

Chercher Recherche Avancée

 Compte du CEPD

[Accueil](#) ▶ [Tous les numéros](#) ▶ [Volume 75 \(2020\)](#) ▶ [Oil Gas Sci. Technol. - Rév. IFP Energies nouvelles, 75 \(2020\) 46](#) ▶ [Full HTML](#)

Modélisation et simulation avancées de l'écoulement dans les réservoirs souterrains avec fractures et puits pour une industrie durable

Accès libre

Problème	Oil Gas Sci. Technol. - Rév. IFP Energies nouvelles Volume 75, 2020 Modélisation et simulation avancées de l'écoulement dans les réservoirs souterrains avec fractures et puits pour une industrie durable
Numéro de l'article	46
Nombre de pages)	12
EST CE QUE JE	https://doi.org/10.2516/ogst/2020027
Publié en ligne	14 juillet 2020

Haut

Abstrait

1. Introduction
- 2 Modélisation et formulation
- 3 Solution analytique
- 4 Validation du modèle
- 5 Résultats et ...
6. Conclusion

Les références

Liste des figures

 Science et technologie du pétrole et du gaz - Rév. IFP Energies nouvelles **75** , 46 (2020)

Article régulier

Solutions analytiques de transport de polymères en milieu poreux sous effet magnétique

 Mohamed F. El-Amin ^{1, 2 *}
¹ Energy Research Laboratory, College of Engineering, Effat University, 21478 Djeddah, Royaume d'Arabie saoudite

² Département de mathématiques, Faculté des sciences, Université d'Assouan, 81528 Assouan, Égypte

 * Auteur correspondant: momousa@effatuniversity.edu.sa

Reçu: 31 janvier 2020

Accepté: 7 avril 2020

Abstrait

La solution analytique est utile pour comprendre le mécanisme et les impacts physiques et valider une méthode numérique à travers le problème du modèle. Cet article est consacré au développement de solutions analytiques pour le problème du transport magnétique des polymères dans les milieux poreux. Le modèle mathématique a d'abord été développé puis les solutions analytiques ont été obtenues. L'aimantation est traitée comme une fonction non linéaire de l'intensité du champ magnétique. Les effets des paramètres magnétiques / polymères / roches sur la concentration, la pression et la vitesse du polymère ont été étudiés. Il a été constaté que la magnétisation augmente la vitesse et la concentration; et a un effet significatif sur la concentration pour des perméabilités élevées. En outre, il a été constaté que pour les perméabilités élevées, l'advection domine, mais pour les perméabilités plus faibles, la diffusion domine.

© MF El-Amin, publié par IFP Energies nouvelles, 2020



Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la licence d'attribution Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui permet une utilisation, une distribution et une reproduction sans restriction sur tout support, à condition que l'œuvre originale soit correctement citée.

1. Introduction

Les polymères sont largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles, en particulier dans l'industrie chimique [1] en raison de leur large éventail de caractéristiques. Par exemple, l'inondation de polymère est considérée comme l'une des méthodes les plus efficaces de récupération améliorée du pétrole (EOR). Lorsqu'un polymère est injecté avec de l'eau dans un réservoir d'huile, les propriétés physiques des fluides et des roches peuvent être modifiées. Par exemple, l'injection de polymère réduit la mobilité de l'eau et améliore ainsi l'effet de balayage volumétrique et le déplacement local de l'inondation d'eau [2 -5]. De plus, les molécules de polymère dissoutes augmentent la viscosité de la saumure, ce qui à son tour augmente la saturation du front d'eau. De plus, en raison des grosses molécules de polymère, la

Page d'accueil

Table des matières

◀ Article précédent Article suivant ▶

ARTICLE

- Abstrait
- **HTML complet**
- PDF (991,7 Ko)
- ePUB (2,788 Mo)
- Les références

MÉTRIQUE

Afficher les statistiques de l'article

PRESTATIONS DE SERVICE

Mêmes auteurs

- Google Scholar
- Base de données EDP Sciences

Recommander cet article

Envoyer sur mon Kindle

Télécharger la citation

Alertez-moi si cet article est corrigé

Alertez-moi si cet article est cité

ARTICLES LIÉS

Analyse de stabilité théorique du modèle d'éléments finis mixtes d'écoulement de gaz de schiste avec effet géomécanique

Science et technologie du pétrole et du gaz - Rev. IFP Energies nouvelles 75, 33 (2020)

Étude du taux d'amortissement des ondes d'Alfvén à mélange de phase

A&A 632, A93 (2019)

Etude des effets des modèles thermiques sur le comportement des tests de puits géothermiques et pétroliers lors de l'injection d'eau et de vapeur

Science et technologie du pétrole et du gaz - Rev. IFP Energies nouvelles 75, 58 (2020)

Plus

BOOKMARKING



Services aux lecteurs

Alerte email

perméabilité peut également être réduite. Afin de permettre au rôle attendu du polymère de contrôler le rapport de mobilité, le polymère est toujours utilisé avec une autre méthode EOR telle que la méthode Polymer-Alternating Gas (PAG), l'inondation surfactant-polymère, l'inondation alcali-surfactant-polymère (ASP), etc. [6]. Dans l'inondation des polymères EOR, le polyacrylamide hydrolysé (HPAM) a été largement utilisé. Cependant, le contrôle de l'eau produite est l'une des difficultés courantes de l'utilisation du HPAM pour l'EOR. En effet, dans l'eau réinjectée, le HPAM résiduel peut augmenter la teneur en huile et la viscosité.

