

***HIGHLIGHTING THE ROLE OF DIVERSITY IN DRIVING WEED COMMUNITY  
DYNAMICS AND WEED : CROP INTERACTIONS***

Thèse de Guillaume **ADEUX**<sup>1</sup>

Analysée par Jacques **GASQUEZ**<sup>2</sup>

Directeur de thèse : Paolo **BARBIERI**, Professeur Sant' Anna School of Advanced Studies, Pise Italie

Codirecteur de thèse : Stéphane **CORDEAU**, INRAE, UMR AgroEcologie, Dijon.

Actuellement, l'agriculture, qui doit plus que jamais, nourrir toute la population dans les meilleures conditions, est soumise à des contraintes croissantes, voire contradictoires. Dans nos pays aux agricultures très évoluées, pour réussir cet objectif sur des surfaces en réduction, il s'agit désormais de réduire les engrais et drastiquement, voire totalement, l'usage des produits de protection des plantes, de fixer le plus possible de carbone dans le sol, de réduire au maximum les émissions de gaz à effet de serre et les particules fines, tout en cherchant à préserver la biodiversité. Dans ce contexte particulièrement, la gestion des adventices est face à un dilemme : comment la réaliser correctement sans herbicides ni perturber le sol par des façons culturales importantes, génératrices de ces pollutions ? Les recherches actuelles se dirigent vers le développement de successions de cultures et de plantes de couverture adaptées, plus pour gérer les adventices que pour assurer les rendements nécessaires. Dans les cas extrêmes, aussi bien pour réduire les apports d'azote que pour limiter les adventices les plus dangereuses, plusieurs années de légumineuses fourragères doivent s'intercaler entre les céréales. Aussi les résultats, et des conclusions étayées, peuvent être très longs à produire.

La thèse de Guillaume Adeux se situe dans cette optique et porte sur l'analyse de données issues de deux expérimentations de longue durée, l'une en France près de Dijon étudiant l'effet de la réduction des herbicides sur la gestion des adventices dans des systèmes de culture différenciés qui a duré 17 ans. L'autre se situe en Toscane, dans la basse vallée de l'Arno, où sont testées les interactions entre les plantes de couverture, la fertilisation azotée et les pratiques culturales et qui dure toujours depuis plus de 25 ans. De ce fait, cette thèse, qui a été soutenue en Italie dans le cadre d'une collaboration entre l'INRAE de Dijon et la Scuola Superiore Sant'Anna de Pise, a été rédigée en anglais.

L'hypothèse principale repose sur l'idée que l'on pourrait identifier des systèmes de culture céréaliers qui favorisent une diversité des espèces adventices, maintiennent la productivité et

---

<sup>1</sup> Thèse de doctorat de l'Université de Sant'Anna School of advanced studies, Pisa, Italy, Institute of Life Sciences – Group of agro-ecology French National Research Institute for Agriculture, food and environment (INRAE), Dijon, France Joint Research Unit (UMR) 1347 for Agroecology – Sustainable Weed Management Department (GestAd), soutenue le 24 avril 2020.

<sup>2</sup> Directeur de recherches honoraire de l'INRAE, membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France (section 1 Productions végétales).

minimisent les apports d'herbicides et d'engrais azotés. Ce programme se décline en trois points différents :

Le premier pose la question : comment la diversification d'un système de culture peut affecter l'abondance de la communauté adventice à partir de l'hypothèse de départ qui pose que la diversification des cultures et des plantes de couverture pourrait maintenir la productivité tout en réduisant l'usage des herbicides, grâce à une limitation efficace de l'abondance des adventices à l'échelle de la rotation ? Cette question se décline en deux approches. 1) Est-ce que la diversification du système de culture permet une gestion à long terme tout en réduisant les herbicides, selon l'hypothèse que la diversification des pressions de sélection induite pourrait limiter l'abondance des adventices sans utiliser des herbicides ; 2) Est-ce que l'introduction de plantes de couverture peut contribuer à une gestion à long terme selon l'hypothèse que les effets de la compétition de ces plantes pourrait supprimer toute biomasse adventice durant l'interculture, ce qui serait susceptible de réduire l'abondance des adventices dans les cultures suivantes.

Le deuxième point pose la question : comment la diversification du système de culture peut affecter la structure de la communauté adventice, selon l'hypothèse que chaque conduite différente est supposée agir comme une série de filtres pour modifier la structure de la communauté adventice ? Cette question est abordée selon deux approches : 1) La diversification du système de culture peut-elle augmenter la diversité adventice à différentes échelles selon l'hypothèse que la diversification pourrait augmenter la diversité adventice annuelle et pluriannuelle suite à une réduction des herbicides et à une rotation des cultures plus diversifiée ; 2) Les plantes de couverture peuvent-elles déplacer les communautés adventices vers des espèces moins problématiques, selon l'hypothèse que la concurrence exercée par différentes plantes de couverture pendant l'interculture pourrait modifier la structure de la communauté pendant et après l'interculture.

