

MASTER/INGENIEUR Agronome : Modélisation des flux d'azote à partir des abondances isotopiques naturelles de l'azote (^{15}N) dans un système polyculture-élevage bovin laitier

L'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) est un établissement public de recherche rassemblant une communauté de travail de 12 000 personnes, avec plus de 270 unités de recherche, de service et expérimentales, implantées dans 18 centres sur toute la France. INRAE se positionne parmi les tout premiers leaders mondiaux en sciences agricoles et alimentaires, en sciences du végétal et de l'animal, et en écologie-environnement. Ses recherches visent à construire des solutions pour des agricultures multi-performantes, une alimentation de qualité et une gestion durable des ressources et des écosystèmes.

Environnement de travail, missions et activités

Vous exercerez votre activité au sein de l'unité mixte de recherche (UMR) Herbivores. Cette unité a pour mission de produire, d'intégrer et de diffuser des connaissances, ainsi que de partager son expertise afin de concevoir des systèmes d'élevage herbivores multi-performants répondant aux enjeux des changements globaux (environnementaux, socio-économiques et de transition numérique). L'unité compte 118 agents titulaires et accueille chaque année environ 70 personnes non permanentes. Elle est organisée en quatre équipes de recherche, une équipe de direction et une équipe d'appui.

Vous travaillerez au sein de l'équipe Systèmes d'Élevage, Transition Agroécologique, Résilience et Qualité des Produits (STARQ) et de l'équipe Digestion, Nutrition, Aliments, Métabolisme, Microbes (DINAMIC). Vous serez également amené(e) à interagir avec des chercheurs et ingénieurs des unités Ferlus (Lusignan), SAS et PEGASE (Rennes) d'INRAE.

Le projet sur lequel vous serez impliqué vise à **comprendre et modéliser les interactions entre les flux d'azote et les signatures isotopiques naturelles de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$)** dans un système expérimental de polyculture-élevage bovin laitier.

L'azote est un élément essentiel à la productivité des agroécosystèmes mais son usage accru au cours du dernier siècle a conduit à une forte baisse de son efficacité d'utilisation. Une fraction importante de cet azote est perdue dans l'environnement, contribuant à l'eutrophisation des eaux (lixiviation de nitrate), à la dégradation de la qualité de l'air (volatilisation d'ammoniac) et au changement climatique (émissions de protoxyde d'azote). L'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote et le renforcement du bouclage de son cycle constituent des leviers essentiels pour réduire ces pertes et améliorer la durabilité des systèmes agricoles.

L'azote est un élément naturellement présent sous la forme de deux isotopes stables : l'isotope léger, ^{14}N (99,63 %), et l'isotope lourd, ^{15}N (0,37 %). L'analyse du $\delta^{15}\text{N}$ constitue une approche prometteuse pour évaluer le bouclage du cycle de l'azote. En effet, les micro-organismes qui transforment l'azote, par exemple lors de la décomposition de la matière organique ou de la nitrification, préfèrent généralement le ^{14}N , plus léger, laissant ainsi davantage de ^{15}N dans le substrat restant. Plus généralement, les réactions associées aux pertes d'azote, telles que la nitrification, la volatilisation de l'ammoniac ou la dénitrification, favorisent l'isotope léger ^{14}N par rapport au ^{15}N . Ces processus peuvent donc s'accompagner de fractionnements isotopiques marqués, se traduisant par un appauvrissement relatif en ^{15}N des formes d'azote perdues, notamment gazeuses, et un enrichissement relatif en ^{15}N des compartiments résiduels, tels que les sols, les plantes et les animaux.

Parmi ces compartiments, les sols et les poils animaux présentent un intérêt particulier car leur dynamique relativement lente leur permet d'intégrer l'histoire du cycle de l'azote et d'enregistrer des signatures isotopiques indiquant son degré d'ouverture ou de fermeture dans les systèmes d'élevage (Kriszan et al., 2014). Cependant, la complexité des processus déterminant les signatures en ^{15}N rend leur interprétation encore peu documentée. L'enjeu est ainsi de relier les dynamiques rapides du cycle de l'azote aux dynamiques plus lentes et intégratives enregistrées dans les sols et les poils animaux, afin de mieux comprendre les déterminants du $\delta^{15}\text{N}$ et d'évaluer son potentiel comme indicateur de l'efficacité et du degré de fermeture du cycle de l'azote.

