



Titre du sujet : Quantification de la distribution des vitesses d'écoulement dans l'aquifère fracturé de la craie de Champagne par multitraçages élémentaires et isotopiques

Co-directeur & Co-directrice : Florent Barbecot (UQAM) et Sophie Violette (SU ENS-PSL)

Collaborateur : Lionel Schaper (CEA DAM/DIF/DASE)

Équipe d'accueil : Laboratoire de Géologie de l'ENS- UMR 8538

Contexte scientifique

Dans le contexte des sites et sols pollués, les eaux souterraines sont le principal vecteur des polluants vers les forages d'alimentation en eau potable et les rivières. La connaissance de la répartition verticale de ces polluants au sein de la nappe et l'évaluation des mécanismes supportant leur transport dans les aquifères sont des enjeux majeurs pour l'évaluation des risques environnementaux associés aux activités d'installations industrielles, en vue d'anticiper et gérer un impact environnemental potentiel. Les aquifères présentent le plus souvent une extension latérale (quelques dizaines à quelques centaines de kilomètres) très supérieure à leur extension verticale (quelques dizaines à quelques centaines de mètres). Cette morphologie particulière conduit en première approche, à les considérer comme des objets à deux dimensions horizontales, en négligeant les hétérogénéités géologiques et hydrogéologiques propres, notamment la troisième dimension verticale. Or au sein d'une même unité aquifère, il peut exister des variations lithologiques qui conduisent à des variations importantes des propriétés hydrauliques (T, K, S) et physiques (porosité). De ce fait, les vitesses de transport des solutés qui sont moyennées dans une approche simpliste en 2D, sont en réalité très hétérogènes, entraînant une sous-estimation des vitesses de migration des solutés.

L'objectif de la thèse consiste à déterminer les vitesses d'écoulement de l'eau et de transfert de solutés dans un milieu poreux et fracturé, en utilisant un large panel de traceurs naturels et anthropiques. Une attention particulière sera portée à la stratification verticale des écoulements. Les expérimentations seront conduites sur un site situé dans l'aquifère de la Craie de Champagne.

Méthodologie

Une approche pluridisciplinaire sera mise en œuvre afin d'atteindre ces objectifs. Les différentes étapes qui jalonnent la thèse sont les suivantes :

- Rédiger une synthèse bibliographique sur l'interprétation de la distribution des traceurs environnementaux (âge de l'eau) et la réalisation de multi-traçages élémentaires et anthropiques en milieu fracturé et à multiples porosités.
- Compiler et analyser les données géologiques, hydrogéologiques et géochimiques disponibles sur le site d'étude et son environnement proche, afin d'évaluer la



robustesse des calculs de vitesse des traceurs environnementaux, identifier les points de faiblesse et lister les types de données à acquérir. Rédiger les protocoles des prélèvements environnementaux.

- Réaliser des prélèvements dans les différents compartiments (rivière, sol, aquifères) afin de doser les traceurs environnementaux (traceurs naturels et anthropiques). Cette phase pourra inclure la réalisation de prélèvements à différentes profondeurs en forage. Sur certains ouvrages, elle nécessitera la mise en œuvre de diagraphies verticales et ou de passage caméra préalables. Analyser les résultats.
- Elaborer les protocoles de traçages (traceurs injectés) en zones non saturées et saturées et préparer la phase de terrain.
- Suivre la réalisation des forages, piézomètres nécessaires aux traçages (3 piézomètres à 20 m en aval de l'injection, dont certains en flute de pan), puis injection des traceurs avec mise en place des suivis des concentrations en traceurs. Pour cela, il sera nécessaire de développer des systèmes de prélèvement autonomes. Sont prévus durant cette phase des carottages post-traçages artificiels pour quantifier les transferts (et la rétention) dans le milieu matriciel.

A chaque étape, des modélisations de complexités croissantes intégreront les informations structurales ainsi que les paramètres d'écoulement et de transport observés par l'analyse de traceurs environnementaux et de traceurs artificiels. Lors de cette phase seront comparés différentes méthodes de calcul (LPM, THYRSIS, FEFLOW, HYDRUS, COMSOL...).

Chaque étape donnera lieu à la rédaction d'un rapport d'avancement. Les résultats seront valorisés sous forme d'articles scientifiques dans les revues ad hoc. In fine, un manuscrit de thèse sera rédigé.

Collaborations

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre le CEA, l'UQAM et l'ENS-PSL. Elle garantit l'accès aux données, aux ouvrages sur le terrain et à la mise en œuvre des moyens instrumentaux, ainsi qu'aux moyens numériques.

Chaque collaborateur et collaboratrice du projet possède des compétences complémentaires indispensables pour aborder de façon pluridisciplinaire cette thématique et apporter l'expertise nécessaire pour l'encadrement de la thèse.

Compétences

Le-la candidat-e devra disposer de compétences en hydrogéologie, mécanique des roches, modélisation et avoir suivi un cursus en géosciences et/ou hydrosciences et/ou en sciences de l'ingénieur. La motivation pour l'expérimentation sur le terrain, la géochimie des eaux et la modélisation numérique sera un plus.

Co-financement

Le financement est apporté par le CEA (thèse et environnement).



Références

Cao Feifei. Approche interdisciplinaire pour la caractérisation hydrogéologique du milieu crayeux : application au transfert de perchlorates dans la craie de Champagne. Thèse de Doctorat Géochimie de l'Environnement. Université de Reims Champagne-Ardenne, 2020.

Delbart Célestine. Variabilité spatio-temporelle du fonctionnement d'un aquifère karstique du Dogger : suivis hydrodynamiques et géochimiques multifréquences ; traitement du signal des réponses physiques et géochimiques. Thèse de Doctorat Sciences de la Terre. Université Paris Sud - Paris XI, 2013. Français. NNT: 2013PA112290 . tel-00939300

Robineau Timothée. Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère karstique. Traitement du signal et modélisation double milieu des écoulements et du transport. Thèse de Doctorat Géosciences et Géoingénierie. PSL-Mines Paristech, 2019