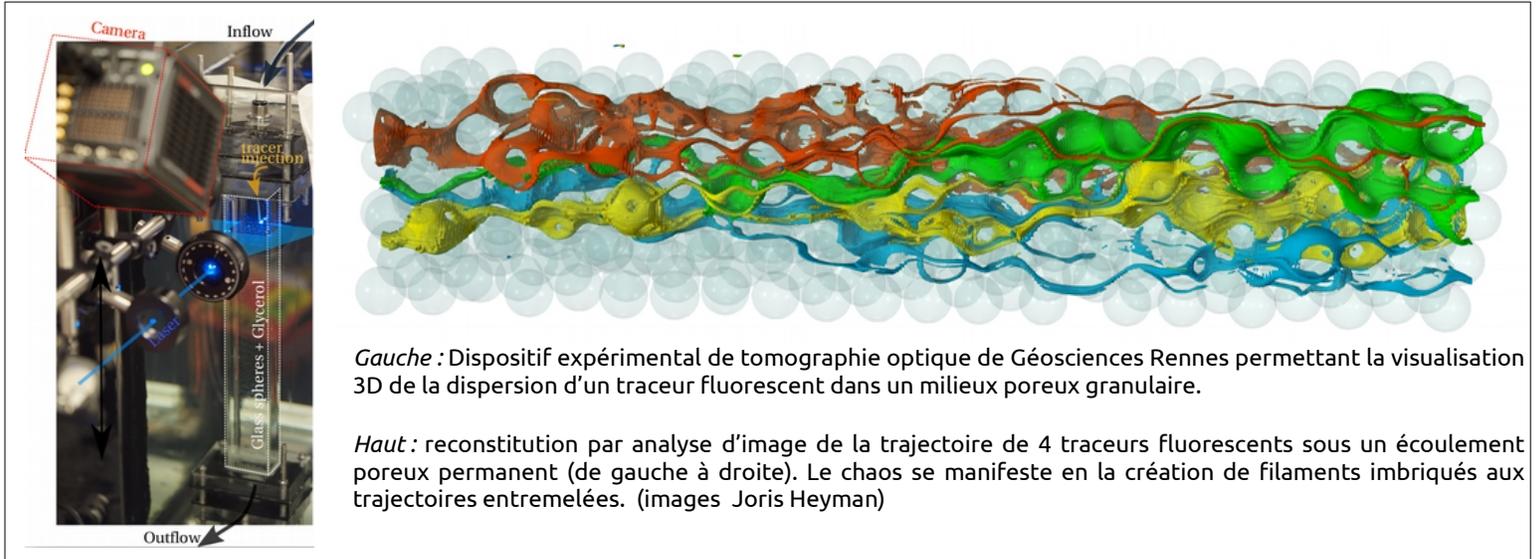


Caractérisation expérimentale 3D du mélange chaotique dans les écoulements poreux

Stage de recherche de 6 mois rémunéré (niveau Master 2 ou équivalent) à Géosciences Rennes (Bretagne, France) dans le cadre du projet européen ERC « ReactiveFronts »

Contact et candidature : Joris Heyman / joris.heyman@univ-rennes1.fr



Gauche : Dispositif expérimental de tomographie optique de Géosciences Rennes permettant la visualisation 3D de la dispersion d'un traceur fluorescent dans un milieu poreux granulaire.

Haut : reconstitution par analyse d'image de la trajectoire de 4 traceurs fluorescents sous un écoulement poreux permanent (de gauche à droite). Le chaos se manifeste en la création de filaments imbriqués aux trajectoires entremêlées. (images Joris Heyman)

Contexte

Les systèmes hydrogéologiques souterrains représentent la majorité de la ressource en eau douce sur terre. Dans ces milieux perméables (sols, roches), fluides, gaz, et organismes vivants interagissent de manière complexe et déterminante pour les cycles hydrologiques et géochimiques comme ceux du carbone ou de l'azote, ainsi que pour des processus industriels majeurs, tels la séquestration du CO₂, l'extraction d'hydrocarbures et la géothermie. Si la caractérisation et la modélisation des écoulements dans ces milieux est relativement bien maîtrisée aujourd'hui, les processus plus complexes amenant au mélange (e.g. à l'interface entre deux fluides de composition chimique différentes) ainsi qu'à la réactivité bio-géochimiques qui en découlent (par exemple la dénitrification, l'oxydation du fer, la précipitation de la calcite) restent peu compris. Des études expérimentales et numériques récentes, menées dans le cadre du projet ReactiveFronts¹, ont démontré l'émergence de transport chaotique dans des milieux poreux granulaires tri-dimensionnels: bien que ces écoulements soient purement laminaires et stationnaires, les déformations successives subies par le fluide au passage des grains tendent à rendre imprévisible l'advection des particules fluides, au même titre que ce qui est observé en turbulence (c'est ce qu'on appelle chaos déterministe).

