
Amélioration de la dépollution des sols excavés contaminés par des substances poly- et perfluoroalkylés (PFAS), en couplant l'extraction par mousse et la destruction sur site (emploi post-doctoral de 24 mois)

Offre d'emploi de l'institut de physique du globe de Paris | CNRS UMR 7154

Chercheur en	Chercheur post-doctoral en formulation de mousse et dégradation sonochimique pour l'élimination et la destruction des substances poly- et perfluoroalkylés (PFAS)
Durée	24 mois
Affectation	Institut de physique du globe de Paris, 1, rue Jussieu, 75005 Paris, France (Laboratoire employeur) Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), 3, avenue Claude Guillemin, 45100 Orléans, France (Laboratoire d'accueil)
Rémunération	2363,84 € - 2894,77 € (salaire brut selon expérience)
Date de la publication	2 octobre 2023
Date d'embauche prévue	Dès que possible
Lieu	Orléans

L'institut de physique du globe de Paris - Laboratoire employeur

Institut de recherche en géosciences de renommée mondiale fondé en 1921, associé au CNRS, établissement-composante d'Université Paris Cité et regroupant plus de 500 personnes, l'IPGP couvre toutes les disciplines des sciences de la terre et des planètes via l'observation, l'expérimentation et la modélisation, à toutes les échelles de temps et d'espace.

Les thématiques de recherche sont structurées à travers 4 grands thèmes fédérateurs : Intérieurs de la Terre et des planètes, Risques naturels, Système Terre, Origines.

L'IPGP a aussi la charge de services labellisés en volcanologie, sismologie, magnétisme, gravimétrie et érosion. Notamment, les observatoires permanents de l'IPGP surveillent les 4 volcans actifs français d'outre-mer en Guadeloupe, en Martinique, à la Réunion et à Mayotte (REVOSIMA).

L'IPGP héberge des moyens de calcul puissants et des installations expérimentales et analytiques de dernière génération et bénéficie d'un soutien technique de premier plan.

Le département de la formation et des études doctorales de l'IPGP offre à ses étudiants des formations en géosciences qui associent observation, analyse quantitative et modélisation et qui reflète la qualité, la richesse et la diversité thématique des recherches menées par les équipes de l'IPGP.



L'équipe et/ou le service

L'équipe Biogéochimie à l'Anthropocène des éléments et contaminants émergents (ACE) de l'IPGP se concentre sur l'étude des cycles biogéochimiques des éléments traces (des alcalins aux actinides) dans la zone critique et plus particulièrement sur leur évolution au cours de l'Anthropocène. La dynamique de transfert des éléments dans la zone critique joue un rôle important dans l'évolution des surfaces terrestres.

Les questions de recherche abordées par l'équipe sont les suivantes :

- Quelle est la spéciation chimique de ces éléments (ions, complexes, colloïdes) ?
- Quels sont les processus de transport et de transfert des éléments métalliques (EM) dans les compartiments naturels (sols, sédiments, eau, air) ?
- Quelle est la modification de la mobilité et de la disponibilité des éléments métalliques sous l'action du forçage anthropique ?
- Quel est le comportement et le devenir des contaminants émergents tels que les nanoparticules manufacturées ou accidentelles dans l'environnement ?
- Quels sont les processus permettant la valorisation des Éléments Critiques Technologiques (ECT) dans le contexte de l'économie circulaire et du métabolisme urbain, et dont les cycles biogéochimiques dans la zone critique seront modifiés par leur utilisation massive pour de nouvelles applications technologiques ?

Cette équipe s'intéresse également à l'élimination des micropolluants organiques des sites et sols contaminés.

Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) - Laboratoire d'accueil

Le BRGM est l'établissement public de référence pour l'application des géosciences à la gestion des ressources et des risques du sol et du sous-sol. Il poursuit deux objectifs :

- Comprendre les phénomènes géologiques et les risques associés, développer de nouvelles méthodes et techniques, produire et diffuser des données de qualité,
- Développer et mettre à disposition les outils nécessaires à la gestion du sol, du sous-sol et des ressources, à la prévention des risques naturels et des pollutions, et à la réponse au changement climatique.

Le BRGM assure des missions d'appui aux politiques publiques (expertise, surveillance et études) pour le compte de l'État, des collectivités territoriales, des agences et des établissements publics.

Le BRGM assure également des missions d'expertise, de recherche et développement, d'assistance technique et scientifique et de formation auprès des acteurs du secteur privé pour les aider dans la réalisation de projets complexes ou difficiles.

