

Titre : Fabrication d'agrégats en filière de construction de sol : influence de la qualité des liaisons organo-minérales sur les propriétés des Anthrosoles

Problématique scientifique/technique et objet de la thèse :

Le génie pédologique ou procédé de construction de sol est une technique qui commence à émerger dans certaines villes pour créer des sols fertiles à partir de déchets urbains. Cette nouvelle filière vise à protéger les espaces agricoles qui sont actuellement sollicités pour fournir des terres fertiles aux agglomérations, dans le cadre de l'aménagement de leurs espaces verts. Elle s'inscrit donc pleinement dans le contexte actuel d'économie circulaire et de recherche de circuits courts en milieu urbain. Le projet SITERRE, achevé en 2015, a démontré la faisabilité d'une telle approche. Cependant, des questions demeurent concernant la pérennité dans le temps des fonctions de ces sols créés par l'Homme. En particulier, la fertilité à court et moyen terme, de même que la résistance du sol à l'érosion, sont gouvernées par la stabilité des agrégats organo-minéraux. Ces structures ont été abondamment étudiées dans la littérature sur des sols naturels. Par contre, leur création *ab initio* dans le cadre du génie pédologique n'a jamais été envisagée. En particulier, la stabilité de ces agrégats repose sur la création de liaisons organo-minérales entre un pool de matière organique composé en majorité par des acides humiques et fulviques, et un pool minéral constitué essentiellement d'argiles de structure lamellaire et/ou d'(hydr)oxydes de fer. L'objet de la thèse proposée est de caractériser en détail les liaisons organo-minérales des agrégats qui seront produits dans le projet AGREGE. En effet, le lot 3 de ce projet, qui vient de démarrer, consiste à élaborer une méthodologie de mélange des déchets permettant la fabrication d'agrégats argilo-humique résistant à l'érosion et particulièrement réactifs (et donc fertiles) sur le plan chimique.

Etat de l'art :

Les agrégats sont à la base de la fertilité physique et chimique des sols¹. Les liaisons organo-minérales dans ces agrégats jouent un rôle prépondérant dans leur stabilité, en assurant une protection sur le long-terme contre la minéralisation de la matière organique². Plusieurs mécanismes d'interaction entre la matière organique et les surfaces minérales sont répertoriés dans la littérature³ : échanges de ligands, liaisons avec des cations polyvalents, et interactions faibles. La nature de la matière organique est également importante dans la stabilité de ces agrégats⁴. En génie pédologique, les

¹ Gobat J.-M., et al., 2003. Le sol vivant - Bases de pédologie, biologie des sols, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne. 568 p.

² Chenu, C. et Stotzky, G., 2002. Interactions between microorganisms and soil particles. An overview. In: Interactions Between Soil Particles and Microorganisms (eds P. M. Huang, J.-M. Bollag & N. Senesi), pp. 3–39. Wiley-VCH-Verlag, Weinheim.

³ V. Lützow, M. et al., 2006. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. European Journal of Soil Science, 57, 426–445.

⁴ Annabi, M. et al., 2007. Soil Aggregate Stability Improvement with Urban Composts of Different Maturities. Soil Science Society of America Journal, 71(2), 413-423.

processus d'agrégation dans les sols construits ont été étudiés sous l'angle de la stabilité structurale⁵. Ces travaux indiquent que l'agrégation peut se développer dans les stades précoces d'évolution des sols construits. Une autre étude montre que l'évolution pédologique des Technosols peut être suivie en détaillant l'évolution de la typologie de la matière organique⁶. Cette matière organique joue un rôle déterminant dans l'agrégation des sols construits. Ainsi, le travail de thèse de Sarah Rokia, menée dans le cadre du projet SITERRE⁷, a montré qu'il y avait des différences de stabilité d'agrégats entre deux types de mélanges de déchets utilisés en construction de sols, utilisant des sources de matière organique différentes. Cependant, le projet SITERRE n'a pas spécifiquement cherché à favoriser la formation d'agrégats, comme le propose le projet AGREGE. Par ailleurs, la caractérisation fine de ces liaisons par des techniques d'investigation spectroscopique a été peu étudiée en règle générale⁸, et n'a jamais été étudiée en filière de construction de sols. L'originalité du sujet de thèse proposé réside dans la fabrication d'agrégat de sols *ab initio* à partir de déchets et leur caractérisation par des techniques spectroscopiques mobilisant de grands instruments scientifiques.

