HAL
open science

Etude expérimentale et numérique de pompages de liquides denses non aqueux (DNAPL) en conditions non-isothermes

Nicolas Philippe, Hossein Davarzani, Manuel Marcoux, Stéfan Colombano, A Triger, Py Klein

To cite this version:

Nicolas Philippe, Hossein Davarzani, Manuel Marcoux, Stéfan Colombano, A Triger, et al.. Etude expérimentale et numérique de pompages de liquides denses non aqueux (DNAPL) en conditions non-isothermes. 14ème Journée d'Etudes des Milieu Poreux - JEMP 2018, Oct 2018, Nantes, France. hal-01819983

HAL Id: hal-01819983

https://hal.science/hal-01819983

Submitted on 21 Jun 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.

Etude expérimentale et numérique de pompages de liquides denses non aqueux (DNAPL) en conditions non-isothermes

N. Philippe[a,b], H. Davarzani[b], M. Marcoux[c], S. Colombano[b], A. Triger[a], PY Klein[a]

[a]*REMEA, 22-24 rue Lavoisier, 92000 Nanterre*
[b]*BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), 3 avenue Claude Guillemin, 45100 Orléans*
[c]*Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT), Université de Toulouse, CNRS, 31400 Toulouse*

Mots-clefs : écoulement diphasique, non-isotherme, non-équilibre thermique local, dépollution des sols, DNAPL

1 Introduction

En dépollution des sols, la mise au point de techniques de récupération des liquides denses non aqueux (DNAPL) est encore une problématique ouverte en raison des taux de récupération encore très faibles. Parmi les techniques utilisées, l'ajout d'un élément chauffant afin d'augmenter la température du DNAPL est une méthode ayant montré son efficacité sur site réel [1]. Elle permet en effet d'augmenter la mobilité de celui-ci, et ainsi d'améliorer les taux de récupération par pompage.

Cependant, le lien entre mobilité et taux de récupération reste empirique pour le moment. L'objectif de cette étude est d'améliorer la compréhension physique de cette technique, représentée physiquement par un écoulement en milieu poreux diphasique de DNAPL et d'eau en conditions non-isothermes à l'échelle de Darcy. Pour cela, un dispositif expérimental et une modélisation numérique d'un pompage de DNAPL avec soutien thermique à l'échelle d'un bac 2D ont été développés. Un échantillon de DNAPL a été prélevé sur un site pilote afin de mesurer ses propriétés physico-chimiques et réaliser les expériences modèles. Cet échantillon a été identifié comme un mélange de composés chimiques dont principalement des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et sa viscosité dynamique est comprise entre 10 et 100 cP.

2 Dispositif et protocole expérimental

L'écoulement simultané de DNAPL et d'eau est mis en place dans un bac bidimensionnel (longueur 50 cm, hauteur 30 cm, largeur 7,8 cm) rempli de billes de verres homogènes de diamètre 1 mm. Ce dispositif expérimental est utilisé conjointement avec des pompes péristaltiques et une résistance chauffante afin de reproduire des pompages de DNAPL en conditions non-isothermes. Les champs de saturation obtenus au cours du pompage sont obtenus par photographies à différents instants puis numérisation pour obtenir la teneur en DNAPL via une relation entre densité optique et saturation. Cette relation a été validée via des sondes géophysiques et par réflectométrie temporelle (TDR). Ces réflectomètres servent également à mesurer les champs de températures au cours du temps.

Des essais de pompage avec soutien thermique ont été réalisés sur une lentille de 15 cm de DNAPL par un puits central et un élément chauffant en paroi du bac. Une couche d'eau de 15 cm est formée au-dessus de cette lentille afin de reproduire des conditions réelles de dépollution en zone saturée. L'influence du débit de pompage ainsi que l'influence de la température à la paroi de la résistance chauffante ont ainsi pu être déterminées en vue de vérifier l'efficacité du procédé et de l'optimiser dans cette configuration simple.

3 Modélisation mathématique et numérique

La généralisation des lois de Darcy aux écoulements diphasiques est considérée valide pour cette étude [2]. L'eau et le DNAPL occupant l'espace poral sont considérés être des liquides immiscibles. Les courbes capillaires ont été mesurées avec une cellule de type Tempe entre 10 °C et 60 °C. En vue de simuler numériquement cet écoulement, les écritures « pression-pression » et « *weighted formulation* » ont été utilisées afin de comparer les champs de saturation simulés à ceux obtenus par expériences [3].

