

Bourses de thèses projet COSETTE

CONtribution des Substances Extracellulaires polymériques à la sTabilité sStructuraleE des sols

Eléments de contexte

Au cours des dernières décennies, le changement des conditions climatiques dans l'atmosphère terrestre, l'utilisation intensive des sols et les besoins alimentaires croissants, conduisent à des **menaces pour le sol, telles que la perte de matière organique, la perte de biodiversité ou encore l'érosion**. Le maintien ou la restauration de la structure des sols, et la formation d'agrégats, constituent un levier d'actions efficace pour améliorer la circulation de l'eau et des gaz dans la matrice poreuse des sols. Cette ambition répond aux enjeux relatifs à la séquestration du carbone dans les sols, à la modération des flux de GES, à la maîtrise de l'érosion et de l'hydromorphie.

A l'échelle microscopique, il est désormais clairement établi que la matière organique, et en particulier les substances exopolymériques (EPS), joue un rôle prépondérant dans l'agrégation des sols. Dès 1982, Tisdall et al. ont pu établir un lien entre production d'exopolysaccharides et stabilité des agrégats et depuis, de nombreux travaux ont été menés pour documenter les interactions entre les polysaccharides et les particules minérales du sol (Chenu and Cosentino, 2011; Abiven et al., 2009; Chenu and Stotzky, 2002). En influençant les propriétés physiques des sols, les communautés microbiennes influencent également l'habitat dans lequel elles évoluent et modifient les conditions de circulation d'eau et de gaz à l'intérieur des sols et à l'interface agrégats/macropores. Cela permet la formation de micro-sites à l'intérieur desquels vont se produire des processus biogéochimiques émetteurs de GES, dans des proportions variables selon les faciès microbiens qui auront été favorisés.

A l'échelle macroscopique, l'agrégation des sols se traduit par une plus forte stabilité vis à vis des forces de cisaillement (Le Bissonnais, 1996) et une meilleure circulation de l'eau et des gaz dans le domaine macroporal (Kroes et al., 2017). Les réponses du système, à ces échelles, peuvent être appréhendées au travers d'indicateurs plus intégrés dérivant de la télédétection spatiale, de l'hydrologie (intégration spatiale) et de la biogéochimie (intégration temporelle). Il existe donc un **enjeu fort de mener des études intégrées liant l'échelle microscopique des communautés microbiennes du sol**, où se jouent les mécanismes, **et l'échelle macroscopique des bassins versants et des paysages** où se déterminent les flux et les conditions du milieu qui contrôlent les mécanismes (Meixner & Eugster, 1999).

De plus, la région Occitanie serait la plus déficitaire en terme de capacité à stocker du carbone (Chen et al., 2018 ; Poeplau et Don, 2023 ; Rabot et al., 2022), et les paysages collinéens des sols argilo-calcaires ont aussi un très fort alea érosion (Trochon et al., 2023) et la qualité des eaux de surface s'en trouve détériorée au fil du temps.

Les pratiques agroécologiques (non labour, semis direct, couverts intermédiaires, diminution des intrants) constituent une voie intéressante pour rendre les sols plus résilients face aux menaces liées au changement climatique, notamment en permettant de les enrichir en matières organiques et en contribuant au stockage du carbone dans les sols.

Le projet regroupera **2 doctorants localisés à Auch** autour d'une problématique commune, la **contribution des substances exopolymériques dans la structuration des sols, et avec deux échelles d'application** :

- De la molécule à l'agrégat (Laboratoire de Biotechnologies Agroalimentaire et Environnementale, LBAE)
- De l'agrégat à la parcelle (Centre de Recherche sur la Biodiversité et Environnement/ Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère, CRBE/CESBIO).

Les deux thèses seront donc menées de concert sur des sites permettant la comparaison de pratiques agroécologiques et conventionnelles et investigueront les mêmes échantillons.