Le troisième point pose la question : comment la diversification du système de culture peut affecter la productivité selon l'hypothèse qui pose que des modifications dans l'abondance et la structure des communautés et de la disponibilité en ressources seraient susceptibles d'entraîner des modifications des relations de concurrence entre les cultures et les adventices ? Ce point est abordé par la question : est-ce que la diversification du système de culture peut réduire la relation négative entre la biomasse des adventices et des cultures. L'hypothèse suppose que des plantes de couverture pourraient augmenter les ressources disponibles et donc limiter la concurrence pour l'azote. La diversification du système de culture pourrait augmenter la diversité des adventices et induire une utilisation complémentaire des ressources dans le temps et l'espace, réduisant de ce fait, la probabilité de compétition extrême entre les cultures et des adventices trop proches.

Ces différents points sont abordés dans quatre chapitres, chacun construit à partir d'un article.

Chapitre 1 : *Est ce que les plantes de couverture contribuent à la gestion à long terme des adventices et à la productivité des cultures ?*

Cover crops promote crop productivity but do not enhance weed management in tillage-based cropping systems - *European Journal of Agronomy*

Les données de biomasse des adventices, des plantes de couverture et des cultures obtenues à la dix-huitième année de l'expérimentation à Pise montrent la complexité des effets de trois plantes de couverture (*Brassica juncea*, *Vicia villosa* et *Trifolium squarrosum*). Le *Brassica* est le plus efficace pour réduire les adventices pendant l'interculture. La vesce précédant un maïs permet de réduire les apports d'azote. Pour accroître l'effet des plantes de

couverture, il faudrait réduire le travail du sol et les herbicides, qui sont clairement plus efficaces pour cet objectif. Cependant, ces plantes présentent peu d'effet sur les adventices dans la culture suivante. Il apparaît que la mesure de la biomasse des adventices n'est pas le meilleur indicateur et que les recherches à venir devraient porter sur une plus grande diversité d'espèces pour avoir un effet suffisant sur les adventices. De plus on n'a pas assez d'informations sur la production de semences des adventices dans l'interculture.

Chapitre 2 : *Est-ce que la diversification du système de culture permet une réduction des herbicides et une gestion à long terme des adventices ?*

Diversified grain-based cropping systems provide long term weed control while limiting herbicide use and yield losses - *Agronomy for Sustainable Development*

Dans l'expérimentation dijonnaise, après 17 ans, la diversification des systèmes de culture en termes de choix des cultures (de nouvelles cultures ont dû être introduites), pratiques culturales, niveaux de fertilisation azotée et outils de désherbage a montré que les apports d'herbicides peuvent être très fortement réduits tout en assurant une gestion à long terme des adventices et en limitant les pertes de rendement. Il apparaît dans cette expérimentation que, pour profiter au mieux des retombées de cette diversification, il serait nécessaire que des cultures qui doivent être introduites soient économiquement favorisées en termes de marché.

Chapitre 3 : *Comment la diversification des systèmes de culture influence les communautés adventices ?*

Weed community response to contrasted pathways of cropping system diversification (article non encore publié)

Dans l'expérimentation dijonnaise de 17 ans, par comparaison avec la rotation triennale modèle de la région au désherbage herbicide adapté, ont été introduits cinq systèmes différents de désherbage avec des modulations d'herbicides depuis le semis direct jusqu'au désherbage mécanique associées à des successions culturales variables de six ans, adaptées aux adventices présentes. Dans la dernière succession, tous les systèmes introduits ont fait augmenter la biomasse et la diversité des adventices, diversité qui est très variable selon le système, aussi bien par culture que sur toute la rotation. Ainsi, dans le semis direct, il y a plus de graminées, de vivaces et d'anémochores, alors que dans le désherbage mécanique dominant des annuelles printanières, certainement à cause de cultures de printemps sarclées, et également des vivaces (un excès de chardon).

Chapitre 4 : *Est-ce que la diversité adventice peut réduire les pertes de rendement ?*  
Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*

