

## Programme 2022 Instituts et Initiatives – Institut de la Transition Environnementale

**Sujet de thèse : Mécanismes sous-jacents à l'inhibition de la nitrification par les Poacées : un prérequis pour son utilisation en agroécologie**

**Mots clés :** Agroécologie, Ecologie des sols, des plantes et microbienne, Inhibition Biologique de la Nitrification, Cycles biogéochimiques, Conservation des nutriments, Acceptabilité des pratiques agro-environnementales.

**Etablissement/Laboratoire/ED :** SU ; UMR 7618 Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement de Paris (IEES Paris) ; Département Diversité des Communautés et Fonctionnement des Ecosystèmes (DCFE) ; Equipe Écologie intégrative : des Mécanismes aux Services écosystémiques (EMS) ; ED227 Sciences de la nature et de l'Homme : évolution et écologie.

**Encadrement :** Directeur de thèse HDR : Jean-Christophe Lata ([jean-christophe.lata@sorbonne-universite.fr](mailto:jean-christophe.lata@sorbonne-universite.fr)). Doctorantes en cours d'encadrement par JC Lata : Marie Belin commencée nov. 2020 (JC Lata Directeur de thèse HdR, E. Gendreau (iEESParis) Encadrant, thèse AFB/CDC Biodiversité du projet DessusDessous) ; Co-encadrant d'Alice Ardichvili (25%) (S. Barot, N. Loeuille Directeurs) Sorbonne Université - ED 227 – commencée fin 2020. Taux d'encadrement total : 0,75.

En plus de l'encadrant principal, *les autres personnes impliquées dans l'encadrement seront* : Xavier Le Roux (UMR 5557 LEM Lyon1) pour l'analyse des relations entre traits des plantes et pouvoir BNI et Cecile Gubry-Rangin (School of Biological Sciences, University of Aberdeen, UK) pour l'analyse des communautés microbiennes par biologie moléculaire, biologie cellulaire et biochimie.

*Publications récentes et choisies des encadrants en lien avec le sujet :*

Kaur-Bhambra J, et al., Gubry-Rangin C (2022) Revisiting plant biological nitrification inhibition efficiency using multiple archaeal and bacterial ammonia-oxidising cultures. *Biol Fertil Soils*. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01533-1>

Srikanthasamy T, Barot S, Koffi FK, Tambosco K, Marcangeli Y, Carmignac D, N'Dri AB, Gervais J, Le Roux X, Lata JC (2021) Short-term impact of fire on the total soil microbial and nitrifier communities in a wet savanna. *Ecol. Evol.*, 11, 9958-9969

Srikanthasamy T, J Leloup, AB N'Dri, S Barot, J Gervais, AW Koné, KF Koffi, X Le Roux, X Raynaud, J-C Lata (2018) Contrasting effects of grasses and trees on microbial N-cycling in an African humid savanna. *Soil Biology and Biochem.* 117:153-163

Subbarao GV, et al., JC Lata, B Gerard, S Tobita, IM Rao, HJ Braun, V Kommerell, J Tohme, M Iwanaga (2017) Genetic mitigation strategies to tackle agricultural GHG emissions: The case for BNI technology. *Plant Science*, 262, 165-168

Subbarao GV, Sahrawat KL, Nakahara K, Ishikawa T, Kishii M, Rao IM, Hash CT, George TS, Rao P Srinivasa, Nardi P, Bonnett D, Berry W, Suenaga K, Lata JC (2012) Biological Nitrification Inhibition (BNI) - A Novel Strategy to Regulate Nitrification in Agricultural Systems. *Advances in Agronomy*, Vol. 114, 249-302

### **Descriptif du sujet de thèse et méthodes envisagées**

Début 2021 a commencé un projet financé par l'ANR sur l'évaluation globale de l'inhibition biologique de la nitrification par les Poacées (Graminées). Ce projet (appelé Gain-Grass) réunit comme partenaires principaux 4 laboratoires français, l'Université de Nangui Abrogoua en Côte d'Ivoire, le Centre international de recherche japonais en sciences agricoles (JIRCAS) et l'International Center for Tropical Agriculture en Colombie (CIAT). Il est porté par le demandeur de ce sujet de thèse, JC Lata (qui n'a jamais encore bénéficié d'un financement de thèse à l'ITE). Ce projet est de 4 ans (mais il aura une prolongation d'un an pour cause Covid) et a un budget de 687 k€ mais pas de ligne budgétaire de thèse.

