English version

2027 First Year Master's Internship

Title: **How flow conditions affect rare earth element transport in saturated porous media**

Scientific background

Rare earth elements (REEs) are trace elements essential to many modern technologies. As demand grows, mining activity increases, along with the risk of contamination in natural environments. Colloids, particularly those made of iron and organic matter (Fe–OM), can play an important role in transporting trace elements through porous media [1–3]. Flow conditions affect the balance between advection and diffusion, which is expressed by the Péclet number (Pe). A recent study [4] showed that Fe–OM colloids undergo fractionation by size and composition as they move through saturated quartz sand. How the Péclet number affects this fractionation, as well as colloid retention and remobilisation, remains an open question.

Research objective

You will use laboratory experiments to investigate how contrasting flow conditions, characterised by the Péclet number, affect Fe–OM colloid transport, retention and remobilisation in saturated porous media. You will compare breakthrough curves and analyse the colloids that emerge from the columns, measuring iron and organic matter concentrations, Fe/OM ratios and, where analytical capabilities permit, particle size distributions. This will help clarify the potential role of these colloids in carrying rare earth elements through groundwater.

What makes the project distinctive

The project links flow conditions to how colloids change and fractionate during transport, extending beyond batch and equilibrium experiments. You will use rare earth element patterns from lanthanum to lutetium (La–Lu) as geochemical tracers to assess fractionation and better understand which reactions occur during column transport and how quickly they proceed. By connecting controlled experiments to groundwater quality, the project will help explain how colloids and trace elements move through the terrestrial water cycle. This project will also be part of a collaboration with the École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes (ENSCR), in order to strengthen expertise in colloidal transport in columns.

Experimental and analytical resources

You will have access to saturated quartz sand columns, a flow system with adjustable flow rates, a hydrodynamic tracer, prepared Fe–OM colloid suspensions, iron and organic matter analyses, and tools for processing data and interpreting breakthrough curves. Rare earth elements (La–Lu) in column effluents will be measured by ICP-MS to characterise fractionation during transport.

Host laboratory and research team

UMR 7619 METIS, Sorbonne Université. METIS studies environmental media, transport and interactions in hydrosystems and soils.

UMR 7619 METIS · Sorbonne Université, Paris

Level: First year of a Master's degree (M1)

Duration: 3 months (60 working days) · Paid internship

Timing: Between April and July 2027, with dates agreed with the student and their degree programme.

Apply by **4 December 2026**. Send your CV and cover letter to muhammad-muqeet.iqbal@sorbonne-universite.fr.

References

1. Guénet, H. et al. Characterization of iron–organic matter nano-aggregate networks through a combination of SAXS/SANS and XAS analyses: impact on As binding. Environ. Sci. Nano 4, 938–954 (2017).
2. Beauvois, A. et al. How does calcium drive the structural organization of iron–organic matter aggregates? A multiscale investigation. Environ. Sci. Nano 7, 2833–2849 (2020).
3. Tadayon, Y. et al. Rare earth elements interaction with iron-organic matter colloids as a control of the REE environmental dissemination. J. Colloid Interface Sci. 655, 70–79 (2024).
4. Iqbal, M. et al. Effects of Iron–Organic Matter Colloids on Transport of Rare Earth Elements in Saturated Porous Medium. Environ. Sci. Technol. acs.est.5c13901 (2026) doi:10.1021/acs.est.5c13901.