Thèse - CRBE / CESBIO

Contribution des substances exopolymériques dans la structuration des sols de l'agrégat à la parcelle : impact sur la stabilité structurale et la capacité des sols argilo-calcaires à stocker du C

Le sujet de thèse proposé ici s'adosse au précédent et doit servir à améliorer notre connaissance sur le rôle que jouent les EPS d'un point de vue plus macroscopique : de l'agrégat à la parcelle. Les processus d'agrégation sont fondamentaux car ils constituent un des leviers essentiels pour prévenir l'érosion, en intervenant dans la parcelle. En effet, c'est au sein des agrégats que le carbone est stocké et que les micro- et méso-porosités permettent le stockage de l'eau (Alletto et al., 2022 ; Alletto et Bustillo, 2023). Or selon les modèles prédisant la capacité des sols à stocker du carbone (Chen et al., 2018 ; Poeplau et Don, 2023 ; Rabot et al., 2022), notre région serait la plus déficitaire par rapport au potentiel modélisé par la simple teneur en éléments fins (argile et limons fins). En plus, les paysages collinéens des sols argilo-calcaires ont aussi un très fort alea érosion (Trochon et al., 2023) et la qualité des eaux de surface s'en trouve détériorée au fil du temps. Ce contexte a motivé une suite au projet [Bag'ages](#) avec un accent mis sur le transfert de pesticides et l'érosion.

Les premiers travaux menés dans le cadre de la collaboration entre le LBAE, l'antenne d'Auch du CESBIO et le CRBE (projet EC2CO SEPSOL) font émerger plusieurs conclusions préliminaires importantes :

- Il y a une relation entre teneur en matières organiques des sols (MOS) et stabilité structurale, dans les sols argilo-calcaires, qui semble dépendre de multiples facteurs : la saison, la position dans le versant, le pH et la granulométrie des sols ainsi que les pratiques agricoles.
- Au sein des versant cultivés, les zones mises en défends ont des taux de MOS augmentés, des émissions de N₂O diminuées, mais des processus de dénitrification variables.
- Des difficultés d'ordre méthodologique demeurent pour isoler le rôle des EPS de celui des autres substances humiques du sol.

Ces premiers résultats soulèvent de nouvelles questions que nous proposons de traiter dans cette thèse.

- (i) Si la littérature fait bien état d'une amélioration de la stabilité structurale des sols avec l'augmentation des teneurs totales en MOS, les **véritables processus mis en jeu demeurent encore peu connus**. Nous avons fait l'hypothèse que les EPS pourraient être à l'origine de ces cohésions renforcées entre particules minérales et organiques. Résultant principalement de l'activité bactérienne, ces EPS devraient avoir

une meilleure fonctionnalité lors des épisodes plus chauds et humides, et inversement décliner lors des conditions pédoclimatiques plus défavorables à l'activité bactérienne.

- (ii) La **méthodologie d'évaluation de la stabilité structurale est encore lourde** (Le Bissonais: ISO 10930: 2012 « Qualité du sol -- Mesure de la stabilité d'agrégats de sols soumis à l'action de l'eau ») et freine donc le nombre possible d'échantillons à traiter. Nous proposons de mettre au point un protocole à la fois plus simple et plus robuste, s'inspirant de ce qui existe déjà dans la littérature (gravimétrie dynamique: QuantiSlake Test, Vanwindekens & Hardy, 2022; indices de réflectance pre- et post-humectation à 2210 nm, Gholoubi et al., 2018; méthode HEMC "high energetic moisture characteristics" à partir de propriétés de rétention différenciées selon les modalités d'humectation d'agrégats, Mamedov et al., 2010, Logsdon et al., 2013) de manière à pouvoir mieux appréhender les facteurs fixant les relations entre l'hydrophobicité des agrégats et la stabilité structurale, qui est à l'origine du processus d'érosion (Hallett et al., 2004). En facilitant les conditions expérimentales, nous pourrions mieux répondre à la question de comment les EPS peuvent améliorer cette hydrophobicité ? Quels sont les facteurs pédologiques qui prédominent dans ces processus ?
- (iii) La composition élémentaire pourrait aussi être une approche visant à mieux comprendre les capacités des EPS à impacter l'hydrophobicité des agrégats et leur sorptivité. On fait ici **l'hypothèse que certains groupements fonctionnels des MOS sont impliqués** dans ces processus. Or il se trouve que l'analyse des spectres infrarouge des sols peut aussi être un moyen d'accéder à la nature de ces groupes fonctionnels.
- (iv) Les **pratiques agricoles dites agroécologiques**, comme la réduction du travail du sol ou l'allongement des successions culturales **améliorent les teneurs en MOS**. En favorisant l'activité biologique, elles augmentent les capacités du sol à stocker du carbone et elles devraient améliorer le rôle des EPS, c'est l'hypothèse que nous faisons ici.

