

Stages de recherche de 6 mois (master 2 ou équivalent) à l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes dans le cadre projet européen ERC ReactiveFronts (2015-2020)

Imagerie et modélisation de la dynamique du mélange de fluides réactifs dans les milieux poreux

Encadrants : Tanguy Le Borgne (Physicien CNAP OSUR), Yves Méheust (Maître de conférence Géosciences Rennes), Hervé Tabuteau (chargé de recherche CNRS Institut de Physique de Rennes), Alexis Dufresne (chargé de recherche CNRS, laboratoire Ecobio)

Deux stages de recherche de 6 mois sont proposés dans le cadre du projet Européen ERC consolidator ReactiveFronts (responsable T. Le Borgne, 2015-2020). Ces stages, de niveau master 2/3^{ième} année école d'ingénieur/ENS, portent sur l'imagerie expérimentale et la modélisation de la dynamique des fronts de mélange réactifs dans les milieux poreux (fig. 1). Les fronts de mélange peuvent exister naturellement dans les sols et les roches (par exemple dans les interfaces nappe-rivière ou nappe-océan) ou être formés par des injections de fluides (par exemple dans le cadre d'activités de remédiation des sols contaminés, de géothermie ou de stockage de CO₂). Le mélange des fluides dans ces fronts crée des conditions favorables pour le déclenchement de réactions biochimiques (réactions d'oxydo-réduction, formation de biofilms, dissolution, précipitation...) jouant un rôle fondamental dans de nombreux systèmes naturels ou industriels.

Pour analyser les couplages entre dynamique des fluides et réactions biochimiques dans ces systèmes, les étudiants seront intégrés dans une équipe interdisciplinaire formée dans le cadre du projet ERC ReactiveFronts, regroupant des compétences en milieux poreux, dynamique des fluides, chimie et microbiologie. Ces stages de recherche pourront être suivis de thèses financées dans le cadre du projet.

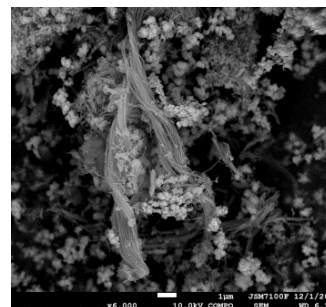
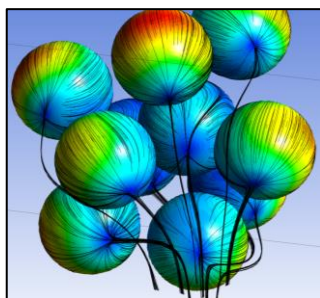
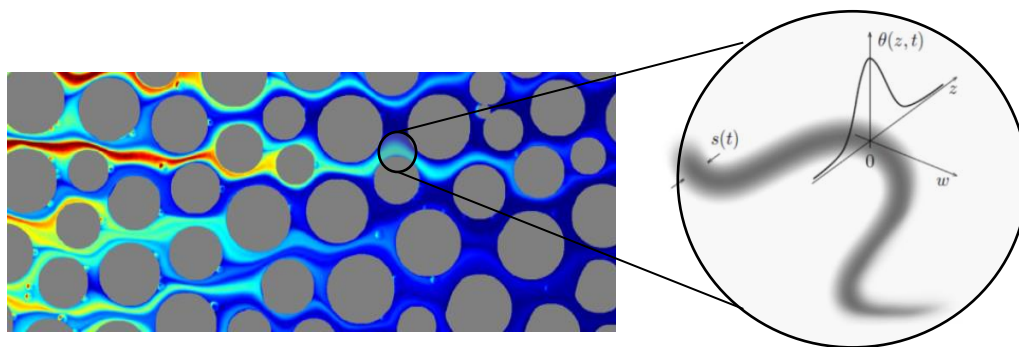


Figure 1: En haut: mesure expérimentale du champ de concentration dans un front de mélange à l'échelle du pore dans un dispositif microfluidique (de Anna et al., 2014) et illustration du principe de modélisation du mélange par les théories lamellaires (Le Borgne et al., 2013, 2015); en bas à gauche: ligne d'écoulement dans un milieu poreux 3D; en bas à droite: image au microscope de structures formées par des bactéries de type *Gallionella* se développant dans les interfaces de mélange dans les milieux poreux naturels.

