



UMR Eco&Sols - Ecologie Fonctionnelle & Biogéochimie  
des Sols & Agro-écosystèmes



2 Place Viala (Bt. 12), F-34060 Montpellier cedex 2, France  
Secrétariat : 04.99.61.21.01 / 28.56 / 30.86 / 30.46

## Sujet de thèse proposé par l'UMR Eco&Sols

La production de biomasse est un des principaux leviers pour augmenter l'apport de C aux sols et qui peut entraîner une séquestration (nette) de ce dernier à long terme, avec, un rôle important des racines qui a été moins étudié que les apports de litières aériennes. Pourtant, les racines profondes en raison de leur rôle central dans l'acquisition des nutriments et de l'eau (Kell, 2011, Christina et al., 2011 ; 2016) pourraient aussi jouer un rôle central dans la séquestration du C et pourraient même devenir un critère déterminant pour la sélection végétale dans des contextes de sécheresse. En effet, Les plantes investissent de 21 à 67% de la production primaire nette annuelle dans les racines fines (Pausch et Kuzyakov, 2017, Jackson et al., 1997, McCormack et al., 2015) et pour les arbres leur turnover pourrait représenter jusqu'à 40% des litières produites chaque année (Lukac, 2012). Il est maintenant bien documenté que les racines fines et grosses sont des contributeurs majeurs aux réservoirs totaux de biomasse et jouent un rôle critique dans le cycle du C et des nutriments via leur turnover (Amougou et al., 2011 ; Machinet et al., 2009; 2011; Pradier et al., 2017). La décomposition des racines tend à se ralentir avec la profondeur (Pries et al. 2018), favorisant ainsi le stockage de C. De plus la rhizodéposition nette représente environ 5% de l'allocation du C des plantes dans les sols mais elle a un effet considérable sur l'activité microbienne. Cet important flux de C, associé aux racines, contribue à réguler le flux de minéralisation de C et N, le « priming effect », etc... (Prescott, 2010, Clemmensen et al., 2013, Raich et al., 2014, Zhang et Wang, 2015, Pausch et Kuzyakov, 2017).

Les systèmes agroforestiers offrent une diversité de plantes avec des stratégies d'enracinement différentes qui permettent d'explorer un volume de sol important. Cependant la plupart des études menées sur la contribution racinaire au stockage de C en systèmes agroforestiers se sont principalement focalisées sur l'enracinement des arbres (Cardinael et al. 2015, Germon et al. 2016). Le stockage de C dans les sols des systèmes sylvo-arables dit « modernes » (alignement d'arbres et zone d'interculture) a principalement lieu sous la ligne d'arbre qui est aussi dotée d'un enherbement pérenne souvent spontané (Cardinael et al. 2018). En Afrique sub-saharienne, ces systèmes agroforestiers modernes ainsi que les systèmes en parcs, semblent stocker moins de carbone que des systèmes de type multistrates ou jachères (Corbeels et al. 2018). Toutefois, les arbres ont une influence très nette sur le rendement des cultures associées. Au Sénégal, cela est lié au pH du sol et à sa teneur en C et en N, trois facteurs directement influencés par les arbres comme le *Faidherbia* (fixateur  $N_{atm}$ ), dominant dans le bassin arachidier du Sénégal. Il a été mesuré sous les *Faidherbia* une augmentation de la teneur en carbone total (+ 62 %), en carbone minéralisable (+ 73 %), en humus (+ 40-47 %) comparativement à des zones sans arbres (Louppe, 2016). Ces augmentations sont dues aux retours en C et éléments minéraux par les retombées de litière, feuilles, fruits, brindilles et turnover des racines et contribuent ainsi à l'atténuation du changement climatique (Bright et al, 2019). En climat tempéré le LER (Land Equivalent Ratio) tend aussi à augmenter (Graves et al. 2010) mais sans relation directe avec les stocks de C dans les sols qui, sur les horizons de surface, sont du même ordre de grandeur dans la zone d'interculture que dans les témoins agricoles (Cardinael et al., 2015 ; Guillot et al. 2019). De plus, l'enracinement profond des arbres, mais aussi de certaines cultures soumises à des conditions de sécheresse est probablement une source importante de C pour le processus de séquestration, compte tenu de la plus faible dégradabilité des racines comparées aux parties aériennes (Balesdent et Balabane, 1996 ; Amin et al. 2014). Enfin, il a récemment été montré

que la dynamique du C organique du sol et ses réponses face au changement climatique ou à l'usage des terres dépend fortement de la profondeur du sol considéré (Balesdent et al. 2018), rendant nécessaire la prise en compte des horizons profonds de sol pour comprendre la dynamique de séquestration du C.

L'originalité de cette thèse réside donc la prise en compte 1) des systèmes racinaires de plantes annuelles et pérennes ; 2) dans l'exploration des horizons profonds de sols (jusqu'à 2 m sous culture et jusqu'à 4 m pour des arbres) ; 3) dans les approches in situ qui seront déployées (minirhizotron, scanner, litter-bags); 4) de deux zones climatiques et nature de sols contrastées (Climat semi-aride en Afrique de l'Ouest avec des sols très sableux et pauvres en C et climat Méditerranéen avec des sols limoneux argileux et des teneurs en C organique plus élevées).

