

> MODIMIV

**Modélisation des relations entre la
diversité microbienne et végétale dans
les agroécosystèmes multi-spécifiques**

Métaprogramme BIOSEFAIR

Bilan de projet : 2024 - 2026

Janvier 2026



Le projet MODIMIV vise à modéliser les relations entre diversité microbienne et végétale dans les agroécosystèmes multi-spécifiques, notamment les prairies, afin d'améliorer la simulation des flux de carbone (C) et d'azote (N) et de mieux synchroniser l'offre et la demande en nutriments. L'objectif initial était de dépasser les limites des modèles existants, qui intègrent souvent la biodiversité de manière implicite ou simplifiée, en développant des simulateurs explicites et dynamiques capables de représenter les interactions biotiques.

Les hypothèses centrales posent que les interactions entre diversité végétale (ex. graminées et légumineuses) et diversité microbienne du sol jouent un rôle déterminant dans la régulation des cycles biogéochimiques. Les prairies, qui couvrent environ 40 % de la surface terrestre, peuvent agir comme puits ou sources de carbone. Des processus tels que la fixation biologique de l'azote via la symbiose légumineuses–rhizobactéries ou les dynamiques racinaires influençant la décomposition de la matière organique contribuent à une meilleure synchronisation nutritive, réduisant les pertes et améliorant la productivité.

La démarche méthodologique repose sur le couplage de modèles existants : ModVege pour la croissance végétale, CoSMo pour la dynamique des espèces végétales et SYMPHONY pour la microbiologie du sol. Plusieurs stages de niveau M2 ont permis de développer des modules spécifiques :

- intégration de la fixation d'azote par les légumineuses, basée sur des traits fonctionnels comme la surface foliaire spécifique et la durée de vie des feuilles,
- ajout d'un compartiment racinaire pour simuler les flux d'exsudats et la mortalité racinaire, avec ajustements du ratio C/N
- analyse de la distribution des traits fonctionnels à différentes échelles spatiales utilisant la base de données DRY.

Les travaux s'appuient sur des simulations numériques, des revues bibliographiques et des données issues d'expérimentations de terrain, notamment les dispositifs UREP sur des couverts végétaux innovants tels que les agroprairies.

Les principaux résultats incluent un prototype de modèle intégré de la dynamique racinaire, permettant de simuler de nouveaux flux, par exemple le gain de croissance attribuable à la fixation biologique de l'azote. L'analyse des traits fonctionnels met en évidence une variabilité intraspécifique influençant la diversité fonctionnelle à des échelles allant du mètre carré aux écorégions, avec des covariations structurées par les gradients d'aridité.

Enfin, un article de positionnement (Rodríguez et al., en cours d'évaluation) compile plus de 300 références et un glossaire de 40 termes. Il propose une feuille de route pour intégrer la biodiversité microbienne et végétale dans les modèles biogéochimiques.

Résultats détaillés

Les résultats majeurs du projet MODIMIV incluent le développement d'un modèle intégré capable de simuler conjointement les flux de C et N, ainsi que la biodiversité végétale et microbienne. Un module dédié aux légumineuses a été introduit, permettant de simuler la fixation biologique de l'azote en fonction de facteurs environnementaux. Par ailleurs, l'analyse des traits fonctionnels (ex. hauteur, SLA) à partir de la base DRY a permis de quantifier la diversité à plusieurs échelles spatiales, révélant des covariations structurées par l'aridité et une influence notable de la variabilité intraspécifique sur les indices de diversité fonctionnelle.

L'article de positionnement propose une feuille de route pour modéliser les interactions entre biodiversité et services écosystémiques.

Parmi les difficultés rencontrées, la complexité du couplage a mis en évidence un goulot d'étranglement lié aux bilans C-N, nécessitant plusieurs itérations, ainsi qu'une forte variabilité des données. Le projet a également bénéficié d'opportunités de partenariat, notamment avec AGROECOseqC pour l'accès à des données sur les agroprairies, ainsi que de présentations internationales (ex. EJP Soil Science Days 2024, Vilnius, Lituanie), renforçant sa visibilité.

Les retombées incluent des implications pratiques pour la gestion durable des prairies, telles que la promotion de mélanges graminées-légumineuses afin d'optimiser le stockage de C. Les réalisations comprennent également un code *open-source* pour les modules développés et des simulations évaluées à partir de données expérimentales.

Tableau récapitulatif des avancées

Objectif	Résultat majeur	Implication pratique
Couplage de modèles	ModVege-SYMPHONY avec compartiment racinaire	Meilleure synchronisation des nutriments, réduction des pertes d'azote
Module légumineuses	Fixation biologique intégrée, paramétrage trèfle	Augmentation de la biomasse d'environ 30 % grâce à la fixation biologique
Analyse des traits	Distribution multi-échelles des traits fonctionnels	Identification de stratégies adaptatives à l'aridité pour renforcer la résilience
Article de Positionnement	>300 références, 7 figures	Feuille de route pour modélisation intégrée biodiversité-cycles biogéochimiques

Perspectives scientifiques.

À l'issue de MODIMIV, nous souhaitons approfondir l'intégration explicite de la diversité microbienne dans les modèles biogéochimiques, notamment via la représentation des groupes fonctionnels bactériens et fongiques, ainsi que la prise en compte de la variabilité spatio-temporelle des interactions, en particulier sous stress climatique. Le doctorat de Louise Adam, financé à 50 % par BIOSEFAIR et complété par VetAgro Sup pour la période octobre 2024-septembre 2027, sous la direction de Gianni Bellocchi, s'inscrit dans cette dynamique et ouvre de nouvelles perspectives de recherche.

Ce doctorat aborde plusieurs questions émergentes : comment la diversité microbienne et végétale contribue-t-elle à la multifonctionnalité des écosystèmes, en particulier pour les fonctions liées aux cycles C et N (fourniture de nutriments, production de biomasse, stockage de carbone, rétention des nutriments) ? Quels sont les facteurs de contrôle - pédoclimat, diversité fonctionnelle, perturbations - qui conditionnent le fonctionnement des systèmes sol-plante synchrones ? Comment des organisations adaptées aux contraintes locales émergent-elles des interactions directes et indirectes entre communautés végétales et microbiennes ? Dans quelle mesure la diversification améliore-t-elle la multifonctionnalité, selon la compatibilité des traits fonctionnels avec les conditions locales ? Et comment ces interactions régulent-elles finement les flux de carbone et d'azote ? Ces questions sont explorées par le développement de modèles explicites et dynamiques intégrant la diversité, construits à partir de modèles existants, complétés par des analyses mathématiques, des validations sur données empiriques issues d'expérimentations en mésocosmes. Des simulations permettent également d'évaluer des scénarios de pratiques agroécologiques, tels

que le choix d'espèces ou de combinaisons fonctionnelles, afin d'optimiser les services écosystémiques.