

# 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

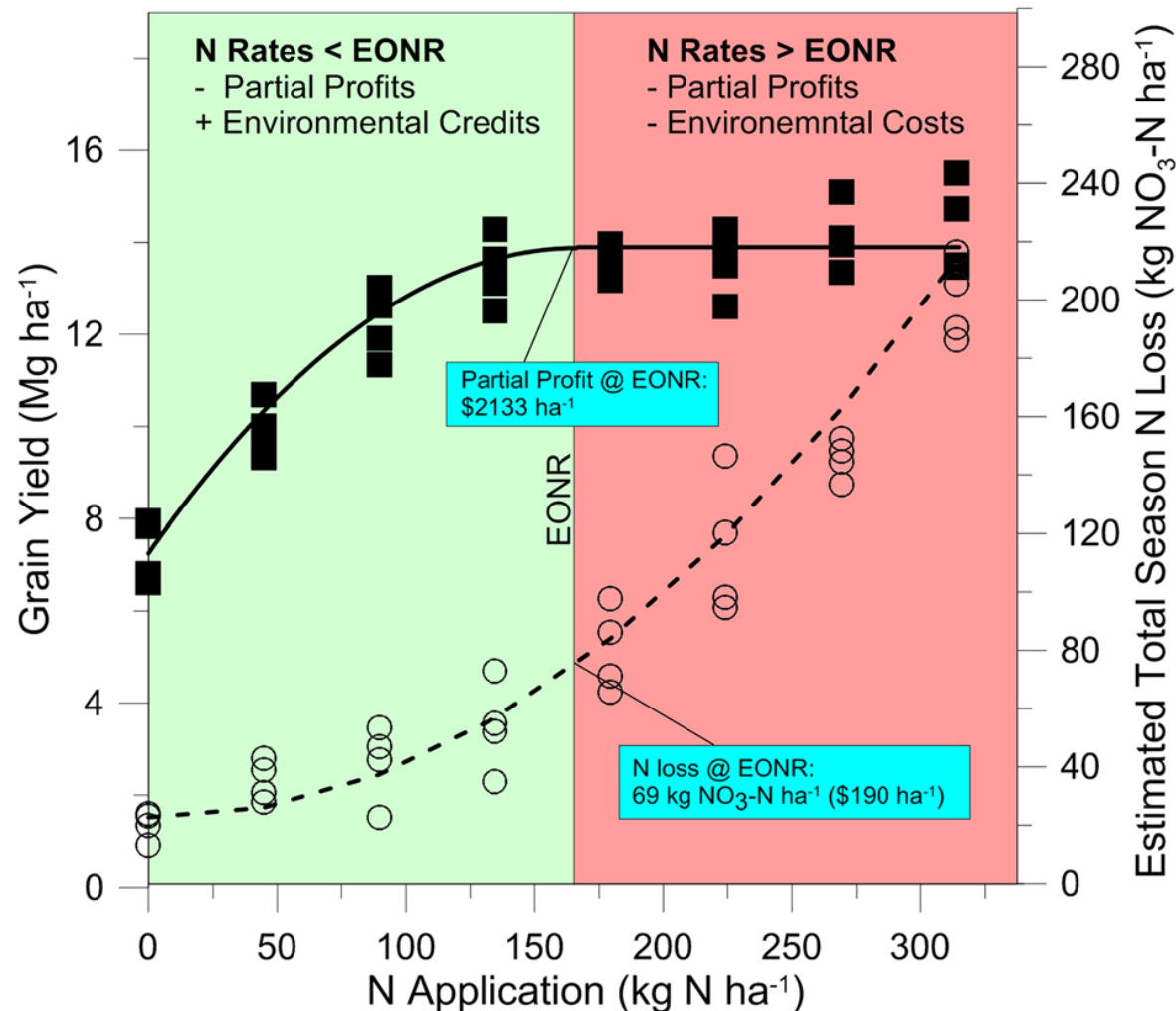
**160**

kg N ha<sup>-1</sup> serait optimal  
comparativement aux  
200 kg N ha<sup>-1</sup>  
couramment appliqués