D'autre part, le champ magnétique peut être utilisé avec des polymères dans certaines applications telles que la mise en œuvre de nanoparticules magnétiques pour éliminer les polluants de l'eau produite sans produits chimiques [7-10]. Un autre exemple est l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique et des mesures pour surveiller le déplacement du pétrole par inondation d'eau et par injection de polymère [11]. En outre, Ming *et al.* [12] ont présenté une enquête par résonance magnétique pour l'inondation d'eau à faible salinité pour l'EOR. Une étude expérimentale a été présentée par Lyu *et al.* [13] pour étudier l'application de la RMN à la récupération spontanée par imbibition des grès serrés. Afin de déplacer un ferrofluide magnétique à travers des milieux poreux, un champ magnétique externe puissant peut être utilisé. Par exemple, une source électromagnétique peut être utilisée pour améliorer la récupération du pétrole par des ferrofluides magnétiques [14-18].

Un certain nombre de publications ont pu être trouvées sur l'utilisation du champ magnétique avec des polymères [19], cependant, il existe très peu de recherches sur la recherche de solutions analytiques du transport des polymères en milieu poreux sous l'effet du champ magnétique. Par exemple, Ford Versypt *et al.* [20] ont dérivé une solution analytique à un modèle de réaction-diffusion pour la dégradation autocatalytique et l'érosion dans les microsphères de polymère. De plus, Lyu *et al.* [21] ont introduit des solutions analytiques aux modèles de l'érosion superficielle et massive des polymères solides.

Dans le présent article, nous avons développé des solutions analytiques pour le modèle de transport de solution de polymère magnétique en milieu poreux sous l'effet d'un champ magnétique externe. Les sections restantes de cet article sont disposées comme suit: dans la section 2, nous développons un modèle mathématique composé d'un groupe d'équations différentielles, de contraintes algébriques et de conditions initiales / aux limites. Ensuite, dans la section 3, nous introduisons une solution analytique de l'équation gouvernante. Dans la section 4, une analyse de sensibilité et une discussion physique sont présentées. Enfin, la conclusion est tirée à la section 5.

2 Modélisation et formulation

Dans cette section, nous développons le modèle mathématique du problème d'un écoulement monophasé avec écoulement polymère-eau sous l'effet d'un champ magnétique externe (voir Fig. 1). La suspension de polymère acquiert des propriétés à la fois des particules solides liquides et magnétisées. Si la suspension de polymère est soumise à un champ magnétique externe, elle s'écoule vers le champ magnétique et la résistance à l'écoulement augmente. En l'absence de l'aimant, le polymère à proximité agit comme un liquide normal. Dans les sous-sections suivantes, les hypothèses du modèle sont énoncées, les modèles mathématiques du polymère, de l'écoulement, du champ magnétique, de la viscosité du polymère et des conditions initiales / aux limites sont présentés séquentiellement.

Fig. 1



L'aimant est placé sur le côté droit du noyau, avec une longueur de noyau, $h = 0,2$ m, et l'aimant est positionné à $x = 0,2$ m, $y = |x - 0,2|$ m.

2.1 Hypothèses

Les hypothèses suivantes sont valables pour le modèle mathématique. Le flux doit être obéi à la loi de Darcy et le processus est isotherme. La taille de polymère typique est plus petite que la taille de pore typique. Le fluide est compressible et la roche est compressible et anisotrope. La viscosité de la solution de polymère dépend de la concentration de polymère et du coefficient de salinité. Le mélange d'eau et de polymère est supposé être idéal (un mélange homogène de substances qui a des propriétés physiques linéairement liées aux propriétés des composants purs). On suppose également que le milieu est exempt de particules de polymère et qu'un aimant permanent est la source du champ magnétique, nous pouvons utiliser l'équation simple pour calculer directement l'intensité du champ magnétique. Cette hypothèse dissocie le calcul du champ magnétique externe de la distribution du polymère. À un endroit donné, le gradient de l'intensité du champ magnétique peut être calculé par une simple différenciation du premier ordre dans chacune des directions de coordonnées [22].

2.2 Modèle polymère

L'équation d'équilibre de la concentration en polymère est donnée par [23,24],

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\phi(1-f)c}{B} \right) + \frac{\partial ((1-\phi)(1-f)\rho_r c_{ad})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{BR_k} \left(uc - \phi D \frac{\partial c}{\partial x} \right) = 0, \quad (1)$$

tel que,

$$c_{ad} = c_{ad}(c) = c_{ad,max} \frac{dc}{1+dc}, \quad (2)$$

où c [$m^3 m^{-3}$] est la concentration en polymère. D [$m^2 s^{-1}$] est le coefficient de diffusion, ρ_r [$kg m^{-3}$] est la densité de phase solide, R_k [-] est le facteur de réduction de perméabilité et u [$m s^{-1}$] est la vitesse. c_{ad} [$m^3 m^{-3}$] est la concentration d'adsorption du polymère, $c_{ad,max}$ [$m^3 m^{-3}$] est la concentration maximale d'adsorption du polymère, d [-] est le coefficient d'adsorption. ϕ [-] est la porosité et f [-] est le facteur de volume des pores inaccessibles. B [$m^3 m^{-3}$] est le facteur de volume de la formation. Comme la quantité d c ne peut pas être

égale à -1, la fraction $\frac{dc}{1+dc}$ de l'équation (2) peut être développée comme suit:

$$\frac{dc}{1+dc} = 1 - \frac{1}{1+dc} \approx 1 - (1 - cd + (cd)^2 + \dots) \approx cd.$$

