

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

D'ILE DE France N° 129

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2019

Nom du Laboratoire d'accueil : IEES-Paris

N° UMR : 7618

Nom du Directeur du laboratoire : Martine Maibèche

Adresse complète du laboratoire : UMR 7618, iEES Paris, 4 place Jussieu - Tr 44-45, 75252 PARIS cedex 05

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : Biogéographie et Diversité des Interactions dans les Sols (Biodis)

Encadrement : NUNAN, Naoise

Raynaud, Xavier

Téléphone : 01 44 27 41 06

Téléphone : 01 44 27 41 32

Mail : naoise.nunan@upmc.fr

Mail : xavier.raynaud@upmc.fr

• **Titre de la thèse en Français : La rhizodéposition pour séquestrer du C atmosphérique dans les horizons profonds des sols**

• **Titre de la thèse en Anglais : Rhizodeposition for sequestering C in deep soil layers**

• **Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :**

Cadre général

Les sols ont une importance cruciale pour les régulations climatiques. En effet, ils contiennent trois fois plus de C que l'atmosphère (2400 GtC vs 800 GtC), sous forme de C organique présent dans les matières organiques (MO). Des modifications positives ou négatives du stock de C organique du sol peuvent impacter la concentration en CO₂ atmosphérique, sur des pas de temps de l'ordre de la décennie [1]. Les sols peuvent se comporter comme un puits ou une source de C, en fonction de leurs propriétés, du climat, de l'usage des terres... Dans ce contexte, l'initiative "4 pour 1 000 pour la sécurité alimentaire et le climat" (<http://4p1000.org/>), vise à fédérer au niveau mondial les acteurs étatiques et non étatiques qui souhaitent s'impliquer dans une meilleure gestion des stocks de C des sols. L'objectif est d'augmenter globalement ces stocks dans les zones agricoles (cultures, prairies, forêts), avec des effets positifs attendus à la fois sur la sécurité alimentaire et sur le changement climatique [2]. Une augmentation des teneurs en MO des sols est en effet également bénéfique pour la fertilité des sols.

Cependant, la faisabilité de séquestrer des grandes quantités de C dans les sols a été remise en cause pour des raisons stœchiométriques [3]. En effet, au niveau mondial, les sols de surface ont un rapport C:N assez constant d'environ 12 [4]. Le maintien de ce rapport pendant l'implémentation de l'initiative demanderait une augmentation des apports de N d'environ 75% [3], difficilement réalisable. A défaut, il pourrait y avoir une diminution de la productivité agricole causée par une immobilisation microbienne de l'azote, le rendant ainsi peu disponible aux plantes.

La séquestration du C dans les horizons profonds des sols, via la rhizodéposition de plantes avec un enracinement plus profond, apparaît comme un levier d'action possible. En effet, les rapports C:N des horizons profonds sont généralement moins élevés qu'en surface [4]. Cela veut dire que l'apport de C en profondeur ne causera pas nécessairement un déséquilibre stœchiométrique. Le rapport C:N en profondeur est aussi plus variable qu'en surface, suggérant que la contrainte stœchiométrique est moins importante. Un autre avantage de la séquestration du C en profondeur est que le temps de résidence du C est plus long. En effet, à un mètre de profondeur l'âge du C peut dépasser 1000 ans [5]. Cependant, les conséquences d'une

augmentation de la rhizodéposition en profondeur sont mal connues (effets sur l'écologie microbienne en profondeur ou sur les cycles biogéochimiques – augmentation des émissions de N₂O ou stimulation de la minéralisation des matières organiques du sol déjà présentes) et la stabilité de ce C rhizodéposé n'a pas encore été mesurée. Nos travaux ont montré qu'une séparation spatiale entre décomposeur et substrat de C organique pourrait expliquer les temps de résidence plus longs en profondeur [6]. Nous faisons donc l'hypothèse que des plantes avec une architecture racinaire plus dispersée augmente la séquestration dans les horizons profonds du sol parce que le C rhizodéposé sera moins accessible aux décomposeurs microbiens. Cette thèse s'inscrit dans le projet « Rhizodeposition for sequestering C in deep soil layers - DeepC » pour lequel un financement a été obtenu du CEREEP – ECOTRON ÎleDeFrance.

Objectifs scientifiques

On se propose dans cette thèse de déterminer si la stabilité du C organique rhizodéposé est affectée par l'architecture racinaire des plantes. Les effets des apports de C en profondeur sur les émissions de N₂O (un gaz à effet de serre) et sur la stimulation de la minéralisation des matières organiques du sol, un effet appelé « priming effect » (effet d'amorce [6]) seront aussi étudiés.

