

Proposition de sujet de thèse 2026

(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 *: Impact du changement de régime de précipitation sur le stockage du carbone et des nutriments associés dans les sols cultivés : dynamiques de renouvellement des associations organo-minérales dans la rhizosphère du blé

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail *: Floriane Jamoteau, jamoteau@cerege.fr; Isabelle Basile-Doelsch, basile@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*	Impact du changement de régime de précipitation sur le stockage du carbone et des nutriments associés dans les sols cultivés : dynamiques de renouvellement des associations organo-minérales dans la rhizosphère du blé.
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	Floriane Jamoteau, Isabelle Basile-Doelsch (HDR)
Laboratoire*	CEREGE
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	Année 1 -Bourse d'installation INRAE ; Floriane Jamoteau (obtenu) -ERC advanced ; I. Basile-Doelsch (obtenu) Année 2&3 : Demandes envisagées en 2026 : -Paris scientifique INRAE - ANR JCJC

Sujet de doctorat proposé*

Intitulé* : Impact du changement de régime de précipitation sur le stockage du carbone et des nutriments associés dans les sols cultivés : dynamiques de renouvellement des associations organo-minérales dans la rhizosphère du blé

Descriptif *:

Les sols constituent le principal réservoir de carbone organique des écosystèmes terrestres, stockant davantage de carbone que l'atmosphère et la végétation réunies (Basile-Doelsch *et al.*, 2020). Dans les sols, jusqu'à 90 % de ce carbone est associée aux minéraux, sous forme d'associations organo-minérales, et à l'échelle de la biosphère terrestre, on estime que **60 à 65 % du carbone organique et 75 % de l'azote sont**

présents sous forme d'associations organo-minérales (Lugato *et al.*, 2021 ; Jilling *et al.*, 2025). Longtemps perçues comme des composantes stables de la matière organique du sol, ces associations apparaissent aujourd'hui comme dynamiques dans la rhizosphère (zone du sol influencée par les racines) où elles se forment et se détruisent en continu (Bernard *et al.*, 2022 ; Shatai *et al.*, 2024 ; Bolsher *et al.*, 2025). Cette dynamique leur confère un rôle fonctionnel majeur : pour exemple, elles peuvent fournir jusqu'à un tiers de l'azote assimilé par les plantes de prairies (Jilling *et al.*, 2025). Elles jouent ainsi un double rôle de : **stabilisation du carbone et de source transitoire mais essentielle de nutriments** et cette dualité les place au cœur des enjeux de fertilité des sols et de l'atténuation du changement climatique. Pourtant, les mécanismes qui gouvernent leur formation, leur stabilité et leur biodisponibilité restent encore mal compris, notamment dans un contexte de changements climatiques susceptibles de modifier profondément les conditions environnementales du sol (rédox, concentrations élémentaires de la solution du sol, connectivité des pores, composition microbienne, intensité et types de rhizodépôts, etc ; Leyrer *et al.*, 2025).

Les associations organo-minérales ont fait l'objet de nombreuses études, révélant une grande diversité de phases minérales (oxydes de fer et d'aluminium, phyllosilicates, phases amorphes dont les nanoCLICs, etc ; Figure 1) et de mécanismes de stabilisation des matières organiques, allant de l'adsorption à la complexation, en passant par la coprécipitation (Basile-Doelsch *et al.*, 2020, Jamoteau *et al.*, 2023, 2025). Ces travaux ont permis d'identifier les propriétés physico-chimiques qui favorisent la rétention des matières organiques. Cependant, une limite majeure persiste : la plupart de ces connaissances proviennent de systèmes modèles simplifiés, souvent réduits à une seule phase minérale ou à des conditions contrôlées qui ne reflètent pas la complexité des sols naturels. Or, **les sols naturels comportent une mosaïque de formes d'associations organo-minérales** qui coexistent (Jamoteau *et al.*, 2025 ; Figure 1), chacune caractérisée par (i) une stabilité variable face aux fluctuations hydriques et rédox, (ii) une sensibilité différente aux exsudats racinaires et aux activités microbiennes, (iii) des trajectoires de transformation minérale distinctes, et (iv) des capacités contrastées à libérer ou immobiliser les nutriments et le carbone.