Version français

PROPOSITION DE STAGE M1 2027

Titre du sujet de stage : **Influence des conditions hydrodynamiques sur le transport des terres rares en milieu poreux saturé**

Description du sujet :

a) **Contexte scientifique :** Les terres rares (REE), essentielles à de nombreuses technologies modernes, font l'objet d'une demande croissante, entraînant une augmentation des activités d'extraction et des risques de contamination des milieux naturels. Les colloïdes, notamment ceux à base de fer et de matière organique (Fe–MO), peuvent jouer un rôle important dans le transport des éléments traces en milieu poreux.[1–3] Ce transfert dépend notamment des conditions hydrodynamiques, qui contrôlent l'équilibre entre advection et diffusion, caractérisé par le nombre de Péclet (Pe). Une étude récente[4] a montré que le transport de colloïdes Fe–MO dans un sable de quartz saturé s'accompagne d'un fractionnement de leur taille et de leur composition. Toutefois, l'influence du nombre de Péclet sur ces mécanismes de fractionnement, de rétention et de remobilisation reste à préciser.

b) **Objectif scientifique :** Étudier, à l'échelle du laboratoire, l'influence de conditions hydrodynamiques contrastées, caractérisées par le nombre de Péclet (Pe), sur le transport, la rétention et la remobilisation des colloïdes Fe–MO en milieu poreux saturé. Le stage visera à comparer les courbes de percée et les caractéristiques des colloïdes transportés (concentrations en fer et matière organique, rapports Fe/MO et, selon les possibilités analytiques, distribution granulométrique), afin de mieux comprendre leur rôle potentiel comme vecteurs des terres rares dans les eaux souterraines.

c) **Caractère innovant :** Le projet relie les processus hydrodynamiques à la transformation et au fractionnement des colloïdes pendant leur transfert, au-delà des approches en batch ou à l'équilibre. Les profils de terres rares (La–Lu) seront également exploités comme traceurs géochimiques pour caractériser leur fractionnement et mieux comprendre les processus réactionnels et les cinétiques intervenant au cours du transport en colonne. Cette approche permettra de mieux caractériser les mécanismes contrôlant la mobilité des colloïdes et des éléments traces dans la branche continentale du cycle de l'eau, en faisant le lien entre expériences contrôlées en milieu poreux et enjeux de qualité des eaux souterraines. Ce projet s'inscrira également dans le cadre d'une collaboration avec l'École Nationale Supérieure de Chimie de Rennes (ENSCR), afin de renforcer l'expertise en transport colloïdal en colonne.

d) **Moyens mis à disposition :** Analyses des terres rares (La–Lu) dans les effluents par ICP-MS, afin de caractériser leur fractionnement au cours du transport ; Expériences en colonne sur sable de quartz saturé ; dispositif de circulation et de contrôle du débit ; traceur hydrodynamique ; suspensions de colloïdes Fe–MO préparées en amont ; analyses du fer et de la matière organique ; outils informatiques pour le traitement des données et l'interprétation des courbes de percée.

References

1. Guénet, H. *et al.* Characterization of iron–organic matter nano-aggregate networks through a combination of SAXS/SANS and XAS analyses: impact on As binding. *Environ. Sci. Nano* **4**, 938–954 (2017).
2. Beauvois, A. *et al.* How does calcium drive the structural organization of iron–organic matter aggregates? A multiscale investigation. *Environ. Sci. Nano* **7**, 2833–2849 (2020).
3. Tadayon, Y. *et al.* Rare earth elements interaction with iron-organic matter colloids as a control of the REE environmental dissemination. *J. Colloid Interface Sci.* **655**, 70–79 (2024).
4. Iqbal, M. *et al.* Effects of Iron–Organic Matter Colloids on Transport of Rare Earth Elements in Saturated Porous Medium. *Environ. Sci. Technol.* acs.est.5c13901 (2026) doi:10.1021/acs.est.5c13901.

Laboratoires concernés : UMR 7619 METIS – Sorbonne Université

Equipe de recherche concernée (si pertinent) : METIS (Milieux Environnementaux, Transferts et Interactions dans les hydrosystèmes et les Sols)

Niveau du stage (M1, M2) : M1

Durée du stage : 3 mois (60 jours ouvrés).

Indemnité : Oui

Période : À définir avec la formation et l'étudiant(e) (Avril – Juillet 2027).

Postulez jusqu'au **4 décembre 2026** sur muhammad-muqeet.iqbal@sorbonne-universite.fr