

RÉSUMÉ DU PROJET SCIENTIFIQUE

Title: Soil Organic Matter in Mountain Environments: storage, reactivity and exportation

Name(s) of the supervisor(s): Y. Perrette; J. Poulénard; L. Cécillon

Laboratories: EDYTEM/IRSTEA GRENOBLE

Contexte scientifique global

La matière organique des sols (MOS) est une composante clé des services rendus par les écosystèmes. Il est en effet fondamental de comprendre et *in fine* modéliser le devenir (stockage, minéralisation) des MOS en relation avec les changements actuelles (climatiques, usage des sols, pratiques agro-sylvicoles) (Schmidt et al. 2011). En effet, à l'échelle globale, l'essentiel du carbone organique des écosystèmes terrestres est situé dans les sols. Or, on sait que des modifications légères des facteurs de forçage peuvent conduire le sol à être soit une source de carbone pour l'atmosphère soit un puits. Cependant, les stocks de MOS et la variabilité de ces stocks sont insuffisamment connus à l'échelle du paysage (Barré et al., 2017). Une meilleure compréhension des mécanismes contrôlant la persistance du carbone dans les sols est nécessaire (Barré et al. 2016 ; Dignac et al., 2017). De la même manière la réactivité des MOS (nature et cinétique de stabilisation ou de minéralisation du carbone organique) face aux changements environnementaux est méconnue (Lehmann and Kleber 2015). Enfin, le régime d'exportation (vertical et horizontal) des MOS que ce soit sous forme dissoute (Dissolved Organic Carbon) ou particulaire (Particulate Organic Carbone) est là encore largement méconnu.

Cette méconnaissance conduit à de très sérieux problèmes notamment pour la modélisation climatique (Ciais et al. 2014). Le modèle de dynamique des matières organiques des sols (CENTURY; Parton et al. 1994) utilisé dans la plupart des grands modèles climatiques est incapable de simuler correctement la dynamique et le stockage des MOS (en particulier dans les paysages complexes de montagne). Ce manque de connaissance, des stocks de MOS et des facteurs qui contrôlent réellement à l'échelle du paysage les variations de ce stock, est encore plus problématique pour la réalisation du grand programme international visant à augmenter, en changeant les pratiques agricoles et les usages, les stocks de carbone des sols : l'initiative « 4pour1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat ». Cette initiative proposée lors de la COP21 par la France et maintenant signés par 200 organisations (dont 37 pays) vise à augmenter de 4 ‰ par an et pendant 30 ans le stock de carbone dans les sols pour compenser l'augmentation annuelle de CO₂ dans l'atmosphère (<http://4p1000.org/>) (Minasny et al. 2017). La matière organique des sols s'est donc inscrite à l'agenda des décideurs politiques à l'échelle du globe (Puig de la Bellacasa 2015). De nombreux programmes de recherche sont en cours ou se lancent pour réduire l'écart entre le niveau de connaissance sur la dynamique des MOS et les engagements de politiques environnementales de séquestration nette de carbone dans les sols pris par la communauté internationale. Comme pour les questions climatiques, une approche rétrospective (paléo-environnements) pourrait contribuer à réduire cet écart. Connaître la manière (rythme, modalité, facteur de forçage) dont les MOS ont évolué au cours du temps en particulier sous l'effet des modifications des climats et des activités anthropiques, pourrait améliorer grandement la compréhension et la modélisation du devenir des MOS. Or, si les archives naturelles (sédiments de lacs, stalagmites) enregistrent bien de la matière organique issue des sols, on est, à l'heure actuelle dans l'incapacité de reconstituer une courbe d'évolution passée des stocks de MOS.

Les environnements de montagne présentent dans ce contexte général des spécificités fortes. Les stocks de MOS y sont particulièrement élevés (Egli et al. 2010; Sjögersten et al. 2011; Saenger et al. 2015; Egli and Poulénard 2016). Leur variabilité spatiale est également très forte notamment en lien avec les gradients d'altitudes et d'usages (sylviculture, pastoralisme). Enfin les stocks de MOS dans les sols de montagne sont considérés comme particulièrement vulnérables aux changements actuels de climats et d'usage (Puissant et al. 2017).

Projet de thèse

L'objectif de cette thèse est d'étudier le stockage de carbone sous forme de MOS dans les sols de montagne des Alpes française. Il vise à définir de nouveaux indicateurs, qui pourront être utilisés pour suivre la dynamique des MOS dans les environnements actuels et passés.