Les termes d'ordre supérieur sont ignorés car $d c \ll 1$. Le facteur de réduction de perméabilité est défini par,

$$R_k = 1 + (\text{RRF} - 1) \frac{C_{\text{ad}}}{C_{\text{ad,max}}}, \quad (3)$$

où RRF est le rapport entre la perméabilité avant et après l'injection de polymère; RRF signifie «Residual Resistance Factor». Pour chercher la simplification, nous considérons $\text{RRF} = 1$, c'est-à-dire $R_k = 1$, donc nous ignorons son effet sur l'équation de transport. Par conséquent, l'équation de transport de polymère (1) peut être réécrite sous la forme suivante,

$$R_\phi \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{d}{dx} \left(uc - \phi D \frac{\partial c}{\partial x} \right) = 0, \quad (4)$$

tel que,

$$R_\phi = (1 - f) \left[\phi + (1 - \phi) \rho_r dB_{\text{ad,max}} \right].$$

2.3 Modèle d'écoulement

La force magnétique externe agit comme une force corporelle de l'équation de conservation de l'impulsion, l'équation de Darcy 1D s'écrit,

$$u = -\frac{k}{\phi \mu_e} \left(\frac{dp}{dx} + F_{\text{mag},x} \right). \quad (5)$$

L'équation de continuité est,

$$\frac{du}{dx} = g(x), \quad (6)$$

où k [m^2] est la perméabilité et p [Pa] est la pression. μ_e [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$] est la viscosité effective. En l'absence de champ magnétique, $g(x) = 0$ [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]. Par conséquent, on obtient,

$$\frac{d}{dx} \left[-\frac{k}{\phi \mu_e} \left(\frac{dp}{dx} + F_{\text{mag},x} \right) \right] = g(x). \quad (7)$$

En outre, il est important de mentionner cela $G(x) = \int_0^x g(x) dx$ et $G(x)|_{x=0} = u_0$.

2.4 Modèle de champ magnétique

Des forces d'attraction peuvent être produites sur chaque particule de la suspension en raison de l'interaction entre les nanoparticules polarisées avec le champ magnétique externe. Ces forces magnétiques externes peuvent être représentées comme des forces corporelles sur la suspension par unité de volume [22], ainsi,

$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = -\nabla \left[\mu_0 \int_0^H v \left(\frac{\partial M}{\partial v} \right)_{H,T} dH \right] + \mu_0 M \nabla H, \quad (8)$$

où H [A m^{-1}] est la force du champ magnétique, M [A m^{-1}] est la magnétisation, et μ_0 [T m A^{-1}] est la perméabilité magnétique. v est le volume spécifique. L'équation (8) peut être réécrite comme suit:

$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = -\nabla \left[\mu_0 \int_0^H v \left(\frac{\partial M}{\partial \rho} \right)_{H,T} \frac{\partial \rho}{\partial v} dH \right] + \mu_0 M \nabla H. \quad (9)$$

Parce que $v = \frac{1}{\rho}$, alors, $\frac{\partial \rho}{\partial v} = -\frac{1}{v^2}$ l'équation ci-dessus peut être écrite comme suit:

$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = \nabla \left[\mu_0 \int_0^H \frac{1}{v} \left(\frac{\partial M}{\partial \rho} \right)_{H,T} dH \right] + \mu_0 M \nabla H. \quad (\text{dix})$$

Donc,

$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = \nabla \left[\mu_0 \int_0^H \rho \left(\frac{\partial M}{\partial \rho} \right)_{H,T} dH \right] + \mu_0 M \nabla H. \quad (11)$$

L'aimantation M est une fonction de H , approximée par [22],

$$M = a_1 \tan^{-1}(b_1 H). \quad (12)$$

La plage de a_1 [A m^{-1}] est d'ordre $10^2 - 10^5$, et l'ordre de b_1 [m A^{-1}] est d'ordre $10^{-7} - 10^{-3}$. Les deux paramètres a_1 et b_1 dépendent du type de matériau ferromagnétique. De plus, ils peuvent contrôler l'aimantation de saturation et la susceptibilité initiale. Afin de simplifier l'équation (11), faisons ce qui suit,

$$\left(\frac{\partial M}{\partial \rho} \right)_{H,T} = \left(\frac{\partial M}{\partial a_1} \right)_{b_1, H, T} \left(\frac{\partial a_1}{\partial \rho} \right) + \left(\frac{\partial M}{\partial b_1} \right)_{a_1, H, T} \left(\frac{\partial b_1}{\partial \rho} \right).$$

De l'équation (12), on obtient,

$$\left(\frac{\partial M}{\partial a_1}\right)_{b_1, H, T} = \tan^{-1}(b_1 H),$$

et,

$$\left(\frac{\partial M}{\partial b_1}\right)_{a_1, H, T} = a_1 \frac{H}{1 + b_1^2 H^2}.$$

On suppose que la densité du fluide magnétisé ρ est légèrement modifiée par rapport à la densité non magnétisée ρ_0 . Les dérivées partielles, $\frac{\partial a_1}{\partial \rho}$ et $\frac{\partial b_1}{\partial \rho}$

sont approximées autour des points de cas non magnétisé, c'est-à-dire $(a_{1,0}, b_{1,0}) = (0, 0)$, donc,

$$\frac{\partial a_1}{\partial \rho} \approx \frac{a_1 - a_{1,0}}{\rho - \rho_0} = \frac{a_1}{\rho - \rho_0},$$

$$\frac{\partial b_1}{\partial \rho} \approx \frac{b_1 - b_{1,0}}{\rho - \rho_0} = \frac{b_1}{\rho - \rho_0}.$$

