

TITRE DU PROJET :

Modélisation de la production et de la dégradation des turricules : conséquence sur la dynamique de la matière organique

Directeurs de thèse :

HDR- Cornelia Rumpel (cornelia.rumpel@inra.fr)

HDR- Marc Benedetti (benedetti@ipgp.fr)

Non HDR – Nicolas Bottinelli (nicolas.bottinelli@ird.fr)

1. Contexte et objectifs

L'étude des processus écologiques associés à la séquestration du C dans les sols, et en particulier dans les sols tropicaux, est devenue un enjeu majeur dans le cadre des objectifs de développement durable (mesures relatives à la lutte contre le changement climatique, faim zéro) et du programme international 4p1000. Les vers de terre sont reconnus pour jouer un rôle clé sur l'agrégation et la dynamique du C dans les sols¹ et pourtant leurs activités ne sont toujours pas prises en compte dans des modèles estimant l'évolution du C dans les sols, tels RothC et Century. Un des verrous majeur est notre faible connaissance de la dynamique des biostructures (production vs. dégradation) et de la matière organique (MO) associée. Les vers de terre ingèrent une grande quantité de sol qu'ils mélangent avec la MO dans leur tube digestif et qu'ils excrètent sous forme d'agrégats organo-minéraux, appelés turricules. Au cours de la digestion, la microstructure du sol est détruite, la MO fraîche partiellement dégradée et des micro-agrégats impliquant une interaction entre MO et minéraux se forment à partir de la MO labile^{2,3}. Ces micro-agrégats, contenant la MO a priori stabilisée, jouent un rôle incontestable sur la protection de la MO⁴. Toutefois, on connaît mal la nature et le temps de résidence de MO associée à ces turricules.

Les caractéristiques de la MO associées aux turricules ainsi que leur devenir et donc la quantité de C stockée dans les turricules dépendent non seulement de la quantité et la qualité de la MO ingérée par les vers de terre mais aussi de la dynamique des turricules. La production de turricules peut être saisonnière en réponse aux conditions pédo-climatiques⁵. En-deçà d'un seuil d'humidité et de température du sol, les vers de terre ont la capacité de migrer en profondeur afin de maintenir leur activité⁶. Comment ce changement de comportement influence-t-il la qualité et la quantité de MO au sein des turricules reste cependant inconnu. **Le premier objectif de ce projet de thèse est donc de définir l'influence de l'humidité du sol sur la quantité et la qualité de la MO incorporée au sein des turricules.**

Une fois le turricule produit, la MO peut suivre différentes dynamiques^{7,8} en fonction des contraintes physiques qui lui sont appliquées. A court terme (quelques jours), le C dans les turricules est facilement minéralisé en raison d'une forte activité microbienne capable de dégrader la MO labile.

¹ Edwards, 2004. *Earthworm Ecology (2nd Edition)*. London, New York, Washington: CRC Press, Boca Raton. 424.

² Shipitalo and Protz, 1989. *Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts*. *Geoderma* 45, 357-374.

³ Barthod et al. 2016. The effects of worms, clay and biochar on CO₂ emissions during production and soil application of co-composts. *Soil* 2, 673-683.

⁴ Six et al. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research* 79, 7-31.

⁵ Kaneda et al. 2016. Soil temperature and moisture-based estimation of rates of soil aggregate formation by the endogeic earthworm *Eisenia japonica*. *Biology and fertility of soils* 52, 789-797.

⁶ Jimenez et al. 1998. Population dynamics and adaptive strategies of *Martiodrilus carimaguensis* (Oligochaeta, Glossoscolecidae), a native species from the well-drained savannas of Colombia. *Applied Soil Ecology* 9, 153-160.

⁷ Bossuyt et al. 2004. Rapid incorporation of carbon from fresh residues into newly formed stable microaggregates within earthworm casts. *European Journal of Soil Science* 55, 393-399.

⁸ McInerney and Bolger, 2000. Temperature, wetting cycles and soil texture effects on carbon and nitrogen dynamics in stabilized earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 335-349.