**15%**

cible de réduction  
des applications  
du PAD 2020-30

## La dose économique optimale d'azote (DOE)



Source : Ransom et al., Agronomy Journal, 2018

- Variabilité spatio-temporelle

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

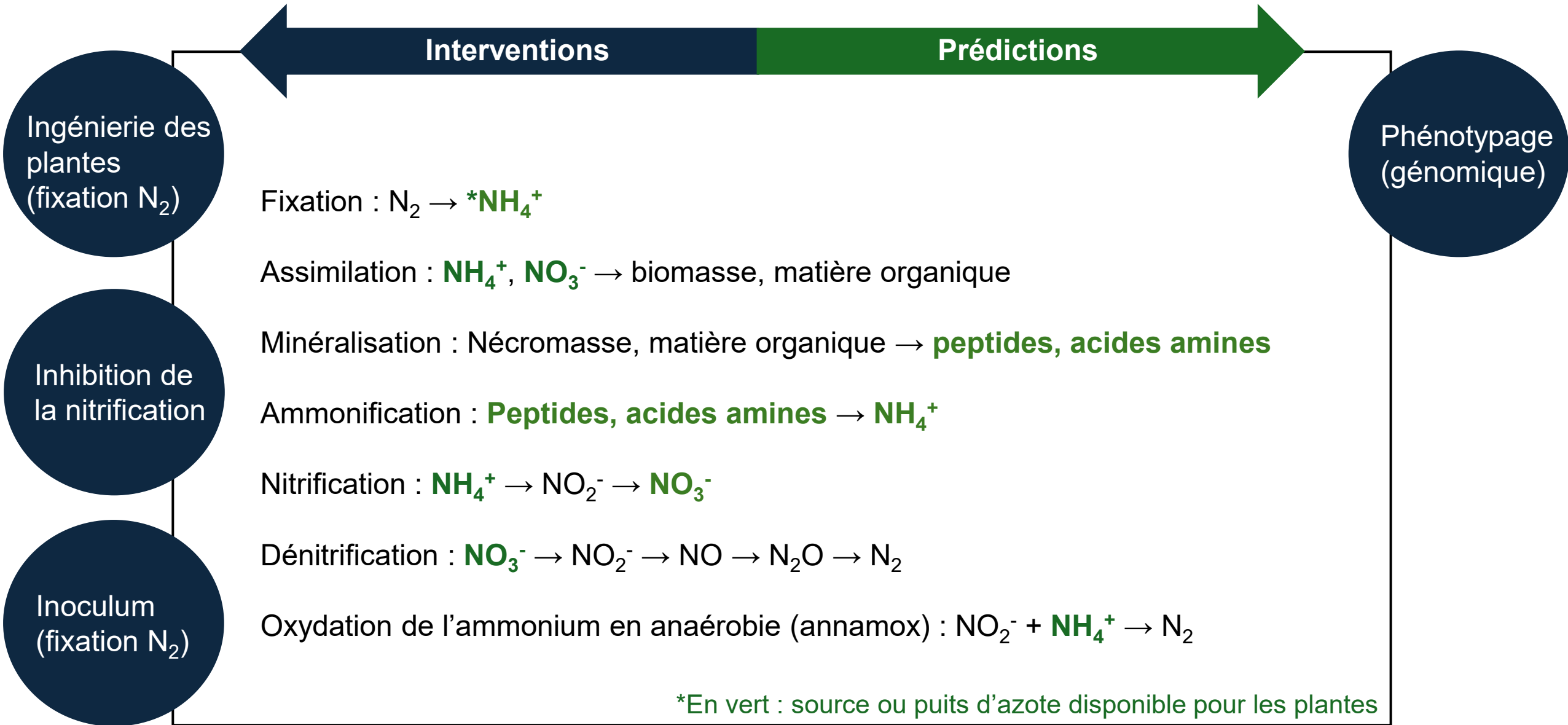
Tests de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (post-levée)

Réflectance de la canopée

Tests de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (avant semis)

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

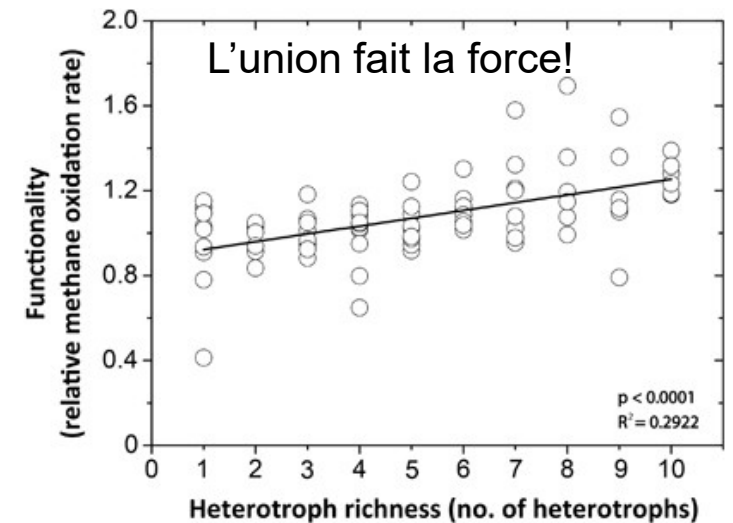
# 01 Démarche alignée avec les progrès en microbiologie



- “*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



Exemple de diversité microbienne d'un échantillon environnemental déposé sur milieu nutritif gélosé