Donc,

$$\left(\frac{\partial M}{\partial \rho}\right)_{H, T} = \tan^{-1}(b_1 H) \frac{a_1}{\rho - \rho_0} + a_1 \frac{H}{1 + b_1^2 H^2} \frac{b_1}{\rho - \rho_0} = \frac{1}{\rho - \rho_0} \left(M + \frac{a_1 b_1 H}{1 + b_1^2 H^2} \right).$$

Par conséquent, l'équation (11) peut être écrite comme suit:

$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = \nabla \left[\mu_0 \int_0^H \frac{\rho}{\rho - \rho_0} \left(M + \frac{a_1 b_1 H}{1 + b_1^2 H^2} \right) dH \right] + \mu_0 M \nabla H. \quad (13)$$

En supposant que la variation de densité est très faible, par conséquent, l'expression de la force magnétique peut être réécrite comme suit:

$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = \mu_0 \frac{\rho}{\rho - \rho_0} \nabla \left[\int_0^H \left(M + \frac{a_1 b_1 H}{1 + b_1^2 H^2} \right) dH \right] + \mu_0 M \nabla H. \quad (14)$$

Évaluer chaque terme intégral séparément,

$$\int M dH = \int a_1 \tan^{-1}(b_1 H) dH = H a_1 \tan^{-1}(b_1 H) - a_1 \log \frac{b_1^2 H^2 + 1}{2b_1} = MH - a_1 \log \frac{b_1^2 H^2 + 1}{2b_1},$$

et,

$$\int \frac{a_1 b_1 H}{1 + b_1^2 H^2} dH = a_1 \log \frac{b_1^2 H^2 + 1}{2b_1}.$$

Ensuite, additionnez les deux intégrales ci-dessus pour obtenir,

$$\int_0^H \left(M + \frac{a_1 b_1 H}{1 + b_1^2 H^2} \right) dH = MH.$$

Donc,

$$\mathbf{F}_{\text{mag}} = \mu_0 \frac{\rho}{\rho - \rho_0} \nabla (MH) + \mu_0 M \nabla H. \quad (15)$$

2.5 Viscosité du polymère

La viscosité de la solution de polymère μ_e [kg m⁻¹ s⁻¹] peut être calculée par un polynôme du troisième ordre comme décrit par l'équation de Flory-Huggins modifiée [25],

$$\mu_e(c) = \mu_w \left[1 + (A_1 c + A_2 c^2 + A_3 c^3) S_p \right], \quad (16)$$

où μ_w [kg m⁻¹ s⁻¹] est la viscosité de la phase aqueuse (eau), c [m³ m⁻³] est la concentration en polymère et S_p [-] est le coefficient de salinité. Les paramètres A_1 [-], A_2 [-] et A_3 [-] doivent être déterminés par des expériences.

2.6 Conditions initiales et aux limites

Les conditions initiales sont données comme suit:

$$c = 0 \quad \text{at} \quad t = 0, \quad 0 \leq x \leq h, \quad (17)$$

où h est la longueur. Les conditions aux limites sont,

$$\begin{aligned} u &= u_0, & c &= c_0, & \text{at} & t > 0, & x &= 0, \\ p &= p_h, & \frac{dc}{dx} &= 0 & \text{at} & t > 0, & x &= h, \end{aligned} \quad (18)$$

telle que c_0 [m³ m⁻³] est la concentration en polymère à l'entrée. Ainsi, la concentration constante spécifiée à la limite gauche est donnée.

Lorsque la source est située sur la frontière ($\frac{dc}{dx} = 0$) est quelque peu trompeuse, car la symétrie de la courbe gaussienne autour de son

centre permet à $\left(\frac{dc}{dx} = 0\right)$ d'être satisfaite même si la masse quitte le domaine réel. Les solutions analytiques qui satisfont la condition aux limites sans flux sont trouvées en utilisant le principe de superposition.

3 Solution analytique

Le composant 1D x de $\mathbf{F}_{\text{mag}[N]}$, l'équation (15), peut être écrit comme suit :

$$\mathbf{F}_{\text{mag},x} = \left[\mu_0 \frac{\rho}{\rho - \rho_0} \left(M + H \frac{\partial M}{\partial H} \right) + \mu_0 M \right] \frac{dH}{dx}, \quad (19)$$

ou,

$$\mathbf{F}_{\text{mag},x} = F(H) \frac{dH}{dx}, \quad (20)$$

tel que $F(H)$ est une fonction non linéaire de H [$A \text{ m}^{-1}$] définie comme,

$$F(H) = \mu_0 \frac{\rho}{\rho - \rho_0} \left(M + H \frac{\partial M}{\partial H} \right) + \mu_0 M.$$

$$\frac{\partial M}{\partial H}$$

Le terme $\frac{\partial M}{\partial H}$ représente la susceptibilité magnétique qui est la réponse magnétique de la substance au champ magnétique.

