

Sujet de stage de Master 2 à partir de janvier/février 2025 (durée de 6 mois)

Vulnérabilité de associations organo-minérales dans la rhizosphère du blé, sous contrainte climatique

Contexte général et objectif du stage

Les sols représentent le plus grand réservoir de carbone (C) organique terrestre, stockant davantage de carbone que l'atmosphère et la biomasse végétale réunies. Cette capacité de stockage en fait un levier essentiel pour répondre à deux enjeux majeurs : la sécurité alimentaire et l'atténuation du changement climatique (Initiative 4 pour 1000). Dans les sols, jusqu'à 90% de ce C est associé aux minéraux, formant des **associations organo-minérales** (Lugato et al., 2021). Cependant ces associations sont loin d'être des réservoirs de C passifs, une partie de ces associations fournissent jusqu'à un tiers de l'azote absorbé par les espèces de prairies (Jilling et al., 2025). Elles jouent donc un rôle central dans la **fertilité des sols et l'atténuation du climat**. Pourtant, leurs mécanismes de formation, de stabilité et de biodisponibilité restent encore mal compris.

C'est dans la rhizosphère (sol impacté par les racines) que les associations organo-minérales sont détruites et servent de puits de nutriments pour les plantes. Via la sécrétion d'exsudats racinaires et l'augmentation de l'activité microbienne, ces associations peuvent être dissociées par : désorption de la matière organique, dépolymérisation de la matière organique et dissolution partielle de la phase minérale (Bölscher et al., 2025). Une partie des matières organiques est ainsi relâchée dans le sol, offrant aux micro-organismes et aux racines un accès direct à des nutriments. Cependant, les associations organo-minérales dans les sols peuvent être de différentes nature (Basile-Doelsch et al., 2020; Kleber et al., 2021; Jamoteau et al., 2025): des matières organiques adsorbées sur des phases cristallines, co-précipitées avec les minéraux mal-cristallisés ou avec des phases minérales amorphes. Ainsi, leur nature pourrait influencer l'étendue de leur déstabilisation, et donc leur capacité à servir de réservoir de nutriment pour les plantes et micro-organismes du sol.

Par ailleurs, des facteurs environnementaux tels que les régimes de précipitations, appelés à évoluer dans les années à venir avec l'intensification des sécheresses et des pluies intenses (IPCC, 2023), pourraient affecter la vulnérabilité de ces associations. Ces événements modifient l'humidité du sol, les conditions d'oxydo-réduction, la connectivité des pores, l'étendue de la rhizosphère, les communautés microbiennes et les exsudats racinaires (type et quantité). Ces perturbations sont susceptibles d'impacter particulièrement les associations impliquant des phases minérales mal-cristallisées.

Ce stage a pour objectif d'identifier les types d'associations organo-minérales les plus sensibles à la déstabilisation dans les sols, et donc les plus biodisponibles pour les plantes de grande culture, en particulier le blé, sous un régime de précipitation changeant.

Contenu du stage

Le stage proposé s'inscrit dans une dynamique de recherche innovante sur la vulnérabilité des associations organo-minérales dans les sols agricoles, en particulier dans la rhizosphère du blé, sous l'effet de contraintes climatiques. Il offre une opportunité d'explorer les mécanismes fins qui régissent la stabilité du carbone organique dans les sols, en lien direct avec la fertilité et les enjeux climatiques.

Le ou la candidate participera à une expérimentation visant à comparer deux types d'associations organo-minérales : l'une formée par adsorption de matière organique sur des minéraux, l'autre par co-précipitation avec des phases amorphes. Elles seront ensuite intégrées dans un sol cultivé avec du blé pendant deux mois, en conditions contrôlées. Durant cette période, le stagiaire suivra les émissions de ^{13}C -CO₂ pour évaluer la minéralisation du carbone et donc la déstabilisation des associations durant la pousse du blé. Des échantillons de sol bulk et de rhizosphère seront prélevés et analysés par spectrométrie de masse isotopique (IRMS) afin de quantifier le carbone ^{13}C restant et déterminer la part mobilisée dans la rhizosphère.

Ce stage permettra de développer des compétences en biogéochimie du sol, traçage isotopique et culture en phytotron. Il offre une immersion dans une équipe de recherche internationale, avec des perspectives de valorisation scientifique et une ouverture vers des thématiques de thèse en lien avec la fertilité des sols et la stabilisation du C dans les sols.

Le stage en pratique

Le stage se déroulera au [CEREGE](#) (Aix-en-Provence), à partir de janvier/février 2025 (dates flexibles) pour 6 mois. Le stage se déroulera dans l'équipe Environnement Durable et Climat du CEREGE. Le ou la candidate sera principalement encadré.e par Floriane Jamoteau (CR, INRAE) et Isabelle Basile-Doelsch (DR, INRAE) et par Guillaume Leduc (CR, CNRS) et Anne-Lise Jourdan (IR, CNRS) sur les aspects isotopiques.

La gratification sera à hauteur d'une indemnité de stage (660€/mois).

Contacts et renseignements :

Les candidatures et renseignements complémentaires sont à adresser à Floriane Jamoteau (jamoteau@cerege.fr) par email, incluant votre CV, une lettre de motivation, vos notes de master 1 et, si possible, votre rapport de stage de Master 1.

Références :

- Basile-Doelsch, I., Balesdent, J., Pellerin, S., 2020. Reviews and syntheses: The mechanisms underlying carbon storage in soil. *Biogeosciences Discussions* 1–33. <https://doi.org/10.5194/bg-2020-49>
- Bölscher, T., Cardon, Z.G., Garcia Arredondo, M., Grand, S., Griffen, G., Hestrin, R., Imboden, J., Jamoteau, F., Lacroix, E.M., Pérez Castro, S., Persson, P., Riley, W.J., Keiluweit, M., 2025. Vulnerability of mineral-organic associations in the rhizosphere. *Nat Commun* 16, 5527. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-61273-4>
- IPCC, 2023. Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, pp. 35–115.
- Jamoteau, F., Doelsch, E., Cam, N., Levard, C., Woignier, T., Boulineau, A., Saint-Antonin, F., Swaraj, S., Gassier, G., Duvivier, A., Borschneck, D., Pons, M.-L., Chaurand, P., Vidal, V., Brouilly, N., Basile-Doelsch, I., 2025. Interplay of coprecipitation and adsorption processes: deciphering amorphous mineral–organic associations under both forest and cropland conditions. *SOIL* 11, 535–552. <https://doi.org/10.5194/soil-11-535-2025>
- Jilling, A., Grandy, A.S., Daly, A.B., Hestrin, R., Possinger, A., Abramoff, R., Annis, M., Cates, A.M., Dynarski, K., Georgiou, K., Heckman, K., Keiluweit, M., Lang, A.K., Phillips, R.P., Rocci, K., Shabtai, I.A., Sokol, N.W., Whalen, E.D., 2025. Evidence for the existence and ecological relevance of fast-cycling mineral-associated organic matter. *Commun Earth Environ* 6, 690. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02681-8>
- Kleber, M., Bourg, I.C., Coward, E.K., Hansel, C.M., Myneni, S.C.B., Nunan, N., 2021. Dynamic interactions at the mineral–organic matter interface. *Nat Rev Earth Environ* 2, 402–421. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00162-y>
- Lugato, E., Lavalley, J.M., Haddix, M.L., Panagos, P., Cotrufo, M.F., 2021. Different climate sensitivity of particulate and mineral-associated soil organic matter. *Nat. Geosci.* 14, 295–300. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00744-x>