D'après nos mesures de densité, viscosité dynamique, tension interfaciale eau/DNAPL, et angle de contact eau/DNAPL/verre réalisées entre 10 °C et 60 °, seule la viscosité dynamique des deux fluides évolue notablement en fonction de la température. Le couplage numérique entre écoulement et transferts de chaleur est ainsi réalisé à l'aide d'une relation quadratique entre viscosité dynamique et température. Les mécanismes de transferts de chaleur pris en compte dans cette étude sont la convection forcée et la conduction thermique. De plus, la validité de l'équilibre thermique local (LTE) a été vérifiée avec un modèle à deux températures : la première étant celle des phases fluides, la seconde celle de la matrice solide. Ainsi, un modèle 2D d'écoulement diphasique immiscible non-isotherme a été développé sous COMSOL Multiphysics®. Ce modèle permet de réaliser des simulations de pompage reproduisant nos expériences décrites précédemment.

4 Résultats et discussions

Les expériences de pompages en bac sont en cours de réalisation. Les paramètres utilisés pour le développement du modèle numérique sont issus de modèle disponibles dans la littérature. Les simulations sont actuellement réalisées via le modèle « *weighted formulation* », ainsi qu'un modèle parallèle pour obtenir la conductivité thermique équivalente [4]. De plus, un coefficient empirique d'échange thermique entre fluides et solide a également été pris en compte en pondérant les propriétés physiques des phases fluides par leur saturation effective [5].

Les premiers résultats des simulations ont montré que l'écart entre température fluide et solide peut atteindre jusqu'à 6 °C. (Figure 1a). De plus, les profils de température et de saturation en DNAPL ont été représentés au début (t = 0 min) et en fin (t = 30 min) de pompage sur l'axe x = 0.245m (Figure 1b). Ces résultats montrent que l'écart entre température fluide et solide est important autour du puits de pompage et que l'hypothèse d'équilibre local thermique n'est plus valide dans cette zone.

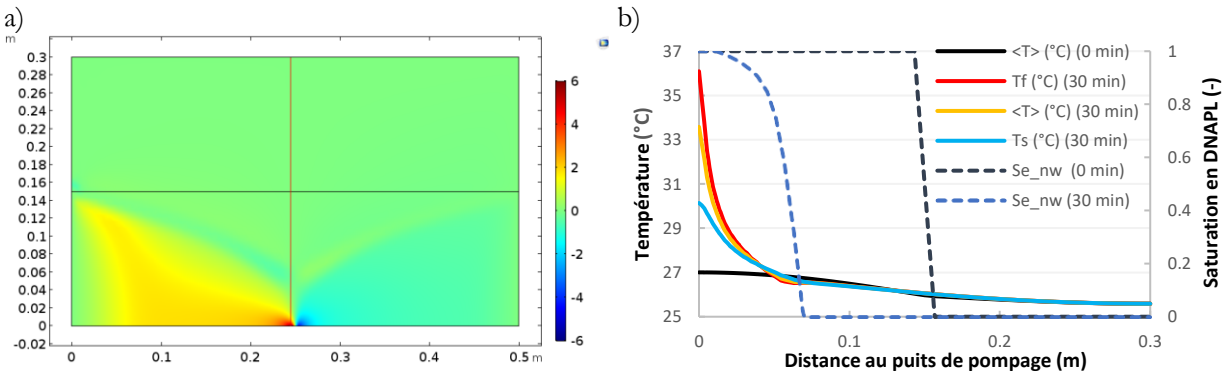

Figure 1 : a) Champ de différence de température entre solide et fluide en fin de pompage (30 min) ; b) Profils (x = 0.245 m) de températures (fluide Tf, solide Ts, et avec équilibre local thermique <T>) et de saturation en DNAPL en fonction de la distance au puits de pompage au début (0 min) et en fin de pompage (30 min).

Les résultats des simulations seront confrontés avec les champs de températures et de saturation mesurés au cours des expériences afin d'obtenir des coefficients expérimentaux pour un écoulement DNAPL/eau dans un milieu billes de verres et de pouvoir valider le développement du modèle numérique. A plus long terme, l'objectif est de réaliser les mêmes essais en bac sur une matrice solide historiquement contaminée, puis de développer un procédé de pompage de DNAPL avec soutien thermique sur site réel.

Références

[1] O'Carroll, Denis M., and Brent E. Sleep, Role of NAPL thermal properties in the effectiveness of hot water flooding, *Transport in porous media,* 79.3, 393-405, 2009.
[2] Muskat, M., & Meres, M. W., The flow of heterogeneous fluids through porous media, *Physics*, 7(9), 346-363, 1936.
[3] Chen, Z., Guanren H., and Yuanle M., *Computational methods for multiphase flows in porous media*, Vol. 2, Siam, 2006.
[4] Kaviany, M., Principles of heat transfer in porous media. Springer Science & Business Media, 2012.
[5] Wakao, N., and Seiichirō K., *Heat and mass transfer in packed beds,* Vol. 1, Taylor & Francis, 1982.