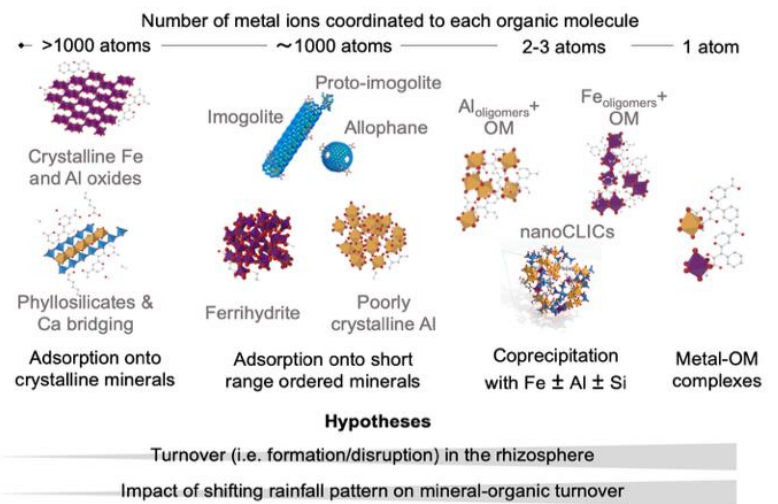


Figure 2. Overview of mineral-organic association types identified in soils based on literature synthesis.

Cette hétérogénéité structurelle et fonctionnelle reste largement inexplorée dans les sols. On ignore encore si certaines associations jouent un rôle transitoire mais crucial dans le cycle des nutriments, en se formant et se déstabilisant rapidement, tandis que d'autres moins sensible à une déstabilisation en conditions rhizosphériques, assurent la stabilisation plus long terme du carbone. **Cette thèse pose donc la question suivante : certaines associations organo-minérales jouent-elles un rôle transitoire mais essentiel dans le cycle des nutriments, tandis que d'autres persistent et contribuent à la stabilisation du carbone à long terme ?** Cette question sera étudiée dans un **contexte de contrainte climatique, et plus particulièrement de stress hydrique**, où les modifications des régimes de précipitation modifient les conditions du sol (conditions d'oxydo-réductions, concentrations élémentaires de la solution du sol, connectivité des pores, etc), la composition microbienne, ou encore l'intensité et les types de rhizodépôts (Leyrer *et al.*, 2025), des facteurs susceptibles d'influencer la stabilité et le renouvellement des associations organo-minérales.

Le sujet de thèse se déroulera en 4 tâches : Dans un premier temps, une expérience contrôlée en phytotron sera d'abord menée en pots, où des associations organo-minérales, marquées en ^{13}C et ^{15}N permettront de tracer leur devenir dans la rhizosphère, sous différents régimes de précipitations. Après la synthèse des associations organo-minérales marquées de ^{13}C et ^{15}N (**tâche 1**), le ou la doctorant.e assurera la mise en place expérimentale : prélèvement du sol (Luvisol), synthèse des associations marquées, préparation des pots et germination des plantules. Durant l'expérience, il assurera le suivi de l'expérience, incluant l'entretien des cultures, la mesure des flux gazeux (^{13}C - CO_2) pour quantifier la déstabilisation des associations, ainsi que l'échantillonnage de la solution du sol afin de suivre la libération des exsudats racinaires et des

métabolites microbiens par LC-MS (**tâche 2**). La récolte et les analyses de sols permettront d'identifier les associations les plus sensibles à la destruction, via la quantification du ^{13}C et du ^{15}N dans le sol rhizosphérique, le sol hors-rhizosphère, les tissus végétaux et la biomasse microbienne par EA-IRMS (**tâche 3**). Enfin, une transposition à l'échelle du terrain est envisagée dans différents contextes pédoclimatiques européens (Luvisols et Cambisols en climats tempérés chaud et froid) durant la saison de croissance du blé. Le suivi de la déstabilisation des matières organiques issu des différentes associations organo-minérales après la pousse du blé, sera effectué en plaçant, dans les parcelles, des sachets contenant les associations organo-minérales marquées en ^{13}C et ^{15}N synthétisées en tâche 1 (**tâche 4**).

