
**MÉLANGER LES ESPÈCES POUR PRODUIRE DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES :
CO-CONCEPTION D'UN PROTOTYPE D'OUTIL D'INTÉGRATION ET DE PARTAGE
DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET EMPIRIQUES EN MOBILISANT
LES CONCEPTS DE L'ÉCOLOGIE FONCTIONNELLE**

Thèse de Malick Sidiki **OUATTARA**¹

Analysée par Joël **LORGEUX**²

Directrice de thèse : Muriel **VALANTIN-MORISON**, Directrice de recherche, Université Paris-Saclay GS Biosphéra

Co-directrice : Safia **MEDIENE**, Maîtresse de conférences (HDR), Université Paris-Saclay GS Biosphéra

Co-encadrant : Raphaël **PAUT**, Chargé de recherche, Université Paris-Saclay GS Biosphéra

L'objectif de la thèse est clairement identifié dans son titre : l'auteur cherche à aider à la conception des mélanges d'espèces au sein des agrosystèmes. Dans le cadre de la transition agroécologique, il cherche à identifier les services écosystémiques mis en œuvre par ces associations.

Approche générale

Afin de choisir les espèces à mélanger, l'auteur utilise les variables de l'écologie fonctionnelle : traits/ fonctions/ services. Il privilégie une approche très conceptuelle plutôt que de partir des critères agronomiques relatifs à chaque espèce.

L'écologie fonctionnelle étudie la manière dont les traits biologiques et écologiques des organismes (morphologie, physiologie, phénologie) influencent leur fonctionnement, leurs interactions à l'échelle de l'écosystème. Pour définir le meilleur canevas des assemblages, l'auteur privilégie la théorie des niches (adaptation des espèces aux niches écologiques disponibles) ; l'approche par les traits vise à relier les mécanismes d'assemblage à leurs profils fonctionnels. Pour concevoir des mélanges, il faut chercher à maximiser la complémentarité entre les valeurs de traits en identifiant des valeurs de traits optimales pour la réalisation des services tout en minimisant les potentiels « dis-services ».

Il y a de nombreuses situations de diversité fonctionnelle temporelle ou spatiale : dans cette thèse l'auteur s'intéresse spécifiquement à la diversification par les **mélanges d'espèces annuelles cultivées dans la parcelle**. La bibliographie permet d'identifier de nombreux services écosystémiques liés aux associations d'espèces, en particulier des effets positifs sur

¹ Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paris-Saclay, Ecole doctorale n°581 : Agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIÉS), spécialité de doctorat : Agro-écologie, Graduate School : Biosphera. Référent : AgroParisTech, présentée et soutenue à Paris-Saclay, le 11 décembre 2023.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, section 1 « Productions végétales ».

la régulation de l'eau, le cycle des nutriments, le contrôle des bioagresseurs, la fertilité du sol, les pollinisateurs, etc. sans pour autant compromettre les rendements.

L'originalité de la thèse n'est pas de sélectionner une solution parmi des alternatives déjà existantes, mais d'élaborer une solution qui n'existait pas *a priori*. La création de mélanges d'espèces nécessite de concevoir des mélanges nouveaux adaptés aux besoins des agriculteurs et plus diversifiés que ceux existants aujourd'hui.

La thèse est organisée en cinq chapitres, sous un format d'article. Les trois premiers chapitres sont rédigés en anglais et les deux derniers en français.

Chapitre 1 : Colza et plantes associées.

A partir d'une base de données sur le colza et les plantes associées, l'auteur fait un état des lieux de la diversité des mélanges et des services rendus. Il montre que 60 % des mélanges réalisés sont entre des céréales et des légumineuses et que les services les plus fréquents sont la **régulation des adventices et l'amélioration des flux d'azote**. L'auteur fait le choix de se focaliser sur ces deux services écosystémiques dans le cadre de son travail de thèse.

Cette base de données avait déjà permis de construire un outil d'aide à la conception dénommé CAPS (Colza Associé à des Plantes de Service). Une compilation des connaissances sur les services rendus par les espèces en mélange avec le colza a été réalisée en privilégiant les fonctions : contrôle des adventices (WR), recyclage de l'azote (NR), contrôle sanitaire (PR) ainsi que les effets négatifs le rendement (Dis-service) ... Cette approche a permis de définir cinq groupes d'association bien identifiés.

Remarque : La notion de contrôle des adventices mériterait une définition plus précise car les services attendus sont très différents s'il s'agit de gérer des dicotylédones ou des graminées.

Ce chapitre fait l'objet d'un article publié (Ouattara *et al.* (2023) *Hierarchical modeling highlights how ecosystem service provisioning by service crops intercropped with oilseed rape depends on their functional trait values. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 357, 108690).

Chapitre 2 : Quels sont les mélanges les plus rencontrés en pratique et pour quels services écosystémiques

Différentes sources d'information sont mobilisées (revue de la littérature scientifique, données d'expérimentations et enquêtes auprès d'agriculteurs) pour faire un état des lieux, caractériser la diversité des mélanges de cultures en fonction des espèces, de leur usage (culture principale ou plante de service) et de leur insertion temporelle, et évaluer la capacité à fournir des services.

La synthèse permet de voir que les services recherchés lors de la conduite des mélanges dépendaient de l'usage des cultures (plantes de service ou cultures de rente), du mode d'insertion des espèces (synchrone ou asynchrone), en fonction du type d'agriculture (conventionnel ou biologique) et selon les acteurs qui les mettent en œuvre.

