

Proposition de sujet de thèse 2024

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : hammad@cerege.fr
*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

Sujet de doctorat proposé *: Reconstruction de sols lors du processus de désimperméabilisation

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail *: KELLER Catherine ; keller@cerege.fr

Laboratoire *: CEREGE

Tableau récapitulatif du sujet

Candidat(e) ⁽¹⁾	
Nom - Prénom :	
Date de naissance :	
Licence (origine, années, mention) :	
Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y)	
Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y)	
MASTER (nom, université)	
Sujet de doctorat proposé*	Reconstruction de sols lors du processus de désimperméabilisation
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	Catherine KELLER
Laboratoire*	CEREGE
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	CARDIMED et FRICHECO obtenus

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : Reconstruction de sols lors du processus de désimperméabilisation

Descriptif *:

Le changement climatique menace la qualité de vie dans les villes via une augmentation des températures, des risques d'inondation. Dans le même temps, afin de limiter l'étalement urbain et le mitage, pour protéger la ressource en sol, les « dents creuses » des villes sont construites et il est envisagé une densification des zones habitées (cf par exemple pour la ville de Marseille. Dans le même temps, la loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 « la loi Climat et Résilience » présente un objectif de « zéro artificialisation nette » (ZAN) d'ici 2050. Les documents de niveau régional fixent les objectifs en matière de lutte contre l'artificialisation des sols.

D'autre part, en juillet 2023, la commission européenne a fait une proposition de directive sur le monitoring et la résilience des sols (Soil Monitoring and Resilience) ou « Soil Monitoring Law », qui fait des propositions pour le suivi et la caractérisation des sols dans les états membres. Au niveau français une « étude » a été commandée par le ministère de la transition écologique et pilotée par l'INRAE avec pour objet « Vers un référentiel d'indicateurs de qualités des sols pour l'évaluation et la mise en oeuvre opérationnelle des politiques publiques » (Etude IndiQuaSol). Il est ainsi indiqué en préambule que « Les sols constituent une ressource essentielle pour de nombreuses activités humaines qui peuvent, en retour, les dégrader ou les aggraver. Situés à l'interface entre le sous-sol et l'atmosphère, les sols sont des écosystèmes vulnérables exposés à des menaces variées (érosion, pollutions, salinisation, compactage, artificialisation, etc.) ; 33 % des sols terrestres sont déjà dégradés et plus de 90 % pourraient l'être d'ici 2050 en l'absence d'actions de protection. La prise

de conscience de leur contribution aux services rendus par les écosystèmes et des dangers associés à leur dégradation a amené différents acteurs de la société, des professionnels du monde agricole et de l'environnement, et des instances politiques à mettre en avant la question de la protection et la restauration des sols». Les fonctions des sols permettant de produire ces services comprennent (Projet MUSE, Branchu et al., 2021) : la production de biomasse, la régulation du cycle de l'eau (capacité d'infiltration et le réservoir utile, le stockage potentiel de carbone et le réservoir de biodiversité.

Ces injonctions contradictoires, pourtant légitimes, doivent être réconciliées pour une amélioration des conditions de vie en ville et la préservation quantitative et qualitative de la ressource en sol.

Mais la loi Climat et Résilience prévoit également la possibilité de déroger au PLU pour favoriser la végétalisation des façades et des toitures, le réemploi d'une friche ou les projets faisant preuve d'exemplarité environnementale. Le contexte institutionnel de la ZAN est donc particulièrement pertinent pour des projets de désimperméabilisation avec reconstruction de sols fonctionnels permettant de répondre aux services qu'on leur demande de fournir.

Dans le cadre du projet DESIMPER porté par Alain Sandoz (LCE, AMU) puis du projet CARDIMED dont les sites démonstrateurs de Marseille sont également pilotés par A. Sandoz, il a été entrepris l'étude de la désimperméabilisation partielle des campus de St-Jérôme et St-Charles. La désimperméabilisation d'une partie du site de St-Jérôme est en cours de réalisation. Dans ce contexte des études préliminaires de faisabilité de suivi ainsi que des caractérisations de l'état initial ont été effectuées dans le cadre de modules d'enseignement et de projets étudiants de M1 (dont l'école de terrain POLEMIL financée par ITEM) et M2.