Pour s'affranchir de la complexité des MOS et des EPS, des premières expérimentations seront menées sur des échantillons modèles de EPS et sur des argiles modèles (à fort et faible CEC) de façon à identifier comment les types d'argile impactent le rôle des EPS. Ces incubations seront réalisées en conditions contrôlées pour tester d'autres paramètres pédoclimatiques : température, humidité, pH et granulométrie des sols. En parallèle, un protocole visant à évaluer l'instabilité structurale des agrégats sera mis au point.

Ces résultats préliminaires orienteront le choix des sites et le nombre d'échantillons prélevés :

- À différents moments de l'année pour tester à la fois l'effet des conditions climatiques mais aussi des interventions culturales
- Sur différents types de sols pour tester les paramètres pédologiques (pH, granulométrie et type d'argiles, MOS) et les modes de gestion des sols (bande enherbée, travail du sol simplifié, agriculture de conservation des sols).

Enfin, le changement d'échelle jusqu'à la parcelle, et au bassin versant pourra être fait grâce à la maîtrise des outils de télédétection par le CESBIO pour (1) documenter la protection des sols par les végétaux et les résidus de cultures, et (2) définir des signatures spectrales de sol susceptibles de renseigner sur la stabilité structurale et les états de surface (Bablet et al., 2018 ; Ghobouli et al., 2018).

Par ailleurs, les données Lidar acquises dans le cadre de l'IR OZCAR et les données nationales Lidar HD offrent des outils très puissants pour identifier très précisément les chemins de l'eau et évaluer l'incision induite par ruissellement concentré. Des simulations de pluie au champ en conditions contrôlées (écoulements en rigoles et sur des placettes expérimentales de quelques m²) permettront de définir l'impact des variations spatio-temporelles de stabilité structurale sur la circulation de l'eau et le transport de matériaux

sédimentaires en échantillonnant l'eau qui ruisselle hors du dispositif et en documentant les changements d'état de surface par analyse d'images.

L'accès aux données historiques des flux et teneurs en MES à l'exutoire du bassin versant d'Auradé et l'acquisition de nouvelles mesures dans le cadre d'un projet à venir constitueront des jeux de validation pertinents pour évaluer la performance des modèles mis en place et la plus-value d'une meilleure prise en compte de la variabilité spatio-temporelle de la stabilité structurale des sols comme déterminant de l'érosion des sols en contexte agricole.

Le doctorant sera hébergé au CRBE (Toulouse), avec des périodes de travail à l'**antenne d'Auch du CESBIO**. La thèse sera co-encadrée par Maritxu GUIRESSE (PU, CRBE) et Vincent BUSTILLO (MCF, CESBIO).

Profil recherché :

Le candidat devra présenter une formation généraliste en agronomie et en sciences du sol. Des connaissances en chimie environnementale et en géomatique seront appréciées. L'autonomie, la rigueur, l'appétence pour les travaux de terrain seront des qualités recherchées chez les candidats potentiels. L'étudiant devra pouvoir rédiger facilement des documents scientifiques y compris en anglais (niveau de français requis : C2 ; niveau d'anglais requis : C1).

Les candidatures seront examinées au fil de l'eau et pourront être adressées jusqu'au jeudi 11 juillet 2024. Les entretiens pourront se dérouler en distanciel à partir du 28 juin.

Encadrement / contact :

Maritxu Guiresse : guiresse@ensat.fr ou 05 34 32 39 37

Vincent Bustillo : vincent.bustillo@iut-tlse3.fr ou 05 62 61 63 13

Description des équipes proposant

CRBE

Au sein du Centre de Recherche sur la Biodiversité et Environnement (CRBE), l'équipe Biogéochimie et Ecosystème (BIOECO) étudie la capacité des écosystèmes à réguler les pressions anthropiques, notamment concernant le cycle du carbone et de l'azote, par de multiples approches. Celles mobilisées dans ce projet sont centrées sur la pédologie, la qualité des sols, les propriétés physiques des sols et leurs fonctions en termes de potentialités agronomiques et environnementales. Les travaux que mène Maritxu Guiresse actuellement sont centrés sur l'hydrologie des sols, leur fonction de stockage d'eau, leur sensibilité à l'engorgement et les conséquences pour les émissions de N₂O. Lors de travaux antérieurs, le retour aux sols des produits organiques résiduels, fut l'occasion de travailler sur le devenir des éléments traces métalliques.

