

Les promesses et défis entourant le déploiement de nouvelles technologies reposant sur la microbiologie du sol pour guider les applications d'engrais azotés

Philippe Constant



Institut national
de la recherche
scientifique



Chaire de recherche en partenariat
INRS-Ville de Laval



Quelques faits saillants

>50%

Azote appliqué
non assimilé par
les plantes

160

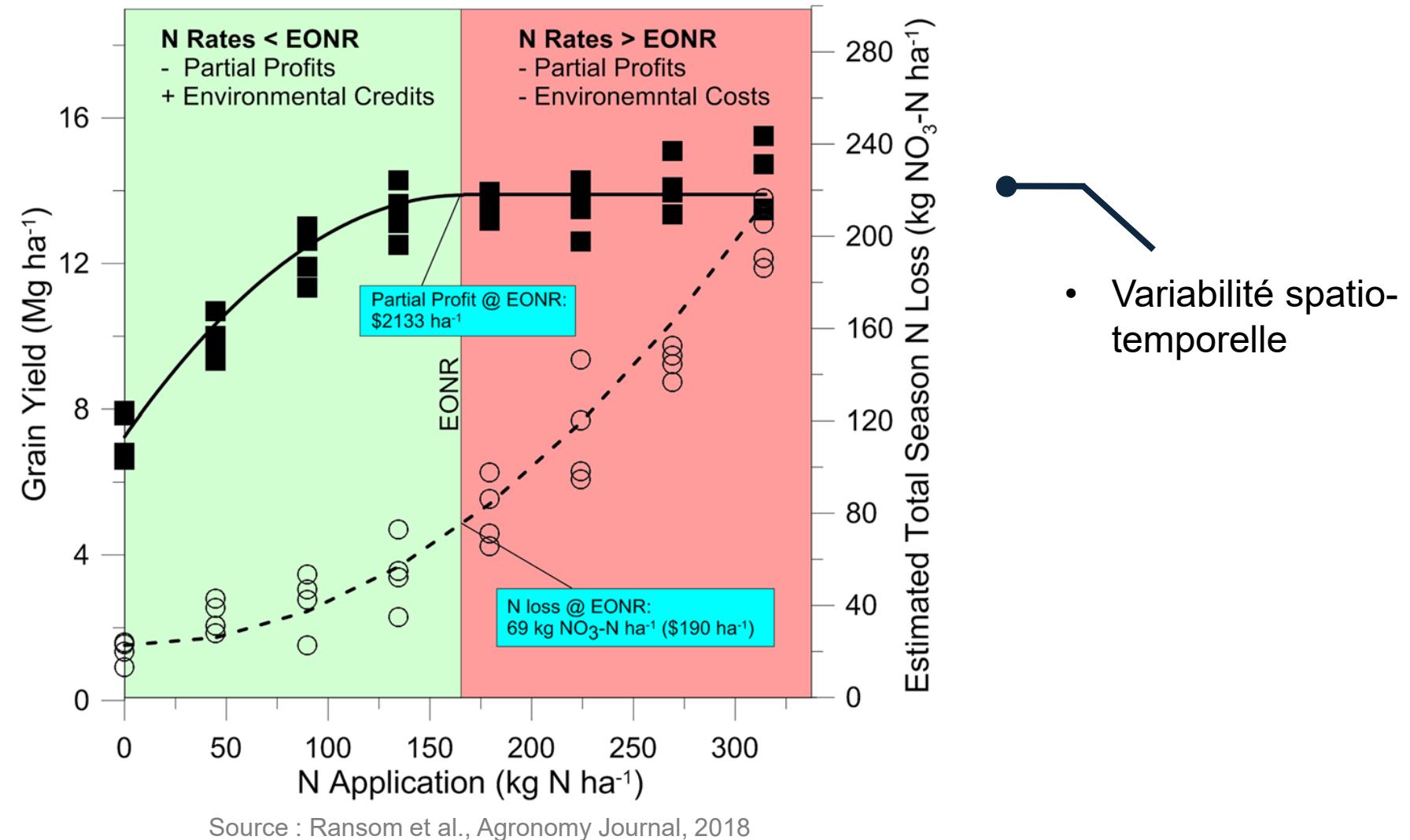
kg N ha^{-1} serait optimal
comparativement aux
200 kg N ha^{-1}
couramment appliqués

15%

cible de réduction
des applications
du PAD 2020-30

La dose économique optimale d'azote (DOE)

- Potentiel de pertes NO_3^- et N_2O
- Crédits N empiriques



- DOE = quantité d'azote apportée par un fertilisant minéral qui optimise le gain économique pour le producteur par rapport au coût de l'azote et au prix de vente net de la récolte

La dose économique optimale d'azote (DOE)

Calcul selon les rendements anticipés

- DOE de 0 à 240 kg N ha⁻¹ comparativement aux grilles 120 à 170 kg N ha⁻¹
- Économie potentielle entre 8 et 23\$ ha⁻¹
- Test de 31 outils pour DOE : performances faibles causé par l'hétérogénéité des sols mal capturée