Ce stage s'inscrit dans le projet de recherche NATAN15 visant à analyser et modéliser les interactions entre dynamiques rapides et lentes du cycle de l'azote dans les systèmes d'élevage. Ce projet a pour objectif d'évaluer le potentiel du $\delta^{15}\text{N}$ des poils de ruminants et des sols comme indicateurs intégrés de l'efficacité et du degré de fermeture du cycle. Il s'appuie sur le [dispositif OasYs](#) en polyculture-élevage bovin laitier, en comparant deux zones contrastées sur 12 mois : (i) une zone pâturée, où les dépôts directs devraient limiter les pertes gazeuses, et (ii) une zone fauchée, où l'épandage de déjections stockées préalablement devraient les accentuer. Différents compartiments (sols, plantes, poils, effluents) liés à l'utilisation de ces zones ont été échantillonnés et sont en cours d'analyse pour leur $\delta^{15}\text{N}$. **L'objectif du stage proposé sera d'adapter un modèle mécaniste multi-compartimental existant (Poupin et al., 2014) au contexte du projet afin de décrire l'évolution temporelle des signatures isotopiques du ^{15}N dans des compartiments intégrateurs (poils, sols) à partir de la dynamique des flux d'azote, et ainsi d'évaluer le potentiel de ces signatures isotopiques comme marqueurs indirects du degré de bouclage du cycle de l'azote.**

Vous serez plus particulièrement en charge de :

1. Réaliser une revue de la littérature et l'analyser de manière critique afin de vous approprier les dynamiques de l'azote dans les systèmes de polyculture-élevage laitier, et d'identifier les processus clés ainsi que les paramètres associés ;
2. Adapter et étendre, par des exercices de codage, le modèle mécaniste multi-compartimental retenu, puis réaliser une analyse de sensibilité afin d'identifier les paramètres les plus influents sur les résultats des simulations et d'évaluer la cohérence du fonctionnement du modèle au regard des dynamiques d'azote attendues dans le système étudié ;
3. Calibrer et évaluer le modèle à l'aide des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ observées et, lorsque disponibles, des flux d'azote mesurés ou estimés par d'autres méthodes.

Conditions particulières d'activité : Travail principalement sur écran, avec possibilité de visiter des dispositifs expérimentaux en bovins lait.

Bibliographies

Kriszan, M., Schellberg, J., Amelung, W., Gebbing, T., Pötsch, E.M., Kühbauch, W., 2014. Revealing N management intensity on grassland farms based on natural $\delta^{15}\text{N}$ abundance. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 184, 158–167. doi:10.1016/j.agee.2013.11.028

Poupin, N., Mariotti, F., Huneau, J.-F., Hermier, D., Fouillet, H., 2014. Natural Isotopic Signatures of Variations in Body Nitrogen Fluxes: A Compartmental Model Analysis. *PLoS Computational Biology* 10, e1003865. doi:10.1371/journal.pcbi.1003865

Formation et compétences recherchées

Formation recommandée : étudiant(e) en Master 2 ou dernière année d'école d'ingénieur en agronomie, sciences de l'environnement, écologie ou domaine équivalent.

Connaissances souhaitées : Système polyculture-élevage, les cycles biogéochimiques, Modélisation mécaniste

Expérience appréciée : Connaissances en techniques de simulation, Logiciels R ou Vensim

Aptitudes recherchées : Travail en équipe, autonomie, rigueur et capacité d'organisation

Votre qualité de vie à INRAE

En rejoignant INRAE, vous pourrez bénéficier selon le type de contrat :

- de 2,5 jours de congés par mois de présence ;
- [d'activités sportives et culturelles](#) ;
- d'une participation financière à vos frais de transports en commun ;
- d'une restauration collective.

Le site de Theix, situé à Saint-Genès-Champanelle, est desservi par la ligne de bus P39 de la [T2C](#) ainsi que par une ligne de transport à la demande ; il est également équipé d'un parking et de services dédiés au vélo.

Modalités d'accueil

- Nom de l'unité d'accueil : **UMR Herbivores**
- Code postal + ville du lieu d'exercice : **63122 St Genès Champanelle**
- Type de contrat : **Stage**
- Durée du stage : **6 mois**
- Date d'entrée en fonction : **Janvier/Mars 2027**
- Rémunération : **4,50 € / heure de présence effective**

Modalités pour postuler

Merci de transmettre une lettre de motivation et un CV par mail à

Hieu NGUYEN-BA – hieu.nguyen-ba@inrae.fr

Et

Gonzalo CANTALAPIEDRA – gonzalo.cantalapiedra@inrae.fr

✖ Date limite pour postuler : **15/10/2026**

Les personnes accueillies à INRAE, établissement public de recherche, sont soumises aux dispositions du Code de la fonction publique notamment en ce qui concerne l'obligation de neutralité et le respect du principe de laïcité. A ce titre, dans l'exercice de leurs fonctions, qu'elles soient ou non au contact du public, elles ne doivent pas manifester leurs convictions, par leur comportement ou leur tenue, qu'elles soient religieuses, philosophiques ou politiques. > En savoir plus : site fonction publique.gouv.fr