Maintenant, écrivons l'équation de la vitesse, l'équation (7), sous la forme 1D comme,

$$\frac{du}{dx} = \frac{d}{dx} \left[-\frac{k}{\phi \mu_e} \left(\frac{dp}{dx} + F(H) \frac{dH}{dx} \right) \right] = g(x). \quad (21)$$

En intégrant l'équation (21) sur x et en utilisant la condition aux limites ($u = u_0$ à $x = 0$), on obtient,

$$-\frac{k}{\phi \mu_e} \left(\frac{dp}{dx} + F(H) \frac{dH}{dx} \right) = G(x). \quad (22)$$

Donc,

$$\frac{dp}{dx} = -F(H) \frac{dH}{dx} - \frac{u_0 \phi \mu_e}{k}. \quad (23)$$

Puis intégrez à nouveau,

$$p = - \int F(H) dH - \frac{u_0 \phi}{k} \int \mu_e(c) dx + \text{const.} \quad (24)$$

Maintenant, calculons le premier terme,

$$\int F(H) dH = \mu_0 \frac{\rho}{\rho - \rho_0} \int \left(M + H \frac{\partial M}{\partial H} \right) dH + \mu_0 \int M dH. \quad (25)$$

C'est facile à trouver,

$$\int \left(M + H \frac{\partial M}{\partial H} \right) dH = MH,$$

et,

$$\int M dH = MH - \frac{a_1}{2b_1} \ln(b_1^2 H^2 + 1).$$

Donc,

$$\int F(H) dH = \mu_0 \frac{\rho}{\rho - \rho_0} MH + \mu_0 MH - \mu_0 \frac{a_1}{2b_1} \ln(b_1^2 H^2 + 1). \quad (26)$$

Afin d'estimer l'intégration $\int_0^x \mu_e(c) dx$ de manière simple, nous supposons que la concentration dans l'équation d'écoulement est principalement entraînée par l'advection et l'effet de diffusion est ignoré ainsi,

$$R_\phi \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = 0. \quad (27)$$

Ceci est une équation d'advection linéaire a la solution suivante,

$$c = c_i \left(x - \frac{u}{R_\phi} t \right), \quad (28)$$

avec la condition initiale c_i . En outre, nous approchons la viscosité,

$$\mu_e(c) = \mu_w (1 + A_1 S_p c). \quad (29)$$

Donc,

$$\int_0^x \mu_e(c) dx = \mu_w \left(x + A_1 S_p \int_0^x c dx \right), \quad (30)$$

tel que,

$$\int_0^x c dx = c_i \left(\frac{x^2}{2} - \frac{t}{R_\phi} \int_0^x u dx \right) = c_i \left(\frac{x^2}{2} - \frac{t}{R_\phi} x \right). \quad (31)$$

Enfin, on peut écrire,

$$\int_0^x \mu_e(c) dx = \mu_w \left(x + A_1 S_p c_i \left(\frac{x^2}{2} - \frac{t}{R_\phi} x \right) \right). \quad (32)$$

Mais dans le cas d'étude actuel, la concentration initiale du polymère est nulle, c'est-à-dire $c_i = 0$. Par conséquent,

$$\int_0^x \mu_e(c) dx = \mu_w x. \quad (33)$$

En substituant les termes ci-dessus dans les équations (26) et (33) dans l'équation (24), on obtient,

$$p = - \left[\mu_0 \left(\frac{\rho}{\rho - \rho_0} + 1 \right) MH - \mu_0 \frac{a_1}{2b_1} \ln(b_1^2 H^2 + 1) \right] - \frac{u_0 \phi}{k} \mu_w x + \text{const.}$$

Donc,

$$p = -\mu_0 \frac{2\rho - \rho_0}{\rho - \rho_0} MH + \mu_0 \frac{a_1}{2b_1} \ln(b_1^2 H^2 + 1) - \frac{u_0 \phi}{k} \mu_w x + \text{const.} \quad (34)$$

Afin de déterminer la constante d'intégration, nous utilisons la condition aux limites, $p = p_h$ à $x = h$. Donc,

$$\text{const.} = p_h + \mu_0 \frac{2\rho - \rho_0}{\rho - \rho_0} (MH)_{x=h} - \mu_0 \frac{a_1}{2b_1} \ln(b_1^2 H_{x=h}^2 + 1) + \frac{u_0 \phi}{k} \mu_w h.$$

Donc,

$$p = p_h + \mu_0 \frac{2\rho - \rho_0}{\rho - \rho_0} ((MH)_{x=h} - MH) + \mu_0 \frac{a_1}{2b_1} \ln \frac{b_1^2 H^2 + 1}{b_1^2 H_{x=h}^2 + 1} + \frac{u_0 \phi}{k} \mu_w (h - x). \quad (35)$$

Ici, nous calculons la dérivée de pression qui sera utilisée dans les calculs de vitesse. Nous avons utilisé l'équation (12) pour la définition de $M(H) = a_1 \tan^{-1} b_1 H$,

$$\frac{dp}{dx} = -\mu_0 \frac{2\rho - \rho_0}{\rho - \rho_0} \left(\frac{b_1 a_1 H}{b_1^2 H^2 + 1} + M \right) \frac{dH}{dx} + \frac{\mu_0 a_1 b_1 H}{b_1^2 H^2 + 1} \frac{dH}{dx} - \frac{u_0 \phi \mu_w}{k}. \quad (36)$$

La vitesse est calculée à l'aide des équations (21), (29) et (35) comme,

$$u = -\frac{k}{\phi \mu_w (1 + A_1 S_p c)} \left(-\mu_0 \frac{2\rho - \rho_0}{\rho - \rho_0} \left(\frac{b_1 a_1 H}{b_1^2 H^2 + 1} + M \right) \frac{dH}{dx} + \frac{\mu_0 a_1 b_1 H}{b_1^2 H^2 + 1} \frac{dH}{dx} - \frac{u_0 \phi \mu_w}{k} \right). \quad (37)$$