L'objectif principal de cette thèse sera donc d'évaluer la contribution des racines y compris profondes (horizons < 30 cm pour les plantes annuelles et horizons < 1m pour les plantes pérennes) sur le devenir du C et des éléments nutritifs associés à leur turnover dans des systèmes agroforestiers tempérés et tropicaux.

### **Sites d'études**

Le Dispositif Instrumenté « Faidherbia-Flux » se situe dans le bassin arachidier du Sénégal, plus précisément sur la commune de Sob, à 6 km de Niakhar (région de Bambey-Fatick) au sein de l'Observatoire Santé Population Environnement de l'IRD. Il s'agit d'un parc agroforestier naturel à base d'*Acacia albida* (Faidherbia). Ce site a été instrumenté en 2017 avec 3 tours à flux eddy covariance (sur mil, arachide et au dessus de l'écosystème entier) et 3 puits profonds (jusqu'à la nappe) en 2018 pour le suivi de la dynamique racinaire. Des essais factoriels sur 1 ha sont conduits pour le suivi racinaire et rendement de parcelles de mil associées ou non avec du niébé, en fonction d'une fertilisation azotée.

Le Dispositif Instrumenté en Agroforesterie Méditerranéenne sous contrainte hydrique (DIAMs) se situe à 10 km au sud de Montpellier sur une station expérimentale de l'INRA (UE Diascope, Mauguio). Il s'agit d'un dispositif expérimental factoriel de 5 ha, en trois blocs croisant trois usages des terres (agricole, agroforestier et forestier) et deux niveaux de stress hydrique (avec et sans apport d'eau par irrigation), conduit en pratiques bas intrants. L'essence forestière est le robinier. Ce site est récent avec une plantation des arbres en janvier 2017 et une importante caractérisation initiale a été réalisée (plus de 400 échantillons de sol analysés et création d'une pédothèque). Après 2 ans de pousse, les arbres mesurent actuellement environ 1.5 à 2 m de haut. Ce site est en cours d'instrumentation avec l'installation de fosse pour le suivi des nutriments et des dynamiques racinaires jusqu'à 2 m de profondeur sous les cultures.

### **Financement :**

Ce projet de thèse est co-financé par le projet « Dynamic of Soil Carbon Sequestration in Tropical and Temperate Agricultural systems », DSCATT (Financement Fondation Agropolis et Fondation Total) et l'INRA (Département EA). Le sujet s'inscrit donc dans un projet plus large regroupant plusieurs partenaires de l'INRA, du CIRAD et de l'IRD. Le projet DSCATT propose d'objectiver le potentiel de séquestrer davantage de carbone dans les sols cultivés, en tenant compte de la fertilité des sols et de la durabilité des pratiques agricoles dans le contexte des changements globaux. Le projet de thèse se situe dans le WP1 qui porte sur les mesures biophysiques à l'interface sol-plante et plus spécifiquement sur la tâche 1.3 qui s'intitule « Analyzing the link between plant productivity increase and SOC changes through root dynamics ».

### **Encadrement :**

La thèse sera dirigée par Christophe JOURDAN (Cadre Scientifique, CIRAD) et Isabelle BERTRAND (Directrice de Recherche, INRA). Des collaborations sont prévues avec plusieurs chercheurs de l'UMR Eco&Sols et à l'international.

### **Modalités de candidature :**

Avant le 26 Mai 2019, envoyer un CV avec deux lettres de recommandations et une lettre de motivation par mail uniquement et simultanément aux deux adresses suivantes : [isabelle.bertrand@inra.fr](mailto:isabelle.bertrand@inra.fr) et [christophe.jourdan@cirad.fr](mailto:christophe.jourdan@cirad.fr)