Méthodologie

1. Démarche

Nous ferons pousser deux variétés de blé (une variété domestiquée et une sauvage), avec des enracinements différents, dans des mésocosmes de sol (80cm de profondeur, diamètre 40cm) dans les Ecolabs du CEREEP – ECOTRON ÎleDeFrance (), sous atmosphère enrichie en ¹³C, pendant une saison de croissance complète. Le ¹³C sera incorporé dans les plantes via la photosynthèse et une partie sera rhizodéposée dans le sol, nous permettant ainsi de suivre et de quantifier le flux de C de l'atmosphère vers le sol en fonction de l'enracinement. Etant donné que l'enracinement est très affecté par le régime hygrométrique, deux régimes différents seront comparés (des cycles de dessiccation – réhumectation d'amplitudes différentes). Les mésocosmes seront préparés avec un sol limoneux, typique de la région Ile de France. L'horizon de surface et les horizons en profondeurs seront utilisés. Il y aura 24 mésocosmes au total (2 variétés de blé x 2 régimes hygrométriques x 6 répliques).

A la fin de la saison de croissance les 24 mésocosmes seront divisés en deux groupes de 12. Un premier groupe de 12 sera utilisé pour mesurer la distribution spatiale du ¹³C et de propriétés microbiologiques. Le deuxième groupe sera incubé pour encore 18 mois afin de déterminer la stabilité du C rhizodéposé.

2. Caractérisation et mesures

A la fin de la saison de croissance, 12 mésocosmes seront échantillonnés afin de cartographier la distribution spatiale des racines, du ¹³C dans le sol ainsi que certaines activités enzymatiques (cellulase, glucosidase). Il est aussi prévu de déterminer le potentiel de production de N₂O et de déterminer les quantités de ¹³C associées à la phase minérale du sol (argiles et limons fins). Pour ce faire, 300 échantillons (cubes de 1cm³) spatialement référencés seront prélevés des 12 mésocosmes. Une partie de ceux-ci seront utilisés pour mesurer les teneurs en ¹³C du sol à l'aide d'un analyseur élémentaire couplé à un spectromètre de masse isotopique ainsi que la biomasse racinaire présente. D'autres échantillons seront sélectionnés pour la détermination du potentiel de production de N₂O [7], l'association du ¹³C avec la phase minérale et les analyses enzymatiques par fluorescence [8]. Des cylindres de 100g non perturbés seront également prélevés pour mesurer la production de CO₂ et ¹³-CO₂ pendant des incubations de 6 mois avec un micro-GC et un GC-c-IRMS afin de déterminer la vitesse de minéralisation du ¹³C.

Le second groupe de 12 mésocosmes sera incubé à l'extérieur, au CEREEP pendant 18 mois (deux saisons de croissance) sous les mêmes variétés de blé. A la fin des 18 mois, des cylindres de 100g non perturbés seront prélevés et incubés au laboratoire pour déterminer la vitesse de minéralisation du ¹³C comme ci-dessus.

3. Conditions de réalisation

Les incubations permettant la croissance de blé se feront au CEREEP – ECOTRON ÎleDeFrance à Saint-Pierre-Lès-Nemours. Le candidat.e bénéficiera d'un support technique avec une grande expérience en environnements contrôlés sur place. Les mesures analytiques (¹³C, activités enzymatiques, activités de décomposition, analyse des communautés microbiennes...) se feront au laboratoire IEES-Paris à Jussieu. L'équipe d'accueil a une longue expérience de ce genre d'analyse et possède les moyens matériels nécessaires à la réalisation des expérimentations de la thèse (plateforme de spectrométrie de masse

isotopique, laboratoire de biologie moléculaire, enzymologie...).

• **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :**

The current changes in climate have led to an intense debate about how to stabilize or reduce the increasing atmospheric CO₂ levels [1]. Moves towards "low-carbon societies" in which greenhouse gas emissions are reduced through appropriate development pathways have been proposed [2]. Much interest has been shown in stabilizing atmospheric CO₂ levels through C sequestration, with particular attention being paid to C sequestration in soil, as the international 4p1000 initiative illustrates [3]. Indeed, sequestering C in soils is not only of interest from a climate point of view, but also for many other beneficial effects it can have: improved soil and water conservation and quality, restoration of degraded ecosystems and increased crop yields [4].

However, the feasibility of sequestering large amounts of C in soil has been questioned based on stoichiometric arguments [5]. Topsoils worldwide have a reasonably constant C:N ratio of ~12. Maintaining this C:N ratio stable during the implementation of the 4p1000 initiative in agricultural soils would require an increase in N inputs of ~75% [5]. A failure to do so would likely lead to a fall off in productivity as soil microbial communities would immobilise the available N.

Sequestering C in deeper soil horizons may provide us with an avenue to overcome these potential problems. Generally, the C:N ratio of subsoils is lower than in topsoils [6], meaning that larger amounts of C inputs may be accrued without causing major stoichiometric imbalances that might affect plant productivity. The subsoil C:N ratio is also more variable, suggesting that the stoichiometric constraints are not as strong. An additional advantage of sequestering C in the subsoil, is that the residence time of subsoil C can exceed 1000 years at just 1 m depth [7]. However, little is known of the consequences of increasing rhizodeposition in the subsoil (effects on subsoil microbial ecology and biogeochemical functioning resulting in potential increases in priming effects or in N₂O emissions, both having negative climate feedbacks), nor of the stability of such rhizodeposited C.