Au sein du BRGM, le candidat retenu travaillera dans l'unité Sites, sols et sédiments pollués. L'unité est responsable du développement d'approches méthodologiques multi-échelles, prenant en compte tous les critères du développement durable, pour l'assainissement et la réhabilitation des sites (industriels, miniers, décharges) et des territoires dégradés (friches industrielles, méga-sites). Cette activité comprend le développement de techniques de sécurité et d'assainissement. Ces développements sont réalisés in situ et/ou dans des halls et des laboratoires, avec la mobilisation d'équipements métriques à multimétriques, ainsi que des caractérisations analytiques ou d'efficacité des procédés.

Missions

> Présentation des missions dans le contexte

De nombreux sites dans le monde sont affectés par des substances poly- et perfluoroalkylés (PFAS) en raison de l'utilisation historique de mousses aqueuses filmogènes (AFFF). Le taux et l'étendue du transport des PFAS à partir des zones sources sont à la fois spécifiques aux PFAS et au sol. Brusseau et al. (2020) ont indiqué que les PFAS sont présents dans les sols du



monde entier et que le sol est un réservoir important de PFAS, ce qui soulève des inquiétudes quant au potentiel de migration à long terme vers les eaux de surface, les eaux souterraines et l'atmosphère.

L'objectif de l'étude de recherche est double : (i) développer une formulation de mousse pour la désorption et le transport (extraction) des contaminants PFAS à partir de sols contaminés "sur site" (c'est-à-dire que le sol est excavé) et (ii) traiter l'effluent du processus d'extraction par des méthodes de dégradation sonochimique et d'adsorption améliorée (charbon actif dopé). La mise au point d'un procédé comprenant l'extraction et le traitement des eaux usées issues du processus d'extraction vise à remplacer la pratique actuelle consistant à envoyer les sols contaminés par des PFAS dans des décharges pour déchets dangereux ou à les incinérer.

Les mousses sont définies ici comme un mélange de bulles de gaz dispersées dans une solution de tensioactifs. Grâce à leur rhéologie particulière (amincissement par cisaillement), l'utilisation de mousses permet un déplacement plus stable du front de fluide dans le sol, limitant ainsi le contournement des zones de faible perméabilité et augmentant les rendements de récupération. Les mousses ont été utilisées avec succès dans des milieux poreux idéalisés pour déplacer des polluants liquides en phase non aqueuse (NAPL) ou in situ pour assainir des sols denses contaminés par des NAPL (Hirasaki et al., 1997 ; Jeong et Yavuz Corapcioglu, 2003 ; Rothmel et al., 1998). Les avantages des mousses par rapport aux solutions de polymères, un autre fluide potentiel de fluidification par cisaillement, sont doubles : (1) la mousse est moins coûteuse à produire en raison de la quantité réduite de produit à manipuler (eau), et (2) la viscosité de la mousse peut être ajustée en temps réel pendant le traitement pour répondre aux exigences (Omirbekov et al., 2020). Des travaux récents ont également montré qu'un mélange de tensioactifs anioniques et zwitterioniques peut améliorer la stabilité de la mousse (Creato et al., 2021 ; Roncoroni et al., 2021) et que l'éthanol peut également avoir un effet positif sur la qualité de certaines mousses (Zhang et al., 2020). Ces travaux sont des indications positives de la possibilité d'obtenir une mousse de qualité suffisante, bien qu'ils ne permettent pas de prédire la qualité qui sera obtenue dans la matrice solide et en présence de PFAS. Le développement et la validation d'une formulation de mousse appropriée sera la première tâche du candidat.

D'autre part, la dégradation sonochimique repose sur la cavitation induite par les ultrasons, définie comme la formation, la croissance et l'effondrement ultérieur des microbulles de cavitation se produisant dans un intervalle de temps extrêmement court (millisecondes), libérant de grandes quantités d'énergie. Les effets de l'effondrement de ces bulles de cavitation sont la création de points chauds, la libération de radicaux libres hautement réactifs, le nettoyage des surfaces solides et l'amélioration des taux de transfert de masse. L'effondrement des bulles génère des "points chauds" localisés avec des températures transitoires d'environ 5000 à 10000 K et des pressions d'environ 700 à 1000 atm. Dans ces conditions extrêmes, les molécules d'eau sont dissociées en radicaux OH et H. Ces radicaux se diffusent ensuite dans la masse de l'eau. Ces radicaux se diffusent ensuite dans le milieu liquide en vrac où ils réagissent avec les polluants organiques et les oxydent. En outre, en tant que tensioactifs, les PFAS ont tendance à s'accumuler aux interfaces gaz/liquide, ce qui permet leur dégradation par pyrolyse lors de l'effondrement des microbulles (Nzeribe et al., 2019). Il a été démontré en laboratoire que la dégradation par ultrasons minéralise le PFOS et le PFOA (acide perfluorooctanesulfonique et acide perfluorooctanoïque, respectivement) en F^- , CO_2 et SO_4^{2-} . Un certain nombre d'études se sont concentrées sur le choix des paramètres de fonctionnement du procédé, tels que la fréquence, la puissance, la concentration initiale, etc. (Sidnell et al., 2022). Quelques-unes ont testé le procédé en utilisant une matrice plus complexe, telle qu'une solution AFFF diluée (Singh Kalra et al., 2021). La deuxième tâche du candidat sera de développer une chaîne de traitement pour la dégradation des PFAS à partir de la solution d'extraction, basée sur la dégradation sonochimique et, si nécessaire, complétée par d'autres procédés chimiques.