# 01 Démarche alignée avec les progrès en microbiologie



- 
- 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
- 



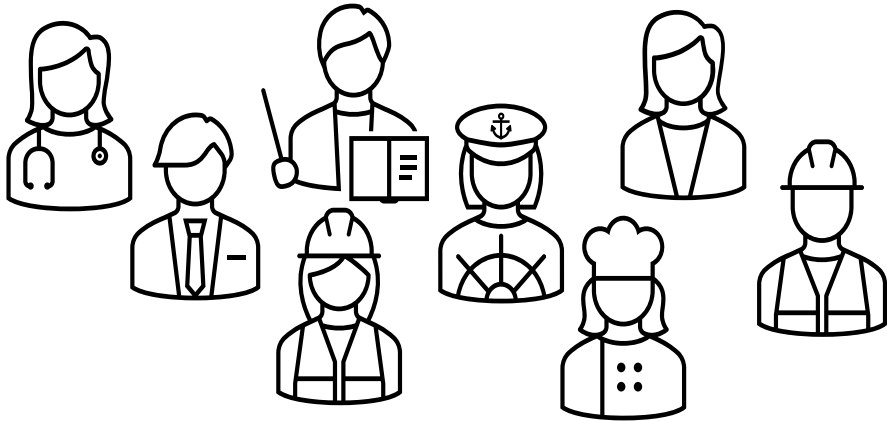
Une application de la PCR bien connue!