L'intensité du champ magnétique en 1D peut s'écrire comme suit [14],

$$H_x = \frac{B_r}{\pi \mu_0} \left(\tan^{-1} \frac{ab}{x(a^2 + b^2 + x^2)^{1/2}} - \tan^{-1} \frac{ab}{(x+L)(a^2 + b^2 + (x+L)^2)^{1/2}} \right), \quad (38)$$

où L [m] est la distance entre les pôles de l'aimant, et $B_r = 1,19$ [T] est la magnétisation résiduelle. Donc,

$$\frac{dH}{dx} = \frac{B_r}{\pi \mu_0} \left(\frac{-\frac{ab}{\sqrt{x^2+b^2+a^2}} - \frac{abx^2}{(x^2+b^2+a^2)^{3/2}}}{\frac{a^2 b^2}{(x^2+b^2+a^2)} + x^2} - \frac{-\frac{ab}{(x+L)\sqrt{(x+L)^2+b^2+a^2}} - \frac{ab}{((x+L)^2+b^2+a^2)^{3/2}}}{\frac{a^2 b^2}{(x+L)^2((x+L)^2+b^2+a^2)} + 1} \right).$$

Maintenant, nous présentons la solution de l'équation de concentration. En invoquant l'équation de continuité dans l'équation (4), nous trouvons,

$$R_\phi \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = \phi D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (39)$$

Utilisation des transformations de Laplace et similaire à la référence [26], la solution de l'équation ci-dessus a été obtenue comme suit:

$$c = c_i + \frac{c_0 - c_i}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{R_\phi x - ut}{2\sqrt{\phi D R_\phi t}} \right) + \exp \left(\frac{ux}{\phi D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{R_\phi x + ut}{2\sqrt{\phi D R_\phi t}} \right) \right],$$

(40)

tel que,

$$\operatorname{erfc}(z) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-z}^z e^{-y^2} dy$$

(41)

$$= 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-y^2} dy.$$

(42)

Là encore, comme la concentration initiale du polymère est nulle, c'est-à-dire $c_i = 0$, on a,

$$c = \frac{c_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{R_\phi x - ut}{2\sqrt{\phi DR_\phi t}} \right) + \exp \left(\frac{ux}{\phi D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{R_\phi x + ut}{2\sqrt{\phi DR_\phi t}} \right) \right].$$

(43)

A partir de la définition de la fonction d'erreur complémentaire $\operatorname{erfc}(y)$, on peut écrire,

$$c = \frac{c_0}{2} \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\left(\frac{R_\phi x - ut}{2\sqrt{\phi DR_\phi t}}\right)} e^{-y^2} dy + e^{-\frac{ux}{\phi D}} \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\left(\frac{R_\phi x + ut}{2\sqrt{\phi DR_\phi t}}\right)} e^{-y^2} dy \right) \right].$$

(44)

En cas d'absence d'advection, c'est-à-dire, la fonction ci-dessus sera réduite à la forme plus simple suivante,

$$c = c_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{\sqrt{R_\phi x}}{2\sqrt{\phi Dt}} \right),$$

(45)

ou,

$$c = c_0 \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\left(\frac{\sqrt{R_\phi x}}{2\sqrt{\phi Dt}}\right)} e^{-y^2} dy \right).$$

(46)

4 Validation du modèle

Afin de valider les solutions, elles doivent être comparées à une solution connue donnée. Cependant, comme il n'y a pas de solutions publiées pour le modèle actuel, nous pouvons comparer le modèle réduit de quelques cas simples.

4.1 Validation du modèle de flux

En cas d'absence de champ magnétique, l'équation de pression (35) se réduit à la forme linéaire,

$$p = p_h + \frac{u_0 \phi}{k} \mu_w (h - x),$$

(47)

qui est la solution de l'équation de pression d'origine,

$$\frac{d}{dx} \left[-\frac{k}{\phi \mu_w} \left(\frac{dp}{dx} \right) \right] = g(x),$$

(48)

qui est le couplage de l'équation de moment et de la loi de Darcy originale, c'est-à-dire

$$\frac{du}{dx} = g(x),$$

(49)

$$u = -\frac{k}{\phi \mu_w} \frac{dp}{dx}.$$

(50)

On peut facilement intégrer l'équation (48) pour obtenir la formulation de pression linéaire (47). De plus, la viscosité est traitée comme une constante.

4.2 Validation du modèle polymère

Semblable à la réduction du modèle de flux dans la sous-section précédente, nous faisons la même chose ici. Rappelons l'équation de concentration (39), pour un soluté simple et non un polymère ($R_\phi = \phi$, $u = \tilde{u}\phi$), il peut prendre la forme [26],

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \tilde{u} \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}.$$

(51)

C'est l'équation traditionnelle d'advection-diffusion avec la solution bien connue [26],

$$c = c_i + \frac{c_0 - c_i}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x - \tilde{u}t}{2\sqrt{Dt}} \right) + \exp \left(\frac{\tilde{u}x}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x + \tilde{u}t}{2\sqrt{Dt}} \right) \right].$$

Si la concentration initiale est nulle, c'est-à-dire $c_i = 0$, on a,

$$c = \frac{c_0}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{x - \widehat{u}t}{2\sqrt{Dt}} \right) + \exp \left(\frac{\widehat{u}x}{D} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{x + \widehat{u}t}{2\sqrt{Dt}} \right) \right], \quad (53)$$

ou si on substitue les fonctions d'erreur, obtient,

$$c = \frac{c_0}{2} \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\left(\frac{x-\widehat{u}t}{2\sqrt{Dt}}\right)} e^{-y^2} dy + e^{-\frac{\widehat{u}x}{D}} \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\left(\frac{x+\widehat{u}t}{2\sqrt{Dt}}\right)} e^{-y^2} dy \right) \right]. \quad (54)$$

Pour la diffusion pure ($\widehat{u} = 0$) cette formule se réduit à,

$$c = c_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right), \quad (55)$$

ou,

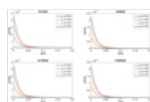
$$c = c_0 \left(1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)} e^{-y^2} dy \right). \quad (56)$$

Toutes les formules de concentration ci-dessus sont des solutions bien connues pour les équations de concentration peuvent être trouvées dans n'importe quel livre commun tel que [26].