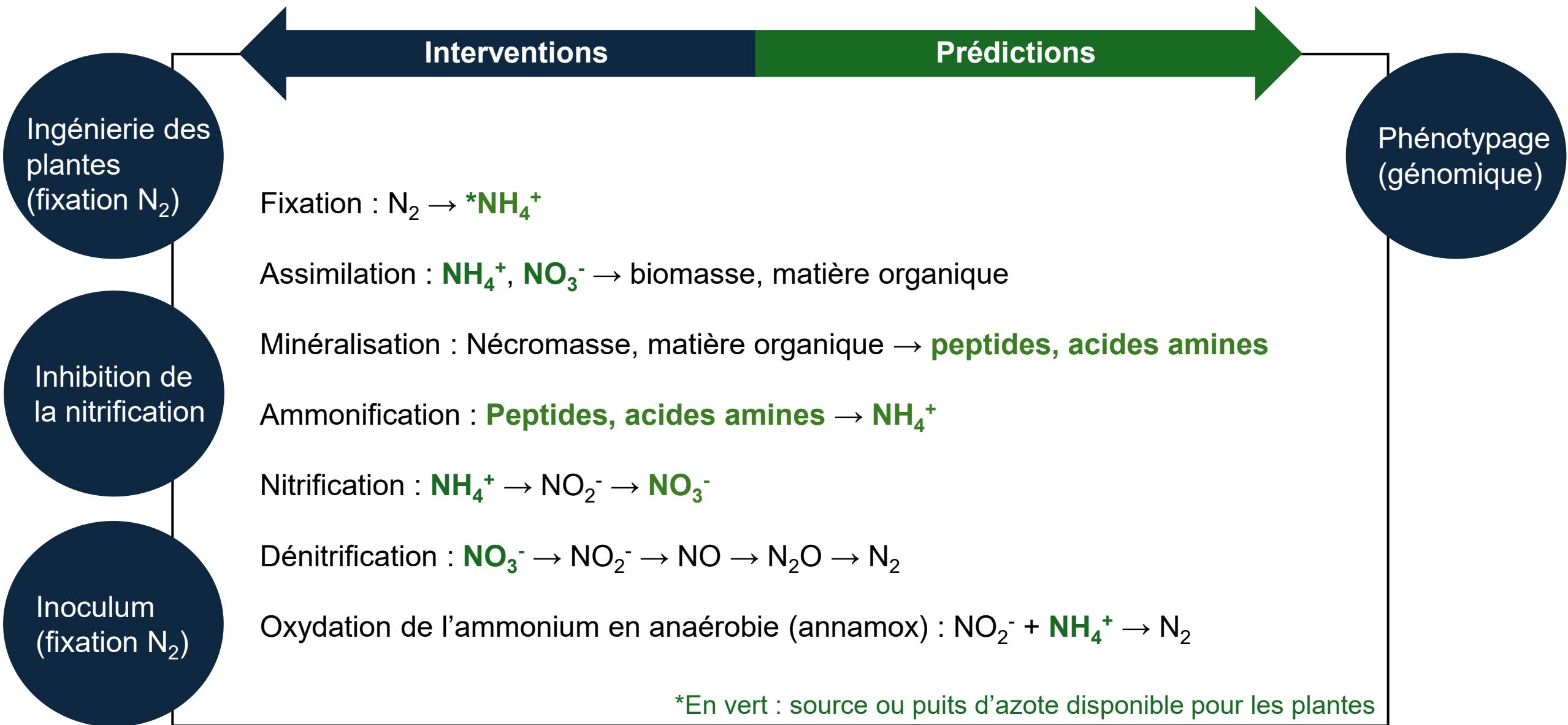
Tests de NO₃⁻ (avant semis)

Tests de NO₃⁻ (post-levée)

Réflectance de la canopée

Retour maximal à l'azote (coût, rendements historiques)

Microbiologie du cycle de l'azote





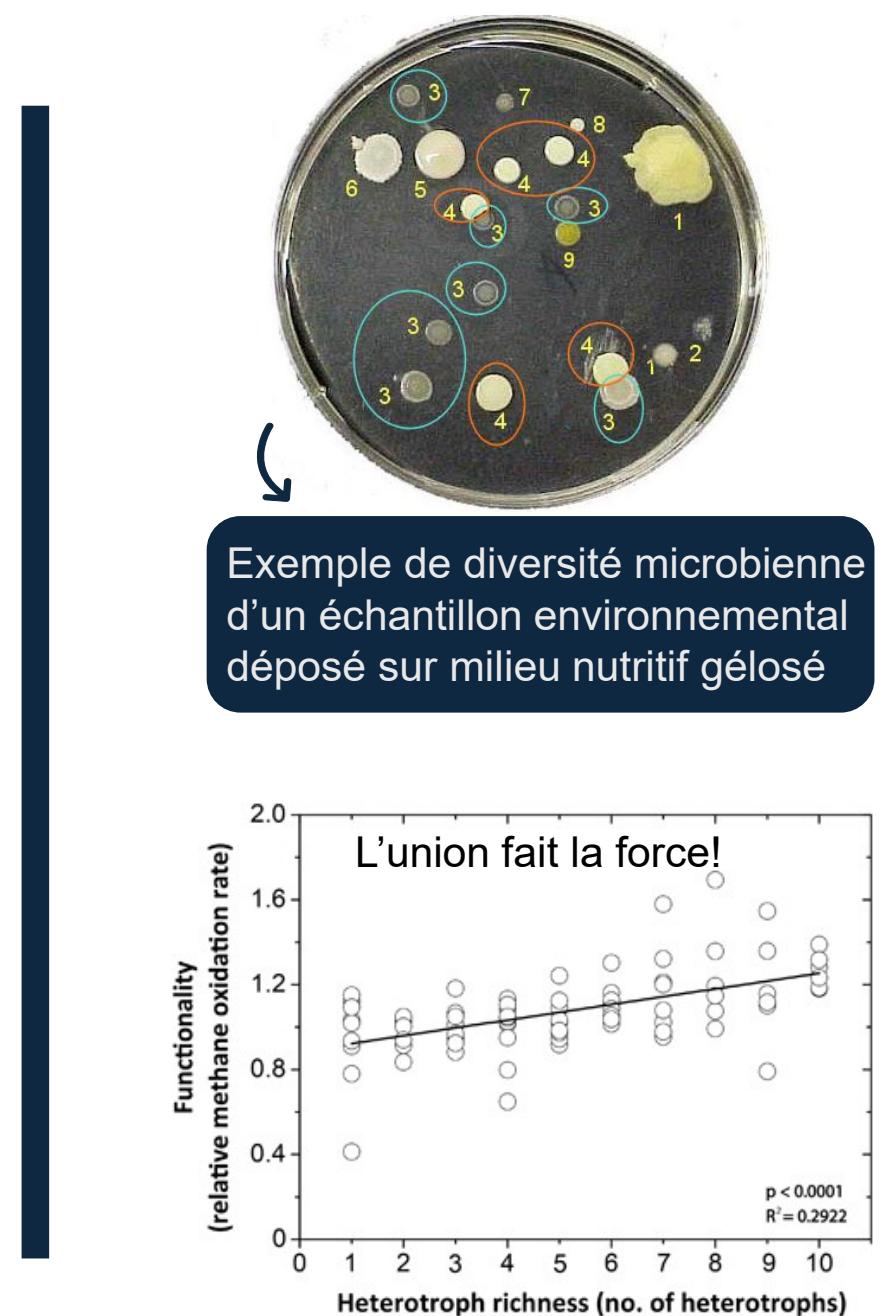
Nos destinations pour les prochaines minutes :

