

## **Domaine de recherche**

---

Physique et chimie de l'environnement

## **Intitulé du sujet**

---

Effets capillaires dans les réservoirs poreux hétérogènes

## **Contexte du sujet**

---

Les formations argileuses retenues pour le stockage profond de déchets nucléaires par plusieurs pays européens (Belgique, France, Suisse) sont des aquitards dont les propriétés hydriques de confinement répondent aux exigences de critères de confinement des radioéléments. Leur très faible perméabilité est en relation avec des tailles de pores moyennes nanométriques, et une connectivité limitée de ces pores. Après creusement des galeries, le développement mécanique d'un réseau de fissures et la mise en place de la ventilation nécessaire aux travaux vont engendrer une désaturation du massif. En conséquence, des expériences de ventilation supervisée de longue durée ont étudié l'évolution de la teneur en eau autour de la zone d'excavation, avec une attention particulière aux fissures de tailles variées, de la zone endommagée.

Dans cette conceptualisation et d'après les études menées, la mise en état capillaire de l'eau piégée dans l'aquitard, sous l'effet du contact avec l'air sec, n'est pas intégrée. Tout au plus peut-on dire que la capillarité participe à limiter l'évaporation par effet de Kelvin. Mais on n'a jusqu'ici pas prêté attention au fait que l'ensemble de l'eau dans le massif d'argillite se mettait en tension capillaire, entraînant une modification du potentiel chimique de l'eau et des solutés dans leurs interactions avec les solides et les gaz. De plus, l'hétérogénéité naturelle (grains détritiques) ou provoquée (zone endommagée) de la porosité, installe dans tout le massif des volumes plus ou moins discrets et connectés, où l'eau ne satisfait pas aux conditions de stabilité de Young-Laplace, ouvrant la possibilité pour l'eau capillaire qui y réside de bouillir à tout moment, et donc de modifier localement la saturation.

La thèse se propose d'étudier expérimentalement, à l'échelle d'une colonne réactive décimétrique, les effets géochimiques et poromécaniques de la mise en état capillaire et ses conséquences sur la porosité, la distribution eau-air, et la dynamique d'interactions eau-solide-gaz.

## **Objectifs du sujet**

---

La question principale porte sur l'impact des propriétés capillaires sur la géochimie et l'hydrologie au sein d'un hydrosystème entièrement capillarisé. La capillarité est bien intégrée en mécanique des fluides multiphasiques, mais sa dimension géochimique est bien moins appréhendée. Un deuxième axe de réflexion concerne le temps de vie de l'eau lorsqu'elle devient métastable de fait d'un accroissement local de la taille moyenne de pores. Derrière ces aspects, les questions portent sur l'évolution, avec le temps et le changement de conditions, de la distribution multiphasique d'un hydrosystème et de sa connectivité hydraulique au regard de la réactivité géochimique dans un milieu poreux partiellement saturé.

En conséquence, cette étude vise à mettre en lumière les processus propres aux systèmes à double porosité lorsque les tailles sont très fortement contrastées (nm-mm). Les galeries de la zone de stockage de déchets nucléaires sont un bon exemple d'application, mais d'autres systèmes géologiques sont possibles, comme lorsqu'une bulle de CO<sub>2</sub> atteint la roche de couverture imperméable.

## **Moyens du sujet**

---

La thèse sera encadrée principalement entre l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (Université d'Orléans), et le BRGM (plateforme MIMAROC, Orléans), et évoluera dans le cadre du labex Voltaire (1 M€/an pour l'étude des propriétés et comportements des fluides de la croûte jusqu'à l'atmosphère).

Les procédures envisagées s'appuient sur un design existant basé sur des réactions de carbonatation en milieu non-saturé avec une disponibilité en eau limitée. Les expériences seront menées sur des colonnes réactives spécialement composées, et soumises à des flux variés mais très contrôlés d'eau et de gaz divers.



Figure 1. A : colonne décimétrique pour les essais sable/brucite, avec au centre, la colonne avant montage et le générateur/mélangeur de gaz CEMLab (plateforme MIMAROC) ; et B : milieu poreux à distribution contrôlée

Les transitions de phases ou le développement de fracturations induites par les réactions chimiques, seront suivies par tomographie X et sonométrie non-intrusive. Des mesures chimiques et isotopiques, ainsi que la cartographie Raman serviront à localiser les interfaces chimiques critiques. Une modélisation en percolation réactive tenant compte de la teneur en eau sera également menée pour quantifier les bilans de masse attendus, et les procédés nécessaires pour les optimiser. Le code utilisé (PHREEQC, CRUNCH) sera modifié pour faire de la teneur en eau une variable de l'avancement des réactions, et étendre les conclusions mécanistes dans le cadre d'un volume élémentaire représentatif.

### Informations pratiques

Date souhaitée pour le début de la thèse : 01/10/2022

Financement : Région Centre.

Salaire : 1700 € nets/mois.

Institution de tutelle du thésard : CNRS d'Orléans.

### Personnes à contacter par le(la) candidat(e)

Lionel MERCURY (lionel.mercury@univ-orleans.fr)

ISTO. Tél. : 02.38.49.49.75

Stéphane GABOREAU

(s.gaboreau@brgm.fr)

BRGM. Tél. : 02.38.64.31.15

Les candidats doivent soumettre leur demande en un fichier pdf avec une lettre de motivation et un CV détaillé valorisant les expériences de recherche précédentes.

Date limite de candidature : 30 juin 2022.

### Profil souhaité

Master, écoles d'ingénieurs donnant des bases solides en une ou plusieurs des disciplines suivantes : Géochimie d'interactions fluide-roche, Milieux poreux, Transitions de phase, Thermodynamique.