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

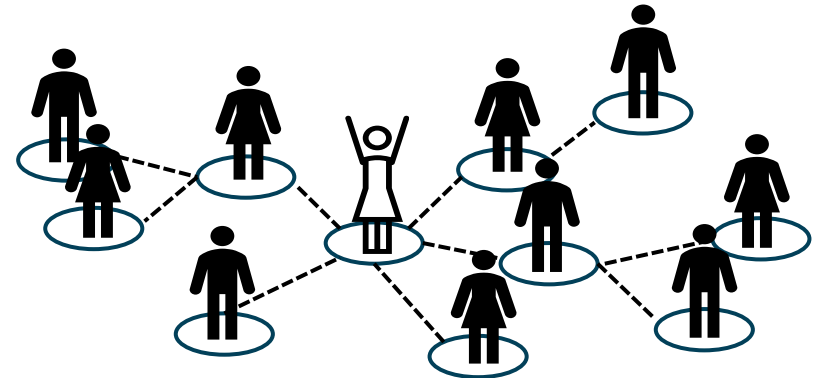


# 01 Démarche alignée avec les progrès en microbiologie



→ Diversité pour supporter les services

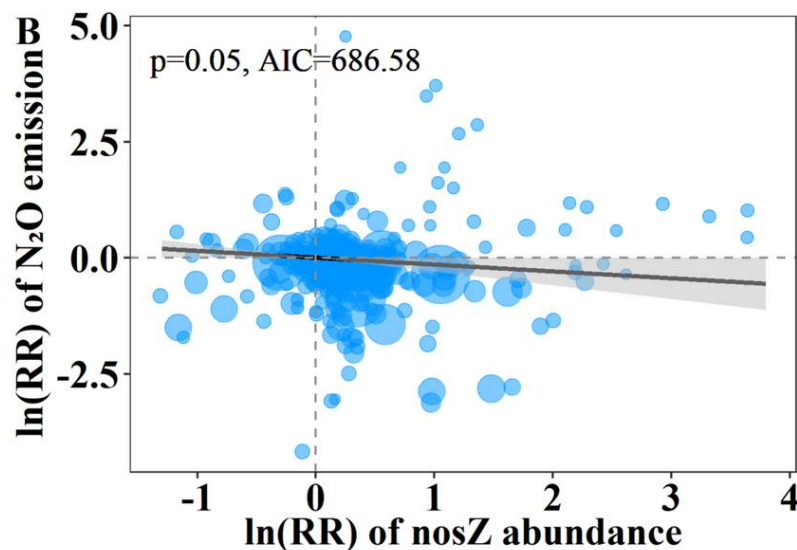
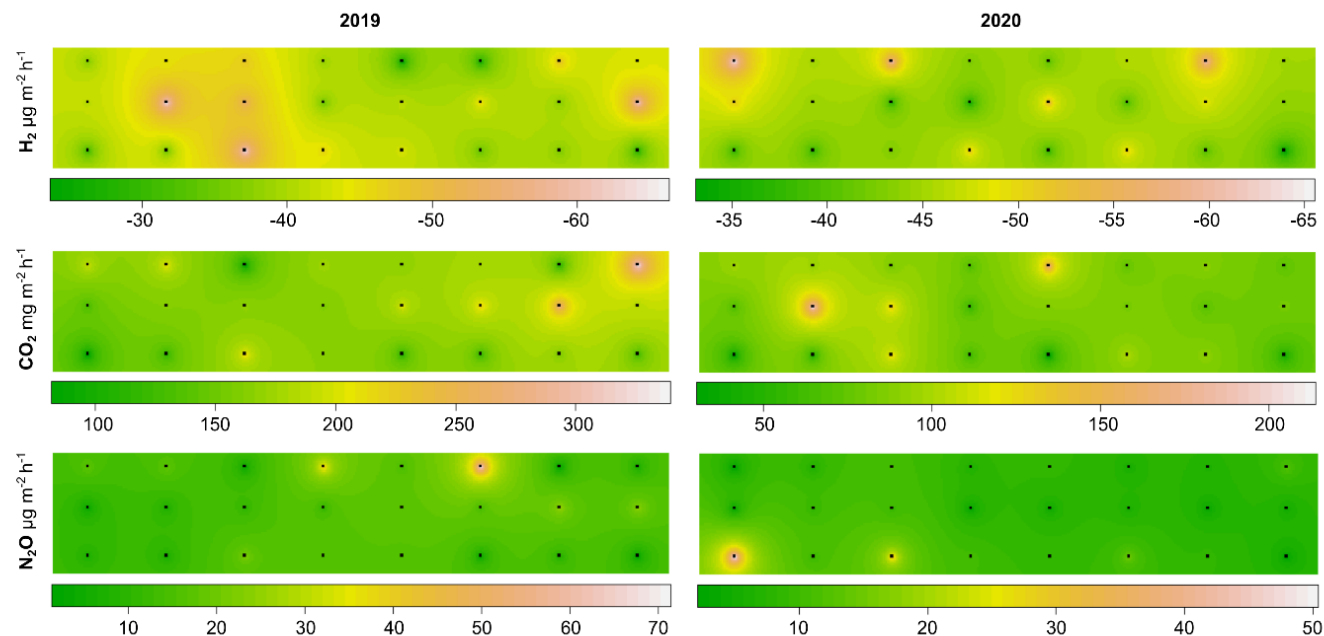
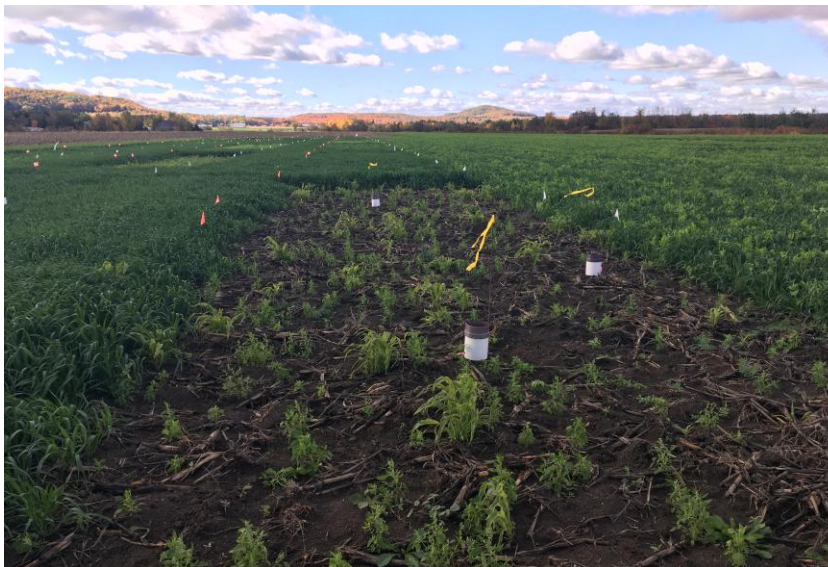
→ Redondance fonctionnelle pour assurer la stabilité