- (1)** Une démarche alignée avec les progrès en microbiologie
- (2)** Un projet microbiome-centrique pour guider la fertilisation

Démarche alignée avec les progrès en microbiologie



- “Great plate anomaly”
 - <1% des microorganismes peuvent être domestiqués en laboratoire
- Microorganismes modèles
 - Principes fondamentaux (e.g., dénitrification)
- Propriétés émergentes microorganismes en communautés
- Assemblages de communautés microbiennes synthétiques





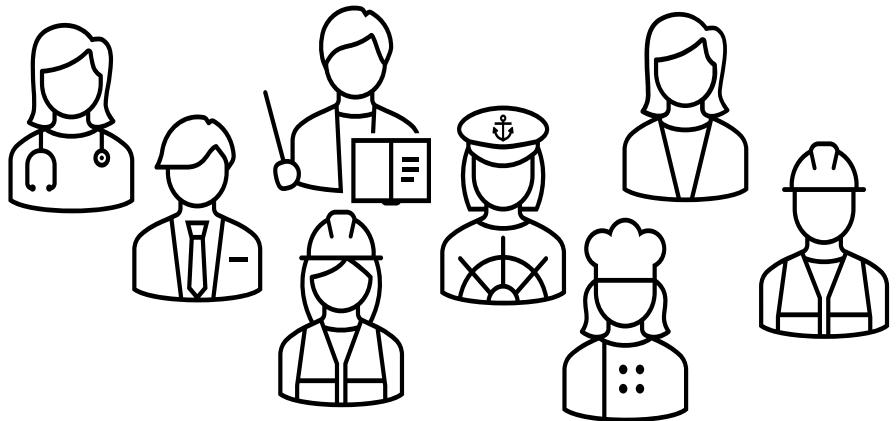
-
- La PCR pour détecter, quantifier et évaluer la diversité des microorganismes
 - Améliorations techniques depuis les années 1990
 - Matrices de données massives, compositionnelles et dominance d'espèces rares
-



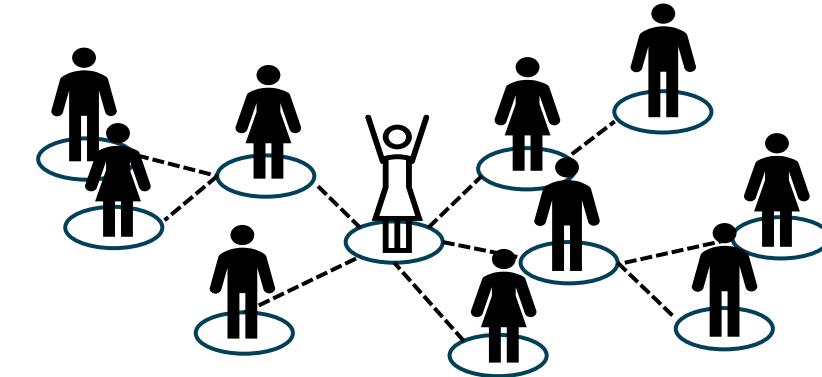
Une application de la PCR bien connue!



