

**Proposal for a Master 2 internship**

**Écoulements de fluides complexes en milieu poreux**

with Laurent Talon and Alberto Rosso,

Laboratoires FAST, LPTMS, Université Paris-Saclay, CNRS 91405 Orsay, France

Les écoulements de fluides complexes sont présents dans de nombreux procédés industriels. Parmi les nombreuses possibilités de déviation de la rhéologie newtonienne, nous nous intéressons ici au cas des fluides à seuil. Ce type de matériau nécessite une contrainte supérieure à une valeur seuil pour s'écouler. Si la contrainte est inférieure à ce seuil, le matériau se comporte comme un solide. Ce type de propriété se retrouve dans de nombreux fluides de la vie courante, notamment industriels. Dans le contexte des milieux poreux, on retrouve par exemple cette caractéristique dans les ciments injectés pour consolider les sols ou colmater les fractures dans les mousses utilisées pour dépolluer un sol ou contenir la propagation d'un polluant.

Une particularité des écoulements de fluides à seuil dans les milieux poreux est que la condition d'écoulement dépend fortement des hétérogénéités du milieu. En particulier, lorsqu'une différence de pression est imposée, les hétérogénéités structurales du milieu induisent une distribution inhomogène des contraintes. La conséquence est que certains chemins dans le milieu sont plus faciles à fluidifier que d'autres. L'écoulement est ainsi structuré en canaux préférentiels qui dépendent de la pression appliquée (voir figure 1).

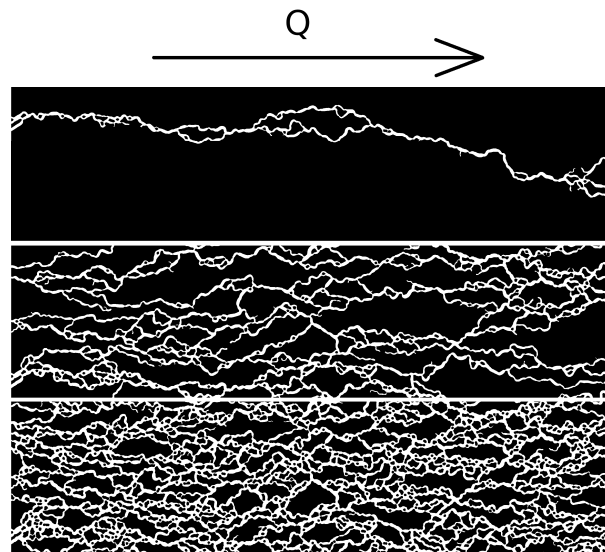


Figure 1: Résolution numérique des chemins d'écoulement (en blanc) d'un fluide à seuil dans un milieu poreux hétérogène pour différentes pressions appliquées. La pression appliquée augmente de haut en bas et l'écoulement se fait de gauche à droite. En haut : pour une pression appliquée proche de la valeur critique, très peu de chemins parviennent à s'écouler. Le reste du matériau est à l'état solide (noir). Lorsque la pression augmente, de plus en plus de régions deviennent fluides, jusqu'à ce que l'ensemble du matériau soit fluidisé.

**Sujet 1 : Étude de la classe d'universalité pour un écoulement monophasique**

Cette hiérarchie de chemins d'écoulement présente de nombreuses propriétés statistiques intéressantes, comme la présence d'une topologie fractale ou de comportements critiques. Une question fondamentale est donc de comprendre les mécanismes de sélection de ces chemins en fonction du type de désordre. Des études précédentes ont montré que pour certains types de désordre, l'écoulement présente des caractères

universels. Par exemple, la dimension fractale de l'écoulement ne dépend pas du type du désordre, tant que celui vérifie certaines propriétés (longueur de corrélation finie, variance finie, etc.) L'objectif de ce stage consiste à explorer différents types de désordre que l'on retrouve dans la nature mais qui ne satisfont pas ces propriétés. C'est le cas par exemple des fractures auto-affines, dont la distribution des ouvertures a une longueur de corrélation infinie, ou les réseaux de percolation fractals observés dans les milieux insaturés.

## Sujet 2 : Étude numérique des écoulements diphasiques de fluides complexes

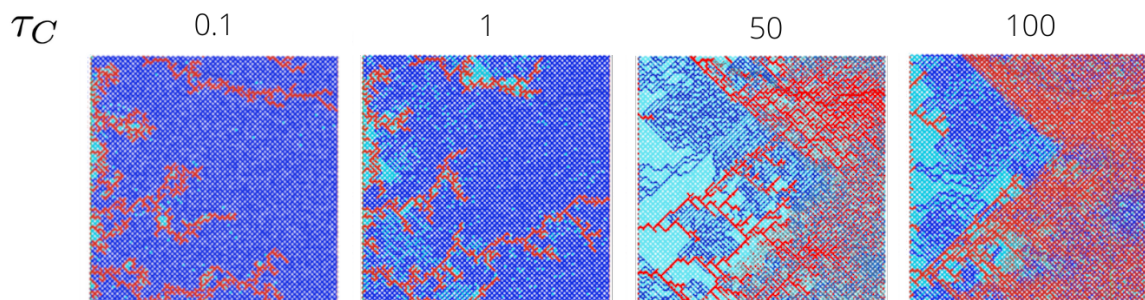


Figure 2: Exemple de simulation du déplacement d'un fluide à seuil (bleu) par un fluide newtonien (rouge). L'écoulement se fait de gauche à droite. La valeur du seuil  $\tau_c$  de contrainte est augmentée de gauche à droite. Le fluide à l'état solide est représenté en bleu clair, et à l'état fluide en bleu foncé. Cet exemple illustre la compétition entre la digitation visqueuse et le seuil de contrainte. Pour de faibles seuils de contraintes, le contraste de viscosité domine l'écoulement et conduit à une instabilité de type digitation visqueuse. D'autre part, lorsque la contrainte seuil augmente, on observe une structure arborescente qui provient de la rhéologie non-newtonienne.

Alors que l'écoulement monophasique d'un fluide à seuil à travers un milieu poreux a fait l'objet de nombreuses études, les investigations sur les écoulements diphasiques demeurent relativement rares, malgré leur grande importance dans de nombreuses applications telles que l'injection de ciment ou de mousse dans les sols ou la fracturation hydraulique pour la géothermie, entre autres.

Notre intérêt principal réside donc dans l'analyse des écoulements diphasiques impliquant des fluides complexes au sein de milieux poreux. Ce type d'écoulement présente une dynamique intrinsèquement riche et complexe en raison de la compétition entre divers mécanismes, notamment l'instabilité visqueuse, la présence d'un seuil de contrainte, ainsi que la tension capillaire (voir Figure 2).

L'objectif de ce stage de recherche est d'explorer en détail cette compétition entre ces différents mécanismes. Pour ce faire, nous utiliserons un modèle numérique basé sur un réseau de pores, où la structure poreuse est représentée comme un ensemble de nœuds interconnectés par des canaux.