→ Réseaux sociaux structurés autour de quelques « espèces » clés

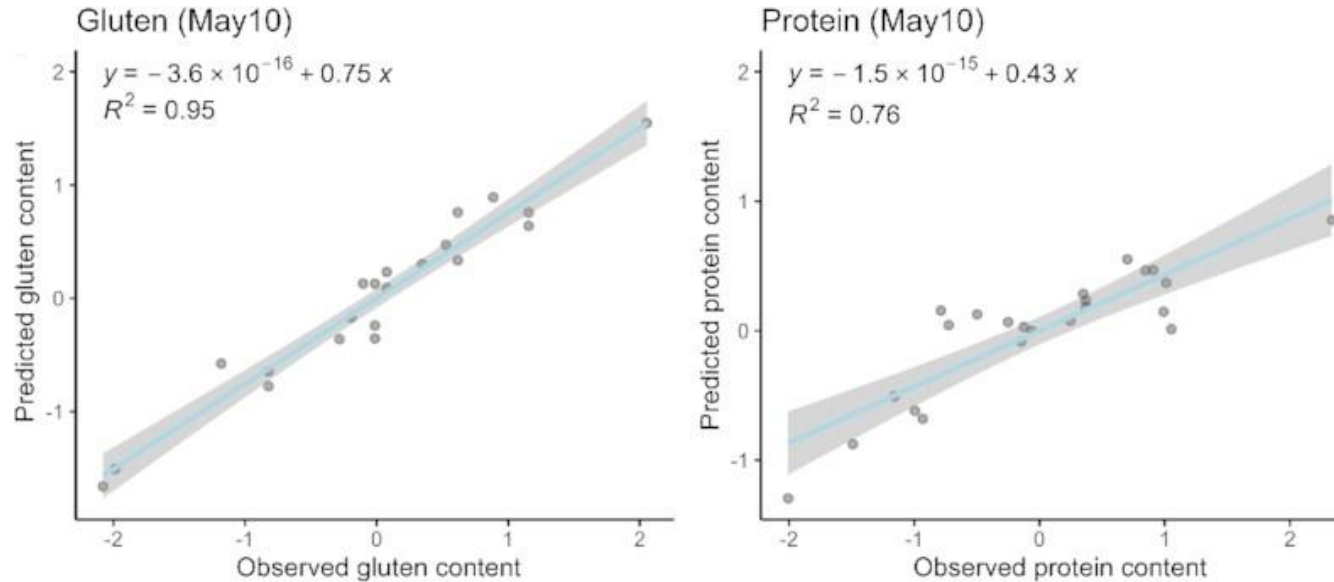
→ Découplage entre abondance et contribution

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



- 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 méta-analyse (figure gauche)

# 01 Démarche alignée avec les progrès en microbiologie



Trends in  
Microbiology

## Opinion

### The forecasting power of the microbiome

Sara Correa-Garcia<sup>1</sup>, Philippe Constant<sup>1</sup> and Etienne Yergeau<sup>1,\*</sup>

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.

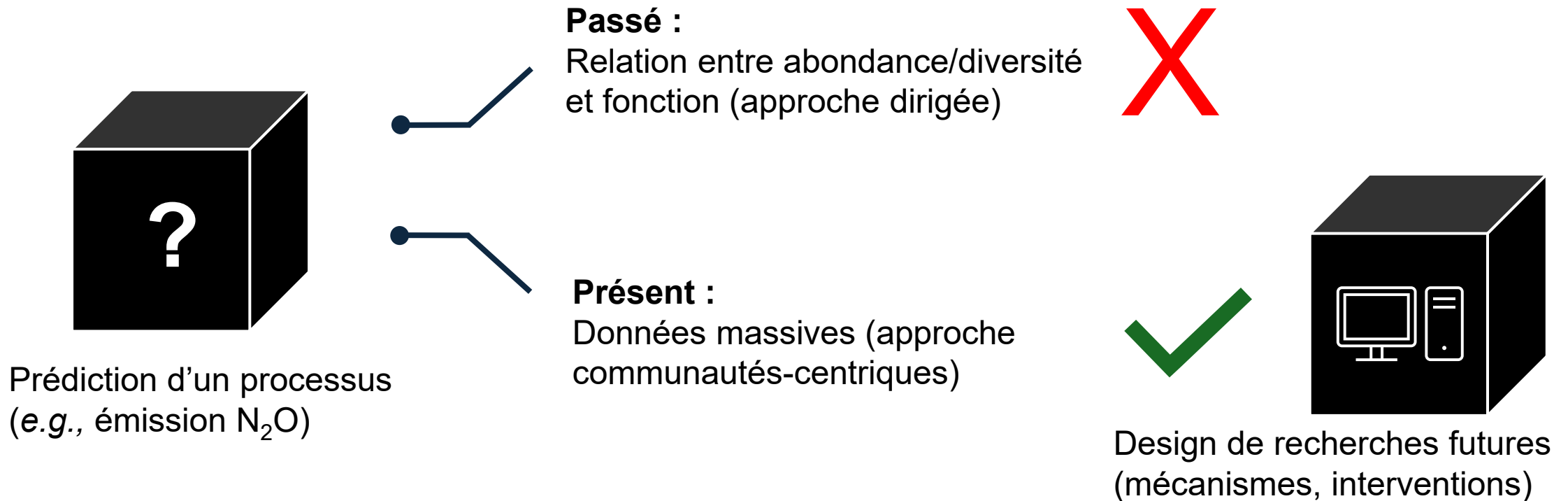
Several recent studies have used microbial communities as indicators of future ecosystem processes, resulting in high-accuracy models to forecast crop quality, soil health, and susceptibility to infection, among others.