Déroulement de la thèse

Les principales tâches de cette thèse se dérouleront selon le programme suivant :

Tâche 1 : Fabrication des agrégats de sols et évaluation de leur stabilité

- Sélection des déchets organiques et minéraux ;
- Caractérisation de ces déchets : typologie de la matière organique, caractérisation minéralogique (typologie des argiles, oxydes de Fe, etc.), extractions sélectives (Fe libre) ;
- Fabrication des agrégats de sols à partir de techniques de génie des procédés : bouletteur, débourbeur ;
- Définition et réalisation d'un protocole de mesure de la stabilité des agrégats.

⁵ Jangorzo, N. et al., 2013. Evolution of the pore structure of constructed Technosols during early pedogenesis quantified by image analysis. *Geoderma* 207–208, 180–192.

⁶ Pascaud, G. et al., 2017. Molecular fingerprint of soil organic matter as an indicator of pedogenesis processes in Technosols. *J Soils Sediments* 17, 340–351.

⁷ Rokia, S., 2014. Contribution à la modélisation du processus d'agrégation et du transfert d'éléments nutritifs dans des Technosols construits à partir de déchets. Thèse de l'Université de Lorraine, 317p.

⁸ Chen, C. et al., 2014. Soft X-ray Spectromicroscopy Study of Mineral-Organic Matter Associations in Pasture Soil Clay Fractions. *Environ. Sci. Technol.* 48, 6678–6686.

Tâche 2 : Impacts environnementaux des mélanges : comportement prévisionnel dans leur futur contexte de valorisation (échelle intermédiaire)

- Lixiviations classiques en batch selon la norme NF EN 12457-2 ;
- Mesures de phytodisponibilité des éléments traces (norme NF EN ISO 16198) ;
- Expériences de vieillissement en cellules humides, dérivées de la norme américaine ASTM D 5744 – 96, permettant d'imposer aux mélanges formulés une alternance de cycles d'humidification et de séchage afin de simuler les conditions naturelles auxquels ils seront soumis une fois mis en place en condition de surface ;
- Modélisation hydro-géochimique du comportement à long-terme des mélanges.

Tâche 3 : Caractérisation des liaisons organo-minérales dans les agrégats fabriqués

- Caractérisation de la distribution spatiale de la répartition matière organique – phases minérales ;
- Réalisation d'échantillons de références (e.g. essais de sorption de molécules organique sur des minéraux purs) ;
- Couplage de techniques d'investigation ponctuelles (μ -PIXE, μ -XAS) et totales (XAS) afin d'évaluer la nature des liaisons mises en œuvre, dans chaque type d'agrégat, vieilli ou non vieilli.

Tâche 4 : Etude de la nature et de la stabilité des agrégats sur un Anthroposol développé en conditions naturelles (Anthroposols minier ou sédiment déposé à terre)

- Caractérisation de la stabilité des agrégats ;
- Caractérisation de la nature des liaisons organo-minérales ;
- Comparaison avec les agrégats de sols construits (en lien avec les tâches précédentes).

Localisation

La thèse se déroulera à Orléans, sur le site du BRGM, avec des périodes de déplacement à l'université de Limoges.

Candidature

Pour toute demande de candidature, merci d'adresser CV et lettre de motivation au plus tard le 1^{er} juillet 2018 à Emmanuel Joussein et Samuel Coussy :

emmanuel.joussein@unilim.fr; s.coussy@brgm.fr