Détail du Programme finançant la recherche* :

Ce sujet repose sur 2 axes de financement obtenus et ce projet fera l'objet de recherches de financements complémentaires. Les axes de financement obtenus sont :

- La bourse d'installation INRAE de Floriane Jamoteau ; (10 000 euros, à noter que à la suite d'un arrangement pour le paiement des options de la chambre de culture Cirene, 3000 euros sont affichés sur la ligne 1B1 Jamoteau, mais les 7000 euros restant sont sur le compte ERC advanced de Isabelle Basile-Doelsch).
- L'ERC advanced de Isabelle Basile-Doelsch. Ce projet peut être considéré comme un projet périphérique à l'ERC nanoCLICs porté par Isabelle Basile-Doelsch, dans lequel la structure et la quantification des associations organo-minérales de type nanoCLICs est recherchée.

Pour les années 2 & 3, en plus ces deux sources de financement, Floriane Jamoteau s'engage à déposer un projet de Paris Scientifique INRAE et un projet d'ANR JCJC en 2026.

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 : Basile-Doelsch Isabelle

Corps : DR

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

Equipe environnement durable

Adresse mail : basile@cerege.fr

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

1. Floriane Jamoteau, Sarah Wagon, Laurent Thuriès, Samuel Legros, Vladimir Vidal, Adrien Duvivier, Isabelle Basile-Doelsch, Amorphous mineral-organic associations in soils: effective carbon stabilizers undermined by oxalic acid root exudates, *Geoderma* 462 (2025) 117529 10.1016/j.geoderma.2025.117529
2. Sarah Wagon, Isabelle Basile-Doelsch, Mohamed Barakat, Joris Tulumello, Sylvain Fochesato, Adrien Duvivier, Wafa Achouak, Emmanuel Doelsch, Thierry Heulin, Land Use and Plant Genotype Modulate Rhizosphere Traits, Root-Associated Microbiota, and Soil Carbon Sequestration Potential, *Plant & Soil*, 2025, 10.1007/s11104-025-07975-6
3. Floriane Jamoteau, Emmanuel Doelsch, Nithavong Cam, Clément Levard, Thierry Woignier, Adrien Boulineau, François Saint-Antonin, Sufal Swaraj, Ghislain Gassier, Adrien Duvivier, Daniel Borschneck, Marie-Laure Pons, Perrine Chaurand, Vladimir Vidal, Nicolas Brouilly, and Isabelle Basile-Doelsch, Interplay of coprecipitation and adsorption processes: deciphering amorphous mineral-organic associations under both forest and cropland conditions, *SOIL*, 11, 535–552, 2025, doi.org/10.5194/soil-11-535-2025
4. Tom Girard, Isabelle Basile-Doelsch, Sylvain Fochesato, Adrien Duvivier, Emmanuel Doelsch, Thierry Heulin, Wafa Achouak, Pseudomonas brassicacearum-Induced Biotite Weathering: Role of Iron Homeostasis and Two Siderophores, *Environ. Sci. Technol.* 2025, 59, 16, 7973–7982
5. Delphine Derrien, Pierre Barré, Isabelle Basile-Doelsch, Lauric Cécillon, Abad Chabbi, Alexandra Crème, Sébastien Fontaine, Ludovic Henneron, Noémie Janot, Gwenaëlle Lashermes, Katell Quénéa, Frédéric Rees, Marie-France Dignac, 2023, Current controversies on mechanisms controlling carbon storage in soils; implications for interactions with practitioners and policy-makers. *A review. Agron. Sustain. Dev.*, 43:21, 10.1007/s13593-023-00876-x