Application dans le sol : catalogue d'espèces, leur abondance et leur diversité



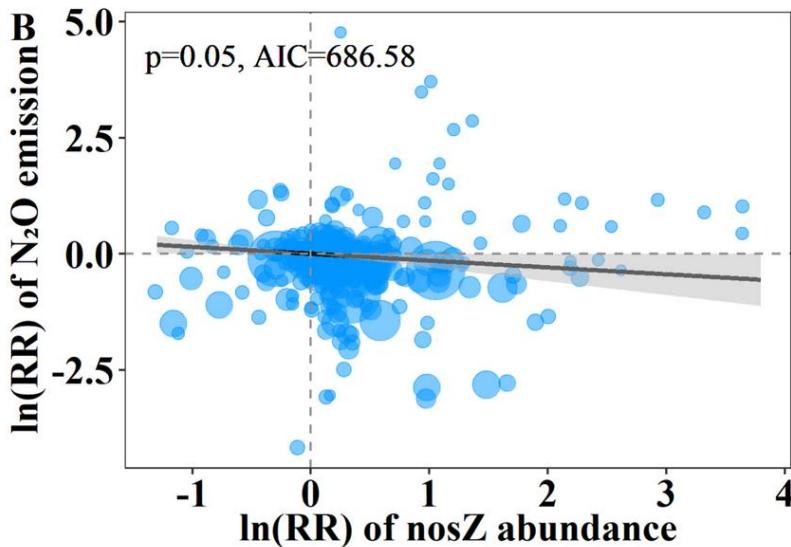
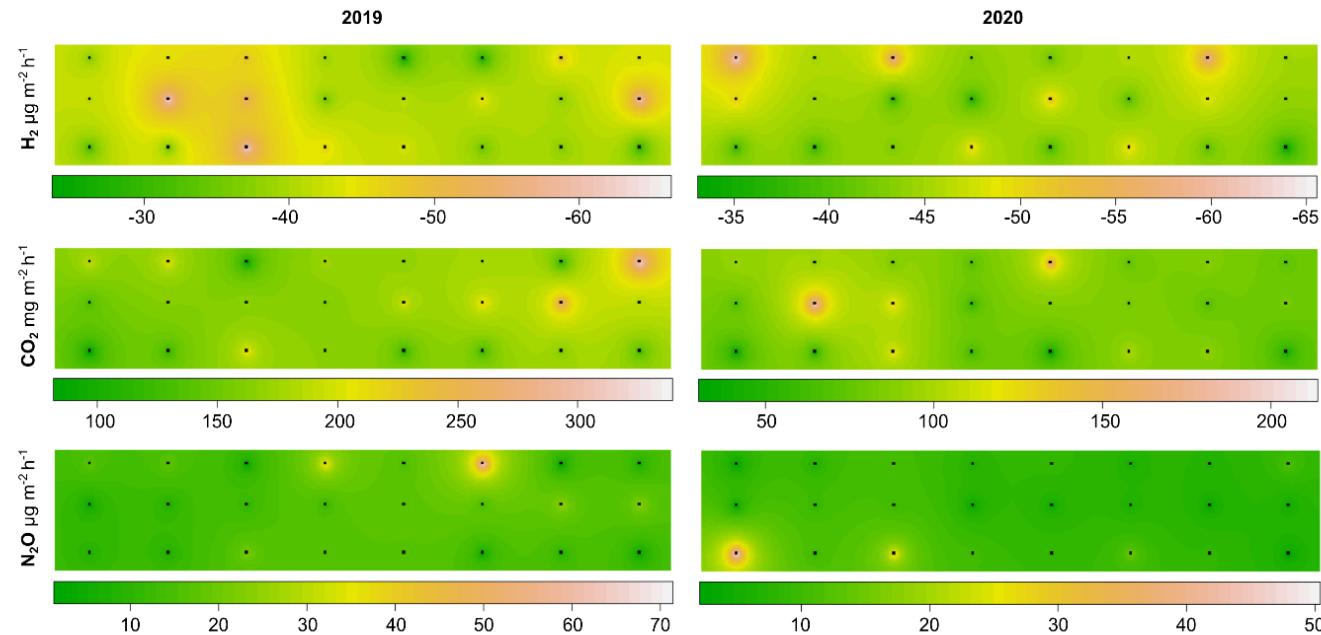
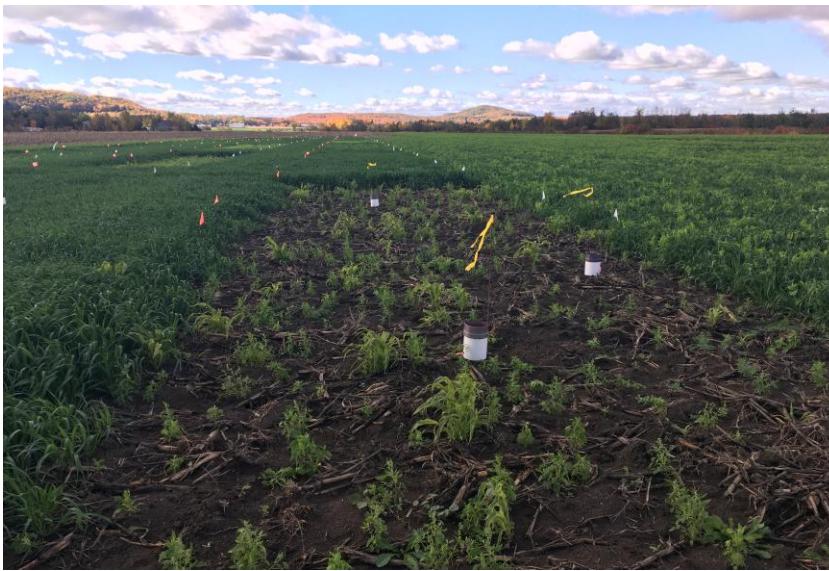
- Diversité pour supporter les services
- Redondance fonctionnelle pour assurer la stabilité



