



# Laboratoire de Recherche Conventionné Yves Rocard

## *Stage de M2 ou fin de cursus Ingénieur·e*

---

### Projet TransCraie-ZNS

#### Modélisation des transferts hydriques dans la zone non-saturée de l'aquifère de la craie de Champagne

##### CONTEXTE

La compréhension des phénomènes d'écoulement et de transport est cruciale dans le contexte de la surveillance environnementale des sites industriels, tout particulièrement dans la zone non saturée (ZNS) qui est la première à pouvoir être impactée par les activités anthropiques [1]. Le sujet porte ici sur la compréhension du fonctionnement hydrique des premiers mètres de la ZNS de l'aquifère de la Craie de Champagne, qui a comme caractéristiques :

- une ZNS particulièrement épaisse (environ 20-50 m) et hétérogène. Du haut vers le bas différents niveaux sont identifiés : un sol peu épais, une Craie cryoturbée sur une quinzaine de mètres, et des bancs de craie d'épaisseurs variables recoupés par des fractures ;
- un milieu à la fois poreux et fracturé, généralement qualifié de « double-milieu » [2]. Si les fractures représentent le chemin préférentiel d'écoulement dans la zone saturée (ZS) [3], les écoulements dans la ZNS se font eux très majoritairement dans la matrice poreuse à cause de la rétention capillaire particulièrement forte dans la Craie [4]. Des traçages dans la ZNS ont toutefois pu montrer l'existence de circulations rapides [5] indiquant que les fractures peuvent « s'activer » lors de certains épisodes de précipitation. Ces circulations de fractures sont susceptibles d'impacter très fortement le transfert d'eau et de solutés depuis la surface vers la nappe ;
- une rétention capillaire très forte de la matrice crayeuse, susceptible de permettre le transfert d'eau depuis la nappe (zone saturée) située en profondeur vers la surface sur de grandes hauteurs (plusieurs dizaines de mètres) lors de périodes à fort potentiel évapotranspiratoire [6].

Dans ce cadre et afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement hydrologique de cette zone non saturée, les premiers mètres de l'aquifère de la craie ont été équipés (en ZNS) de tensiomètres et de bougies poreuses. Cette station, située au droit d'un site expérimental bien documenté, a permis de suivre, à différentes profondeurs (de 0 à 2 m),



l'évolution temporelle (haute fréquence – pas 1h) de la pression capillaire pendant plus d'un an, ainsi que l'évolution temporelle, à fréquence mensuelle, de la chimie de l'eau (et de son isotopie) pendant la période de recharge 2023-2024. Des mesures des propriétés de rétention capillaire des horizons investigués ont également été obtenues.

## **OBJECTIFS**

Le projet a pour objectif de répondre aux questions suivantes :

- quel est le modèle de recharge qui permet de mieux rendre compte des observations ?
- la profondeur investiguée est-elle suffisante vis-à-vis de la possible reprise évapotranspiratoire en profondeur ?
- en quoi les premiers mètres de la ZNS sont-ils représentatifs du comportement des plus de 20 m de ZNS ?

## **MATERIEL & MÉTHODE**

Pour répondre à ces questionnements, après une nécessaire revue bibliographique des modèles conceptuels et fondements théoriques de l'écoulement en zone non saturée proposés dans la littérature et l'analyse du jeu de données disponibles, la mise en œuvre des outils de modélisation numérique est envisagée (Comsol®, Métis, Hydrus1D, ...). Ils permettent la résolution numérique des équations d'écoulement et de transport de masse en ZNS en couplant ou non la zone saturée. Il s'agira d'ajuster, à l'aide de ces outils, les paramètres hydrodynamiques d'un ou des modèle(s) d'écoulement en ZNS permettant la reproduction la plus fidèle possible des observables (chroniques d'évolution temporelle de la charge hydraulique, évolution des teneurs en chlorures et du fractionnement isotopique de l'eau), en testant différentes hypothèses sur la fonction d'entrée, calculée sur la base des observations climatiques, fournies par ailleurs.

**DURÉE** : 6 mois

**NIVEAU D'ÉTUDES** : M2 ou fin de cursus d'École d'ingénieur-es

## **COMPÉTENCES SOUHAITÉES**

Fin d'études d'école d'ingénieur-es ou de Master niveau 2, avec une spécialisation en agronomie ou hydrogéologie. Des connaissances en physique des roches et des fluides et en modélisation numérique seront appréciées.

Autonomie, rigueur dans l'analyse de données, appétence pour la mise en œuvre d'outil de simulation et l'interprétation des résultats de modélisation.



## MÉTHODES/LOGICIELS SPÉCIFIQUES

Code de modélisation numérique spatialisée des écoulements en ZNS

### LIEU

École normale supérieure - PSL  
24 rue Lhomond – 75005 Paris

### CONTACTS

Lionel SCHAPER – [lionel.schaper@cea.fr](mailto:lionel.schaper@cea.fr)

Sophie VIOLETTE – [sophie.violette@ens.fr](mailto:sophie.violette@ens.fr)

### RÉFÉRENCES

- [1] Improvement of the solute transfer in a conceptual unsaturated zone scheme: a case study of the Seine River basin – E. Philippe, F. Habets, E. Ledoux, P. Goblet, P. Viennot, B. Mary, Hydrol. Process. 25, 752– 765 (2011). DOI: 10.1002/hyp.7865
- [2] Mouvements de l'eau dans la zone non saturée et alimentation de la nappe de la craie de Champagne (France). Approche isotopique et chimique. - P. Vachier, L. Dever, J.-C. Fontes, Isotope techniques in water resources development. International symposium. 1987, pp 367-379. Conference Paper.
- [3] A multi-directional tracer test in the fractured Chalk aquifer of E. Yorkshire, UK - S. Hartmann, N.E. Odling, L.J. West, Journal of Contaminant Hydrology 94 (2007) 315–331. DOI : 10.1016/j.jconhyd.2007.07.009
- [4] Hydrological processes in the chalk unsaturated zone insights from an intensive field monitoring programme – A.M. Ireson, H.S. Wheater, A.P. Butler, S.A. Mathias, J. Finch, J.D. Cooper, Journal of Hydrology, 330 (1-2), 29#43, 2006. DOI : 10.1016/j.jhydrol.2006.04.021
- [5] Unsaturated flow and solute transport through the Chalk: Tracer test and dual permeability modelling – G. Van den Daele, J. Barker, L. Connell, T. Atkinson, W.G. Darling, J.D. Cooper, Journal of Hydrology, 342 (1-2), 157#172, 2007. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.05.021
- [6] Quantification de la distribution des vitesses d'écoulement dans l'aquifère fracturé de la craie de Champagne par multitraçages élémentaires et isotopiques – L. Dufour. Thèse de doctorat. Université Paris Sciences et Lettre, ED Sciences de la Terre et de l'environnement et physique de l'univers. 2023.