5 Résultats et analyse de sensibilité

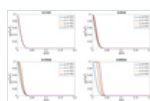
Dans cette section, nous présentons une analyse de sensibilité des paramètres du modèle pour étudier comment ils affectent les résultats. Afin de faire ce type d'analyse, les principales variables physiques dépendantes, p , u et c sont examinées par rapport aux paramètres physiques primaires, a_1 , b_1 , B_r , k , D , f et d . La figure 2 illustre les effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité sur les profils de vitesse le long de la longueur du noyau à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $k = 1, 5, 10, 50$ [md], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-7}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹]. L'unité «md» est une unité de perméabilité populaire appelée millidarcy telle que 1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]. On peut observer sur cette figure que lorsque l'aimantation augmente (en augmentant a_1) la vitesse augmente. En outre, il a un effet clair sur la vitesse de sorte que lorsque la perméabilité augmente, la vitesse augmente, ce qui obéit à la loi de Darcy. Les effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité sur les profils de concentration par rapport à la longueur du noyau dans les mêmes conditions ci-dessus sont représentés sur la figure 3. Ce chiffre indique que lorsque la magnétisation augmente, la concentration augmente. L'aimantation a un effet significatif sur la concentration pour une grande perméabilité, qui est diminuée pour de petites valeurs de perméabilité. En outre, la même figure montre la distribution de u et c contre la longueur du noyau, x [m]. La vitesse et la concentration sont plus petites à mesure qu'elles s'éloignent de la source de vitesse et de concentration. Afin de voir l'effet de a_1 sur les profils de pression, nous avons utilisé les mêmes paramètres ci-dessus sauf $b_1 = 3 \times 10^{-3}$. Sur la figure 4, les profils de pression par rapport à la longueur du noyau, x [m]. On peut voir sur cette figure que la perméabilité et la magnétisation réduisent la pression. Sur la figure 5, les effets du coefficient de diffusion D et de la perméabilité k sur les profils de concentration le long de la longueur du noyau sont présentés aux paramètres indiqués ci-dessus avec $u_{n1} = 3 \times 10^2$ [A m⁻¹]. Il est intéressant de noter que pour les perméabilités élevées, l'advection domine, et l'inverse est vrai pour les perméabilités plus faibles, l'effet de diffusion a lieu.

Fig. 2



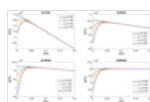
Effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité k sur les profils de vitesse le long de la longueur du noyau à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-5}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $f = 0,0$ [-], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ [-] et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

Fig. 3



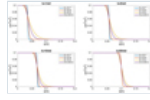
Effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité k sur les profils de concentration le long de la longueur du noyau à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-5}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $f = 0,0$ [-], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ [-] et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

Fig. 4



Effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité k sur les profils de pression le long de la longueur du noyau à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-3}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $f = 0,0$ [-], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ [-] et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

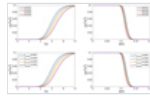
Fig. 5



Effets du coefficient de diffusion D et de la perméabilité k sur les profils de concentration le long de la longueur du cœur à $t = 25 [-]$, $B_r = 1,19 [T]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 3 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $b_1 = 3 \times 10^{-5} [m A^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\phi = 0,3 [-]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $f = 0,0 [-]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$, $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$, $d = 0,01$ et $c_{ad, max} = 0,001 [m^3 m^{-3}]$. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15} [m^2]$).

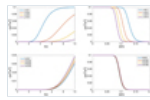
Afin d'étudier l'effet du paramètre universel R_ϕ sur la distribution de concentration, nous discutons de l'effet de ses paramètres primaires, à savoir, d , $c_{ad, max}$, f , ϕ , ρ_r et B . La figure 6 illustre les profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs des paramètres d'adsorption d et $c_{ad, max}$ à $k = 0,5 [md]$, $D = 1 \times 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$, $B_r = 1,19 [T]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 1 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $b_1 = 3 \times 10^{-5} [m A^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\phi = 0,3 [-]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $f = 0,0 [-]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$ et $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$. Il ressort clairement de cette figure que la concentration augmente avec le temps tandis que d et $c_{ad, max}$ réduisent la concentration de polymère. Ainsi, à mesure que la vitesse d'adsorption augmente, la concentration de polymère dans le fluide diminue, ce qui est naturel. Les effets de la porosité ϕ et du paramètre de volume de pore inaccessible f sur la concentration sont représentés en fonction du temps et de la distance sur la figure 7 à $k = 1 [md]$, $D = 1 \times 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$, $B_r = 1,19 [T]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 1 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $b_1 = 3 \times 10^{-5} [m A^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$, $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$, $d = 0,01 [-]$ et $c_{ad, max} = 0,001 [m^3 m^{-3}]$. A partir de cette figure, on peut observer que la porosité augmente, la concentration en polymère diminue. Le contraire est vrai pour l'effet du paramètre de volume poreux inaccessible. Les profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs des paramètres magnétiques B_r et b_1 sont présentés sur la figure 8. Il est clair que les deux paramètres magnétiques B_r et b_1 augmentent la concentration en polymère. Les profils de pression et de vitesse sont tracés en fonction de la distance sur la figure 9 pour différentes valeurs des paramètres magnétiques B_r et b_1 à $k = 10$, $D = 1 \times 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$, $\phi = 0,3 [-]$, $f = 0,0 [-]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 1 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$, $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$, $d = 0,01 [-]$ et $c_{ad, max} = 0,001 [m^3 m^{-3}]$. On peut voir sur cette figure que les deux paramètres B_r et b_1 augmentent la pression et la vitesse augmentent.