Chapitre 3 : Comparaison des fonctions entre variété pure et mélange

Ce chapitre étudie la variabilité des traits en culture pure et en mélange, et la façon de prendre en compte les valeurs des traits des deux espèces en mélange par rapport à des services visés.

Sur le site INRAE de Thiverval-Grignon et Versailles de 2021 à 2023, une expérimentation a été menée pour tester six espèces conduites en culture pure et en mélange. Cette expérimentation a pour objectif d'évaluer l'évolution des valeurs de traits fonctionnels quand on passe d'une culture pure à une culture en mélange et de tester des indicateurs fonctionnels pouvant servir à la conception des mélanges. Une des conclusions est de constater que la réalisation d'un service écosystémique dépendait de plusieurs traits et qu'un même trait pouvait être important pour la réalisation de plusieurs services écosystémiques.

Chapitre 4 : Atelier de co-conception avec différents acteurs, scientifiques, techniciens et agriculteurs.

Ce chapitre propose une formalisation, sous forme d'arbres fonctionnels, des connaissances sur ce qui détermine un service, en identifiant les fonctions impliquées et les traits influençant ces fonctions. Deux ateliers de partage de connaissances ont abouti à l'élaboration d'arbres fonctionnels autour de deux services écosystémiques identifiés précédemment : flux d'azote et gestion du désherbage. L'auteur montre que les expertises des différents acteurs sont complémentaires et permettent de combler des manques de connaissances et de décontextualiser certaines connaissances pour les rendre génériques.

Ce travail est original et efficace pour organiser les connaissances et aider à l'identification d'espèces pertinentes pour mieux atteindre un service, compte tenu de la valeur de leurs traits. L'outil semble chercher plutôt à maximiser un service donné par le choix d'espèces les plus performantes, compte tenu de leurs traits pour atteindre ce service.

L'auteur reconnaît que tous les aspects liés aux pratiques agronomiques et aux conditions environnementales n'ayant pas été intégrés dans les arbres fonctionnels, les résultats sont à considérer comme une preuve de concept plutôt qu'un résultat opérationnel. Si les deux services écosystémiques étudiés sont importants (Azote et désherbage), les autres services écosystémiques comme les interactions ravageurs-champignons-virus n'ont pas pu être qualifiés dans ce chapitre.

Chapitre 5 : Prototype d'outil d'aide à la conception de mélange d'espèces

Ce chapitre final présente le prototype de l'outil d'aide à la conception de mélange d'espèces, EcosysteMIX, bâti à partir des chapitres précédents. Sa construction, ainsi que des possibilités d'utilisation pour le choix de combinaisons d'espèces sont discutés en expliquant bien l'intérêt de l'approche, ainsi que ses limites. L'évaluation de certaines fonctions basée uniquement sur les valeurs de traits n'est pas toujours adaptée. Il faudrait intégrer les pratiques agricoles et les conditions environnementales lorsqu'elles ont été identifiées comme importantes pour la réalisation des fonctions écologiques. Le prototype EcosysteMIX proposé à ce stade fonctionne à l'échelle de la parcelle et a été testé pour six espèces. La prochaine étape serait d'élargir le nombre d'espèces et d'intégrer les conditions agroenvironnementales dans la conception des mélanges et de pouvoir quantifier plus précisément certaines variables, comme les flux d'azote par exemple.

Conclusion

Le sujet de cette thèse est en phase avec l'actualité, c'est un travail de qualité pour alerter sur les difficultés de la mise en œuvre des associations d'espèces.

La notion d'écologie fonctionnelle est récente en agronomie, elle a toute sa place dans la transition agroécologique pour mieux cerner la notion de services rendus de plantes à plantes. Le choix de partir des variables de l'écologie fonctionnelle permet de prendre de la hauteur par rapport aux objectifs à atteindre. L'identification d'interactions entre les traits morphologiques, les traits fonctionnels et les services rendus peut être très intéressante pour proposer demain des modèles d'assistance à la conception de mélange.

Si les applications pratiques semblent encore lointaines et si la valorisation des connaissances agronomiques déjà acquises (par les Instituts techniques en particulier) reste faible dans la construction des arbres fonctionnels, cette étape théorique et générique est majeure pour poser les bases d'une gestion agroécologique. Toutefois, le chemin semble encore long pour qualifier plus précisément les pratiques agricoles et les conditions de milieu dans les arbres fonctionnels.

Le travail de Malick Ouattara apporte une contribution significative dans la dynamique actuelle des travaux de recherche sur les mélanges d'espèces avec un souci de généricité. L'originalité du travail consiste en la combinaison de plusieurs approches complémentaires, construction de base de données issues de plusieurs sources (littérature, expérimentation...), partage de connaissances et modélisation, tout en gardant un cadre conceptuel autour des traits-fonctions-services. La thèse de M. Ouattara propose ainsi, une intégration novatrice des savoirs scientifiques et empiriques pour favoriser des pratiques agroécologiques. Cependant, sa complexité technique et la forte dépendance à des données locales représentent un frein pour son utilisation opérationnelle dans différents contextes agricoles.

Cette thèse est un travail conceptuel, digne d'intérêt pour l'académie. A ce titre, il mérite que son analyse figure sur le Site et dans le Mensuel de l'Académie d'agriculture de France pour valorisation de ces résultats.

La thèse fait l'objet d'une publication dans *Agriculture, Ecosystems and Environment* et trois autres articles sont en préparation.