

Thèse (H/F) - Amélioration des procédés de lixiviation in situ via une approche microfluidique.

La lixiviation *in situ* (encore appelée extraction par dissolution) des métaux se présente comme une des technologies les plus compétitives et avec un impact environnemental plus faible que les techniques de métallurgie extractives conventionnelles pour valoriser la récupération de métaux critiques ou encore revaloriser des matières de stériles miniers. Parmi les causes d'un faible taux de récupération de minerai en milieu poreux par lixiviation, on citera la passivation des surfaces minérales et l'hétérogénéité du champ de vitesse qui met en compétition des zones de transfert advectif avec des zones de transfert diffusif dans lesquels les flux de réactifs et produits de lixiviation sont très faibles.

L'objectif de cette thèse est d'apporter une meilleure compréhension des processus de lixiviation des métaux dans les milieux poreux hétérogènes via une étude expérimentale et la modélisation du transport réactif associé. L'approche proposée est centrée sur des expériences de microfluidique. La partie expérimentale reposera sur des expériences de lixiviation dans des micro-modèles couplées à des techniques de caractérisation fine des phases solides et aqueuses pour comprendre les processus de relargage des éléments chimiques. Les résultats obtenus serviront à extraire les paramètres cinétiques de la réactivité. Le programme de travail inclut : i) la fabrication de micro-modèles de complexité croissante, de milieu poreux modèle à milieu naturel, en utilisant les techniques de gravure combinée à de l'impression à jet d'encre minérale et gravure laser ; ii) les expériences de lixiviation visant à une meilleure caractérisation de la réactivité minérale et du transport des éléments chimiques dans les milieux poreux ; (iii) le traitement des données (analyse d'images) ; (iv) les résultats seront utilisés comme paramètres d'entrée pour la modélisation des processus couplés chimie-transport.

Le profil attendu est celui d'un(e) étudiant(e) ayant de solides bases en géochimie, chimie-physique, géosciences ou mécanique des fluides, ayant un goût pour les techniques de fabrication, le développement expérimental et le travail pluridisciplinaire. Une expérience en microfluidique et des compétences en imagerie et traitement d'images sont un plus. Le/la candidat(e) devra faire preuve d'une capacité de travail en équipe, de curiosité scientifique et d'esprit de synthèse.

Mots-clés : microfluidique, conception micro-modèles, milieu poreux hétérogène, lixiviation, transport réactif.

Contexte de travail : La thèse se déroulera au Laboratoire Géosciences Environnement Toulouse (GET) dans l'équipe réactivité aux interfaces et biogéochimie, en co-direction avec le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS) dans l'équipe MechaBioFluidics qui a une forte expertise en microfluidique et microfabrication (plateforme de technologie du réseau national ReNaTech), tous deux localisés sur le campus Belin-Roche de l'Université de Toulouse. Elle rentre dans le cadre du projet TIRIS Scalingup Microcoredeal qui vise au développement de micro-modèles avec un enjeu de conception et de fabrication milieu modèle vers milieu naturel. Elle s'inscrit dans le pilier Transitions durables du programme TIRIS (<https://anr.fr/ProjetIA-22-EXES-0015>), en lien avec les enjeux de transition énergétique, économies et meilleure valorisation des géo-ressources, et décarbonation des usages.

Durée du contrat : 36 mois, démarrage 1^{er} novembre 2026. La rémunération est de 2300€ brut mensuel. Rattachement à l'école doctorale SDU2E

Encadrants : Catherine Noiriel, MCF au GET (catherine.noiriel@utoulouse.fr) et Pierre Joseph, DR CNRS au LAAS (pierre.joseph@laas.fr).

Candidature via le portail CNRS : <https://emploi.cnrs.fr/Offres/Doctorant/UMR5563-CATNOI-002/Default.aspx?lang=FR>



Le dossier de candidature inclura un CV, une lettre contenant un aperçu des motivations du/de la candidat(e) pour le sujet de thèse, les noms et coordonnées de 2 références (encadrant de stage, responsable du master), les relevés de notes des diplômes obtenus et le rapport de stage de Master 2.

PhD position (M/F) - Improving in situ leaching processes using a microfluidic approach

In-situ leaching of metals is one of the most competitive technologies for recovering critical metals or reclaiming value from mine tailings, with a lower environmental impact than conventional extractive metallurgy techniques. Two main causes of low ore recovery rate in porous media via leaching are identified, i.e., passivation of mineral surfaces and heterogeneity of the flow field, which creates competition between zones of advective transfer and zones of diffusive transfer where the fluxes of leaching reagents and products are very low.

We invite application for a PhD at the CNRS-University of Toulouse to gain a better understanding on metal leaching in heterogeneous porous media through an experimental study and reactive transport modeling. The approach will focus on microfluidic experiments. The experimental part will involve leaching experiments coupled with detailed characterization techniques of the solid and aqueous phases to understand the processes by which chemical elements are released. The results obtained will be used to derive kinetic parameters of reactivity. The work program includes: i) the fabrication of micro-models of increasing complexity, ranging from model porous media to natural environments, using etching techniques combined with mineral inkjet and laser ablation; (ii) leaching experiments to better characterize mineral reactivity and element transport in porous media; (iii) and data processing (image analysis); (iv) the results will be used as input parameters for reactive transport modeling.

Keywords: microfluidics, micro-model design, heterogeneous porous media, leaching, reactive transport.

Qualification. Required: Degree in geosciences, physics, chemistry, engineering or fluid mechanics. Interest in fabrication techniques, experimental development, and multidisciplinary work. Preferred: background and/or experience in microfluidics and image processing. Strong interpersonal skills, teamwork, scientific curiosity, and ability to synthesize information.

Work environment. The doctoral research will take place at the Laboratory Geosciences Environment Toulouse (GET) within the Interfacial Reactivity and Biogeochemistry team, in collaboration with the Laboratory for Systems Analysis and Architecture (LAAS) within the MechaBioFluidics team, which has extensive expertise in microfluidics and microfabrication (a technology platform of the national ReNaTech network), both located on the Belin-Roche campus at University of Toulouse. The doctoral research is part of the TIRIS Scalingup Microcoredeal project, which aims to develop micro-models with a focus on designing and fabricating models that bridge the gap between laboratory settings and natural environments. It fits with Sustainable Transitions axe of the TIRIS program (<https://anr.fr/ProjetIA-22-EXES-0015>), addressing challenges related to energy transition, resource conservation and improved utilization of georesources, and decarbonization of end-uses.



Full-time contract for 3 years, starting November 1, 2026. Gross salary €2,300 per month. Affiliation with the SDU2E doctoral school.

Supervisors: Dr Catherine Noiriél, Associate Professor (University of Toulouse/GET) (catherine.noiriél@utoulouse.fr) and Dr Pierre Joseph, Research Director (CNRS/LAAS) (pierre.joseph@laas.fr)

Application is expected through the CNRS job portal, and should include a CV, motivation letter, complete course grade, contact information of two references, and a copy of the Master's thesis:

<https://emploi.cnrs.fr/Offres/Doctorant/UMR5563-CATNOI-002/Default.aspx?Lang=EN>