La capacité des Poacées pérennes à inhiber la nitrification des sols par exsudation racinaire, un processus appelé Inhibition Biologique de la Nitrification (BNI), a été découverte pour la première fois dans les années 90 dans les savanes de Côte d'Ivoire (Cf. références plus haut et dans le lien plus bas) par le porteur du projet. En limitant la production et donc les éventuelles pertes de nitrate par lixiviation et dénitrification, la BNI conduit à des écosystèmes plus conservateurs en azote (N) et avec moins d'émissions de N<sub>2</sub>O (puissant gaz à effet de serre). **L'utilisation de ce procédé pour l'agriculture est très prometteuse car la BNI semble être présente chez des Poacées de pâturage et dans certaines variétés de différentes céréales (blé, sorgho, maïs...).** Ainsi, elle pourrait participer à augmenter

l'efficacité des engrais et réduire leur impact environnemental négatif. Cependant, à l'heure actuelle, on ne connaît pas l'occurrence de cette capacité à travers le monde parmi les Poacées ni les facteurs environnementaux qui déclenchent l'apparition, l'évolution et la réalisation de cette capacité.

L'objectif du projet ANR est précisément de s'attaquer à ces problèmes suivant plusieurs axes : (1) Quelle est l'occurrence de la capacité BNI parmi les Poacées tropicales à travers le monde? Cette capacité est-elle corrélée à des contraintes environnementales particulières? (2) Quels sont les mécanismes sous-jacents de la BNI, i.e. ses impacts sur les communautés microbiennes du sol, en particulier les groupes de nitrifiants, et les rétroactions BNI sur les plantes? (3) Les Poacées BNI peuvent-elles être utilisées comme culture de couverture pour accroître la durabilité de l'agriculture? (4) Quel est l'impact de la BNI sur le budget N des (agro) écosystèmes tropicaux? Le projet est basé sur des collaborations déjà initiées par le biais de plusieurs consortiums internationaux (en particulier l'International BNI Consortium basé au Japon). La thèse s'insère dans les axes 2 et 3 de ce projet, et étudiera en milieu contrôlé (serre, mésocosmes) ces interactions en profitant des collaborations internationales et nationales du projet dans un cadre d'agroécologie.

Actuellement (2021-22), une campagne de prélèvements dans plusieurs savanes à l'échelle mondiale est réalisée (Afrique, Australie, Inde, Amérique du Sud). De cet échantillonnage mondial, un certain nombre d'espèces clés avec de fortes capacités BNI seront disponibles dès fin 2022 pour des expériences. Mais d'ores et déjà, des Poacées BNI modèles connues et cultivées à iEESParis (issues des savanes de Côte d'Ivoire) sont disponibles (ca. 10 espèces). En utilisant ces espèces modèles, puis les Poacées échantillonnées à l'échelle mondiale, **les objectifs de la/du Doctorant.e se répartissent sur 5 axes** : (1) analyser les interactions entre Poacées BNI et communautés microbiennes du sol, en particulier les (dé)nitrifiants; (2) évaluer comment la BNI peut être liée aux principaux traits végétaux; (3) étudier comment la BNI varie en fonction des caractéristiques du sol; (4) avoir des échanges avec les praticiens et *stakeholders* sur les paramètres clés à considérer (e.g. caractéristiques du sol) pour une acceptation et une mise en pratique du BNI dans une approche agroécologique ; et (5) être associé.e à la recherche de nouvelles molécules inhibitrices produites par les racines des Poacées BNI. Les trois premiers aspects seront étudiés en serres voire en microcosmes, et en collaboration entre iEESParis, le LEM à Lyon1, et l'ISYEB au MNHN. Le quatrième sera réalisé avec le partenaire du CIAT en Colombie qui travaille avec les agriculteurs sur ces aspects en Amérique du Sud et en Afrique – en particulier Jacobo Arango, leader du LivestockPlus project et membre de l'IPCC ; le dernier aspect sera réalisé grâce à la collecte des exsudats racinaires des Poacées cultivées en hydroponie par le partenaire JIRCAS au Japon et en particulier le Senior scientist Tadashi Yoshihashi.

Outre les publications et communications issues de la thèse, ses **résultats scientifiques principaux** seront de vérifier pour la première fois, si les principales hypothèses suivantes peuvent être validées : 1) les Poacées BNI ont un impact direct sur les nitrifiants et ont un impact indirect sur les dénitrifiants et l'ensemble des communautés microbiennes du sol à travers des changements dans la disponibilité de l'azote minéral, (2) les Poacées annuelles n'ont pas de capacité BNI en raison de leur faible densité racinaire et de leur économie d'azote, (3) les Poacées BNI ont des traits fonctionnels clés, par ex. préférence pour l'absorption de l'ammonium par rapport au nitrate, et (4) les Poacées BNI produisent des molécules inhibitrices plus diverses que celles découvertes jusqu'à présent. Enfin, (5) l'acceptabilité des pratiques utilisant les plantes BNI dépend des pratiques même (pâturage vs. production de céréales avec des itinéraires incluant des plantes BNI) et des caractéristiques clés des paramètres pédoclimatiques (e.g. pH, granulométrie et contenu en matière organique du sol).

