

**Ecole doctorale Environnements-Santé**  
**Dossier de projet de thèse « Contrat doctoral des Universités »**  
**ANNEE 2019**

**TITRE DU PROJET :** Variabilité temporelle des flux de carbone des sols à l'échelle du bassin versant. Approche par caractérisation moléculaire et isotopique des matières organiques dans différents contextes pédo-climatiques.

Ce projet est aussi proposé au titre de la bourse générale FRM  oui<sup>1</sup>  non  
Ce projet est aussi proposé au titre de la bourse Cardiologie FRM  oui<sup>2</sup>  non  
Ce projet est aussi proposé au titre du financement I-Site  oui<sup>3</sup>  non

**1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse<sup>4</sup> (1 page maximum) :**

Directeur de thèse HDR :  
Nom : LEVEQUE  
Prénom : Jean  
Grade : MCF  
HDR : Date de soutenance 27/09/2009 Discipline : Sciences de la Terre (section 36).  
***l'HDR devra être soutenue, ou sa soutenance autorisée, au moment du dépôt du présent projet.***  
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 6 bd Gabriel, 21000 DIJON – jean.leveque@u-bourgogne.fr – 03 80 39 63 63  
Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Biogéosciences, UMR 6282, E. FARA

Co-directeur de thèse éventuel :  
Nom : MATHIEU  
Prénom : Olivier  
Grade : MCF  
HDR : non  ; oui  Date de soutenance..... Discipline : .....  
Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 6 bd Gabriel, 21000 DIJON – olivier.mathieu@u-bourgogne.fr – 03 80 39 91 26  
Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Biogéosciences, UMR 6282, E. FARA

<sup>1</sup> Le candidat doit être connu au moment du dépôt du projet, et son CV doit être joint à la présente demande. Le CV du candidat sera l'un des critères de sélection.

<sup>2</sup> Le candidat doit être connu au moment du dépôt du projet, et son CV doit être joint à la présente demande. Le CV du candidat sera l'un des critères de sélection.

<sup>3</sup> Une justification complémentaire doit être fournie, au titre soit (1) développement de la coopération internationale ; soit (2) favoriser un projet structurant (collaboration entre deux axes i-site).

<sup>4</sup> ATTENTION : depuis le texte de loi de mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde économique, qui peut venir en supplément ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

## **2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :**

### **Nom et label de l'unité de recherche :**

Biogéosciences, UMR CNRS 6282 – équipe SEDS

### **Localisation :**

Université de Bourgogne, 6 bd Gabriel, 21000 Dijon

### **Directeur de thèse & co-directeur :**

LEVEQUE Jean, MATHIEU Olivier

Adresse courriel du contact scientifique : olivier.mathieu@u-bourgogne.fr

### **Titre de la thèse :**

Variabilité temporelle des flux de carbone des sols à l'échelle du bassin versant. Approche par caractérisation moléculaire et isotopique des matières organiques dans différents contextes pédo-climatiques.