L'hypothèse de cet article posait que toutes les communautés adventices ne causent pas des pertes de rendement et que, plus elles sont diversifiées, moins elles peuvent causer de pertes. A partir d'un suivi de trois ans des céréales d'hiver dans l'expérimentation dijonnaise, quatre systèmes ont causé des pertes de 19% à 56%. Dans le semis direct, le vulpin est quasi seul avec environ 250 plantes/m<sup>2</sup>, la perte est de 56% et pour le système sans herbicide présentant surtout du vulpin, du gaillet et du géranium de 51%. En revanche les systèmes dominés par des dicotylédones hivernales basses (véroniques, pensées...) et très peu de vulpin et de gaillet, pénalisent beaucoup moins le rendement. Dans ce cas, la diversité spécifique est associée à une moindre biomasse (ces dicotylédones ont un faible développement) et limite les pertes de rendement par rapport aux systèmes où le vulpin est dominant. Ces pertes sont principalement liées à la sélection par la rotation et les herbicides de vulpin ayant un plus fort développement et un cycle proche de celui de la céréale. La conclusion déclare que l'on peut obtenir une forte productivité associée à une diversité adventice en céréales d'hiver. Ces résultats sont très liés au cas particulier de

l'expérimentation et montrent plutôt une moindre baisse de rendement par rapport à des densités élevées de l'espèce sélectionnée par les herbicides et les systèmes simplifiés.

En conclusion, par la diversification des systèmes de culture, il est possible de réduire l'usage des herbicides et, en utilisant des légumineuses en interculture, de réduire les apports d'azote. Le semis direct reste affecté par le besoin de glyphosate en interculture. Cette diversification favorise la diversité spécifique adventice. Le choix de la culture, des pratiques culturales et du type de gestion des adventices sont les filtres majeurs de cette diversité. Enfin, la comparaison des pertes de rendement des céréales d'hiver dans la plaine dijonnaise, liées à différentes communautés adventices, montre que plusieurs dicotylédones hivernales basses sont moins préjudiciables qu'un fort développement de vulpin et de gaillet.

Cette analyse approfondie des résultats obtenus au fil des ans dans ces expérimentations de longue durée pourrait apporter des éléments sur la façon d'adapter de telles expérimentations pour déterminer les principaux axes à tester, sans devoir réduire la diversité des outils nécessaires à la gestion des adventices. La discussion évoque aussi le fait que de nombreuses et importantes contraintes affectent fortement des systèmes de culture plus diversifiés et que leur déploiement à grande échelle exigera une reconnaissance publique des externalités positives qu'ils peuvent générer.

Ce travail, entièrement rédigé dans un très bon anglais, est très clairement introduit par une large présentation des communautés adventices, de leur gestion et de leurs interactions avec les cultures et surtout par une très détaillée et précise présentation des hypothèses de départ et des hypothèses de travail. Ces travaux ont déjà donné lieu à plusieurs publications dans des revues de qualité, mais aussi dans des revues de vulgarisation et des colloques nationaux et internationaux. Les quatre chapitres se limitent chacun à un article, mais d'abondantes listes de tableaux et de graphes de données leur sont associées en annexe pour partager les analyses réalisées en quantité et détailler ce qui ne pouvait entrer dans un article.

Pendant, comme souvent observé dans ces travaux portant sur des sujets d'actualité et testant des hypothèses originales, les formulations des conclusions prennent une forme pouvant laisser penser au lecteur non spécialiste la généralité des résultats issus de quelques expérimentations conduites dans des situations particulières. Particulièrement, les interactions entre les espèces sauvages et cultivées et l'environnement sont très complexes et sous la dépendance de conditions climatiques très changeantes. Quoi qu'il en soit, pour avoir voulu tester des hypothèses d'actualité en analysant des données de deux expérimentations de très longue durée, la qualité du travail de Guillaume Adeux mérite que cette analyse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France, à titre de valorisation.

### Publications :

**Adeux, G.**, Vieren, E., Carlesi, S., Bàrberi, P., Munier-Jolain, N., Cordeau, S., **2019**. – Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability* 2, 1018-1026.

**Adeux, G.**, Munier-Jolain, N., Meunier, D., Farcy, P., Carlesi, S., Barberi, P., Cordeau, S., **2019**. – Diversified grain-based cropping systems provide long term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agron. Sustainable Dev.* 39, 42.

Galland, T., **Adeux, G.**, Dvořáková, H., E-Vojtkó, A., Orbán, I., Lussu, M., Puy, J., Blažek, P., Lanta, V., Lepš, J., **2019**. – Colonization resistance and establishment success along gradients of functional and phylogenetic diversity in experimental plant communities. *Journal of Ecology* 107, 2090-2104.

**Adeux, G.**, Giuliano, S., Cordeau, S., Savoie, J.-M., Alletto, L., **2017**. – Low-input maize-based cropping systems implementing IWM match conventional maize monoculture productivity and weed control. *Agriculture* 7, 74.

---

**Adeux, G.**, Cordeau, S., Antichi, S., Carlesi, S., Mazzoncini, M., Munier-Jolain, N.M., Barberi, P., **2021**. – Cover crops promote crop productivity but do not enhance weed management in tillage-based cropping systems. *European Journal of Agronomy*

**Adeux, G.**, Baudron, A., Cordeau, S., Strategic tillage in conservation agriculture systems: consequences on weed communities and winter wheat productivity. [**submitted to Weed Research**]