Cette découverte ouvre de nouvelles grandes questions, auxquelles ce stage entend répondre : Comment quantifier expérimentalement la dynamique du mélange chaotique ? Quelle est la dépendance de l'advection chaotique vis-à-vis du type de milieu poreux (taille et forme des grains, nombre de contacts), ainsi que des conditions d'écoulement ? Quelles lois d'échelles peuvent s'appliquer ? Quelles sont les conséquences sur les variables macroscopiques (concentrations, gradient de concentrations) ainsi que la réactivité liée aux gradients de concentration ?

¹ <https://reactivefronts-erc.univ-rennes1.fr/>

Objectifs

Les objectifs des stages sont les suivants :

- Prise en main du dispositif unique de tomographie optique développé à Géoscience Rennes et des méthodes d'analyse d'image permettant de remonter au champ de concentration 3D à l'intérieur des pores.
- Mesures expérimentales :
 1. du mélange d'un traceur passif dans des milieux de nature différentes en faisant varier les paramètres d'empilement tels : nombre de contacts, polydispersité, géométrie des grains...
 2. de la réactivité dans un milieu poreux mono-disperse par visualisation d'une réaction fluorescente
- Interprétation des données expérimentales dans le cadre de la théorie lamellaire du mélange en milieu poreux (Le Borgne et al. 2015², Lester et al. 2016³).

Perspectives professionnelles

La compréhension des dynamiques de mélange dans les fluides dépasse largement le contexte hydrogéologique : le fonctionnement de nombreux autres systèmes naturels et industriels fait appel au mélange chaotique. C'est le cas des alvéoles pulmonaires, des réseaux capillaires cérébraux, des batteries de nouvelle génération ainsi que toutes les industries alimentaires et pharmaceutiques par exemple. Les questions abordées dans ce stage sont donc fondamentalement interdisciplinaires et donneront au candidat une forte légitimité pour une carrière dans des domaines de recherche et d'ingénierie variés.

Organisation

Le stage proposé s'inscrit dans le projet européen ERC "ReactiveFronts" porté par Tanguy Le Borgne et sera piloté par [Joris Heyman](#), chargé de recherche au CNRS. Le candidat s'insérera dans une équipe de 3 chercheurs (TLB, JH et Yves Méheust), un ingénieur d'étude ainsi que 3 post-doctorants et 3 doctorants, au sein du laboratoire de Géosciences de Rennes. La proximité thématique du groupe autour du mélange réactif dans les aquifères et les milieux fracturés permet une dynamique constructive et collaborative dans laquelle le candidat sera pleinement acteur. Le candidat pourra également compter sur des collaborations internationales avec des centres de recherche en Espagne (Marco Dentz), en Australie (Dan Lester) et en France (Emmanuel Villiermaux). Le stage pourra éventuellement être poursuivi par une thèse de doctorat à Géosciences Rennes et ses partenaires.

Caractéristiques du stage:

- Niveau Master 2 ou 5ème année d'école d'ingénieur
- 6 mois (janvier 2019 – juin 2019)
- Rémunération sur la base légale
- Possibilité de poursuivre en thèse de doctorat

Profil recherché :

- Notions de physique, de mathématiques et de mécanique des fluides
- Agilité et goût pour l'expérimentation et la recherche
- Aisance dans des langages de calcul scientifique (Matlab, Python, Scilab, ...)

[Candidatures \(avant le 3 décembre 2018\) à envoyer à \[joris.heyman@univ-rennes1.fr\]\(mailto:joris.heyman@univ-rennes1.fr\)](#)

Pièces à fournir : CV, lettre de motivation et [relevés de notes de l'année précédente ou équivalent.](#)

2 Tanguy Le Borgne, Marco Dentz, and Emmanuel Villiermaux, Phys. Rev. Lett. 110, 204501, 2013

3 Lester, D.R., Dentz, M. and Le Borgne, T. Chaotic mixing in three-dimensional porous media, *Journal of Fluid Mechanics*, 803, pp. 144–174, 2016