Objectifs

The aim of the thesis is to determine the effects of root architecture on the stability of rhizodeposited C in the deeper layers of soil.

Methodology

In order to determine whether the stability of rhizodeposited C in the subsoil is indeed a function of root traits, two wheat varieties will be grown in the Ecolabs, in a ¹³C-enriched atmosphere, for a full growing season. The ¹³C will be incorporated into the plants via photosynthesis and rhizodeposited in the soil, thus allowing us to trace and quantify the flow of C from the atmosphere to the soil as a function of root traits. We will grow the two wheat varieties (a domesticated and a wild variety that have different root architectures [10]) in a single soil (a sandy loam typical of the Ile-de-France region), under two different moisture regimes (high and low amplitude wet-dry cycles). All treatment combinations will be carried out in sextuplicate, meaning that the experiment will have 24 mesocosms (2 varieties x 2 moisture regimes x 6 reps = 24). The mesocosms will contain both topsoil and subsoil that will have been allowed to settle for 2 months before initiating the experiment. At the end of the growing season, the plants will be harvested and the 24 mesocosms will be divided in two sets:

1) *Spatial distribution of roots, added C and biological activity.* 12 mesocosms will be destructively sampled in order to map the spatial distribution of the root and ¹³C, which will be subsequently related to the stability of the newly added C (see below). Stabilisation of organic C on the mineral phase in the subsoil is likely to be greater than in the topsoil [7]. We will therefore establish how much subsoil C and recently deposited ¹³C is associated with the clay size and the fine silt size fraction, which are very stable forms of C. The distribution of enzyme activities involved in the carbon cycle (e.g. cellulase) will also be measured. The N₂O-producing microbial community will be characterized in order to determine whether the C input to the subsoil increases the N₂O production potential. The destructive sampling will consist of cutting the soil cylinders into 3cm thick slices and then dividing each slice into cubes. All the above analyses, as well as the spatial distribution of root biomass will be carried out on a subset of 300 spatially referenced cubes. The two varieties will also be grown in rhizotrons in order to fully characterise the two root architectures.

2) Stability of rhizodeposited C. The other 12 mesocosms will be incubated outside for another two growing seasons planted with the same varieties. At the end of the 2nd growing season, soil cores (4cm diameter) will then be taken from the full depth of each mesocosm for the analysis of the stability of ¹³C. The stability of the rhizodeposited C in sampled cores will be measured by laboratory incubations in which the ¹³C-CO₂ released from the samples will be monitored for 6 months. These measures will allow us to estimate the size and the mineralisation rates of the ¹³C pools in the different treatments [11]. The destabilisation of the rhizodeposited C by priming effects will also be determined. The changes in the estimates for the ¹³C pool between the first and third years will give us a clear idea of the long term stability of the rhizodeposited C.

Thesis environment

The plants will be grown in the Ecolabs at the CEREEP Ecotron Ile de France. The candidate will have expert technical support. The subsequent analyses will be carried out in the labs of iEES-Paris, where all the necessary equipment and technical expertise is available.

• **Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc..) :** Financement acquis pour les expérimentations en Ecolabs. Il est envisagé de faire une demande de financement EC2CO pour financer une partie des analyses au laboratoire

• **Encadrement :**

. **Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1^{er} janvier 2019**

(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

Pas d'encadrement

Bibliographie

1. Eglin T., Ciais P., Piao S.L., Barre P., Bellassen V., Cadule P., Chenu C., Gasser, T., Koven C., Reichstein M. et Smith P., 2010 - Historical and future perspectives of global soil carbon response to climate and land-use changes. *Tellus-B*, 62, pp. 700-718
2. Paustian K., Lehmann J., Ogle S., Reay D., Robertson G. P. et Smith P., 2016 - Climate-smart soils. *Nature*, 532, pp. 49-57.
3. van Groeningen et al.. 2017. Sequestering Soil Organic Carbon: A Nitrogen Dilemma. *Environmental Science & Technology*, 51, 4738-4739
4. Batjes, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world.. *Eur. J. Soil Sci.* 1996, 47, 151–163.
5. Moni, Chenu et al. (2010) Relative importance of sorption versus aggregation for organic matter storage in subsoil horizons of two contrasting soils *EJSS*, 61, 958-969
6. Salomé, Nunan, Chenu et al. (2010) Carbon dynamics in topsoil and in subsoil may be controlled by different regulatory mechanisms. *Global Change Biology*, 16, 416-426
7. Leloup J, Baude M, Nunan N, Meriguet J, Dajoz I, Le Roux X, Raynaud X (2018) Unravelling the effects of plant species diversity and aboveground litter input on soil bacterial communities. *Geoderma*, 317, 1-7.
8. Kim H, Nunan N, Dechesne A, Juarez S, Grundmann G (2015) The spatial distribution of exoenzyme activities across the soil micro-landscape, as measured in micro- and macro-aggregates, and the relationship with ecosystem function. *Soil Biology & Biochemistry*, 91, 258-267