La désimperméabilisation a eu lieu fin 2023 et début 2024. Il s'agit à présent de proposer un suivi du dispositif in situ mais également en conditions contrôlées afin de s'affranchir des aléas climatiques et de modifications ponctuelles. Suite à la première phase de mesure, il a été choisi de garder ouvertes 2 fosses pédologiques, une en zone initialement végétalisée et maintenue telle quelle et une en zone désimperméabilisée et revégétalisée, initialement sous bitume. Il est prévu d'instrumenter les 2 fosses afin de suivre les paramètres de teneur en eau (sondes capacitatives) et température et prélever les solutions de sol via des lysimètres sans tension (en permanence) et avec tension pour des prélèvements ponctuels. Les paramètres physico-chimiques seront suivis (pH, carbone organique dissous, éléments majeurs et mineurs...). Le suivi sur 3 ans devrait permettre de caractériser la refonctionnalisation du sol (sol anciennement sous bitume versus sol sous végétation). Ce suivi sera complété par des analyses ponctuelles sur des prélèvements à la tarière pour les paramètres physico-chimiques sur l'ensemble des parties désimperméabilisées et comparées au sol sous végétation initiale ainsi qu'à un sol naturel situé sur le site. Des analyses microbiologiques et de faune du sol sont aussi envisagées sur les horizons supérieurs ainsi que des mesures de résistance à la pénétration (pénétrromètre dynamique) et d'infiltration de l'eau.

Le travail de terrain est inféodé aux travaux qui ont été effectués et sont envisagés (végétation évoluant, nouvelles plantations etc....). Afin de mieux cadrer les résultats et proposer, le cas échéant, des alternatives des sols prélevés sur le site et éventuellement modifiés seront suivis en conditions contrôlées dans des lysimètres instrumentés afin de permettre des bilans de masse. Ils seront installés dans la halle CIRENE nouvellement construite sur le site de l'Arbois. Il sera ainsi possible de moduler en particulier les apports de pluie et de choisir la végétation. Les résultats seront comparés à ceux des expériences in situ afin d'établir une trajectoire d'évolution.

Dans les 2 cas, les paramètres proposés par IndiQuaSol seront testés et il sera vérifié si ces indicateurs restent pertinents pour la caractérisation de la qualité des sols reconstitués. Des indicateurs alternatifs seront le cas échéant proposés. Pour rappel, d'après Bünemann et al. (2018), l'évaluation de la qualité des sols repose sur un ensemble « d'attributs sensibles du sol qui reflètent la capacité d'un sol à fonctionner », ce sont les indicateurs. Vogel et al. (2020) ajoutent que les indicateurs utiles sont les attributs du sol qui fournissent des informations substantielles sur les fonctions du sol, les « attributs du sol » étant des propriétés mesurables du sol et donc des paramètres. Van-Camp et al. (2004) distinguent les paramètres généraux requis pour la classification typologique du sol (principalement les paramètres morphologiques et physiques du sol), tandis que les paramètres spécifiques du sol traitent de menaces, de points chauds et de fonctions spécifiques (paramètres obligatoires et facultatifs). Comparé à un paramètre, un indicateur s'inscrit donc dans un cadre interprétatif bien développé et a une signification au-delà de la mesure qu'il représente.

Il s'agit donc au final de contribuer à une meilleure compréhension de la qualité des sols reconstitués dans le cadre de projets de désimperméabilisation, de fournir des critères d'évaluation et de valider ou, le cas échéant, proposer des évolutions des protocoles de désimperméabilisation et revégétalisation, en particulier en lien avec les résultats qui seront obtenus dans le projet FRICHECO sur le petit cycle des terres et les possibilités de réutilisation en local de matériaux terreux et/ou organiques.

Bibliographie citée

- Branchu P., Marseille, F., Béchet B., Bessière J.-P., Boithias L., Duvigneau C., Genesco P., Keller C., Lambert M.-L., Laroche B., Le Guern C., Lemot A., Métois R., Néel C., Sheriff R. 2021. MUSE. Intégrer la multifonctionnalité dans les documents d'urbanisme. 155 pages
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., van Groenigen J.W., Brussaard L. 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120: 105-125. doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030

Vogel, H. J., et al. 2020. Quantitative evaluation of soil functions: potential and state', *Frontiers in Environmental Science*, 22 (<https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00164>).

Van-Camp, L., et al. 2004. Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. Volume V: Monitoring, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Détail du Programme finançant la recherche* :

Deux projets en cours seront mobilisés pour le financement de la recherche.

FRICHECO : projet financé par l'ADEME (programme GESIPOL), 2023-2027 – financement des analyses et de prospections de terrain ; fourniture de matériaux.