## Références bibliographiques

- Amin BAZ, Chabbert B, Moorhead D, Bertrand I (2014) Impact of fine litter chemistry on lignocellulolytic enzyme efficiency during decomposition of maize leaf and root in soil. *Biogeochemistry* 117 (1):169-183.
- Amougou N, Bertrand I, Machet J-M, Recous S. 2011. Quality and decomposition in soil of rhizome, root and senescent leaf from *Miscanthus x giganteus*, as affected by harvest date and N fertilization. *Plant and Soil*, 338: 83-97.
- Balesdent J, Balabane M (1996) Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry* 28 (9):1261-1263
- Balesdent J, Basile-Doelsch I, Chadoeuf J, Cornu S, Derrien D, Fekiacova Z, Hatté C (2018) Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature* 559 (7715):599-+. doi:10.1038/s41586-018-0328-3
- Bright MBH, Jourdan C, Bogie N, Cournac L, Diedhiou I, Bayala R, Sambou DM, Ghezzehei TA, Chapuis-Lardy L, Dick RP. 2019. Examining the Role of a Native Evergreen Shrub for Agroecosystem Function in the Sahel. In Prep.
- Cardinael R, Chevallier T, Barthes BG, Saby NPA, Parent T, Dupraz C, Bernoux M, Chenu C (2015) Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon - A case study in a Mediterranean context. *Geoderma* 259:288-299.
- Cardinael R, Guenet B, Chevallier T, Dupraz C, Cozzi T, Chenu C (2018) High organic inputs explain shallow and deep SOC storage in a long-term agroforestry system—combining experimental and modeling approaches. *Biogeosciences* 15 (1):297-317
- Christina M, Laclau J-P, Gonçalves J, Jourdan C, Nouvellon Y, Bouillet J-P. 2011. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. *Ecosphere*, 2: art27.
- Christina M, Nouvellon Y, Laclau JP, Stape JL, Bouillet JP, Lambais GR, Maire G. 2016. Importance of deep water uptake in tropical eucalypt forest. *Functional Ecology*, 31: 509-519.
- Clemmensen K, Bahr A, Ovaskainen O, Dahlberg A, Ekblad A, Wallander H, Stenlid J, Finlay R, Wardle D, Lindahl B. 2013. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science*, 339: 1615-1618.
- Corbeels M, Cardinael R, Naudin K, Guibert H, Torquebiau E (2018) The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in sub-Saharan Africa. *Soil and Tillage Research*
- Germon A, Cardinael R, Prieto I, Mao Z, Kim J, Stokes A, Dupraz C, Laclau J-P, Jourdan C. 2016. Unexpected phenology and lifespan of shallow and deep fine roots of walnut trees grown in a silvoarable Mediterranean agroforestry system. *Plant and Soil*, 401: 409-426.
- Graves AR, Burgess PJ, Palma J, Keesman K, van der Werf W, Dupraz C, van Keulen H, Herzog F, Mayus M (2010) Implementation and calibration of the parameter-sparse Yield-SAFE model to predict production and land equivalent ratio in mixed tree and crop systems under two contrasting production situations in Europe. *Ecological modelling* 221 (13-14):1744-1756
- Guillot E, Hinsinger P, Dufour L, Roy J, Bertrand I (2019) With or without trees: Resistance and resilience of soil microbial communities to drought and heat stress in a Mediterranean agroforestry system. *Soil Biology & Biochemistry* 129:122-135. doi:10.1016/j.soilbio.2018.11.011
- Jackson RB, Mooney HA, Schulze E-D. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94: 7362-7366.
- Kell, D. B. 2011. Breeding crop plants with deep roots: their role in sustainable carbon, nutrient and water sequestration. *Annals of Botany* 108:407-418.
- Loupe D, 2016 Des associations bénéfiques arbres-productions agricoles au Sénégal et en Côte d'Ivoire Forêt-entreprise - N° 229 - juillet 2016, 30-35.
- Lukac M. 2012. Fine root turnover. *Measuring roots*: Springer.
- Machinet GE, Bertrand I, Barrière Y, Chabbert B, Recous S. 2011. Impact of plant cell wall network on biodegradation in soil: role of lignin composition and phenolic acids in roots from 16 maize genotypes. *Soil biology and biochemistry*, 43: 1544-1552.
- Machinet GE, Bertrand I, Chabbert B, Watteau F, Villemin G, Recous S. 2009. Soil biodegradation of maize root residues: Interaction between chemical characteristics and the presence of colonizing micro-organisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 41: 1253-1261.
- McCormack ML, Dickie IA, Eissenstat DM, Fahey TJ, Fernandez CW, Guo D, Helmisaari HS, Hobbie EA, Iversen CM, Jackson RB. 2015. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytologist*, 207: 505-518.
- Pausch J, and Kuzyakov Y. 2017. Carbon input by roots into the soil: Quantification of rhizodeposition from root to ecosystem scale. *Global Change Biology*.
- Pradier C, Hinsinger P, Laclau J-P, Bouillet J-P, Guerrini IA, Gonçalves JLM, Asensio V, Abreu-Junior CH, Jourdan C. 2017. Rainfall reduction impacts rhizosphere biogeochemistry in eucalypts grown in a deep Ferralsol in Brazil. *Plant and Soil*: 1-16.
- Pries CEH, Sulman BN, West C, O'Neill C, Poppleton E, Porras RC, Castanha C, Zhu B, Wiedemeier DB, Torn MS (2018) Root litter decomposition slows with soil depth. *Soil Biology and Biochemistry* 125:103-114
- Prescott CE. 2010. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry*, 101: 133-149.
- Raich JW, Clark DA, Schwendenmann L, Wood TE. 2014. Aboveground tree growth varies with belowground carbon allocation in a tropical rainforest environment. *PloS one*, 9: e100275.

Zhang X, Wang W. 2015. The decomposition of fine and coarse roots: their global patterns and controlling factors. *Scientific reports*, 5:9940.