Les stocks et les principaux facteurs de forçages qui s'exercent sur ceux-ci seront mesurés en utilisant les gradients de l'Observatoire des Relations Climat-Homme-milieu Agro-sylvo-pastoraux du Massif alPin (ORCHAMP). Il s'agit d'une vingtaine de transects altitudinaux installés dans le cadre de la Zone Atelier Alpes depuis la frontière Suisse, en Haute-savoie jusque dans les Alpes du sud (Parc du Mercantour). Sur ces vingt gradients, un certain nombre de placettes (entre 6 et 8) sont installées à différentes altitudes, sous différents usages, avec différentes végétations. La diversité et le fonctionnement biologique de chaque placette seront étudiés dans le cadre du projet IRS MONTANE par les partenaires académiques (LECA, IRSTEA, CBNA) et locaux (ASTERS, CREA, parcs nationaux et parcs naturel régionaux). Les sols seront étudiés par l'équipe EDYTEM-IRSTEA. Le doctorant aura la responsabilité de l'étude du compartiment organique des sols. Différentes techniques analytiques (pyrolyse Rock-Eval, isotopes stables, spectrométrie infrarouge, fluorimétrie 3D induite par laser) déjà bien maîtrisées par l'équipe d'encadrement seront utilisées pour caractériser et quantifier différents pools de MOS au temps de résidence contrastés dans ces sols. Les relations entre les stocks de C, la taille des pools de MOS et leurs caractéristiques chimiques, et les facteurs environnementaux et la multidiversité fonctionnelle (étudiée par nos partenaires du projet) seront établies (Tâche A – Figure 1).

Parallèlement à cette approche statique des stocks de matières organiques, le doctorant étudiera les exportations de carbone organique (particulaire et dissous) à l'échelle du paysage en utilisant des dispositifs existants de monitoring (Tâche B – Figure 1). Deux dispositifs seront ici suivis. Le premier, dédié aux systèmes montagnards, est installé dans le massif des Bauges. Il s'agit de suivre les régimes d'exportations du carbone organique dissous dans le massif karstique Revard-Feclaz. Une reconstitution paléo-environnementale de l'évolution des stocks de carbone des sols à partir de l'étude de stalagmites sera réalisée. Dans le massif des Bauges, un piège à sédiment sera également installé dans le lac de la Thuile. Ce lac, déjà très étudié par notre équipe (Bajard et al., 2016 ; 2017) pourrait permettre une première reconstitution de la dynamique temporelle des stocks MOS sur des temps longs à partir de sédiments de lacs. Pour les étages alpins et subalpins, le doctorant bénéficiera de dispositifs mis en place par notre équipe à la fois autour du Lautaret/Galibier (Station Alpine Joseph Fourier) et dans les bassins versants des lacs de la Muzelle et Lauvitel (Figure 1). Le résultat attendu sera ici de proposer un bilan d'exportation du carbone organique en fonction de l'altitude et de l'usage et une description fine des indicateurs et des compartiments actifs des MOS dans des bassins versants d'altitude utilisés par l'homme.

Au final, la thèse contribuera à établir une estimation nouvelle de la fonction de séquestration du carbone dans les sols des environnements de montagne. Cette connaissance sera à la base de futurs projets de pilotage de cette fonction via la mise en œuvre de pratiques de gestion au sein des territoires de montagnes.

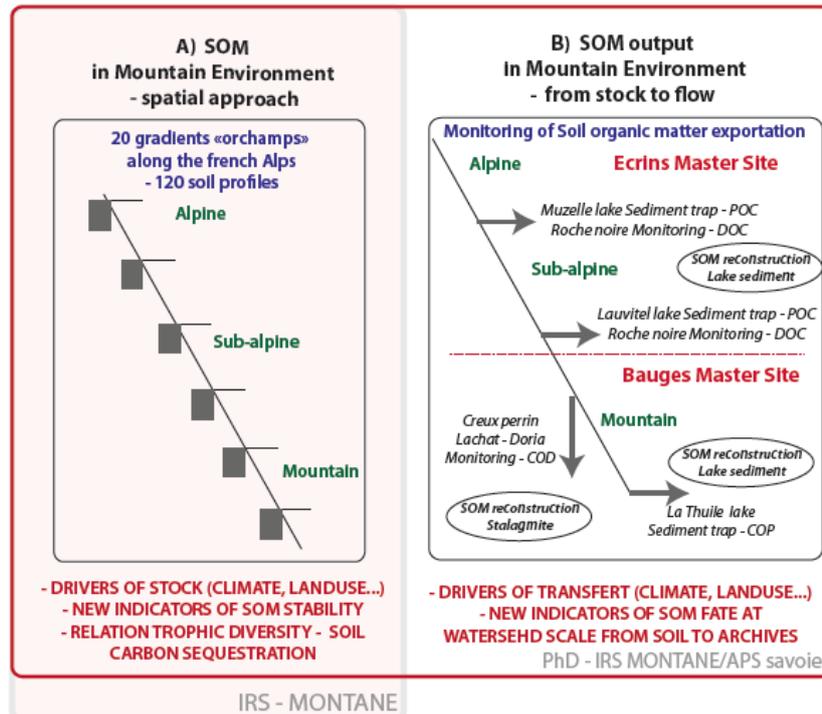


Fig 1. Global positioning of the PhD proposal in the framework of IRS - MONTANE project

