

Analyse de l'influence d'un réseau de fractures sur le transfert de chaleur lors d'un écoulement diphasique dans un milieu poreux.

Auteurs : Fayssal Benosman ; Chakib Seladji

Adresse des auteurs : 17 RTE Chetouane Sidi Said Tlemcen Algerie;

Email des auteurs : benosman_fayssal@yahoo.fr ; Seladji@yahoo.fr

Résumé : Les milieux poreux fracturés trouvent un domaine d'application très large, faisant intervenir des phénomènes complexes de transfert de masse et d'énergie. Nous entreprenons à travers ce travail de recherche, l'étude d'un écoulement diphasique (eau-air) ascendant vertical dans un canal complètement poreux contenant des fractures, dont l'objectif est d'observer l'influence des fractures sur les aspects dynamiques et thermiques. Cette situation pouvant être rencontrée dans l'industrie, notamment dans l'exploitation des gisements pétroliers et gaziers, ceci donc montre l'importance de la modélisation des fractures lors des écoulements en milieux poreux. Les résultats obtenus lors des simulations font apparaître l'influence des différentes configurations géométriques sur l'efficacité du drainage ainsi que leurs influences sur l'aspect thermique.

Mots clés :

Milieux poreux – écoulements diphasiques – Fractures – Simulation

1. LOI DE DARCY

La perméabilité géométrique, ou coefficient de filtration, caractérise l'aptitude du milieu poreux à laisser circuler un fluide à travers ses pores. Sur la base des observations expérimentales réalisées au moyen du dispositif représenté sur la figure 1.5, Darcy (1856) a pu montrer que le débit du fluide Q était proportionnel à la section droite A du milieu poreux, proportionnel à la différence des hauteurs piézométriques ($z_1 - z_2$) et inversement proportionnel à la longueur L . D'où la formule de Darcy (1856).

$$Q = \frac{K_H \cdot A}{L} (z_1 - z_2) \quad (1)$$

K_H , étant un coefficient de proportionnalité dépendant notamment du milieu poreux considéré, appelé conductivité hydraulique du milieu poreux. Cette loi a ensuite été généralisée et s'écrit actuellement sous la forme différentielle pour un écoulement s'effectuant en un milieu poreux homogène.

$$\vec{v} = \frac{K}{\mu} (\vec{\nabla}P - \rho \cdot \vec{g}) \quad (2)$$

μ : représente la viscosité du fluide. \vec{v} : vitesse de filtration (vitesse de Darcy). $\vec{\nabla}P$: Gradient de pression.

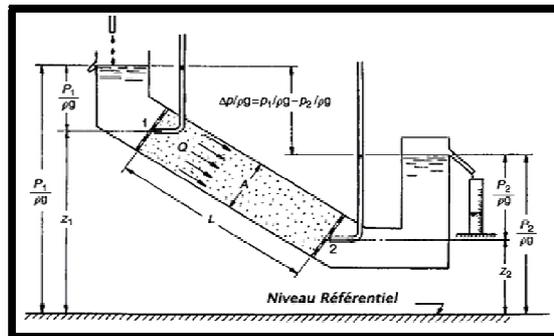


Figure 1. Schéma explicatif de l'expérience de Darcy [1]

2. EQUATION DE CONTNUITE

Dans notre cas nous avons un problème non stationnaire, ce qui implique un terme transitoire dans l'équation de Darcy. Selon Bear [2], l'équation gouvernant le mouvement d'un fluide dans un milieu poreux s'écrit sous la forme suivante.

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\vec{V}) = \rho f \quad (3)$$

3. EQUATION DE L'ENERGIE DANS UN MILIEUX POREUX

Pour traiter le problème thermique, on utilise l'équation de conservation de l'énergie appliquée dans un milieu poreux qui est la suivante [3],

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (\varepsilon S \rho_\ell E_\ell + \varepsilon \rho_g E_g (1 - S) + (1 - \varepsilon) \rho_s E_s) + \nabla \cdot ((\vec{V}_\ell \rho_\ell E_\ell + \vec{V}_g \rho_g E_g)) \\ = \nabla \cdot [k_{\text{eff}} \nabla T - (\sum_i h_i J_i) + (\vec{\tau} \cdot \vec{V})] + S_f^h \end{aligned} \quad (4)$$

Avec
$$k_{\text{eff}} = \varepsilon k_\ell S + k_g \varepsilon (1 - S) + (1 - \varepsilon) k_s \quad (5)$$

Les trois premiers termes de la partie droite de l'équation de l'énergie, représente les énergies transférées par conduction, diffusion, et dissipation visqueuse, respectivement.

