



**HAL**  
open science

## Evaluation des effets du couplage fluide/fluide en dépollution des sols

Maxime Cochenec, Hossein Davarzani, Yohan Davit, Stéfan Colombano,  
Ioannis Ignatiadis, Michel Quintard

► **To cite this version:**

Maxime Cochenec, Hossein Davarzani, Yohan Davit, Stéfan Colombano, Ioannis Ignatiadis, et al..  
Evaluation des effets du couplage fluide/fluide en dépollution des sols. 14èmes Journées d'Etude des  
Milieux Poreux - JEMP 2018, Oct 2018, Nantes, France. , 2018. hal-01832489

**HAL Id: hal-01832489**

**<https://brgm.hal.science/hal-01832489v1>**

Submitted on 7 Jul 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Evaluation des effets du couplage fluide/fluide en dépollution des sols

M. Cochenec<sup>a,b</sup>, H. Davarzani<sup>b</sup>, Y. Davit<sup>a</sup>, S. Colombano<sup>b</sup>, I. Ignatiadis<sup>b</sup>, M. Quintard<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, IMFT, Université de Toulouse, CNRS - Toulouse, France*

<sup>b</sup>*Bureau de Recherches Géologiques et Minières, BRGM - Orléans, France*

---

*Keywords:* Diphasique, Couplage visqueux, Prise de moyenne, Dépollution

---

## 1. Résumé

Les coûts de la dépollution d'un site contaminé peuvent être un frein à la réalisation de projets de reconversion. Dans ce contexte, ce travail a pour objectif principal de trouver une liaison entre les modélisations aux différentes échelles d'un site faisant l'objet d'une action de remédiation après pollution par des goudrons.

Plus particulièrement, le travail présenté a pour but d'améliorer notre compréhension des écoulements simultanés de deux phases fluides immiscibles dans un milieu poreux très perméable (plusieurs dizaines de darcy). Le modèle le plus largement utilisé actuellement est de type Darcy généralisé. L'extension de la loi de Darcy se fait en introduisant des perméabilités relatives de sorte à prendre en compte la gêne occasionnée par un fluide sur l'autre [1].

Un modèle macroscopique alternatif est obtenu à l'aide de la prise de moyenne volumique des équations de Stokes de deux fluides immiscibles  $\beta$  et  $\gamma$  [3]. Un terme de couplage apparaît dans l'équation de quantité de mouvement de chaque phase, il est noté  $\mathbf{K}_{\alpha\kappa}$  dans l'équation 2. Ce terme matérialise l'idée que deux fluides immiscibles s'écoulant côte à côte vont exercer l'un sur l'autre une contrainte visqueuse qui mène à un échange de quantité de mouvement à travers l'interface entre les deux fluides.

$$\epsilon \frac{\partial S_\alpha}{\partial t} + \nabla \cdot \langle \mathbf{v}_\alpha \rangle = 0 \quad (1)$$

$$\langle \mathbf{v}_\alpha \rangle = -\frac{\mathbf{K}_\alpha}{\mu_\alpha} \cdot (\nabla \langle p_\alpha \rangle^\alpha - \rho_\alpha \mathbf{g}) + \mathbf{K}_{\alpha\kappa} \cdot \langle \mathbf{v}_\kappa \rangle \quad \alpha, \kappa = \beta, \gamma \quad \alpha \neq \kappa \quad (2)$$

Bien que prédit par la prise de moyenne volumique, mais aussi par d'autres techniques d'homogénéisation et par la résolution analytique d'écoulements très simplifiés, ce modèle macroscopique est moins largement utilisé. Ceci s'explique en partie par le résultat de simulations numériques [5] et d'expériences sur des échantillons de milieux poreux [4] qui tendent à montrer que les termes de couplage peuvent être négligés.

Récemment, il a été établi que les termes de couplage sont nécessaires pour modéliser au mieux des écoulements dans des milieux très perméables (jusqu'à plusieurs milliers de darcy) pour des applications liées à l'utilisation de colonne à garnissage [2] ou encore à la sûreté nucléaire [6]. La diversité des conclusions quant au poids des termes de couplage peut s'expliquer par une dépendance du transfert de quantité de mouvement à l'étendue de l'interface entre les fluides. Ainsi un milieu peu perméable avec une variance importante de la taille des pores, par la création de chemin préférentiel, augmente la ségrégation des fluides et diminue l'étendue de l'interface jusqu'à rendre les termes de couplage négligeables.

L'intérêt du travail présenté est double. Premièrement, ce travail permettra d'enrichir la littérature existante, en particulier en ce qui concerne les résultats expérimentaux peu nombreux et qui varient grandement selon la perméabilité du milieu utilisé. A titre d'exemple la figure 1 représente la valeur des termes couplés issus d'expérimentations et d'une simulation numérique en fonction de la saturation. On y observe des résultats très différents, allant d'un couplage négligeable dans le cas d'expériences sur

un milieu dont la perméabilité est de quelques darcy [4], à un couplage important pour des géométries idéalisée maximisant l'interface fluide/fluide. Enfin, on cherche à obtenir un modèle à l'échelle de Darcy plus précis afin d'entreprendre un second changement d'échelle et enrichir les outils de modélisation actuellement utilisés par les bureaux d'études et les industriels du secteur de la dépollution.