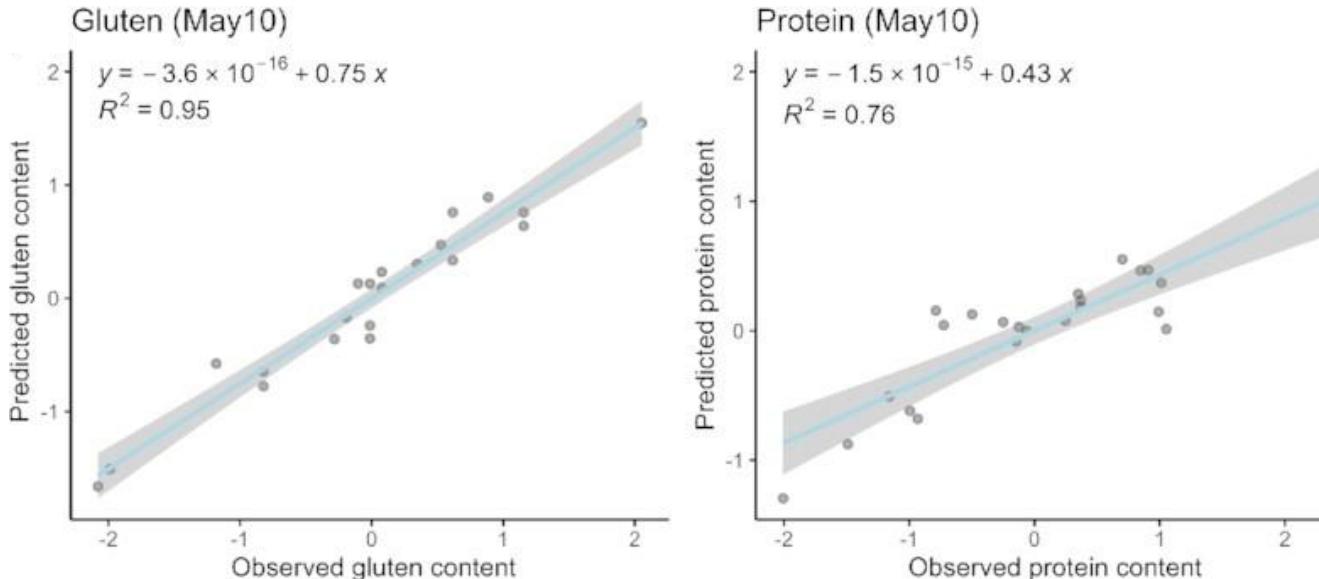
- Réseaux sociaux structurés autour de quelques « espèces » clés
- Découplage entre abondance et contribution

Changement de paradigme : processus non linéaire, compréhension fine inaccessible?

Démarche alignée avec les progrès en microbiologie



- Découplage entre les émissions de GES et marqueurs génétiques spécifiques
- Exemple d'application au champ (figure haut), en microcosmes : réponses idiosyncratiques
- Exemple d'application par métanalyse (figure gauche)

**Opinion****The forecasting power of the microbiome**Sara Correa-Garcia ,¹ Philippe Constant,¹ and Etienne Yergeau^{1,*}

Microorganisms are informative biological integrators of past and present environmental abiotic and biotic conditions. At the same time, they are directly involved in ecosystem processes. Unfortunately, the complexity of microbial communities has so far resulted in most studies being descriptive. Here, we suggest that signals in the microbiome data can be used to forecast future ecosystem processes. The combination of omics with various statistical learning approaches, selected based on accuracy–interpretability and bias–variance trade-offs, will be key to attain this goal, as exemplified by recent studies. The time is ripe for microbial ecologists to fully exploit the forecasting power of microbiomes.

Highlights

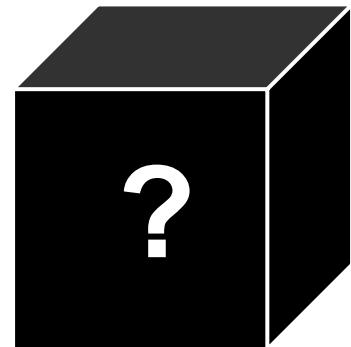
Microbial communities are powerful integrators of past and present ecosystem characteristics.

Several recent studies have used microbial communities as indicators of future ecosystem processes, resulting in high-accuracy models to forecast crop quality, soil health, and susceptibility to infection, among others.

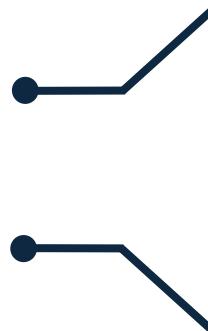
- Pouvoir prédictif du microbiome du sol
- Exemple d'application au champ (figure gauche) pour prédire la qualité du blé à partir du microbiome du sol au printemps
- Cadre théorique : état du microbiome reflète un legs du passé, et le présent est garant du futur (figure droite)



- Comment mettre en relation microbiologie et cycle de l'azote?
- Changement de paradigme dans l'approche ... mais déplacement de la boîte noire



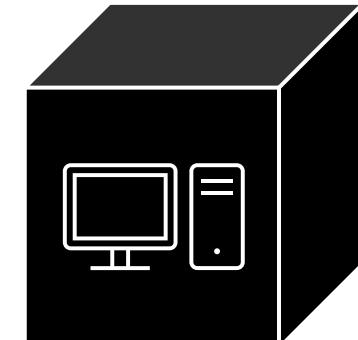
Prédiction d'un processus
(e.g., émission N₂O)



Passé :
Relation entre abondance/diversité
et fonction (approche dirigée)

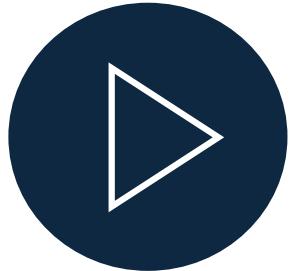


Présent :
Données massives (approche
communautés-centriques)



Design de recherches futures
(mécanismes, interventions)

Un projet microbiome-centrique pour guider la fertilisation



Projet tirant profit d'un long historique
(DOE, modèles prédictifs)