La thèse est une thèse principalement expérimentale, et bénéficiera très fortement du projet (y compris du futur post-doc du projet sur l'axe 1) et du consortium associé, y compris à l'international (Japon ; Colombie ; Côte d'Ivoire ; Brésil ; Australie ; Af. du Sud etc.). Ce projet permettra également à la/le doctorant.e de manipuler des concepts et expériences touchant à la fois la biogéochimie (cycle de l'N, matière organique, physico-chimie des sols...), aux communautés microbiennes (biomasse moléculaire qPCR, différents gènes fonctionnels du cycle de l'N...), aux traits des plantes (SLA, LDMC,

LNC, LMR, SRL, RNC, RGR) et aux aspects d'application en agroécologie. Elle/il pourra s'insérer directement au sein de l'International BNI Consortium, et pourra bénéficier du meeting annuel au Japon. Elle/il se déplacera également au CIAT en Colombie pour les aspects agroécologie.

**Documents références :** <https://mycore.core-cloud.net/index.php/s/YKUa0U01MMUgKeN>

**Stratégie de publication :** La thèse consistera au développement de plusieurs approches complémentaires : (1) l'impact de la BNI sur les communautés microbiennes et (dé)nitrifiantes totales ; (2) les relations entre les caractéristiques fonctionnelles des traits aériens et souterrains des plantes et les capacités BNI ; (3) l'influence des caractéristiques du sol sur l'efficacité BNI (matière organique, pH...) et l'applicabilité en agroécologie. Chacun de ces thèmes donnera lieu à au moins un article, et la/le doctorant.e sera aussi associée aux publications du JIRCAS sur les nouvelles molécules BNI découvertes, et participer aux articles collectifs issus du projet e.g. sur les aspects agroécologie.

**Réorientation possible du sujet si échecs :** Le projet ANR (voir PDF associé au dépôt pour détail dans le lien fourni) est là pour soutenir la thèse, et iEESParis a déjà des Poacées modèles disponibles. En cas d'échec sur les espèces collectées au niveau mondial, la thèse se recentrera uniquement sur les espèces modèles disponibles et connues.

**Faisabilité sur 3 ans avec un calendrier prévisionnel :** Durant les 3 premiers mois la(le) doctorant(e) réalisera les tests pour préparer en serre et microcosmes les expériences de pousse des plantes. Durant la fin de la première année il(elle) lancera les manipulations en serre sur les volets (1) et (3) (impact sur les communautés microbiennes, impact des caractéristiques du sol) et se déplacera en Colombie pour 15 jours de discussion avec les parties prenantes. Durant la deuxième année, il(elle) lancera le volet (2) et écrira les deux articles sur les volets (1) et (3). Durant la troisième année, les six premiers mois seront consacrés à l'analyse et l'écriture de l'article sur le volet (2) et les six derniers mois seront consacrés à la rédaction de la thèse en elle-même et à la fin de l'écriture des articles (par exemple travail sur les premiers articles soumis après review). En parallèle, la/le doctorant.e suivra l'évolution des tests sur les molécules au Japon. Enfin, il n'y a pas de conditions de sécurité spécifiques.

**Financement hors salaire (missions, séminaires, fonctionnement, ...) et disponibilité du matériel nécessaire :** Le fonctionnement de la thèse sera entièrement assuré par le projet ANR et pourra de surcroît bénéficier de certains financements du BNI International Consortium. Le matériel est soit déjà présent, soit prévu et budgétisé dans le projet ANR.

**Adéquation à l'initiative/l'Institut :** l'adéquation du projet de thèse avec l'ITE, ou l'Initiative Biodiversité, Evolution, Ecologie, Société, est portée à la fois par des liens importants entre les niveaux différents de biodiversités et le fonctionnement des (agro)écosystèmes. Mais surtout, elle est portée par le potentiel d'application gigantesque d'une agriculture de transition vers un système tourné vers l'ammonium. Ces 3 dernières années ont vu un grand nombre d'articles militer pour considérer cette option au niveau de l'agriculture mondiale (e.g. <https://www.pnas.org/content/118/22/e2107576118.abstract>). Les tests réalisés sur le terrain au CIAT permettent d'estimer que des plantes BNI dans de bonnes conditions d'utilisation permettent de réduire 30% voire plus d'engrais appliqué, ou des pertes issues de ces engrais à partir du nitrate, et permettant de réduire l'eutrophisation des milieux. Les applications économiques, au-delà des retombées environnementales, sont suffisamment importantes pour commencer à voir des acteurs de la filière commencer à se positionner. Pour donner un exemple, suite au dépôt d'un projet européen ITN sur la conservation de l'N dans les agroécosystèmes comprenant les aspects BNI (et dont le déposant faisait partie), certaines entreprises comme BASF ont demandé à faire partie du projet.

**Profil de la candidature recherchée :** Master en écologie, avec une expérience et un goût pour l'expérimentation et avec du recul au niveau écologie globale, application potentielle en agriculture/agroécologie... Compétences en écologie microbienne et/ou écologie des plantes et/ou écologie des sols bienvenues. Grand besoin d'adaptation et de pluridisciplinarité.