

L'ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE-PSL

Créée en 1794, l'École normale supérieure, membre de l'Université PSL, est un établissement d'enseignement supérieur et de recherche qui recrute sur concours les étudiants les plus talentueux en France et à l'étranger. Établissement d'élite, dont l'activité recouvre l'essentiel des disciplines scientifiques et littéraires, l'ENS-PSL jouit d'un grand prestige international par la qualité de ses étudiants mais aussi par la réputation de ses centres de recherche dont 30 unités mixtes de recherche.

Située au cœur de Paris et classée parmi les 50 premières universités mondiales, l'ENS-PSL fait dialoguer tous les domaines du savoir, de l'innovation et de la création en formant au plus près de la recherche des chercheurs, ingénieurs, artistes, entrepreneurs ou dirigeants conscients de leur responsabilité sociale, individuelle et collective.

L'ENS-PSL mène une politique dynamique en matière de qualité de vie au travail et d'égalité professionnelle, offrant ainsi un cadre de travail enrichissant et propice au développement et à l'épanouissement professionnel.

Recrute un / une

Chercheur·se en CDD projet MODFI (F/H)

MODFI est un projet du « LRC Yves Rocard », programme de recherche impliquant des équipes du Département surveillance et environnement (DASE) du CEA/DAM Île de France et du Département des Géosciences de l'ENS-PSL. Son but est de développer des actions de recherche répondant aux objectifs du DASE, en s'appuyant sur l'expertise des équipes de l'ENS-PSL, en particulier du Laboratoire de Géologie à l'ENS, où le ou la chercheur·se sera intégré·e.

Le projet MODFI (« *Modélisation des écoulements et du transport dans un aquifère carbonaté fissuré : ajustement paramétrique et double porosité* ») combine l'expertise de l'ENS sur l'hydrogéologie quantitative des systèmes complexes, avec celle du DASE sur la surveillance environnementale des systèmes aquifères carbonatés et l'évaluation d'impact. Le projet est principalement mené à l'ENS-PSL au centre de Paris, ainsi qu'au DASE dans la région parisienne élargie en étroite collaboration avec les chercheur·se de l'IMF de Toulouse, pour la partie code de calcul.

En matière de surveillance environnementale et de modélisation des phénomènes de transport souterrain, les méthodes sont bien connues pour ce qui est des milieux équivalents poreux homogène (Dassargues, 1995). A l'opposé, en contexte purement karstique, la surveillance environnementale d'activités industrielles peut se faire de manière ciblée sur les drains souterrains principaux et la modélisation des flux dans ces systèmes se fait généralement à l'aide de modèles à réservoirs. Entre ces deux pôles, certains aquifères carbonatés fissurés (calcaires jurassiques en Bourgogne-Franche-Comté, craie de Champagne, ...) peuvent être représentés schématiquement par une juxtaposition de plusieurs réseaux, allant du milieu poreux matriciel au réseau de fractures interconnectées, même si dans la réalité, il s'agit plutôt d'un continuum (Bakalowicz, 2005). De manière simplifiée, pour ces aquifères fissurés, il est possible de ne considérer que deux types de réseau poreux interconnectés, engendrant deux vitesses de circulation des eaux souterraines : le milieu matriciel (assurant la fonction de stockage) et le milieu fissuré (assurant la fonction de transport) (Warren and Root, 1963 – Robineau, 2019). Ceci entraîne un comportement très caractéristique de ce type de milieu, tant du point de vue hydrodynamique que du transport (Delbart, 2013). La prise en compte de cette double cinétique est ainsi nécessaire pour prédire correctement la réponse du milieu souterrain à des contaminations instantanées ou chroniques.

La représentation de ce type de « double milieu » a été introduite dans le code METIS (Goblet, 2017 – Gerke et Van Genuchten, 1993) et utilisée dans le cadre des travaux de doctorat de T. Robineau (Robineau, 2019) puis de post-doctorat de B. Jeannot (2022). Néanmoins, le modèle écoulement-transport en résultant est encore incomplet et perfectible. En effet : 1) La zone non saturée (ZNS) n'a pu être modélisée qu'en simple milieu, du fait de limitation du code Métis. Or, il semble essentiel de considérer la migration bimodale

(matrice-fissures) en ZNS pour bien comprendre la dynamique de migration du tritium dans les eaux souterraines au droit du site et l'effet de stock en ZNS. 2) Le modèle de transport présentait des phénomènes de dispersion numérique important, entachant les résultats d'incertitudes non négligeables. Un effort devra donc porter sur cet aspect également.