- Barré, Pierre, Alain F. Plante, Lauric Cécillon, Suzanne Lutfalla, François Baudin, Sylvain Bernard, Bent T. Christensen, et al. 2016. "The Energetic and Chemical Signatures of Persistent Soil Organic Matter." *Biogeochemistry* 130 (1–2): 1–12.
- Bajard, M., Sabatier, P., David, F., Develle, A. L., Reyss, J. L., Fanget, B., & Poulénard, J. (2016). Erosion record in Lake La Thuile sediments (Prealps, France): Evidence of montane landscape dynamics throughout the Holocene. *The Holocene*, 26(3), 350–364.
- Bajard, M., Poulénard, J., Sabatier, P., Develle, A. L., Giguet-Covex, C., Jacob, J., & Arnaud, F. (2017). Progressive and regressive soil evolution phases in the Anthropocene. *Catena*, 150, 39–52.
- Ciais, Philippe, Christopher Sabine, Govindasamy Bala, Laurent Bopp, Victor Brovkin, Josep Canadell, Abha Chhabra, et al. 2014. "Carbon and Other Biogeochemical Cycles." In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 465–570. Cambridge University Press.
- Egli, Markus, Christian Mavris, Aldo Mirabella, and Daniele Giaccari. 2010. "Soil Organic Matter Formation along a Chronosequence in the Morteratsch Proglacial Area (Upper Engadine, Switzerland)." *Catena* 82 (2): 61–69.
- Egli, Markus, and Jérôme Poulénard. 2016. "Soils of Mountainous Landscapes." *The International Encyclopedia of Geography*.
- Lehmann, Johannes, and Markus Kleber. 2015. "The Contentious Nature of Soil Organic Matter." *Nature* 528 (7580): 60–68.
- dMinasny, Budiman, Brendan P. Malone, Alex B. McBratney, Denis A. Angers, Dominique Arrouays, Adam Chambers, Vincent Chaplot, et al. 2017. "Soil Carbon 4 per Mille." *Geoderma* 292: 59–86. doi:10.1016/j.geoderma.2017.01.002.
- Parton, William J., Dennis S. Ojima, C. Vernon Cole, and David S. Schimel. 1994. "A General Model for Soil Organic Matter Dynamics: Sensitivity to Litter Chemistry, Texture and Management." *Quantitative Modeling of Soil Forming Processes*, no. quantitativemod: 147–167.
- Puig de la Bellacasa, Maria. 2015. "Making Time for Soil: Technoscientific Futurity and the Pace of Care." *Social Studies of Science* 45 (5): 691–716.
- Puissant, Jérémy, Robert TE Mills, Bjorn JM Robroek, Konstantin Gavazov, Yves Perrette, Sébastien De Daniéli, Thomas Spiegelberger, Alexandre Buttler, Jean-Jacques Brun, and Lauric Cécillon. 2017. "Climate Change Effects on the Stability and Chemistry of Soil Organic Carbon Pools in a Subalpine Grassland." *Biogeochemistry* 132 (1–2): 123–139.
- Saenger, Anaïs, Lauric Cécillon, Jérôme Poulénard, Fabrice Bureau, Sébastien De Daniéli, Jean-Maxime Gonzalez, and Jean-Jacques Brun. 2015. "Surveying the Carbon Pools of Mountain Soils: A Comparison of Physical Fractionation and Rock-Eval Pyrolysis." *Geoderma* 241: 279–288.
- Schmidt, Michael W. I., Margaret S. Torn, Samuel Abiven, Thorsten Dittmar, Georg Guggenberger, Ivan A. Janssens, Markus Kleber, et al. 2011. "Persistence of Soil Organic Matter as an Ecosystem Property." *Nature* 478 (7367): 49–56. doi:10.1038/nature10386.
- Sjögersten, Sofie, Christine Alewell, Lauric Cécillon, Frank Hagedorn, Robert Jandl, Jens Leifeld, Vegard Martinsen, et al. 2011. "Mountain Soils in a Changing Climate—vulnerability of Carbon Stocks and Ecosystem Feedbacks." *Soil Carbon in Sensitive European Ecosystems: From Science to Land Management*, 118–148.