

Titre du stage : Caractérisation physique du domaine d'activité microbiologique dans les sols

Laboratoires d'accueil : Laboratoire Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols (METIS) campus Jussieu (Université Pierre et Marie Curie), en collaboration avec l'Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement (iEES Paris), campus Jussieu (Université Pierre et Marie Curie).

Responsables du stage :

Nom : Jougnot ; Tél : 01 44 27 43 36 ; Courriel : damien.jougnot@upmc.fr

Nom : Nunan ; Tél : 01 30 81 55 23 ; Courriel : naoise.nunan@upmc.fr

Références dans le domaine :

Jougnot et al. (2009). Diffusion of ionic tracers in the Callovo-Oxfordian clay-rock using the Donnan equilibrium model and the formation factor. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73(10), 2712-2726.

Jougnot et al. (2016). Electrical Resistivity Monitoring of Saline Tracer Fingering at Pore Scale under Partially Saturated Conditions. In *Near Surface Geoscience 2016-22nd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*.

Nunan, 2017. The microbial habitat in soil: Scale, heterogeneity and functional consequences. *Journal of Plant Nutrition & Soil Science* 180, 425–429.

Raynaud & **Nunan**, 2014. Spatial Ecology of Bacteria at the Microscale in Soil. *PLoS ONE* 9, e87217.

Revil & **Jougnot** (2008). Diffusion of ions in unsaturated porous materials. *Journal of Colloid and Interface Science*, 319(1), 226-235.

Description du stage :

Contexte

Les sols agricoles sont au cœur des préoccupations sociétales actuelles. Alors que l'on cherche à réduire les émissions de gaz à effet de serre et/ou à les compenser, les sols agricoles en sont de substantiels émetteurs et leur stock de carbone diminue un peu partout dans le monde. Pour contrecarrer cette tendance, l'évolution des pratiques agricoles apparaît comme un enjeu majeur. Toutefois pour évaluer les impacts et évaluer l'efficacité de nouvelles pratiques agricoles, les modèles actuels de flux de carbone, développés à l'échelle de la parcelle, ne représentent pas de façon satisfaisante la biodégradation des matières organiques du sol (MOS) par les microorganismes. Les recherches menées sur la dynamique du carbone suggèrent que la stabilité du C dans les sols est davantage une propriété de l'écosystème (interactions avec la matrice minérale du sol, séparation spatiale entre organismes décomposeurs et MO...) qu'une propriété intrinsèque des molécules formant la matière organique (Schmidt et al., 2011). Il a été observé que la minéralisation des MOS est souvent linéaire avec la racine carré du temps, typique de processus limités par la diffusion (Nunan, 2017). Etant donné que la diffusion réduit les gradients de concentration et induit une très forte homogénéisation, particulièrement aux échelles fines, la minéralisation des MOS pourrait ne dépendre que de quelques structures clés de la porosité que nous regroupons ici sous le concept de « volume actif ». Le volume actif correspond à l'espace connecté à un microorganisme à travers la phase fluide et dans lequel certaines molécules organiques peuvent librement diffuser.

Problématique

Afin d'affiner la notion de volume actif et de déterminer si ce concept peut être utilisé comme descripteur simple du fonctionnement biologique du sol, il convient en premier lieu de caractériser la distribution de la saturation et les chemins de diffusion dans le réseau poral. La diffusion effective en phase aqueuse est fonction de la tortuosité et de la connectivité de la phase fluide (Revil & Jougnot, 2008). Dans des milieux poreux, ces paramètres dépendent de l'interaction entre le degré de saturation et l'architecture du réseau poral (Jougnot et al., 2016). De plus, il a été montré que la distribution de la saturation ne dépend pas seulement de l'organisation du réseau poral mais aussi de la structure des pores et de la dynamique de la saturation. Comme la connectivité du réseau poral et la connectivité de la phase aqueuse dans le réseau poral ne sont pas fortement reliées en conditions non-saturées, les chemins de

diffusion ne sont pas bien décrits par des mesures de la géométrie (connectivité, tortuosité) du réseau poral, tel qu'on les obtient par tomographie à rayons-X.

La mesure de la résistivité électrique est une méthode géophysique non-intrusive (mesures en surface du milieu) et intégratrice (représentative d'un volume défini par l'écartement entre les électrodes). Elle peut être utilisée comme proxy pour déterminer la teneur en eau d'un milieu poreux et la connectivité de la phase aqueuse dans cette porosité (Jougnot et al., 2016). En utilisant les modèles pétrophysiques appropriés, il est possible d'estimer les coefficients de diffusion des différentes espèces ioniques dans le milieu à partir des mesures électriques (Revil & Jougnot, 2008 ; Jougnot et al., 2009). La résistivité électrique est une propriété du milieu poreux qui devrait être considérée comme un tenseur, tout spécialement dans le cas des milieux partiellement saturés où l'anisotropie est plus importante (Jougnot et al., 2016). La répétition de mesures de résistivité selon différentes configurations permet à la fois d'assurer un suivi temporel de ce paramètre et de son anisotropie, donc de l'évolution de la connectivité de la phase aqueuse.