> Poste à responsabilité

La première étape de ce projet consiste à développer une formulation de mousse ayant une capacité et une force de moussage élevées, d'abord à l'extérieur du milieu poreux à l'aide d'un appareil tel que l'analyseur de mousse dynamique, puis dans des conditions dynamiques à l'intérieur du milieu poreux (à l'aide d'une colonne 1D). Parallèlement à la finalisation de la formulation de la mousse, le candidat fera fonctionner le réacteur sonochimique pour démontrer que la solution de surfactant dans la mousse n'oblitére pas la dégradation des PFAS. Les deux tâches seront effectuées de manière itérative jusqu'à ce que la formulation correcte soit trouvée pour extraire les PFAS et permettre la dégradation sonochimique. À partir de là, le candidat améliorera le processus, soit en optimisant les paramètres de fonctionnement, soit en utilisant des additifs, comme dans le processus d'oxydation avancée. L'optimisation du processus (puissance, fréquence, processus discontinu, processus continu, conditions environnementales optimisées, etc.) ainsi que la compréhension des chaînes de dégradation des PFAS sont deux domaines de travail importants liés à la compréhension de la sonochimie. Le travail de laboratoire sera effectué dans les laboratoires du BRGM (Orléans, France).

> Projet de recherche



Cette recherche est développée dans le cadre du projet PERMUTE financé par l'Agence Française pour la Transition Écologique (ADEME). Ce poste de post-doctorant est d'une durée de deux ans, basé à Orléans (France - BRGM), avec des déplacements en France, dans le cadre d'échanges avec les partenaires du projet PERMUTE (principalement l'IPGP).

Activités

> Description des activités

- Réaliser une expérience de mousse en vrac afin de mettre au point une formulation de mousse adaptée à l'assainissement des sols contaminés par des PFAS (haute aptitude à la formation de mousse, haute résistance, c'est-à-dire demi-vie de la mousse élevée).
- Réaliser des essais d'injection de mousse et de désorption des PFAS dans un appareil de laboratoire de type colonne 1D.
- Effectuer la dégradation sonochimique des PFAS à partir des matrices complexes (solution moussante) et optimiser le choix des paramètres de fonctionnement (fréquence, puissance, etc.).
- Déterminer les sous-produits de dégradation des PFAS en fonction des conditions imposées lors de la dépollution.
- Traitement des données analytiques
- Rédiger des rapports techniques et des articles scientifiques

> Principale et secondaire

- Être capable d'échanger avec les différents partenaires du projet PERMUTE
- Participer à des réunions techniques impliquant des partenaires académiques et industriels

Compétences attendues

> Formation spécifique

- Connaissances dans le domaine des procédés d'oxydation avancés (incluant éventuellement la cavitation sonochimique)
- Expérience dans l'application de procédés pour l'élimination de micropolluants organiques dans des matrices complexes

> Outils informatiques

- Progiciel de bureautique et réalisation d'analyses statistiques

> Qualités professionnelles

- Être capable de résoudre des problèmes
- Avoir la capacité de travailler de manière indépendante (en autonomie) ainsi que d'interagir au sein d'un groupe de recherche
- Capacité avérée à travailler efficacement au sein d'une équipe pluridisciplinaire.
- Maîtrise de l'anglais à l'écrit et à l'oral.



Contraintes et risques

- > Horaires de travail : selon les règles du BRGM (de 8h30 à 17h00)
- > Présence au travail : conformément aux règles du BRGM (de 35 h 20 à 38 h 50 par semaine)
- > Déplacements professionnels
 - Visites du site pollué (peu probable)

Formation et expérience nécessaires

- > Minimum de 3 à 5 ans d'expérience dans la recherche, y compris la période d'étude du doctorat
- > Niveau d'études ou diplôme : doctorat en rapport avec le traitement physico-chimique des eaux usées

Modalité de candidature

- > CV et lettre de motivation
- > Date limite de dépôt des candidatures : jusqu'à ce que le poste soit pourvu
- > Contacts (3 contacts sont nécessaires pour l'entretien) Eric van Hullebusch (vanHullebusch@ipgp.fr), Stéfan Colombano (s.colombano@brgm.fr) et Maxime Cochenec (m.cochennec@brgm.fr)