Puis, la minéralisation du C décroît de façon exponentielle, la MO étant moins labile est associée à la fraction argileuse dans des micro-agrégats nouvellement formés⁹. À moyen terme (plusieurs semaines ou mois), dans le cas où la structure du turricule n'est pas altérée, la minéralisation du C est réduite comparée aux agrégats non biogéniques. Les quelques travaux portant sur la dégradation des turricules et la dynamique du C incorporé ont montré un lien entre le nombre de cycles humectation/dessiccation et le taux de minéralisation dans les turricules^{8,10}. Les turricules, même après fragmentation par la pluie présentent plus de C que les agrégats non biogéniques indiquant que même si la pluie rend disponible la MO stockée dans les turricules, les fragments libérés contribueraient au stockage de C dans les sols. Le doctorant aura donc à charge de répondre aux questions suivantes: **Que se passe-t-il lorsque le turricule est déposé à la surface du sol et qu'il est soumis à l'intensité des pluies ? Jusque quand les turricules participent-ils de façon significative au stockage de C ? Quelle est la part de C perdue par minéralisation de celle perdue par lessivage ? Comment se réarrangent les fragments de turricules dans le sol ?** Autant de questions, qui à ce jour ne sont pas étudiées.

L'ensemble de ces questions entre dans le cadre du projet « VINA WORM » financé par l'INSU, programme EC2C0 (PI : N. Bottinelli) sur la période 2018 -2019, et devrait être au cœur d'un projet qui sera soumis en 2018 au programme ANR.

2. Actions proposées et méthodologies

Justification du site d'étude

Les travaux sur le terrain seront conduits dans le bassin versant (BV) de Dong Cao au Nord du Vietnam (0,45 km²). Le climat est subtropical humide (pluviométrie = 1500 mm/an avec une saison des pluies marquée de juin à septembre). Le BV fait partie de l'observatoire M-Tropics (fusion entre NSO MSEC et NSO BVET). Le BV est instrumenté de plusieurs stations météorologiques et de capteurs mesurant en continu la température et l'humidité du sol. L'activité biologique de surface est dominée par le ver de terre anécique *Amyntas khami* qui produit des turricules conséquents, pouvant atteindre 15 cm de haut et une densité de 6 kg/m². Ces turricules sont enrichis en C organique et sont très stables à l'eau¹¹. La pluie fragmente progressivement les turricules en agrégats de différentes tailles conduisant à la formation d'un horizon superficiel « vermique ». Ces propriétés font de ces turricules un modèle idéal pour étudier la dynamique du C. Ce projet sera réalisé sous deux couverts végétaux représentatifs du BV: une plantation d'arbres sempervirent dont le sol est couvert de litières de feuilles toute l'année et une prairie pâturée présentant à la surface du sol une litière racinaire importante. Ce projet vise à tester les hypothèses présentées précédemment en formulant des modèles estimant l'effet du climat (i) sur la quantité et la qualité de la MO présents dans les turricules frais et (ii) sur la dynamique de dégradation des turricules et la MO associée.

Production des turricules en fonction du climat

Le doctorant testera l'hypothèse que les variations saisonnières du climat agissent sur la qualité de la MOS et de la litière ingérée, dont les conséquences seront une modification de la quantité et la qualité de la MO dans les turricules frais. Cela nécessitera d'estimer l'effet du climat : (i) sur la production de turricules et (ii) sur la MO incorporée dans les turricules. Combinant des mesures de terrain (échantillonnage) et des techniques de modélisation globale¹², adaptée aux séries temporelles, le doctorant aura pour tâche de simuler la dynamique de production des turricules en fonction des

⁹ Lavelle and Martin, 1992. Small-scale and large-scale effects of endogeic earthworms on soil organic matter dynamics in soils of the humid tropics. *Soil Biology & Biochemistry* 24, 1491-1498.

¹⁰ Zangerlé et al. 2014. Near infrared spectroscopy (NIRS) to estimate earthworm cast age. *Soil Biology and Biochemistry* 70, 47-53.

¹¹ Jouquet et al. 2008. Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma* 146, 231-238.