### **Description du projet :**

Les sols jouent un rôle majeur dans le cycle biogéochimique du carbone (C), notamment en tant que puits ou source (i.e. stockage vs. déstockage). En effet, avec 1500 à 2400 PgC, les sols représentent le premier stock de carbone organique terrestre. L'évolution climatique actuelle, les changements d'occupation des terres et de leur mode de gestion sont susceptibles de modifier la dynamique de décomposition des matières organiques des sols (MOS) et les flux de C qui y sont associés. En particulier l'influence de ces changements sur les flux de carbone organique dissous et particulaire (COD et COP) reste très débattue car fortement liée à la compréhension des mécanismes de transformation des MOS. Une augmentation de ces flux pourrait entraîner des phénomènes de rétroactions positives qui amplifieraient les impacts du changement climatique (Bond-Lamberty et al., 2018 ; Bradford et al., 2016 ; Crowther et al., 2016). Étudier la dynamique des MOS à l'échelle de l'agrégat ou du profil de sol est devenu insuffisant. En revanche, caractériser ces flux de C à l'exutoire des bassins versants et les relier aux processus de production dans les sols est la clé du changement d'échelle nécessaire à la compréhension des mécanismes de transfert au niveau de l'écosystème. Ainsi, la prise en compte de la variabilité des facteurs pédologiques, topographiques, climatiques, et de la dynamique temporelle de l'écosystème (i.e. saisonnalité mais aussi interannuelle), est un facteur essentiel pour la compréhension du cycle du C à large échelle (Burke et al., 1995 ; Viaud et al., 2010). La dynamique du C dans les sols et à l'exutoire des bassins versants repose également sur la composition des MOS, constituée de nombreuses structures allant de molécules simples et solubles (e.g. sucres, acides aminés...) à des molécules plus complexes et insolubles (e.g. protéines, lipides, lignines...) (Cotrufo et al., 2013). Ces composés, issus majoritairement de la litière, diffèrent par leur taille, la complexité de leur structure et la nature de leurs liaisons chimiques. Pour une teneur en C relativement similaire entre les résidus végétaux (i.e. environ 50% de C), l'allocation de ce C dans les différentes classes moléculaires peut être très variable et impacte la décomposition des MOS et les flux qui en découlent. Cette hétérogénéité de la composition moléculaire des MOS conditionne notamment la biodisponibilité du C dans les sols et sa répartition entre des fractions labiles (C biodisponible, plus mobile) et stables (C peu ou pas biodisponible). Le temps de résidence des MOS varie, en fonction des différents constituants, de quelques jours (Chen et al., 2009) à plusieurs milliers d'années (Kögel-Knabner et al., 2008). Ainsi, mener des études à l'échelle du bassin versant est nécessaire dans l'analyse des mécanismes de production et de transfert, étape indispensable à la compréhension des flux de C et plus globalement à l'évolution de ces écosystèmes.

L'objectif principal de ce projet est d'évaluer la dynamique et la variabilité temporelle des flux de C des sols à l'échelle du bassin versant, depuis la zone de transformation des MOS au sein du profil de sol jusqu'à l'exutoire. Cette étude sera réalisée dans différentes conditions pédo-climatiques et pour différents types d'occupation du sol. Des travaux récents ont ainsi montré que la caractérisation moléculaire à haute résolution du COD permet de distinguer le COD des sols de forêt par rapport celui provenant des prairies (Guigue et al., 2016). Pour autant, reste la question concernant la variabilité saisonnière de cette différenciation moléculaire en fonction de l'évolution des conditions environnementales (variabilité climatique, mode de gestion, production de litières...) et de l'occupation des sols. Une autre question essentielle pour laquelle la communauté scientifique n'a que peu de

réponses concerne la connexion entre le signal quantitatif/qualitatif du flux de C enregistré à l'exutoire du bassin versant et les processus de transformation des MOS au sein du profil de sol.

Pour répondre à ces différentes questions, nous proposons à l'échelle de profils de sols, de réaliser une caractérisation isotopique et moléculaire des MOS et un suivi temporel de cette caractérisation afin d'identifier la répartition des stocks de C stables et labiles du sol et les processus de transformation. Cette caractérisation sera également réalisée à l'exutoire afin de comprendre les connexions entre les flux de C (COD, COP) et les mécanismes de production des MOS, afin d'analyser l'influence de la qualité de ces MOS dans la dynamique des transferts observés au sein des bassins versants.

Afin de prendre en compte différents contextes pédo-climatiques, ce projet s'appuiera sur des sites d'observation existants ou en création, impliquant le laboratoire Biogéosciences. En particulier l'observatoire de l'environnement du SAEON de Cathedral Peak, Afrique du Sud (prairie d'altitude en climat subtropical) (projets EC2CO EvoC et I-SITE IMVULA) ; le site d'observation dans le Parc National des Forêts de Champagne-Bourgogne (forêts de feuillus de plaine en climat tempéré) (projet intégré Région BFC PubPrivLands) ; la future zone atelier du Morvan (ZAMO) (forêts de feuillus et de résineux de basse montagne en climat tempéré). Certains de ces sites d'observation sont déjà équipés de système d'acquisition de terrain, en particulier 2 sondes spectrales pour la mesure à haute résolution des flux de C à l'exutoire (site de Cathedral Peak).