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

Nom : Tom Girard

Intitulé : Stimuler le continuum plantes-microorganismes – minéraux pour stocker du carbone dans les sols :

focus sur l'alération biotique des minéraux

Type d'allocation : AMIDEX ITEM

Date de début de l'allocation de doctorat : 1/10/2021

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 19 décembre 2024

Programme finançant la recherche : Projet ITEM RhizoCarbone+

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Post doctorat EPFL

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 25 %

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

Nom : Sarah Wagon

Intitulé : Stimuler le continuum plantes-microorganismes – minéraux pour stocker du carbone dans les sols : focus sur la stabilisation des rhizodépôts

Type d'allocation : AMIDEX ITEM

Date de début de l'allocation de doctorat : 1/01/2022

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 16 décembre 2025

Programme finançant la recherche : Projet ITEM RhizoCarbone+

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Post doctorat Université Neuchatel

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 25 %

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

Nom : Floriane Jamoteau

Intitulé : Stockage du C dans les sols : dynamique des matières organiques en interaction avec les nanophasés minérale du sol

Type d'allocation : Demi bourse Région SUD - CIRAD

Date de début de l'allocation de doctorat : Octobre 2019 – Janvier 2023

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 24/01/2023

Programme finançant la recherche : ANR NanoSoilC

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : En poste de chargée de recherche INRAE au CEREGE

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 90 %

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

Nom : Solenn Quero

Intitulé : Evolution de la dynamique du carbone d'un arénosol méditerranéen lors d'un changement d'usage forêt/vigne, de l'échelle du mètre à celle de la centaine de nanomètres.

Type d'allocation : ANR

Date de début de l'allocation de doctorat : 1^{er} octobre 2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 12 décembre 2022

Programme finançant la recherche : ANR nanoSoilC

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Consultante Carbone Agricole chez Veritas

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 70 %

Autre directeur proposé (éventuellement)*

Nom - Prénom : Jamoteau Floriane

Corps : CR

Adresse mail : jamoteau@cerege.fr

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

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

1. Jamoteau, Floriane, Sarah Wagon, Laurent Thuriès, et al. « Amorphous mineral-organic associations in soils: Effective carbon stabilizers undermined by oxalic acid root exudates ». *Geoderma* 462 (octobre 2025): 117529. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117529>.
2. Jamoteau, Floriane, Mustafa Kansiz, Miriam Unger, et Marco Keilueit. « Probing Mineral-Organic Interfaces in Soils and Sediments Using Optical Photothermal Infrared Microscopy ». *Environmental Science & Technology* 59, no 1 (2025): 501-12. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c09258>.
3. Bölscher, Tobias, Zoe G. Cardon, Mariela Garcia Arredondo, Stephanie Grand, Gabriella Griffen, Rachel Hestrin, Josephine Imboden, Floriane Jamoteau et al. « Vulnerability of Mineral-Organic Associations in the Rhizosphere ». *Nature Communications* 16, no 1 (2025): 5527. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-61273-4>.
4. Jamoteau, Floriane, Emmanuel Doelsch, Nithavong Cam, et al. « Interplay of Coprecipitation and Adsorption Processes: Deciphering Amorphous Mineral–Organic Associations under Both Forest and Cropland Conditions ». *SOIL* 11, no 2 (2025): 535-52. <https://doi.org/10.5194/soil-11-535-2025>.

5. Jamoteau, Floriane, Nithavong Cam, Clément Levard, et al. « Structure and Chemical Composition of Soil C-Rich Al–Si–Fe Coprecipitates at Nanometer Scale ». *Environmental Science & Technology*, 29 novembre 2023. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c06557>.

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

Nom : Junna Frei (Université de Lausanne)

Intitulé : Destabilization mechanisms of mineral-associated organic matter by plant activity and associated microorganisms

Type d'allocation : Université de Lausanne (UNIL)

Date de début de l'allocation de doctorat : 01/04/2024

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : 2028

Programme finançant la recherche : Fonds propres de Marco Keiluweit (UNIL) + Projet SNSF

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

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 20 %