¹² Mangiarotti et al. 2016. Global modeling of aggregated and associated chaotic dynamics. *Chaos, Solitons & Fractals* 83, 82-96.

variables climatiques potentiellement importantes (la pluviométrie, la teneur en eau du sol, le potentiel matriciel du sol, la température du sol et de l'air).

Propriétés chimiques des turricules

Le doctorant étudiera les propriétés chimiques des turricules fraîchement émis (< 7 jours) : teneurs en C, N, $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ et des sucres non-cellulosiques, qui renseignent sur l'origine microbienne ou végétale des MOS. Un fractionnement physique des agrégats sera réalisé afin de séparer les MO particulières (POM) des matières organiques en interaction avec la phase minérale contribuant aux pools stabilisés des MOS. En complément des mesures par spectroscopie dans le moyen infrarouge (MIRS) seront réalisées afin de prédire les propriétés de la MO et donc de limiter le coût des analyses dans la suite du projet.

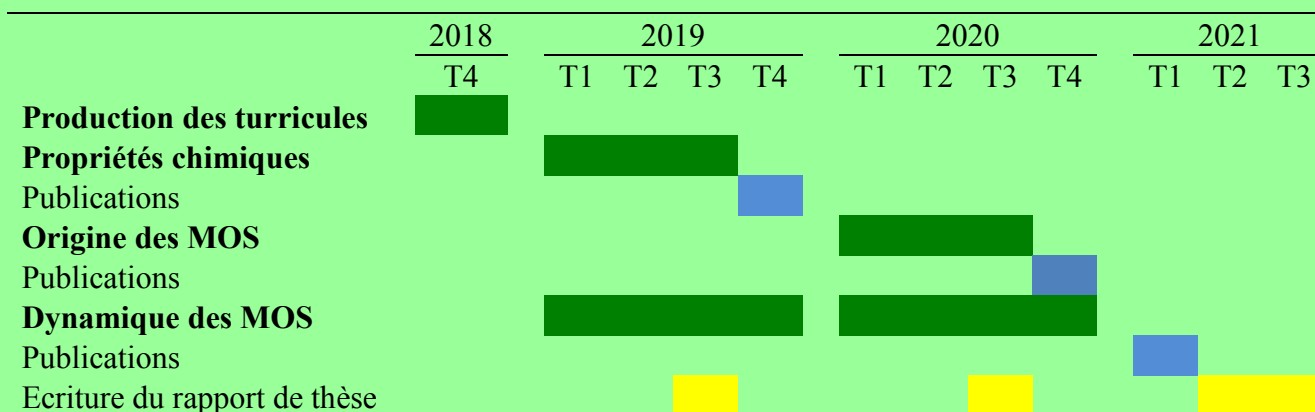
Origine des MOS

Le doctorant posera également la question de l'origine de la MO dans les turricules (litière de feuilles et de racines *vs.* sol) au travers de l'étude des teneurs en $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ du sol, de la litière des feuilles et des racines. Il pourra également s'appuyer sur les terres rares (TR) associées aux particules fines du sol comme indicatrices de la profondeur à laquelle les vers ingèrent le sol. Ce travail sera complété par la formulation de modèles permettant de relier le climat avec l'origine de la MO ingérée et la quantité et la qualité chimique de la MO dans les turricules frais (un modèle basé sur les agents¹³ et (ii) un modèle basé sur les équations [1-3]. Les modèles seront comparés et validés par les données disponibles ainsi que par la simulation de nouvelles données.

Dégradation et dynamique du C au sein des turricules

Le doctorant posera la question de la dynamique du C au sein des turricules. Il pourra pour cela s'appuyer sur des expériences au laboratoire et *in situ* où des turricules seront incubés et placés sous pluies naturelles ou simulées. La dynamique de la minéralisation de la MO pourra être mesurée par respiration (quantité de gCO_2 émis g^{-1} C sol) et au travers de l'analyse des propriétés chimiques des MO (C, N, sucres et POM seront mesurés comme dans la tâche 1, signature MIRS, teneur en C organique dissous...) et de la porosité (lames minces et analyse d'images 3D issues de μ -tomographie).

3. Calendrier



¹³ Grimm and Railsback, 2005. Individual-based modeling and ecology. BioOne.