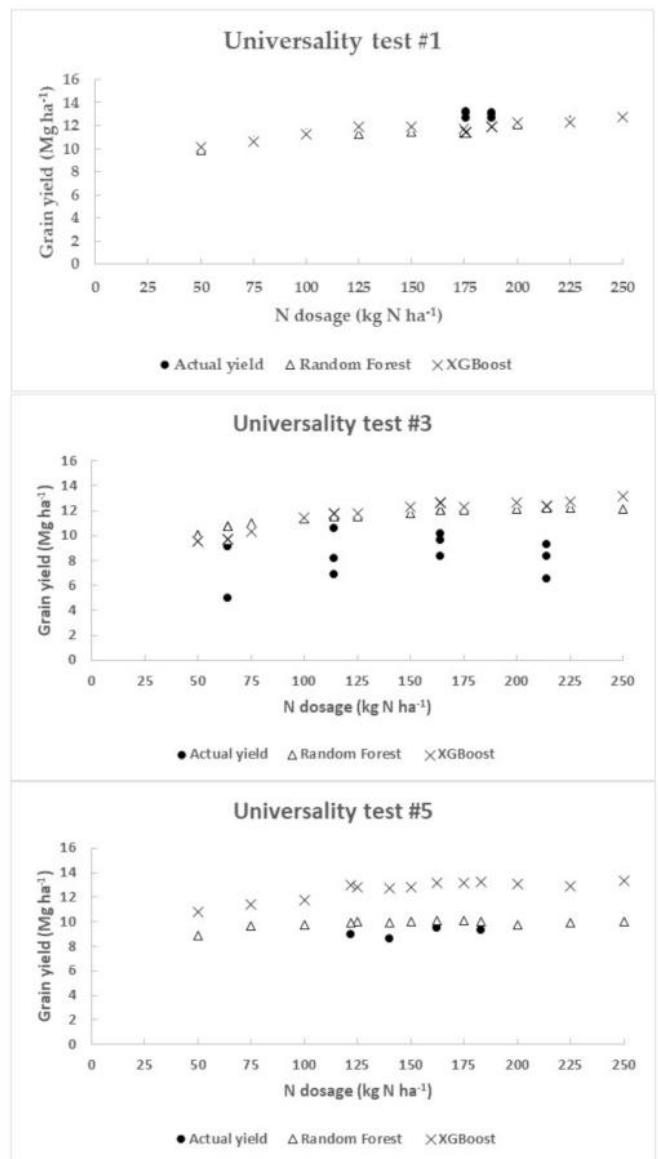


La question : peut-on améliorer les outils prédictifs actuels en intégrant la génomique du sol?

- Approche dirigée vs approche communauté
- Gains en précision
- Génomique complémentaire ou alternative?



Communauté de pratique
(mobilisation des connaissances)



Source : Parent & Deslauriers, MDPI Nitrogen, 2023



Étienne Yergeau
Écologie microbienne



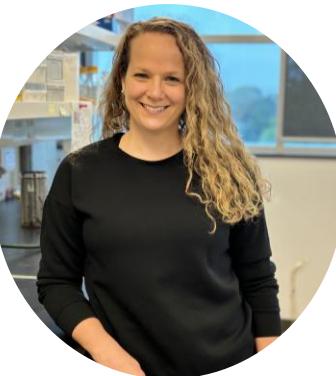
Institut national
de la recherche
scientifique