Motivation scientifique :

L'objectif du projet est de comprendre et modéliser les 'hotspots' réactionnels que constituent les interfaces de mélange de fluides dans les milieux poreux. Ces fronts réactifs sont caractérisés par une dynamique d'écoulements complexe, une saturation en eau potentiellement variable, de forts gradients de concentration, des conditions redox fluctuantes et des communautés biologiques multifonctionnelles. La difficulté principale liée à l'étude de ces systèmes est que ces interactions à l'échelle micrométrique sont en général inaccessibles à l'observation directe, du fait notamment de l'opacité des grains (i.e. la matière qui constitue le sol). De plus, bien que les processus de mélange réactif se passent à petite échelle, ils peuvent fortement impacter des systèmes à grande échelle tels que des installations géothermiques ou des sites de stockage du CO₂. La question du changement d'échelle est donc centrale pour la modélisation de la dynamique des fluides réactifs dans ces milieux.

Le projet ERC ReactiveFronts s'appuiera d'une part sur des progrès récents dans les techniques d'imagerie micro et milli fluidique des processus de mélange réactif dans les milieux poreux (de Anna et al., 2014), et d'autre part sur de nouvelles théories permettant de quantifier le couplage entre écoulements, dispersion, mélange et réactions (Le Borgne et al., 2013, 2014, 2015, de Anna et al., 2013). Dans ce cadre, les stages proposés auront pour objectif i) d'analyser le couplage entre la dynamique des fluides dans les milieux poreux et des processus réactifs complexes (réactions d'oxydo-réduction, précipitation, dissolution et réactions biochimiques impliquant des micro-organismes), ii) de développer des méthodes d'imagerie et de modélisation adaptées à l'étude des mélanges de fluides réactifs en trois dimensions (voir fig. 1).

Profils recherchés

Nous recherchons des étudiants motivés par la caractérisation expérimentale et/ou la modélisation des phénomènes couplés écoulements de fluides/réactions chimiques, avec une formation en physique, dynamique des fluides, microfluidique, géophysique, sciences de la terre, hydrogéologie ou microbiologie.

Collaborations :

Marco Dentz, CSIC research centre, Barcelona, Espagne

Emmanuel Villiermaux, Christophe Almarcha, IRPHE Marseille, University of Aix-Marseille, France

Daniel Lester, Royal Institute of Technology, Melbourne, Australie

Tim Ginn, University of California Davis, USA

Références :

Le Borgne T., M. Dentz and E. Villiermaux (2015) The lamellar description of mixing in porous media, *J. Fluid Mech.* vol. 770, pp. 458-498.

Jimenez-Martinez J., P. de Anna, H. Tabuteau, R. Turuban, T. Le Borgne, Y. Méheust (2015) Pore-scale mechanisms for the enhancement of mixing in unsaturated porous media and implications for chemical reactions, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 42, 13

de Anna, P., J. Jimenez-Martinez, H. Tabuteau, R. Turuban, T. Le Borgne, M. Derrien, and Y. Méheust (2014), Mixing and reaction kinetics in porous media : an experimental pore scale quantification, *Environ. Sci. Technol.* 48 (1), pp 508–516

Le Borgne T., T. Ginn and M. Dentz (2014) Impact of Fluid Deformation on Mixing-Induced Chemical Reactions in Heterogeneous Flows, *Geophys. Res. Lett.* 41 (22) pp 7898-7906

Le Borgne, T., M. Dentz, E. Villiermaux (2013), Stretching, coalescence and mixing in porous media, *Phys. Rev. Lett.*, 110, 204501

de Anna-, P., T. Le Borgne, M. Dentz, A. M. Tartakovsky, D. Bolster, P. Davy (2013) Flow Intermittency, Dispersion and Correlated Continuous Time Random Walks in Porous Media, *Phys. Rev. Lett.*, 110, 184502

Contacts:

Email: tanguy.le-borgne@univ-rennes1.fr

Site web: <https://geosciences.univ-rennes1.fr/spip.php?rubrique327>

Email: yves.meheust@univ-rennes1.fr

Site web: <https://perso.univ-rennes1.fr/yves.meheust/>