- 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 lègue du passé, et le présent est garant du futur (figure droite)

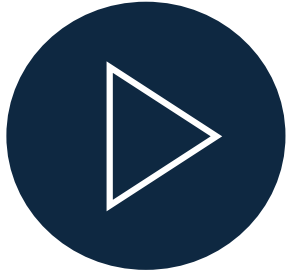
# 01 Démarche alignée avec les progrès en microbiologie



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



## 02 Un projet microbiome-centrique pour guider la fertilisation



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

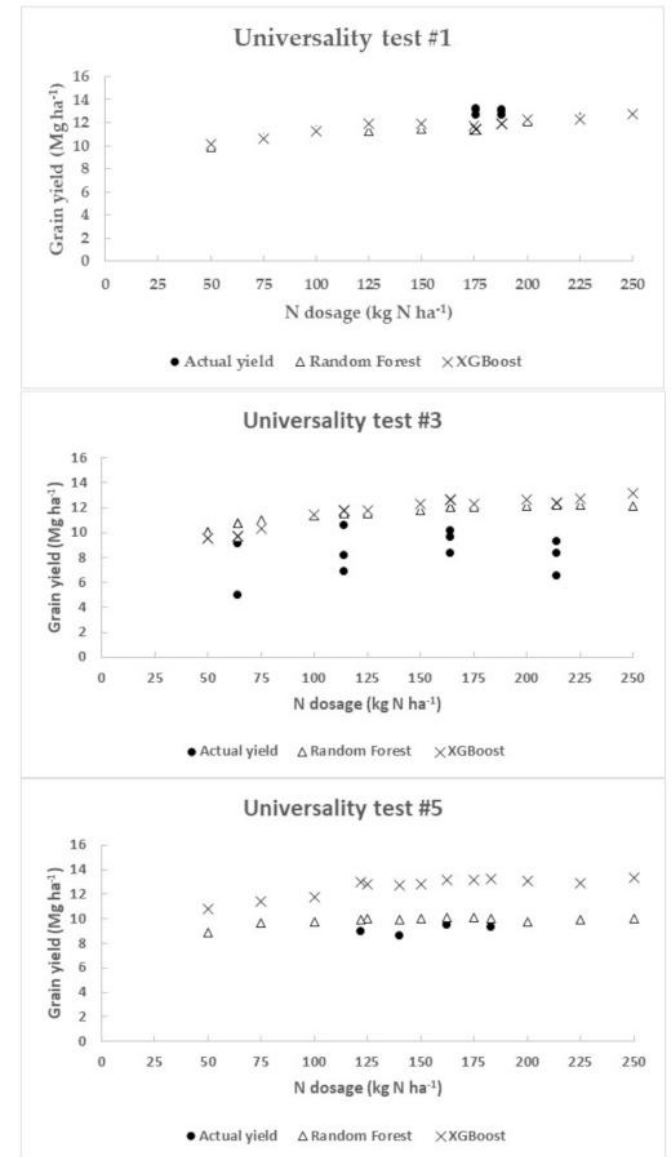


**La question :** peut-on améliorer les outils prédictifs  
actuels en intégrant la génomique du sol?

- 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



Amadou Barry  
Statistiques



Philippe Constant  
Biogéochimie



Audrey-Anne Durand  
Associée de recherche