Amadou Barry
Statistiques



Philippe Constant
Biogéochimie



Audrey-Anne Durand
Associée de recherche



Pierre-Luc Chagnon
Pédologie

Agriculture et
Agroalimentaire Canada Agri-Food Canada

Canada



Hervé van der Heyden
Génomique



UNIVERSITÉ
LAVAL



Jacynthe Dessureault-Rompré
Agronome

PLEINE TERRE

AGRONOMIE • ENVIRONNEMENT



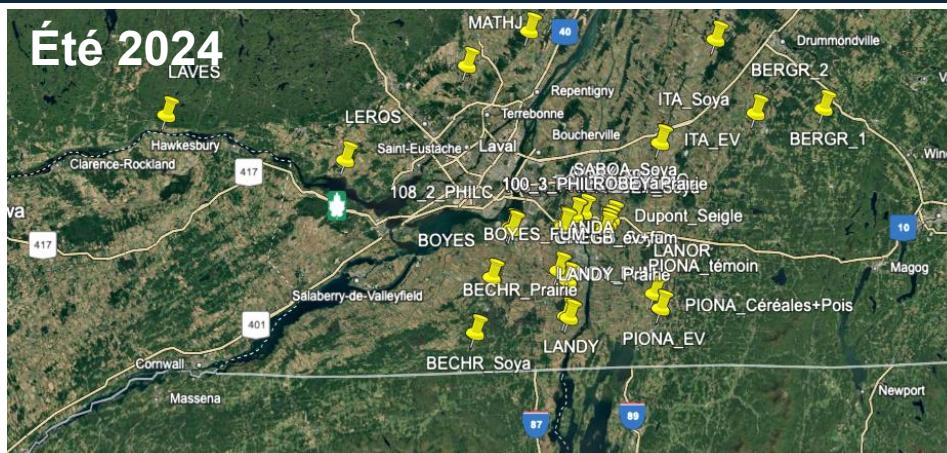
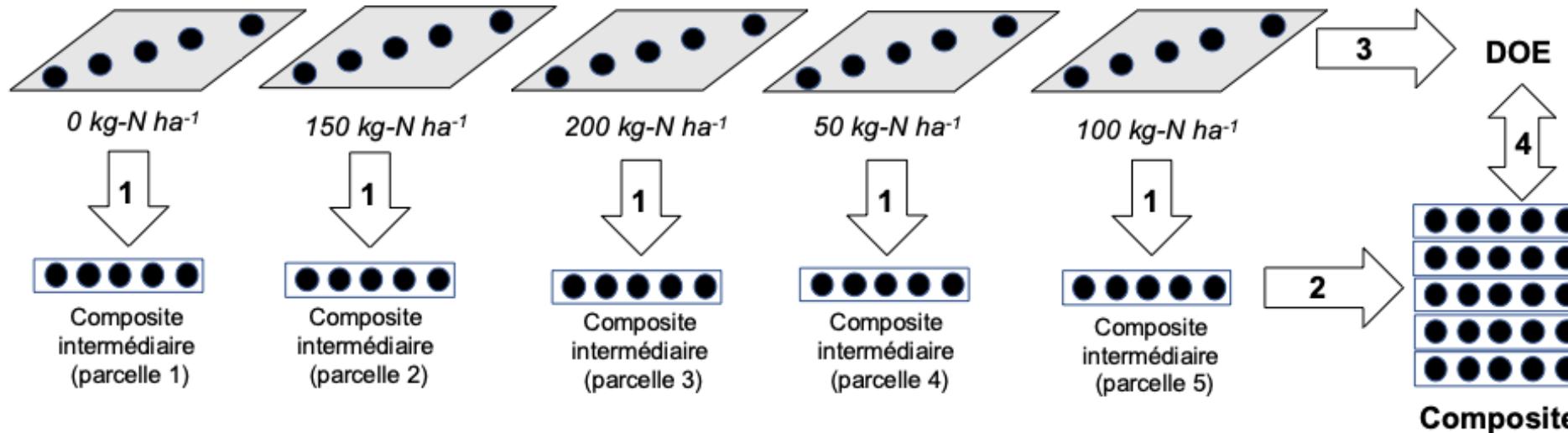
Gabriel Desrosiers
Agronome



- (O1)** examiner la relation entre les variables climatiques, agronomiques, microbiologiques et génomiques ;
- (O2)** identifier les caractéristiques microbiennes importantes qui ont une incidence sur la variabilité agronomique et la prédiction de la DOE ;
- (O3)** développer un outil convivial de métagénomique fonctionnelle afin de démocratiser l'accès à cette information, en simplifiant son intégration dans la formulation de plans de fertilisation complets ;
- (O4)** offrir une formation aux agronomes en génomique environnementale et sensibiliser les agronomes et les agriculteurs aux avantages et aux défis de l'intégration des outils génomiques dans leur boîte à outils.



99 sites x 3 blocs expérimentaux par site = 297 observations (1485 parcelles)





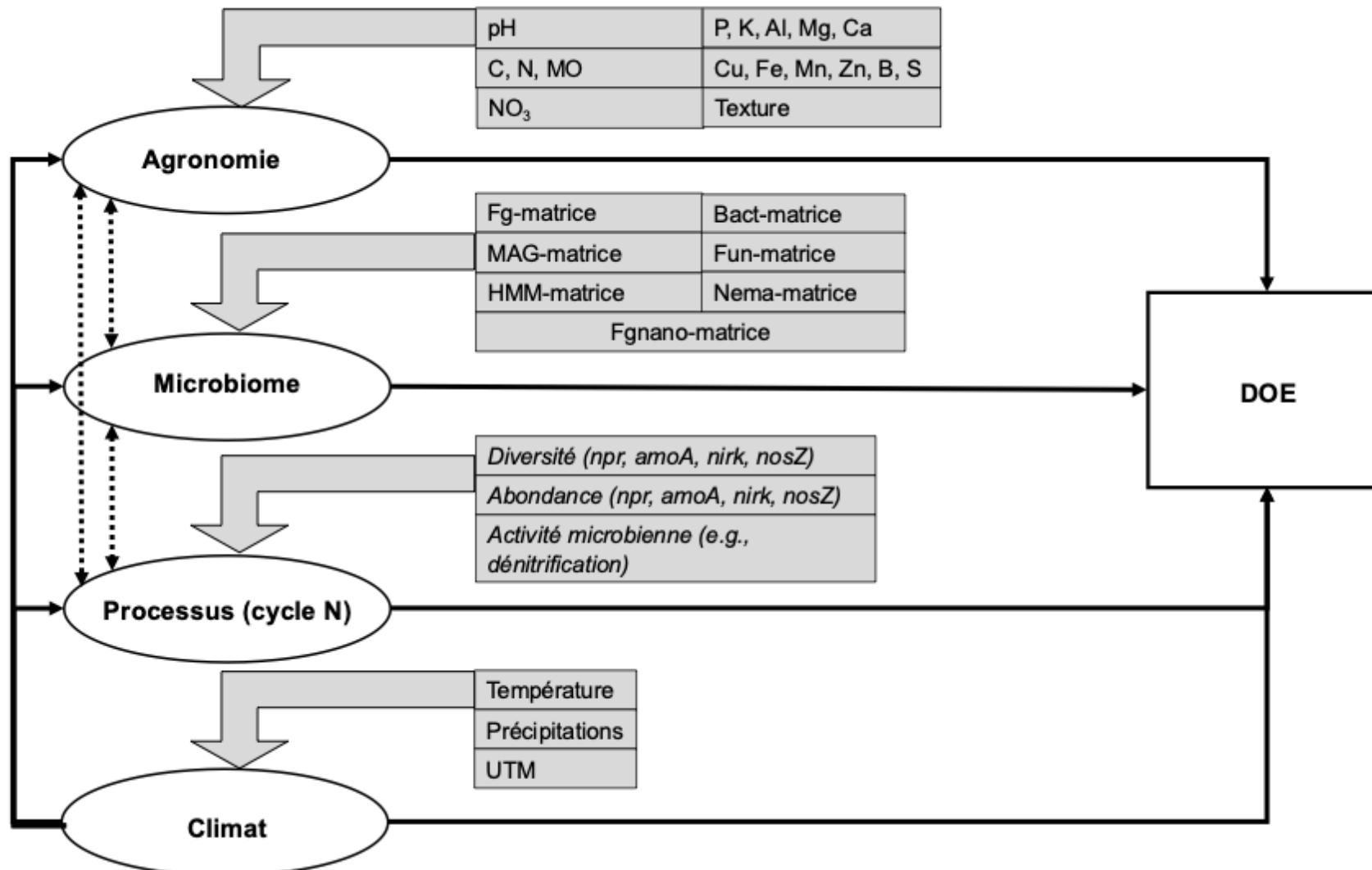
Daphnée Sabourin
(candidate M.Sc.)



