Projet de Recherche Doctorale (PDR): Impact(s) de l'incorporation de biochar sur les fonctions d'un technosol.

Contexte : Les villes modernes sont considérées comme des entités dotées d'un métabolisme linéaire impliquant (i) des entrées de matières premières qui seront transformées pour soutenir et promouvoir ses activités et (ii) des sorties, notamment par la production de déchets organiques et inorganiques et de gaz à effet de serre. Diverses initiatives émergent pour faire évoluer le métabolisme linéaire des villes vers un métabolisme circulaire impliquant notamment le développement de nouveaux secteurs (bio-) économiques grâce au recyclage des déchets organiques. A ce titre, la production de biochar, résidu de la pyrolyse de la biomasse végétale, peut constituer un nouveau secteur pour valoriser les déchets ligneux. Dans les terres arables, le biochar serait à l'origine de nombreux bénéfices (séquestration du carbone, augmentation de la rétention en eau des sols, croissance favorisée des plantes, réduction de la perte de nutriments par lessivage ; Abiven et al., 2014).

Seulement, l'impact de l'incorporation de biochar en milieu tempérée et dans les sols urbains demeure faiblement étudier à ce jour. Les villes sont particulièrement vulnérables au changement climatique, notamment via l'intensification du phénomène d'îlot de chaleur urbain (Yuan et Bauer, 2007). D'ici 2050 plus de deux personnes sur trois habiteront en zone urbaine (Nations unies, 2018). Il devient donc urgent de proposer des solutions visant à atténuer ces îlots de chaleurs. Parmi les solutions proposées figurent le verdissement des villes via la création de nouveaux espaces verts (EV) sur des sols aux fonctions dégradées. Une telle politique de création de nouveaux EV se doit d'être appliquée dans une perspective double de gestion durable des territoires et d'anticipation de l'impact du changement climatique. A ce titre, le biochar pourrait constituer un levier d'intérêt dans la mesure où celui-ci pourrait permettre (i) de valoriser les déchets ligneux locaux, (ii) d'améliorer les propriétés des sols, (iii) tout en évitant le recours massif à l'utilisation de terres arables extérieures de sorte à diminue l'empreinte écologique des pratiques usuelles des EV. En retour, une telle pratique pourrait favoriser l'enracinement et la croissance des plantes permettant de réduire les îlots de chaleurs. Dans une perspective de déploiement futur d'un tel dispositif il convient donc de documenter l'impact réel du biochar sur le fonctionnement de sols dégradés urbains ainsi que la persistance temporelle des éventuels bénéfices observés.

Objectif scientifique : L'objectif du présent PDR est d'étudier l'impact des biochars et de ses modifications au cours du temps sur le stockage de carbone, la rétention en eau et sur la croissance des plantes dans un technosol situé à Limeil-Brévannes

Justification de l'approche scientifique : Pour documenter l'impact des biochars sur les fonctions du technosol considéré, le présent PDR se compose de trois volets :

- **Volet 1** : Développement du suivi quantitatif et qualitatif des modifications physiques et biogéochimiques des biochars par la méthode géophysique du potentiel provoqué (SIP). Des travaux préliminaires (Mendieta et al., 2024) ont montré que la signature SIP était fonction de la teneur en biochar. Les travaux de ce PDR auront donc pour objectif de déterminer comment les processus de vieillissement (fragmentation et oxydation/adsorption de matières organiques ; MO) modifient ces signatures. Pour ce volet, les processus de vieillissement seront étudiés à travers des biochars vieillis expérimentalement et en milieux naturels. Parallèlement, les modifications physiques et biogéochimiques des biochars seront caractérisées en couplant l'analyse thermique Rock-Eval, la spectroscopie infrarouge et Raman (Delarue et al., 2023).
- **Volet 2** : Suivi des variations saisonnières des fonctions du technosol dans lequel ont été incorporées des biochars. Dans ce volet, il sera question de caractériser la trajectoire temporelle du stockage de carbone (mesure de la respiration basale), des propriétés hydriques du sol (mesures par sondes des teneurs en eau et de la conductivité à des profondeurs de 12, 25, 50 et 80 cm de profondeur), et de la croissance des plantes (Indicateurs morphologiques des arbres et taux de chlorophylle). Outre ces aspects, les signatures SIP seront également déterminées à l'échelle saisonnière sur site pour relier le vieillissement des biochars aux modifications potentielles des fonctions étudiées. Ces travaux porteront sur un nouveau design expérimental visant étudier les effets singuliers et interactifs du biochar en présence ou absence de plantes (e.g. *Gleditsia triacanthos*).
- **Volet 3 :** Etude des modifications biogéochimiques des biochars. En amont de ce PDR, des travaux préliminaires ont été menés sur le site d'étude. Dix-huit mois après l'incorporation de biochar (1% massique dans les 30 premiers centimètres), ces travaux ont mis en exergue une hausse de 50% de la respiration basale. Il convient donc désormais de déterminer la source du CO_2 émis pouvant provenir d'une dégradation accrue des biochars et/ou de la matière