Canada



Pierre-Luc Chagnon  
Pédologie



Hervé van der Heyden  
Génomique



Jacynthe Dessureault-Rompré  
Agronome



Gabriel Desrosiers  
Agronome





**(O1)** examiner la relation entre les variables climatiques, agronomiques, microbiologiques et génomiques ;

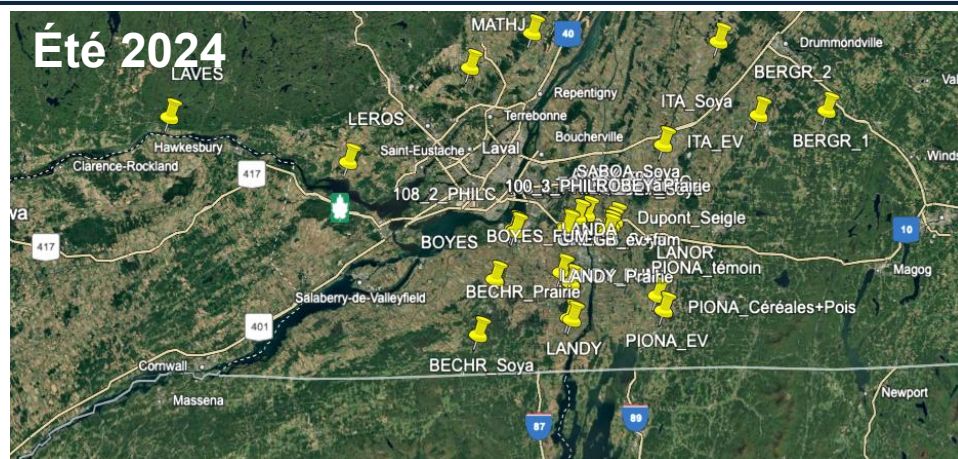
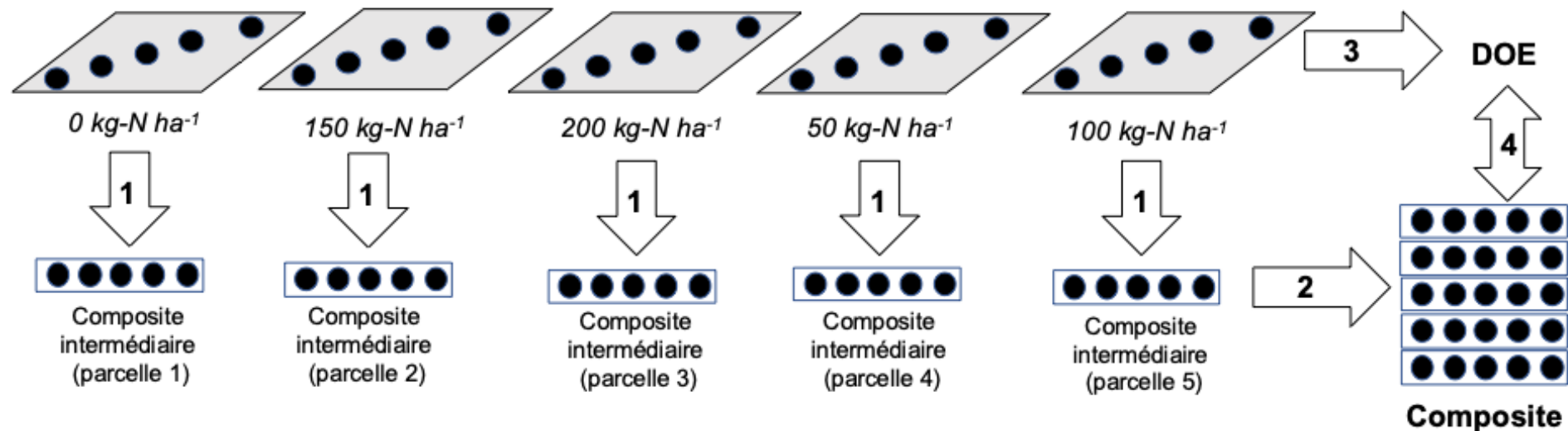
**(O2)** identifier les caractéristiques microbiennes importantes qui ont une incidence sur la variabilité agronomique et la prédiction de la DOE ;

**(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)**



## 02 Un projet microbiome-centrique pour guider la fertilisation



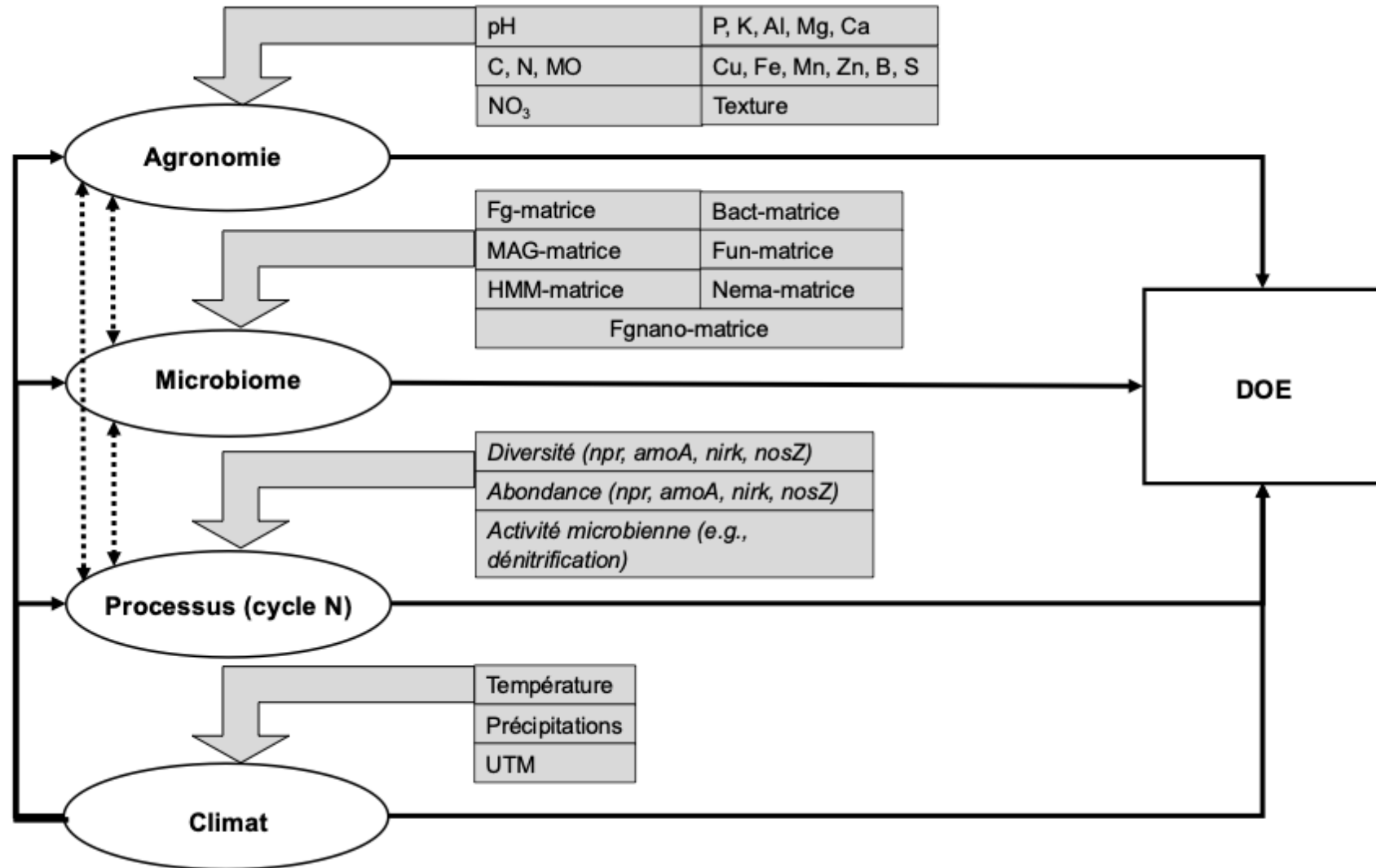
Daphnée Sabourin  
(candidate M.Sc.)