Les outils utilisés et présentés sont multiples, de la prise de moyenne volumique aux expérimentations en passant par la simulation numérique directe.

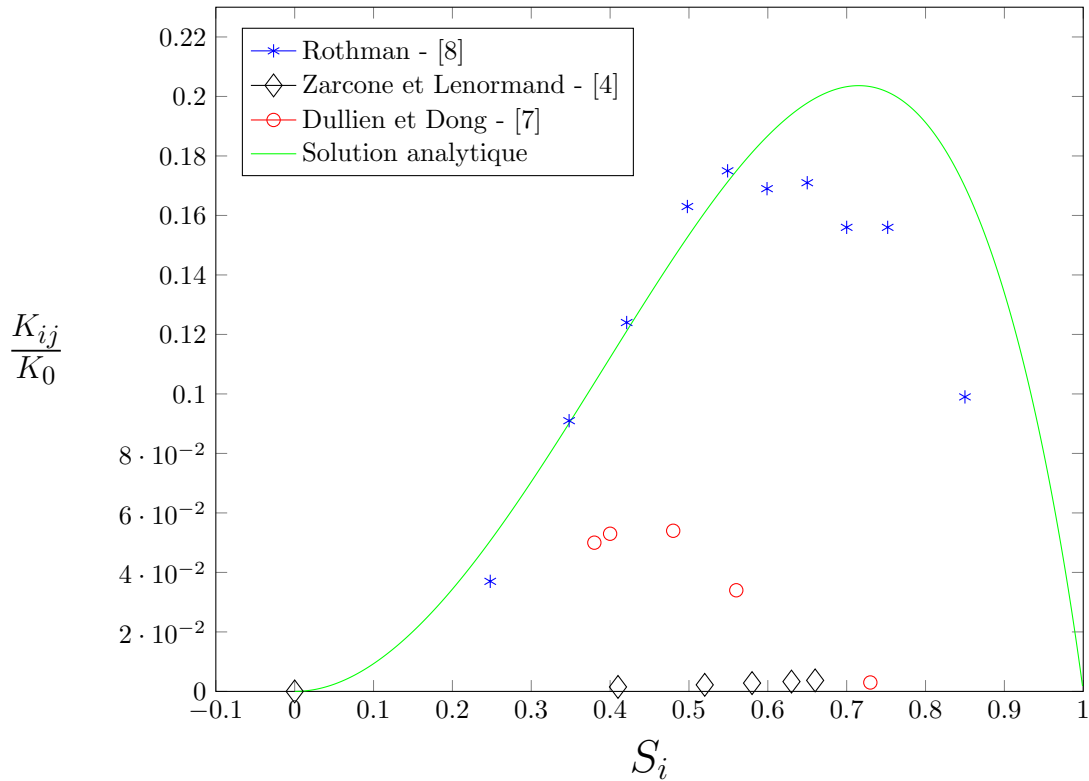


Figure 1: Comparaison des perméabilités relatives croisées issues d'expérimentations (marqueur noir et rouge), de simulation numérique (marqueur bleu) et de la solution analytique d'un modèle d'écoulement concentrique dans un tube capillaire (courbe verte)

## References

- [1] Muskat, M., *The flow of homogeneous fluids through porous media* (1946).
- [2] Pasquier, S., Quintard, M., Davit, Y., Modeling two-phase flow of immiscible fluids in porous media: Buckley-Leverett theory with explicit coupling terms, *Physical Review Fluids*, 2 (2017).
- [3] Whitaker, S., Flow in porous media II: the governing equations for immiscible two phase flow, *Transport in Porous Media*, 1 (1986).
- [4] Zarcone, C., Lenormand, R., Détermination expérimentale du couplage visqueux dans les écoulements diphasiques en milieu poreux, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 318 (1994).
- [5] Rakotomalala, N., Salin, D., Yortsos, Y., Viscous Coupling in a Model Porous Medium Geometry : Effect of Fluid Contact Area, *Applied Scientific Research*, 55 (1995).
- [6] Clavier, R., Chickhi, N., Fichot, F., Quintard, M., Modeling of inertial multi-phase flows through high permeability porous media: Friction closure laws, *International Journal of Multiphase Flow*, 91 (2017).
- [7] Dullien, F., Dong, M., Experimental determination of the flow transport coefficients in the coupled equations of two-phase flow in porous media, *Transport in Porous Media*, 25 (1996)
- [8] Rothman, D., Macroscopic laws for immiscible two-phase flow in porous media: Results from numerical experiments, *Journal of Geophysical Research*, 95 (1990)