the spatial distribution of weed species in adjacent boundaries and arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **155**, 35–40 (2012), doi:10.1016/j.agee.2012.03.022.
50. E. J. P. Marshall, The impact of landscape structure and sown grass margin strips on weed assemblages in arable crops and their boundaries. *Weed Research*. **49**, 107–115 (2009).
51. A. Alignier, S. Petit, D. A. Bohan, Relative effects of local management and landscape heterogeneity on weed richness, density, biomass and seed rain at the country-wide level, Great Britain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **246**, 12–20 (2017), doi:10.1016/j.agee.2017.05.025.
52. C. S. Straub, D. L. Finke, W. E. Snyder, Are the conservation of natural enemy biodiversity and biological control compatible goals? *Biological Control*. **45**, 225–237 (2008), doi:10.1016/j.biocontrol.2007.05.013.
53. J. M. Holland *et al.*, Agri-environment scheme enhancing ecosystem services: A demonstration of improved biological control in cereal

- crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **155**, 147–152 (2012), doi:10.1016/j.agee.2012.04.014.
54. B. A. Woodcock *et al.*, Spill-over of pest control and pollination services into arable crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **231**, 15–23 (2016), doi:10.1016/j.agee.2016.06.023.
 55. A. Greenop, B. A. Woodcock, A. Wilby, S. M. Cook, R. F. Pywell, Functional diversity positively affects prey suppression by invertebrate predators: a meta-analysis. *Ecology*. **99**, 1771–1782 (2018).
 56. D. L. Finke, R. F. Denno, Intraguild predation diminished in complex-structured vegetation: implications for prey suppression. *Ecology*. **83**, 643–652 (2002).
 57. A. Janssen, M. W. Sabelis, S. Magalhães, M. Montserrat, T. van der Hammen, Habitat structure affects intraguild predation. *Ecology*. **88**, 2713–2719 (2007).
 58. K. Klaa, P. J. Mill, L. D. Incoll, Distribution of small mammals in a silvoarable agroforestry system in Northern England. *Agroforestry Systems*. **63**, 101–110 (2005).
 59. I. Grass, K. Lehmann, C. Thies, T. Tschardt, Insectivorous birds disrupt biological control of cereal aphids. *Ecology*. **98**, 1583–1590 (2017), doi:10.1002/ecy.1814.
 60. C. Fischer, M. Türke, Seed preferences by rodents in the agri-environment and implications for biological weed control. *Ecology and Evolution*. **6**, 5796–5807 (2016), doi:10.1002/ece3.2329.
 61. P. R. Brown, N. I. Huth, P. B. Banks, G. R. Singleton, Relationship between abundance of rodents and damage to agricultural crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. **120**, 405–415 (2007), doi:10.1016/j.agee.2006.10.016.
 62. M. Tschumi, J. Ekroos, C. Hjort, H. G. Smith, K. Birkhofer, Rodents, not birds, dominate predation-related ecosystem services and disservices in vertebrate communities of agricultural landscapes. *Oecologia*. **188**, 863–873 (2018), doi:10.1007/s00442-018-4242-z.

Résumé

Le système de production agricole actuel est la principale cause d'extinction globale de la biodiversité. L'agroforesterie intra-parcellaire, qui consiste à associer arbres et grandes cultures sur une même parcelle, représente une grande opportunité pour la réintégration des habitats semi-naturels dans les champs. Les rangées d'arbres sont associées à des bandes de végétation non cultivées, que l'on appelle linéaires sous-arborés (LSA). Etant donné la configuration spatiale et la surface occupée par les LSA, il est probable que la dispersion des organismes et la quantité de refuges pour la biodiversité soient augmentées en agroforesterie intra-parcellaire, en comparaison de témoins agricoles. Cela pourrait résulter en une augmentation des services et/ou dis-services écosystémiques en fonction de la nature des espèces favorisées (adventices compétitives, ravageurs ou auxiliaires de culture). L'objectif de cette thèse était de décrire la réponse des communautés de plantes et invertébrés aux systèmes agroforestiers et au mode de production (agriculture conventionnelle vs biologique) et d'évaluer les effets positifs et négatifs des LSA sur la conservation de la biodiversité et le contrôle biologique des ravageurs et adventices. Les communautés de plantes et invertébrés des systèmes agroforestiers et des témoins agricoles ont été échantillonnées sur un réseau de parcelles, tandis qu'un site expérimental servit à l'étude de l'hivernation des invertébrés en agroforesterie. Nous avons décrit la structure taxonomique et fonctionnelle des communautés pour comprendre leurs réponses aux systèmes agroforestiers et, pour les invertébrés, leurs potentiels effets sur le contrôle biologique des ravageurs. Nos études ont confirmé que les LSA sont des habitats favorables au maintien de la biodiversité dans les champs. Les LSA ne semblent guère constituer une source d'adventices ni favoriser l'hivernation des ravageurs dominants, mais affectent grandement la dispersion des prédateurs généralistes, de façon positive ou négative selon le mode de production. Les résultats obtenus au cours de cette thèse comblent un manque de connaissances sur la biodiversité des systèmes agroforestiers tempérés et fournissent des pistes de gestion des infrastructures agroécologiques, qui sont implantées afin de favoriser la biodiversité fonctionnelle et réduire l'utilisation de produits phytosanitaires.

Comment citer cet ouvrage :

Boinot S. (2019). Plantes et invertébrés des systèmes agroforestiers tempérés : influence des linéaires sous-arborés. 32 p. France.