Sur le plan analytique, la caractérisation des MOS et des matières organiques à l'exutoire sera effectuée via des techniques spectroscopiques et spectrométriques développées et maîtrisées au sein du laboratoire Biogéosciences ( $\delta^{13}\text{C}$ , UV-Vis, Py-GC-MS, biomarqueurs). Cette caractérisation sera complétée au travers de collaborations internationales existantes (analyses RMN à l'Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, Espagne ; analyses moléculaires à très haute résolution, Helmholtz Zentrum Munich, Allemagne). L'accès au compartiment du C du sol particulièrement réactif et transférable s'effectuera à l'aide d'une méthode d'extraction à l'eau (Guigue et al., 2014). Par ailleurs, l'étude à l'échelle moléculaire permettra d'identifier des biomarqueurs caractéristiques de la végétation (lignines, sucres) et de l'activité biologique (PLFA) (Thevenot et al., 2010 ; Herold et al., 2014), mais aussi de déterminer des taux d'incorporation et de dégradation des MOS en fonction des conditions pédo-climatiques.

Les résultats attendus à l'issue de ce projet sont de deux ordres. D'une part affiner les connaissances sur la dynamique du C dans les sols et sur les facteurs de contrôle à l'échelle du BV. Et d'autre part faire le lien entre ces mécanismes de transformation des MOS et les flux de C mesurés à l'exutoire.

Bond-Lamberty, B., Bailey, V. L., Chen, M., Gough, C. M., & Vargas, R. (2018). Globally rising soil heterotrophic respiration over recent decades. *Nature*, 560(7716), 80–83.

Bradford, M. A., Wieder, W. R., Bonan, G. B., Fierer, N., Raymond, P. A., & Crowther, T. W. (2016). Managing uncertainty in soil carbon feedbacks to climate change. *Nature Climate Change*, 6, 751.

Burke, I. C., Elliott, E. T., & Cole, C. V. (1995). Influence of Macroclimate, Landscape Position, and Management on Soil Organic Matter in Agroecosystems. *Ecological Applications*, 5(1), 124–131.

Chen, H., Hou, R., Gong, Y., Li, H., Fan, M., & Kuzyakov, Y. (2009). Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*, 106(1), 85–94.

Cotrufo, M. F., Wallenstein, M. D., Boot, C. M., Deneff, K., & Paul, E. (2013). The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter? *Global Change Biology*, 19(4), 988–995.

Crowther, T. W., Todd-Brown, K. E. O., Rowe, C. W., Wieder, W. R., Carey, J. C., Machmuller, M. B., ... Bradford, M. A. (2016). Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature*, 540, 104.

Guigue, J., Mathieu, O., Lévêque, J., Mounier, S., Laffont, R., Maron, P.A., Navarro, N., Chateau, C., Amiotte Suchet, P., and Lucas, Y. (2014). A comparison of extraction procedures for water-extractable organic matter in soils. *Eur J Soil Sci* 65, 520–530.

Guigue, J., Harir, M., Mathieu, O., Lucio, M., Ranjard, L., Lévêque, J., & Schmitt-Kopplin, P. (2016). Ultrahigh-resolution FT-ICR mass spectrometry for molecular characterisation of pressurised hot water-extractable organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 128(3), 307–326.

Gutknecht, J., Schruppf, M., Wilcke, W., Wubet, T., Herold, N., Oelmann, Y., ... Müller, J. (2013). Soil property and management effects on grassland microbial communities across a latitudinal gradient in Germany. *Applied Soil Ecology*, 73, 41–50.

Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E., Marschner, B., & von Lützow, M. (2008). An integrative approach of organic matter stabilization in temperate soils: Linking chemistry, physics, and biology. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(1), 5–13.

Thevenot M., Dignac M.-F., Rumpel C. (2010). Lignins fate in soils: a review. *Soil Biology & Biochemistry* 42, 1200-1211.