organique initialement présente dans le sol. Pour atteindre cet objectif, les sols étudiés seront prélevés à T0 (mise en place du design expérimental), T1 (+ 1 an) et T2 (+2 ans) puis caractérisés par un couplage de méthodes biogéochimiques : incubation des sols et détermination de la composition isotopique ^{13}C du CO_2 émis (biochar appauvri en ^{13}C suite à la carbonisation) , détermination de l'évolution quantitative des pools de carbone et de leur stabilité par analyses élémentaires et analyse thermique Rock-Eval (Sebag et al., 2016), caractérisation de la composition moléculaire de ces pools de carbone par spectroscopie infrarouge et pyrolyse –chromatographie gazeuse à spectrométrie de masse (Sun et al., 2023) à l'échelle du sol « bulk » et du biochar.

Adéquation avec l'Institut de la Transition environnementale (ITE): Ce PDR fondamentalement pluridisciplinaire d'inscrit sur deux des grandes problématiques identifiées par l'ITE de l'Alliance Sorbonne Université (SU):

- *Les conditions de durabilité des utilisations de la biomasse*. Dans le cadre de ce PDR, nous nous attacherons à définir la persistance des bénéfices potentiels de l'incorporation de biochars sur le stockage de carbone, la rétention en eau et sur la croissance des plantes.
- *Les outils et concepts pour l'établissement d'une société frugale*. L'objectif sous-jacent de ce PDR est de favoriser, à terme, des pratiques de gestion des espaces verts vertueuses en minimisant à la fois le transport de matières premières et la consommation d'eau tout en favorisant l'émergence d'une nouvelle bioéconomie circulaire basée sur la valorisation des déchets ligneux par pyrolyse.

Encadrement: Ce PDR sera dirigé par K. Quénéa, maîtresse de conférences HDR SU (UMR 7619 METIS), géochimiste étudiant la MO, notamment à l'échelle moléculaire. Cette direction s'effectuera en lien étroit avec F. Delarue (Chargé de recherche CNRS, UMR 7619 METIS), porteur du projet ANR OPTISOIL finançant l'intégralité de l'environnement nécessaire au bon déroulé de ce PDR. Ses travaux de recherche se focalisent sur la structure de la MO carbonisée et de son devenir, notamment dans les sols. Ce PDR sera également co-encadré par S. Abiven (professeur ENS, UMR 3194) et D. Sebag (IFPEN) lesquels apporteront, respectivement, leurs compétences sur le fonctionnement des sols et sur la stabilité des pools de carbone. Outre un encadrement collégial, ce PDR bénéficiera du support de l'équipe de géophysique du laboratoire METIS, de la collectivité territoriale 'Île de France Nature et de la société Euro-vert

Références

Abiven S., Schmidt, MW., Lehmann J. (2014). Biochar by design. Nature Geoscience 7, 326-327. Mendieta A., Thiesson J., Maineult A., Luo H., Jougnot D., Vásconez-Maza M., Finco C., **Delarue F**. (2024). Quantification of biochar content in a natural soil by spectral induced polarization: a laboratory experiment. https://doi.org/10.5281/zenodo.10475775. **Delarue F.**, Ghavidel A., **Quénéa K.**, Bellot Gurlet L., Rocha E., Coubray S., Baudin F., Sebag D., Lemoine M., Aubry E., Savignac F., Dufraisse A. (2023). Short-Term Modifications in the Chemical Structure of Wood Charcoals: Implications for Anthracological Investigations. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4614887. **Sebag D.**, Verrecchia E.P., Cécillon L., Adatte T., Albrecht R., Aubert M., Bureau F., Cailleau G., Copard Y., Decaens T., Disnar J.-R., Hetényi M., Nyilas T., Trombino L. (2016). Dynamics of soil organic matter based on new Rock-Eval indices. Geoderma 284, 185–203. Sun Z., **Quénéa K., Delarue F.**, Anquetil C., Ravelojaona H., **Sebag D.**, Eon L., Kowalewski I. (2023). Combining Rock-Eval® thermal analysis and thermochemolysis to evaluate the influence of forest management on soil organic matter quality and stability. Organic Geochemistry 179, 104585 .United Nations, Department of Economic and Social Affairs Population Division. 2018 revision of World Urbanization Prospects. https://population.un.org/wup. Yuan F., Bauer M.E., 2007. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment 106, 375–386