4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Nous aurons recours au code de calcul « FLUENT » largement utilisé pour simuler différents types d'écoulement. Dans un premier lieu, nous allons étudier le comportement dynamique afin de comprendre le phénomène du drainage dans un milieu poreux. Ensuite dans un second lieu, nous allons étudier le comportement thermique en introduisant une source de chaleur sur l'une des parois du canal.

4.1. Comportement dynamique.

Dans cette partie, nous allons entamer la simulation en faisant une étude comparative dont le but est d'observer l'influence de la fracture sur l'écoulement. La figure 1. Représente les deux cas, à gauche sans fracture, à droite fracture simple.

Nous allons utiliser les dimensions suivantes :

Canal, X = 40 cm Y = 100 cm $\varepsilon = 0.3$ $k = 10^{-8} m^2$

Fracture, X = 2 cm Y = 100 cm $\varepsilon = 0.3$ $k = 10^{-16} m^2$

On choisi aussi une vitesse d'injection d'air $V = 10^{-4} m/s$

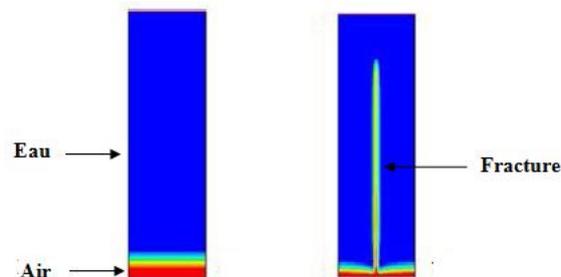


Figure 2 : Représentation du phénomène du drainage pour les deux cas.

Nous lançons les calculs en observant la quantité d'air en fonction du temps à une surface donnée, exemple (au centre de l'échantillon). Nous avons obtenu les résultats suivant pour les deux cas.

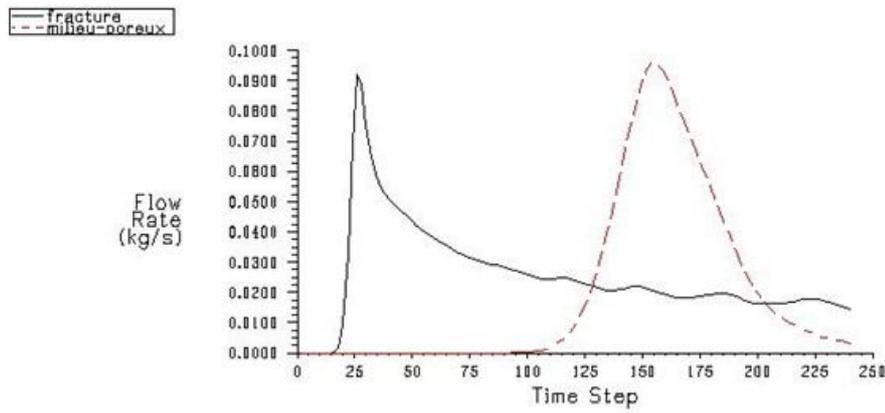


Figure 3 : Évolution du débit de l'air pour les deux cas

On observe clairement que dans le cas où il ya une fracture (plus perméable que la matrice poreuse) la récupération de l'air est nettement plus importante et commence à un temps avancé ($t = 15$ secondes) pour ensuite atteindre un débit massique égal à 0.093 kg/s . alors que dans le cas ou il n y a pas de fracture, la récupération du l'air ne commence qu'à un temps ($t= 90$ secondes) donc 6 fois supérieur au premier temps. (Voir figure 3).

Cette situation pouvant être rencontrée dans l'industrie, notamment dans l'exploitation des gisements pétroliers et gaziers ou on procède à une fracturation de la roche poreuse afin d'augmenter la récupération des hydrocarbures ceci donc montre l'importance de la prise en considération des fractures lors des études des écoulements en milieux poreux.

4.2 Conductivité thermique équivalente

Avant de passer à l'étude du comportement thermique, nous allons étudier la variation de la conductivité équivalente, en fonction de la variation de la saturation pour différentes porosités, lors du phénomène du drainage sans présence de fractures.