Hubert Côté
(candidat M.Sc.)



Karolane Garand
(candidate M.Sc.)



Valérie Duchesne
(doctorante)



Les livrables : articles et rapports

(P1) Contribution variables génomiques et agronomiques pour expliquer la variation de DOE

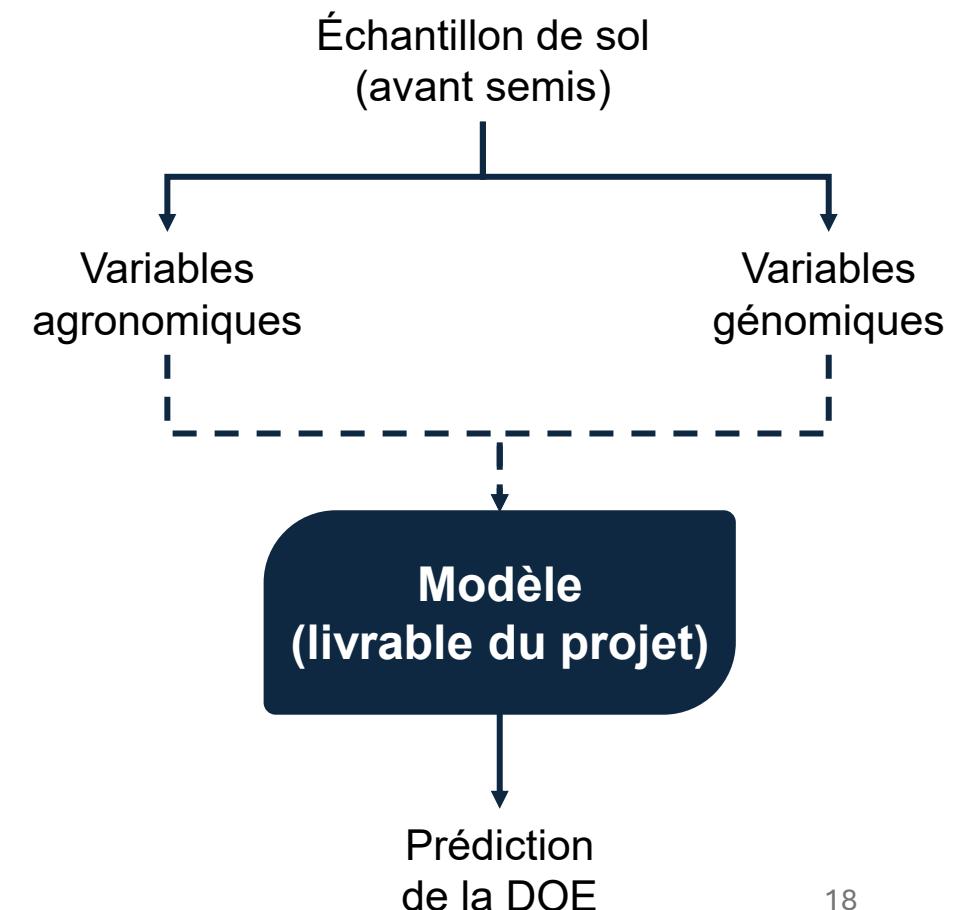
(P2) Comparaison des performances de deux technologies (Nanopore and Illumina) pour expliquer la variation de DOE

(P3) Contribution de la génomique pour expliquer le potentiel d'émissions de N_2O des sols

(P4) Rapport sur l'impact des pratiques d'agriculture régénératives (conventionnelle, cultures de couverture et fumier) sur la diversité et fonctions des communautés microbiennes du sol

(P5) Modèle prédictif de la DOE

Les livrables : outil d'aide à la prise de décision démocratisé





Communauté de pratique de 10 agronomes et producteurs

Mobilisation des connaissances : présentations et discussions (2025)

Présentation des résultats préliminaires (2026)

Formation à l'utilisation des outils génomiques (2027)

Commande de la communauté de pratique : Réseauter avec les autres projets similaires

Retombées anticipées

Communauté scientifique : originalité, impact



- Bases de données
- Ingénierie des communautés

Praticiens : sensibilisation, nouvelles connaissances



- Regard critique
- Avancements

Plus de confiance pour atteindre des impacts enviro-économiques



- Potentiel de réduction de 50% des applications

Formation de personnel hautement qualifié : mentorat de groupe



- Cadre interdisciplinaire
- Cadre de formation excellent

Merci pour votre attention!



Institut national
de la recherche
scientifique



Chaire de recherche en partenariat
INRS-Ville de Laval



(450) 687-5010, poste 4117



philippe.constant@inrs.ca