Viaud, V., Angers, D. A., & Walter, C. (2010). Toward Landscape-Scale Modeling of Soil Organic Matter Dynamics in Agroecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 74, 1847–1860.

### **Financement du projet – partie Recherche :**

Ce projet bénéficiera du soutien financier de projets acquis pour lesquelles Jean Lévêque et Olivier Mathieu sont porteurs ou partenaires :

EC2CO, INSU/CNRS 2019-2020 (EvoC) - Evolution quantitative et qualitative des flux de carbone des sols à l'échelle du bassin versant en milieu subtropical, porteur O. Mathieu (UMR Biogéosciences)

I-SITE BFC 2018-2021 (IMVULA) - Predictability of extreme-relevant intraseasonal descriptors of south african rainfall across scales, porteur B. Pohl (UMR Biogéosciences)

Projet intégré UBFC (2018-2021), PubPrivLands, porteur B Faivre (UMR Biogéosciences)

### **Connaissances et compétences requises**

1/ Connaissances théoriques

Science du sol, géochimie, spectrométrie de masse et analyses moléculaires et isotopiques.

2/ Connaissances pratiques

Prélèvement, préparation, extraction d'échantillons de sol et d'eau (DOC, POC), analyses physico-chimiques, dosages chromatographiques, isotopiques et caractérisations moléculaires.

### **Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)**

La dynamique des matières organiques des sols (MOS) joue un rôle majeur dans les cycles biogéochimiques, notamment en tant que puit ou source de carbone (C). La variabilité climatique, les changements d'occupation des sols et de leur mode de gestion sont susceptibles de modifier cette dynamique et les flux de C qui y sont associés, en particulier les flux de carbone organique particulaire et dissous (COP, COD). Étudier l'évolution des MOS à l'échelle de l'agrégat ou du profil de sol est devenu insuffisant. En revanche, caractériser ces flux de C à l'exutoire des bassins versants et les relier aux processus de production dans les sols est la clé du changement d'échelle nécessaire à la compréhension des mécanismes de transfert au niveau de l'écosystème. L'objectif de ce projet est de d'évaluer la dynamique et la variabilité temporelle des flux de carbone des sols à l'échelle du bassin versant dans différents contextes pédo-climatiques. Pour répondre à cette problématique nous proposons d'identifier la répartition des stocks de C stables et labiles du sol et les processus de transformation associés par une caractérisation isotopique et moléculaire des MOS. Cette caractérisation sera également réalisée à l'exutoire afin de comprendre les connexions entre les flux de C (COD, COP) et les mécanismes de production des MOS. Les résultats attendus à l'issue de ce projet sont de deux ordres. D'une part affiner les connaissances sur la dynamique du C dans les sols et sur les facteurs de contrôle à l'échelle du BV. Et d'autre part faire le lien entre ces mécanismes de transformation des MOS et les flux de C mesurés à l'exutoire.

### **Abstract**

The dynamics of soil organic matter (SOM) plays a major role in biogeochemical cycles, especially as a sink or source of carbon (C). Climate variability, land-use changes and soil management are likely to alter this dynamics and associated C fluxes, particularly particulate and dissolved organic carbon (POC, DOC) fluxes. Studying the evolution of SOM at the aggregate or soil profile level has become insufficient. On the other hand, characterizing these C fluxes at the outlet of the watersheds and linking them to the production processes in the soils is the key to the scale change necessary to understand the transfer mechanisms at the ecosystem level. The objective of this project is to evaluate the dynamics and temporal variability of soil carbon fluxes at the catchment scale under different pedo-climatic contexts. To answer this issue, we propose to identify the distribution of stable and labile soil C pools and associated transformation processes by isotopic and molecular characterization of SOM. This characterization will also be performed at the outlet to understand the connections between the C (DOC, POC) fluxes and the SOM production mechanisms. The results expected from this project are twofold. On one hand, to refine the knowledge on soil C dynamics and control factors at the catchment scale. And on the other hand, to make the link between these mechanisms of transformation of the MOS and the C flux measured at the outlet.

**Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous :**

Environnement

Terre, univers, espace