R. Beghin-Tanneau, F. Guérin, M. Guiresse, D. Kleiber, J.D Scheiner., 2019. Carbon sequestration in soil amended with anaerobic digested matter. *Soil & Tillage Research*, 192, 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.024>

E. Rabot, M. Guiresse, Y. Pittatore, M. Angelini, C. Keller, P. Lagacherie. 2022. Development and spatialization of a soil potential multifunctionality index for agriculture (Agri-SPMI) at the regional scale. Case study in the Occitanie region (France). *Soil Security*, 6, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100034>

B. Trochon, V. Bustillo V, L. Caner, S. Pasquet, V. Suc, F. Granouillac, A. Probst, J-L. Probst, T. Tallec, M. Guiresse, 2023. Main water pathways in cultivated clayey calcisols in molassic hills in southwestern France: towards spatialization of soil waterlogging. *Vadose Zone Journal*, 22, e20272. DOI:10.1002/vzj2.20272

CESBIO

Le Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (CESBIO, UMR 5126) est un laboratoire de recherches qui fait partie de l'Observatoire Midi Pyrénées et dont la vocation principale est de contribuer au progrès des connaissances sur le fonctionnement des surfaces continentales et leurs interactions avec le climat et l'homme, en s'appuyant fortement sur les données satellitaires. Les satellites constituent en effet l'un des rares moyens disponibles pour obtenir des mesures cohérentes sur de grandes surfaces. L'observation de la Terre offre à la fois la possibilité de suivre l'évolution de la planète, à différentes échelles, et d'alimenter le développement et la mise en œuvre de modèles de processus.

Les trois domaines d'expertise du CESBIO sont :

- la **télé-détection spatiale** : le CESBIO participe activement à la définition, à la mise en œuvre et à l'exploitation scientifique de missions spatiales (Sentinel-2, Venµs, SMOS, BIOMASS à partir de 2022, à plus long terme : TRISHNA). Plus récemment, le CESBIO a acquis un savoir-faire sur la méthodologie d'acquisition et d'exploitation d'images acquises à très haute résolution spatiale, basées sur des *systèmes d'acquisition embarqués (drones) ou des dispositifs statiques de caméra thermique* montés sur tours avec une haute résolution temporelle.

- les **expérimentations et suivis au champ** sur le long terme pour permettre l'interprétation des données spectrales et leur traduction en variables biophysiques et/ou en processus dynamiques à travers la modélisation. Depuis 2004, le CESBIO assure le suivi du site de Lamasquère (31), labellisé ICOS, et du site d'Auradé, dans le Gers. Ces sites font l'objet de mesures intensives : système de mesure des flux d'eau et de CO₂ par eddy covariance, monitoring des variables d'état du sol et de l'atmosphère, suivi végétation, chambres de respiration pour la mesure des flux de GES : CO₂, N₂O, CH₄, cartographie géophysique, etc.

- la **modélisation de processus** contribuant aux échanges d'eau, de carbone et d'énergie entre les différents compartiments environnementaux, à travers l'exploitation des données acquises sur les sites d'observation.

Trochon, B., Bustillo, V., Caner, L., Pasquet, S., Suc, V., Granouillac, F., ... & Guiresse, M. (2023). Main water pathways in cultivated clayey calcisols in molassic hills in southwestern France: Toward spatialization of soil waterlogging. *Vadose Zone Journal*, 22(5), e20272.

Alletto, L., Cueff, S., Bréchemier, J., Lachaussée, M., Derrouch, D., Page, A., ... & Bustillo, V. (2022). Physical properties of soils under conservation agriculture: A multi-site experiment on five soil types in southwestern France. *Geoderma*, 428, 116228.

Breil, N. L., Lamaze, T., Bustillo, V., Marcato-Romain, C. E., Coudert, B., Queguiner, S., & Jarosz-Pellé, N. (2023). Combined impact of no-tillage and cover crops on soil carbon stocks and fluxes in maize crops. *Soil and Tillage Research*, 233, 105782.

Mosaid, H., Barakat, A., Bustillo, V., & Rais, J. (2022). Modeling and mapping of soil water erosion risks in the Srou Basin (Middle Atlas, Morocco) using the EPM model, GIS and magnetic susceptibility. *Journal of Landscape Ecology*, 15(1), 126-147.

Kpoumié, A., Ngouh, A. N., Mfonka, Z., Nsangou, D., Bustillo, V., Ndam Ngoupayou, J. R., & Ekodeck, G. E. (2022). Spatio-temporal assessing rainfall and dam impacts on surface runoff in the Sanaga river basin (transition tropical zone in central part of Cameroon). *Sustainable Water Resources Management*, 8(1), 26.