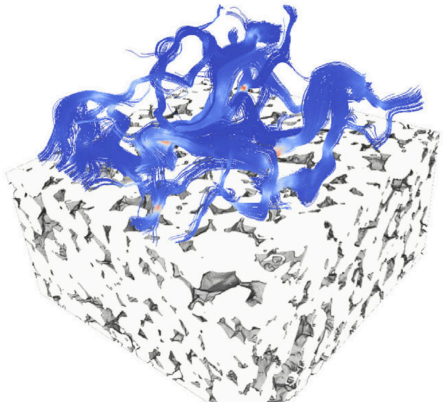
Sujet de stage de M2R

Ecoulement de polymères en milieux poreux : simulation numérique des effets viscoélastiques à l'échelle des pores et calcul de propriétés effectives à l'échelle de Darcy

Dans le contexte des méthodes de récupération améliorée pour les gisements pétroliers, l'injection d'eau avec polymères fait partie des méthodes les plus utilisées, permettant d'augmenter l'efficacité du balayage et donc la production d'huile sur différents types de réservoirs. Malgré de nombreuses études expérimentales et des efforts de modélisation continus depuis plusieurs décennies, la simulation des écoulements de polymères en milieux poreux repose sur des modèles dont la validité n'est pas toujours vérifiée. En particulier, une description auto-consistante des propriétés effectives *in situ*, i.e., porosité, perméabilité, viscosité et coefficients de dispersion, fait défaut dans les modèles existants. En général, ceux-ci sont basés sur une conceptualisation heuristique de l'écoulement à l'échelle de Darcy, ce qui permet difficilement de les relier à la physique à l'échelle du pore, de comprendre leurs limitations et de définir leurs domaines de validité.

L'hypothèse centrale de ce travail est qu'une meilleure compréhension des mécanismes de transport à l'échelle des pores (rhéologie, hétérogénéité des concentrations en polymères, effets multi-constituants, glissement aux parois, sorption etc..) permettra de développer un modèle plus précis, fiable et robuste en ingénierie. Pour ce faire, la stratégie imaginée consiste à développer des outils de CFD suffisamment performants pour pouvoir traiter des volumes de milieux poreux grands devant l'échelle des pores et permettre de comprendre les liens entre les différentes échelles du système.

On s'intéressera ici à l'impact de la **rhéologie des solutions de polymères** sur l'écoulement du fluide à l'échelle de Darcy. Notre objectif scientifique est d'étudier **les liens entre la perméabilité apparente du système et les effets viscoélastiques associés aux changements de conformation des chaînes de polymères et à leurs interactions avec la structure poreuse**. Dans le contexte pétrolier, de tels phénomènes peuvent amener à un rhéo-épaississement apparent de l'écoulement à l'échelle de Darcy, y compris pour des solutions dont le comportement en cisaillement est rhéo-fluidifiant. Des travaux récents suggèrent que cela pourrait être dû à des instabilités à l'échelle des pores et à des mécanismes de turbulence élastique qui se développent même à faible nombre de Reynolds.



Simulation d'un écoulement non-Newtonien dans un grès (lignes de courant avec couleur correspondant au taux de cisaillement)

Le but du stage est de développer des outils de simulation des effets viscoélastiques à l'échelle des pores. Dans un premier temps, nous proposons, en s'appuyant sur une étude bibliographique, d'établir un modèle d'écoulement construit sur les équations de conservation de la masse et de la quantité de mouvement, ainsi que sur une loi de comportement de type Finitely Extensible Nonlinear Elastic dumbbell (FENE). Dans un second temps, ce modèle sera implémenté dans le solveur CALIF3S en utilisant une approche volumes finis couplée à une méthode de frontières immergées pour représenter la phase solide. Le code sera validé par rapport à des solutions analytiques, différents cas tests et des résultats numériques issus de la littérature. Si l'avancement du projet le permet, on réalisera ensuite des simulations dans des géométries réalistes issues de méthodes d'imagerie (e.g. microtomographie à rayons X) et on étudiera les différents régimes d'écoulement.

Ce travail s'inscrit dans la continuité d'une thèse venant de s'achever et une poursuite en thèse CIFRE entre l'IMFT et TOTAL est également prévue pour ce projet.
Le stage est pour une durée de 6 mois et est rémunéré par TOTAL.

Profil du candidat :
Le candidat aura nécessairement une formation approfondie en physique et/ou mathématiques. Des connaissances en mécanique des fluides, modélisation des écoulements non-newtoniens, phénomènes de transport en milieux poreux/multiphasiques ou techniques de changement d'échelles sont également souhaitables.