MISSION PRINCIPALE

L'objectif du projet de recherche est de disposer, pour le site étudié, d'un modèle numérique complet « double milieu », couplant le volet hydrogéologique et le volet transport (non réactif). Ceci permettra son emploi dans le cadre « opérationnel » des études de site réalisées au sein du DASE. Le code de calcul envisagé est le code PorousMultiphaseFoam (Horgue et al., 2022), développé en partenariat avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse et qui remplace le code Métis. Ce code permet notamment la modélisation des écoulements et du transport dans sa formulation « double milieu » en zone saturée (ZS) et en ZNS.

ACTIVITES PRINCIPALES

Le projet MODFI comporte 2 phases principales :

- Phase 1 (12 mois) : Modélisation hydrodynamique « double milieu » sur une géométrie 1D+2D (colonnes 1D verticales pour la ZNS, 2D plan pour la zone saturée), voire 3D. Il s'agit d'ajuster les paramètres régissant les écoulements dans les 2 milieux (matrice et fractures), de manière à reproduire simultanément le champ spatial de la piézométrie (carte piézométrique) ainsi que les variations temporelles de la piézométrie (chroniques piézométriques pluriannuelles) du site étudié. Une réflexion préalable sur les procédures d'ajustement spatio-temporel devra être menée, en regard notamment de la méthodologie développée par B. Jeannot.

- Phase 2 (12 mois) : Modélisation du transport du tritium. Au cours de cette phase, on tâchera de reproduire l'évolution sur près de 50 ans des teneurs en tritium mesurées en nappe, ainsi que les 2 profils verticaux de tritium contenu dans l'eau matricielle de la ZNS, obtenus à 10 ans d'intervalle. Il sera nécessaire de procéder à une estimation des dépôts au sol par simulation atmosphérique (le code CERES pourrait être retenu).

SPECIFICITES DU POSTE

La recherche sera menée à l'ENS au Laboratoire de Géologie (Paris) en étroite collaboration avec des chercheurs et chercheuses du DASE (région de Paris), et de l'IMFT (Toulouse). Des voyages entre laboratoires de recherche de la région parisienne ainsi qu'à des conférences internationales et des réunions en visio-conférences sont à prévoir.

CHAMPS DES RELATIONS

Internes : Laboratoire de Géologie de l'ENS-PSL

Externes : Département Analyse, Surveillance, Environnement du CEA/DAM Ile de France

COMPETENCES ATTENDUES

Diplôme : PhD

Expériences professionnelle : PhD ou quelques années de post-doc

Connaissances :

- Modélisation numérique (et/ou mesures) en science de l'eau et leur analyse des données
- Connaissances et intérêt pour l'hydrogéologie quantitative de systèmes complexes
- Connaissances et intérêt pour les études d'impacts

Compétences techniques :

- Capacité à analyser soigneusement des données expérimentales de systèmes complexes
- Approche organisée de l'application/développement de modèles numériques, suivi des versions au fur et à mesure de l'évolution du code
- Compétences en programmation et en procédures d'ajustement paramétrique

Compétences comportementales :

- Capacité à travailler en équipe
- Sens de l'organisation et autonomie
- Motivation et intérêt pour la recherche interdisciplinaire

AUTRES INFORMATIONS

Poste à pourvoir le : au 1^{er} septembre 2026

Lieu de travail : Laboratoire de Géologie à l'ENS, 24 rue Lhomond, 75005 Paris

Quotité de travail (50% ou +) : 100 %

Poste ouvert :

- **aux contractuels** (CDD de 24 mois – Rémunération selon grille et expérience)

L'ENS-PSL est un établissement handi-accueillant et attaché à la mixité et à la diversité

MODALITES DES CANDIDATURES

Merci d'envoyer votre dossier complet (CV, lettre de motivation et prétentions salariales nettes mensuelles. Pour les agents titulaires, joindre également votre dernier bulletin de salaire)

par mail : sophie.violette@ens.fr et Lionel.SCHAPER@cea.fr

Non-discrimination, ouverture et transparence

Les établissements membres de l'Université PSL s'engagent à soutenir et promouvoir l'égalité, la diversité et l'inclusion au sein de ses communautés. Nous encourageons les candidatures issues de profils variés, que nous veillerons à sélectionner via un processus de recrutement ouvert et transparent.