Dans le cas d'un écoulement de deux fluides dans un milieu poreux, nous avons trois phases (solide liquide et gaz) on choisi les mêmes paramètres précédemment utilisés, pour différentes valeurs de la porosité $\varepsilon = 0.4$ $\varepsilon = 0.3$ et $\varepsilon = 0.2$

$$K_g = 0.0242 \quad K_\ell = 0.6 \quad K_s = 1.4$$

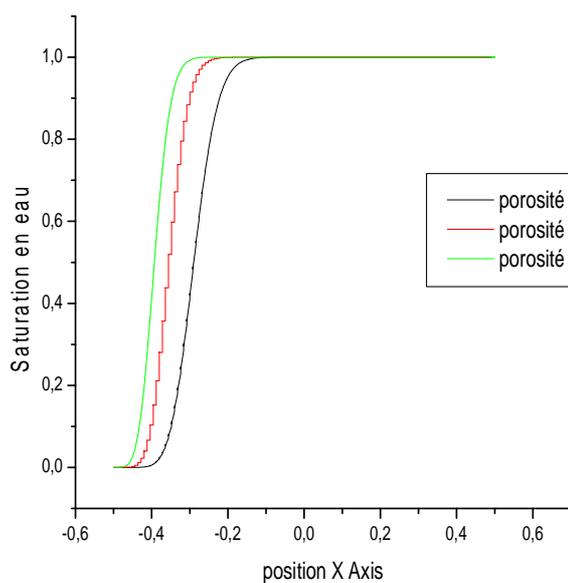


Figure 4 : profils de la saturation en eau Pour différentes porosités

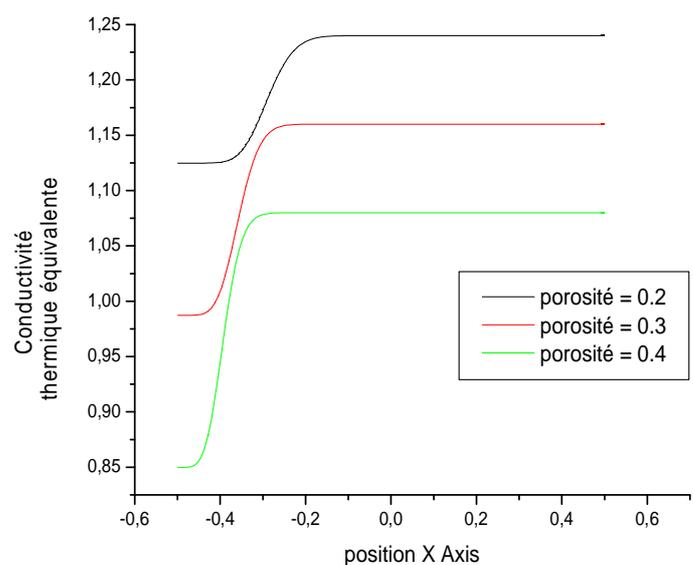


Figure 5 : profils de la conductivité thermique Pour différentes porosités

On observe que les graphes des deux figures sont reliés par l'équation (5) [4]. La porosité étant égale au rapport du volume des pores sur celui du volume total et Sachant que la conductivité thermique du solide est nettement supérieure à celle des liquides et des gaz, on constate que plus la porosité est faible plus le volume du solide est important ce qui implique une conductivité thermique plus importante. Ce qui est illustré par les deux figures ci-dessus.

Nous avons jugé que c'est un point très important avant d'entamer l'étude du comportement thermique afin de mieux comprendre le phénomène.

4.3 Comportement thermique.

Afin d'introduire l'aspect énergétique dans notre étude, nous allons faire une étude similaire à celle de M. Najjari et S. Ben Nasrallah [5], qui consiste à placer une source de chaleur sur l'une des parois. Dans notre cas, l'objectif de cette étude est de constater l'influence de la fracture sur le transfert de chaleur.

Nous avons choisi trois configurations différentes (voir la figure). La première est un canal vertical sans présence de fracture, la deuxième configuration la fracture est placé exactement au milieu du canal, et enfin la troisième configuration, la fracture est en contact directe avec la source de chaleur c'est-à-dire une fracture latérale.

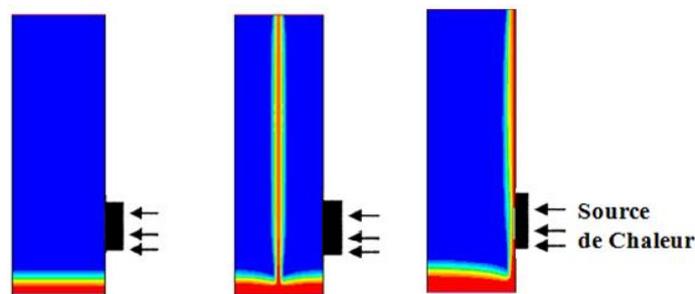


Figure 6. Représentation schématique des trois configurations

Nous avons choisi les paramètres suivants

- Liquides circulants : eau-air
- Matrice poreuse : porosité 0.3, perméabilité $k = 10^{-8}$ conductivité thermique $\lambda = 202.4 \text{ W/m-k}$
- Fracture : porosité 0.4, épaisseur 2 cm, perméabilité $k = 10^{-16} \text{ m}^2$
- Entree $T_0 = 20^\circ\text{C}$; $U_0 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- source de chaleur : $Q = 300 \text{ kW}$