Les objectifs de ce stage, qui se déroulera dans le cadre du projet de recherche VAMOS (Volume Actif comme descripteur de la dynamique des matières organiques des sols) déposé à l'INSU, sont de mettre en place le dispositif expérimental électrique et de valider cette méthode pour estimer la connectivité de la phase aqueuse dans la porosité des sols afin de mieux caractériser le volume actif et de déterminer le lien entre cette connectivité et l'activité microbologique des sols.

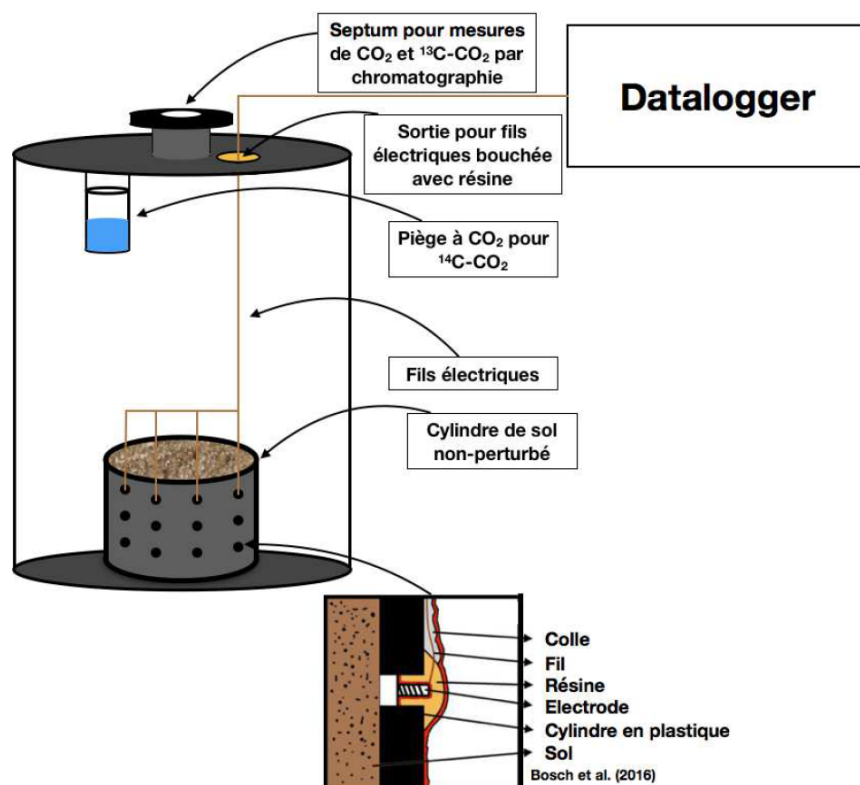


Figure 1 : Dispositif expérimental microcosme (partie principale) contenant échantillon de sol non-perturbé équipé d'électrodes. Les microcosmes ont un piège à CO₂ pour les analyses de ¹⁴C et un septum pour les prélèvements de gaz pour les analyses de CO₂ et ¹³C-CO₂. Les mesures de ¹⁴C et ¹³C seront faites en parallèle sur des microcosmes identiques.

Méthodologie et démarche :

Le stage se décomposera en deux étapes : (1) mise en place de la méthode expérimentale et (2) analyse quantitative des résultats par modélisation numérique.

1. Un travail de développement technique est nécessaire pour réaliser les mesures de résistivité électrique sur des cylindres de sol non-perturbés qui serviront ensuite aux mesures de dégagement de CO₂ des sols. La partie cruciale de cette étape visera à l'optimisation de la sensibilité de la mesure de résistivité électrique, c'est-à-dire à trouver la meilleure configuration possible pour estimer la connectivité et l'anisotropie de la phase aqueuse dans l'échantillon (Figure 1).

2. En parallèle du développement technique et des mesures expérimentales, un ensemble de simulations numériques seront nécessaires au dimensionnement du dispositif et à l'analyse des résultats par l'utilisation de loi pétrophysiques appropriées.

Possibilité de continuer en thèse :

Ce stage peut se poursuivre par une thèse en cas d'obtention de financement de l'INSU à travers le projet VAMOS.