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

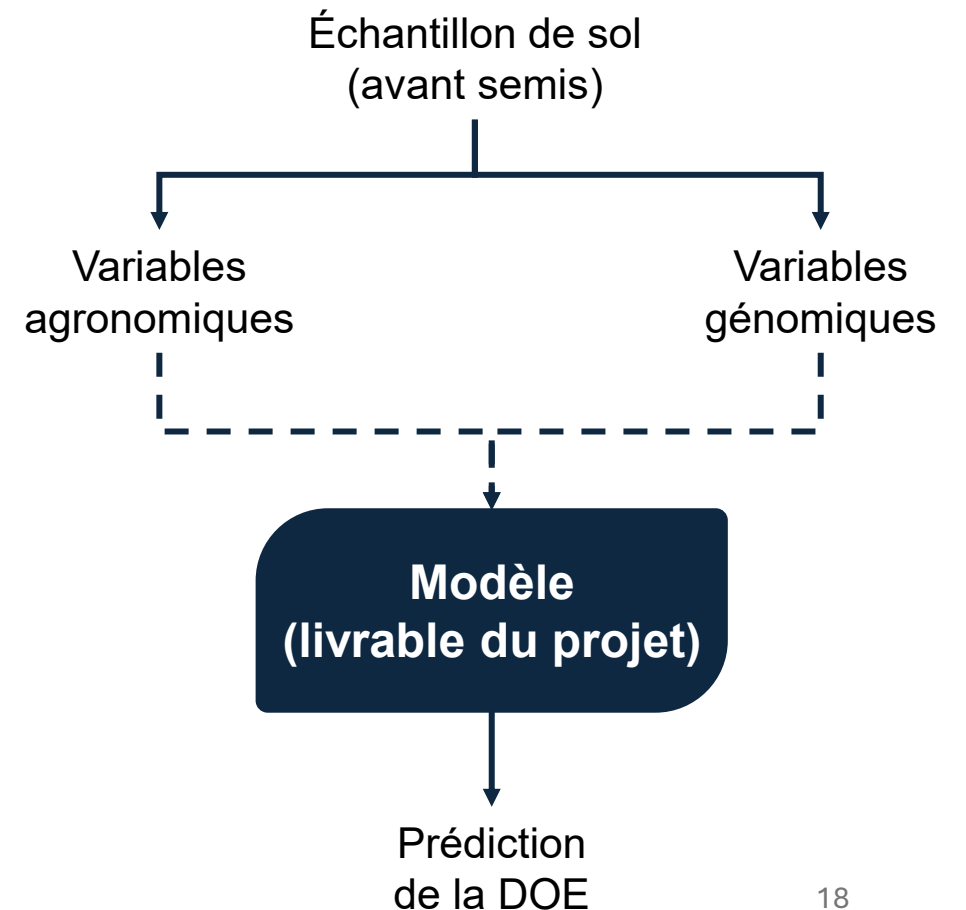
**(P2)** Comparaison des performances de deux technologies (Nanopore and Illumina) pour expliquer la variation de DOE

**(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 decision démocratisé





## 02 Un projet microbiome-centrique pour guider la fertilisation



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](mailto:philippe.constant@inrs.ca)