Nous allons tirer les profils de températures pour chaque cas après un certain temps de calculs, exemple 5 minutes (voir figure)

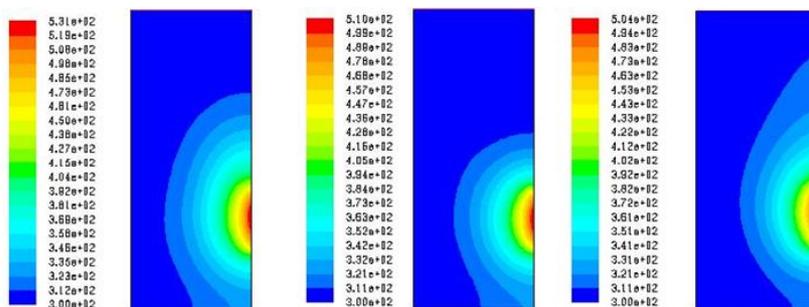


Figure 7. Représentations des champs thermiques pour les trois cas

Les figures obtenues représentent les isothermes suivant les deux directions x et y pour les trois cas. On observe bien que les profils de température sont différents, la température maximale dans le premier cas est nettement plus importante que dans le second et troisième cas (cas1 $T_{max} = 531 \text{ K}$, cas2 $T_{max} = 510 \text{ K}$, et cas3 $T_{max} = 504 \text{ K}$).

On peut interpréter ceci comme suit:

Nous avons la formule de la conductivité thermique équivalente d'un milieu poreux dans le cas d'un écoulement diphasique (Equation 5).

Sachant que l'air a une conductivité thermique inférieure à celle de l'eau et celle du constituant poreux, plus on a écoulement d'air, plus la valeur de la conductivité thermique équivalente se voit réduire, ce qui se traduit par un transfert de chaleur moins important et donc une température moins importante

Dans le premier cas, la résistance à l'écoulement est plus importante que dans les deux autres cas. Conséquence la phase liquide est omni présente, ce qui se traduit par une conductivité équivalente élevée, le transfert de chaleur est bon, d'où la valeur de température est plus importante.

Dans le second cas, la fracture est au centre de l'échantillon, la circulation de l'air est distante de la source de chaleur ; par contre dans le troisième cas, la circulation de l'air est en contacte directe avec la source de chaleur, (effet convective nettement plus important) ce qui se traduit par une température moins importante.

CONCLUSION

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié la problématique des écoulements en milieux poreux et fracturés. Afin d'estimer l'importance de la fracture, plusieurs simulations ont été exécutées.

En premier lieu, deux configurations ont fait l'objet d'analyse dynamique afin d'observer l'influence de la fracture sur l'écoulement, on voit clairement que dans le cas où il y a fracture l'écoulement est plus important.

D'un point de vue thermique, les situations analysées suggèrent la prédominance de la conduction dans les zones non fracturées. Par conséquent, le transfert de chaleur se voit réduit en présence de la fracture, ce qui explique des profils de température plus élevés

Enfin, nous pouvons estimer que la modélisation des fractures et leur prise en compte lors des études des écoulements en milieux poreux sont très importantes, notamment dans l'exploitation des gisements gaziers et pétroliers où le terme *Fracture*, naturel soit elle ou induite (causée), est omni présent.

Nomenclature

Symbole	Nom, unité		Symboles grecs
K	perméabilité m^2		ϵ : Porosité
k	conductivité thermique, $W/m.K$		ρ : Masse volumique Kg/m^3
T	température, K		Exposant, Indices
E	L'énergie totale J/Kg		g Gaz
\vec{v}	vitesse de Darcy m/s		ℓ Liquide
S	Saturation en liquide		s Solide
S_f^h	Terme source		eff Effective

Références

- [1] Darcy, H., (1856) les fontaines publiques de la ville de Dijon, Dalmont, paris.
- [2] Bear, J., (1972): Dynamics of fluids in porous media. Dover Publications. Inc. New York. p 764.
- [3] Wang and Beckermann., (1993) two-phase mixture model of liquid-gas flow and heat transfer in capillary porous media I-formulation. Int. J heat mass transfer vol 36, No .11 pp 2747-2758.
- [4] Kaviany, M., (1995), Principles of Heat Transfer in Porous Media, Springer, New York.
- [5] Najjari and Nasrallah., (2001) Étude numérique de l'ébullition en convection mixte dans une couche poreuse verticale Journal of Thermal Sciences 41