Le projet FRICHECO propose la co-construction d'un projet de territoire autour de l'idée simple de mise en place d'un « petit cycle des terres ». Il est piloté par Néo-Eco, un BE et les participants sont l'IMBE, le CEREGE et le BRGM. À l'image du « petit cycle des eaux », ce « petit cycle des terres » est un cycle anthropique des matériaux terreux (terres excavées, sédiments dragués ...) qui, une fois extraits du milieu pour des raisons impératives de création ou d'entretiens des infrastructures, sont réemployés localement pour remédier les zones dégradées du territoire ou pour réaliser les aménagements paysagers urbains. Le projet FRICHECO vise à faire la démonstration que la mise en place de ce « petit cycle des terres » peut constituer un objectif partagé par l'ensemble des acteurs décisionnaires et devenir ainsi la trame directrice indispensable à un projet d'aménagement et de renaturation réussis à l'échelle du territoire.

CARDIMED : Projet financé par Horizon 2020, début en 2023 – mise à disposition des sites de St-Jérôme et St-Charles pour les expérimentations de terrain ; achat de matériel pour l'équipement des terrains et des lysimètres de laboratoire – aide de la part d'un ingénieur d'étude qui sera engagé sur le projet.

CARDIMED (« Demonstrating and Replicating Innovative Nature-Based and Other Engineered Solutions Within the Mediterranean to Support Climate Resilience of Regions ») a pour ambition de développer, entre autre, des solutions basées sur la nature et spécifiquement pensées pour la région méditerranéenne, dans le cadre du programme HORIZON-MISS-2022-CLIMA-01-06 Testing and demonstrating transformative solutions on climate resilience, mainstreaming nature-based solutions in the systemic transformation. Les sites des campus de St-Jérôme et de St-Charles font partie des sites de démonstration pour la France.

Directeur(s) de thèse proposé(s)*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

Directeur HDR proposé*

Nom - Prénom : KELLER Catherine

Corps : PR

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) : CEREGE, équipe Environnement durable

Adresse mail : keller@cerege.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) : **celles-ci sont en lien avec le sujet**

Gadal, S., M. Oukhattar, C. Keller, I. Hanadé Houmma (2023). Spatio-temporal modelling of relationship between Organic Carbon Content and Land Use using Deep Learning approach and several co-variables: application to the soils of the Beni Mellal in Morocco. In Proceedings of the 9th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management - GISTAM; ISBN 978-989-758-649-1; ISSN 2184-500X, SciTePress, pages 15-26. DOI: 10.5220/0011723000003473

Criquet, S., M. Clouard, D. Borschneck, F. Ziarelli, C. Keller (2023). Structuring of physico-chemical and microbiological properties along the slope of a waste tailing in the Provence coal mine basin (south-east of France). *Geoderma Regional*, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00711>.

Meunier, J.-D., S. Cornu, C. Keller, D. Barboni (2022). The role of silicon in the supply of terrestrial ecosystem services. *Environmental Chemistry Letters*, <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01376-8>.

Rabot, E., 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, Available online 11 January 2022, doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100034

Cornu*, S., C. Keller*, B. Béchet, C. Delolme, C. Schwartz, L. Vidal-Beaudet (2021). Pedological characteristics of artificialized soils: a snapshot. *Geoderma*, doi:10.1016/j.geoderma.2021.115321

Díaz-Sanz, J., S. Robert, C. Keller (2020). Parameters influencing run-off on vegetated urban soils: A case study in Marseilles, France. *Geoderma*, [doi:10.1016/j.geoderma.2020.114455](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114455)

Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années*

Nom : Díaz-Sanz, J.,

Intitulé : Soil quality assessment and urban changes in a Mediterranean city (Marseilles, France)

Type d'allocation : DOC2AMU

Date de début de l'allocation de doctorat : 2017

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 2021

Programme finançant la recherche : Marie Curie

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : directeur d'un BE à Madrid

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : Oukhattar Mounir

Intitulé : Relation entre Teneur en carbone Organique et Occupation du Sol : application aux sols de la Métropole Aix-Marseille Provence en France

Type d'allocation : Contrat de travail CNRS pour un salaire financé par la Métropole Aix-Marseille Provence

Date de début de l'allocation de doctorat : 2022

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : -

Programme finançant la recherche : ITEM, ECCOREV (projet TOODS)

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : thèse en cours

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50%

Nom : Abrar Fatiha

Intitulé : Tracing Cadmium from phosphorus fertilization in soil-plant systems : estimating the stock and flux and the plant speciation

Type d'allocation : Bourse de thèse

Date de début de l'allocation de doctorat : 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : -

Programme finançant la recherche : projet DUNE (co-PI CEREGE : B. Collin/J. Rose)

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : thèse en cours

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 10%

Thèse en co-tutelle avec UM6P (Maroc) avec Khalil EL Mejahed en tant que directeur de thèse UM6P et co-direction AMU : B. Collin et ML Pons.

Autre directeur proposé (éventuellement)*