

## Offre de Stage M2

**Titre :** Simulation numérique d'un phénomène de fingering dans les milieux poreux par une méthode de Boltzmann sur réseaux

**Notre équipe :**

L'Université Gustave Eiffel (UGE) et l'Université de La Rochelle (ULR) sont toutes deux réputées pour leur excellence en matière de recherche scientifique. Un de leurs objectifs communs est l'étude des écoulements dans les milieux appliqués à des problématiques environnementales. Cela passe par la modélisation physique/mathématique.

**Contexte :**

On s'intéresse pour ce stage aux écoulements multi-phasiques dans les milieux poreux et, éventuellement, au cas de la digitation (fingering), qui est un phénomène d'instabilité apparaissant dans les milieux poreux en présence de plusieurs fluides aux caractéristiques différentes (densité, viscosité).

Pour la modélisation, la méthode de Boltzmann sur réseau (Lattice Boltzmann Method, LBM) [1] sera utilisée. Il s'agit d'une méthode particulière, qui modélise le fluide à l'échelle mésoscopique en discrétilisant l'équation de Boltzmann continue sur un réseau régulier. Cette méthode est bien adaptée aux milieux poreux et aux écoulements multi-phasiques. L'originalité réside dans l'application de l'approche Maxwell-Stefan, qui pourra être étendue éventuellement par une méthode Shan-Chen afin de réduire le coût de calcul. La modélisation des écoulements dans les milieux poreux sera réalisée en modulant l'étape de transport (streaming) de la méthode LBM. Cette approche a été utilisée récemment dans la thèse de Théo Coiffard [2] au sein de l'équipe de l'ULR.

Afin de se rapprocher de simulations réalistes de grande taille, il est envisagé d'utiliser une parallélisation des calculs sur CPU et GPU. Il est utile de préciser que la méthode LBM est largement appréciée pour son efficacité et sa simplicité de parallélisation.

Enfin, les problèmes d'écoulements multi-phasiques dans les milieux poreux, ainsi traités, sont particulièrement intéressants pour comprendre la propagation des polluants dans les sols. Ce type de phénomène apparaît également dans les remontées de gaz dans les aquifères.

**Objectifs & tâches :**

L'objectif de ce stage est de simuler le phénomène de digitation apparaissant dans les milieux poreux environnementaux, puis d'améliorer les approches existantes dans le domaine. Pour ce faire, la démarche envisagée est la suivante:

- Documentation et appropriation des équations et outils.
- Étude du problème de digitation par approche combinaison de force de Maxwell-Stefan et modulation du streaming.
- Modification et amélioration du schéma numérique (GPU, Shan-Chen etc).
- Analyse et diffusion des résultats obtenus.

**Mot Clés :** Méthodes numériques, écoulements multi-phasiques, milieux poreux, Lattice Boltzmann Method, Aquifères.

**Contrat & statut :**

Durée du stage : 5 à 6 mois environ

Date de début : printemps 2026

Lieu : Univ. La Rochelle ou UGE proche Nantes

**Contact & Candidature :**

Candidature ou question par email à Romain NOËL ([romain.noel@univ-eiffel.fr](mailto:romain.noel@univ-eiffel.fr)) et Mahdi TEKITEK ([mohamed.tekitek@univ-lr.fr](mailto:mohamed.tekitek@univ-lr.fr)).

**Profil :**

Ce sujet est adapté à un TFE ou stage de Master 2 pour les étudiants en hydrogéologie, mathématique ou mécanique. Il peut être aussi le point de départ d'une thèse de doctorat via le couplage avec l'industrie.

**References :**

- [1] Succi, S. (2018). *The lattice Boltzmann equation: for complex states of flowing matter*. Oxford University Press.
- [2] Théo Coiffard, Méthode de Boltzmann sur réseaux pour les écoulements en milieu poreux : approche multi-échelle et multi-perméabilité, Thèse de doctorat, La Rochelle Université, 2025.
- [3] Huang, K. (1987). *Statistical Mechanics*, Wiley, New York, 1987.