Contacts / Encadrement :
Michel Quintard : DR CNRS, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, michel.quintard@imft.fr.
Yohan Davit : CR CNRS, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, yohan.davit@imft.fr.
Romain de Loubens : Ingénieur en Modélisation des Réservoirs, Total, Pau, romain.de-loubens@total.com.

Situation géographique :
Groupe d'Etude des Milieux Poreux, IMFT, Toulouse
Centre Scientifique et Technique Jean Féger, Total, Pau (1 semaine)

Université Fédérale Toulouse Midi-Pyrénées

IMFT INSTITUT DE MÉCANIQUE DES FLUIDES DE TOULOUSE

TOTAL

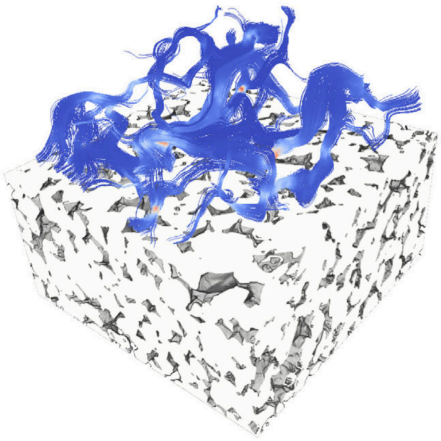
Funded master internship

Polymer flow through porous media: numerical simulation of viscoelastic effects and calculation of effective properties at Darcy's scale

In the context of Enhanced Oil Recovery (EOR) methods, the injection of water with polymer is considered as one of the most attractive strategies to improve the sweep efficiency and thus the oil production in various types of reservoirs. In spite of quite extensive experimental studies and modeling efforts throughout the last decades, the simulation of polymer flow through porous media still relies on partially heuristic models, whose experimental validity is not always verified. In particular, a self-consistent description of *in situ* effective properties, i.e., porosity, permeability, viscosity and dispersion coefficients of polymer solutions, is still lacking in existing models. In general, these models are derived from a heuristic conceptualization of transport phenomena at the Darcy-scale, an approach that does not allow for a clear connection with micro-scale processes, and that may restrict our understanding of their limitations and domains of validity.

The central hypothesis of this work is that a better understanding of transport mechanisms at pore-scale (rheology, concentration heterogeneities, multi-component effects, boundary slip, sorption etc…) will allow for developing more precise, reliable and robust models in engineering. To do so, our strategy is to develop high-performance CFD tools that will allow us to simulate large volumes of porous media and to understand the links between flow at the different scales of the system.

Here, we will focus on the impact of **the rheology of polymer solutions** on the flow at Darcy's scale. Our scientific objective is to study **the connections between the apparent permeability of the system and viscoelastic effects associated with changes in the conformation of polymer chains and their interactions with the porous structure**. In petroleum engineering, such phenomena may lead to an apparent thickening effect at Darcy's scale, even for solutions that are shear-thinning in a rheometer. Recent experimental and numerical works suggest that this may stem from instabilities at the pore scale and elastic turbulence effects that can develop even at low Reynolds numbers.



Simulation of non-Newtonian flow through a sandstone (streamlines with the color code representing shear rates).

The goal of the internship is to develop numerical tools to simulate the flow of viscoelastic fluids in porous media. As a first step, we will establish a flow model based on mass and momentum conservation equations and on a FENE-type constitutive law for viscoelasticity. As a second step, this model will be implemented in the library CALIF3S using finite volumes coupled with an immersed boundary method to represent the solid phase. The code will be validated against analytical solutions, test cases and numerical results from the literature. If time allows, we will finally perform simulations in realistic geometries obtained via imaging methods (e.g. X-ray microtomography) and we will study the different flow regimes.

This work is a continuation of an IMFT/TOTAL PhD thesis that has just finished and a follow up as a CIFRE PhD between IMFT and TOTAL is also planned for this project.
The internship is for 6 months and paid by TOTAL.

Requirements:
The candidate should have an education in physics and/or mathematics. The following qualities are desirable: experience in fluid mechanics, modeling non-Newtonian flow, transport phenomena in porous media/multiphase systems or upscaling techniques.

Contacts / Advisors:
Michel Quintard: DR CNRS, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, michel.quintard@imft.fr.
Yohan Davit: CR CNRS, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, yohan.davit@imft.fr.
Romain de Loubens: Ingénieur en Modélisation des Réservoirs, Total, Pau, romain.de-loubens@total.com.

Geographic location:
Groupe d'Etudes sur les Milieux Poreux, IMFT, Toulouse
Centre Scientifique et Technique Jean Féger, Total, Pau (1 week)