Fig. 6



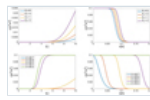
Profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs des paramètres d'adsorption d et $c_{ad, max}$ à $k = 0,5$, $D = 1 \times 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$, $B_r = 1,19 [T]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 1 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $b_1 = 3 \times 10^{-5} [m A^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\phi = 0,3 [-]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $f = 0,0 [-]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$ et $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15} [m^2]$).

Fig. 7



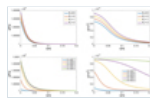
Profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs de porosité ϕ et le paramètre de volume poreux inaccessible f à $k = 1$, $D = 1 \times 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$, $B_r = 1,19 [T]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 1 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $b_1 = 3 \times 10^{-5} [m A^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$, $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$, $d = 0,01 [-]$ et $c_{ad, max} = 0,001 [m^3 m^{-3}]$. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15} [m^2]$)).

Fig. 8



Profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs des paramètres magnétiques B_r et b_1 à $k = 1$, $D = 1 \times 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$, $\phi = 0,3 [-]$, $f = 0,0 [-]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 1 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$, $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$, $d = 0,01 [-]$ et $c_{ad, max} = 0,001 [m^3 m^{-3}]$. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15} [m^2]$)).

Fig. 9



Profils de pression et de vitesse par rapport à la distance pour diverses valeurs des paramètres magnétiques B_r et b_1 à $k = 10$, $D = 1 \times 10^{-6} [m^2 s^{-1}]$, $\phi = 0,3 [-]$, $f = 0,0 [-]$, $a = b = 0,0254 [m]$, $L = 0,127 [m]$, $\mu_0 = 4 \times 10^{-7} [T m A^{-1}]$, $a_1 = 1 \times 10^2 [A m^{-1}]$, $\rho_0 = 1 \times 10^6 [Pa]$, $u_0 = 5 \times 10^{-5} [m s^{-1}]$, $\mu = 0,001 [kg m^{-1} s^{-1}]$, $c_0 = 0,1 [m^3 m^{-3}]$, $\rho_r = 2580 [kg m^{-3}]$, $B = 1,016 [m^3 m^{-3}]$, $d = 0,01 [-]$ et $c_{ad, max} = 0,001 [m^3 m^{-3}]$. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15} [m^2]$)).

6. Conclusion

Dans ce travail, nous avons développé un modèle pour décrire le transport de polymère magnétique dans des milieux poreux. La solution analytique a été obtenue. Une analyse de sensibilité des paramètres du modèle a été présentée. L'aimantation a un effet positif sur la concentration en polymère en particulier pour les milieux à haute perméabilité, et améliore l'écoulement. L'un des résultats intéressants est que pour les perméabilités élevées, l'advection domine, et pour les perméabilités plus faibles, l'effet de diffusion a lieu. Les paramètres

d'adsorption affectent négativement la distribution de concentration de la solution de polymère. De plus, on a trouvé que lorsque la porosité augmente, la concentration augmente, tandis que, et lorsque le paramètre de volume de pore inaccessible augmente, la concentration diminue.

Les références

- Amirian E., Dejam M., Chen Z. (2018) Prévisions de performance pour l'inondation de polymère dans les réservoirs de pétrole lourd, *Fuel* 216, 83-100. doi: [10.1016/j.fuel.2017.11.110](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.110) . [CrossRef] [Google Scholar]
- Littmann W. (1988) *Polymer flooding*, Elsevier, Amsterdam. https://openlibrary.org/books/OL2042456M/Polymer_flooding . [Google Scholar]
- Lake LW (1989) *Enhanced Oil Recovery*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ. <https://www.worldcat.org/title/enhanced-oil-recovery/oclc/18134781> . [Google Scholar]
- Sorbie KS (1991) *Récupération d'huile améliorée aux polymères*, Springer Science & Business Media, Berlin. <https://www.springer.com/gp/book/9780216926936> . [CrossRef] [Google Scholar]
- Liang S., Liu Y., Hu S., Shen A., Yu Q., Yan H., Bai M. (2019) Étude expérimentale sur les performances physiques et le comportement d'écoulement du polyacrylamide décoré pour la récupération assistée du pétrole, *Energies* 12, 3, 562. doi: [10.3390/en12030562](https://doi.org/10.3390/en12030562) . [Google Scholar]
- Li W., Dong Z., Sun J., Schechter DS (2014) Polymer-alternating-gas simulation: A case study, in: *SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia*, 31 mars-2 avril, Muscat, Oman. Société des ingénieurs pétroliers. doi: [10.2118/169734-MS](https://doi.org/10.2118/169734-MS) . [Google Scholar]
- Ko S., Lee H., Huh C. (2017) Élimination efficace du polymère de récupération améliorée d'huile de l'eau produite avec des nanoparticules magnétiques et régénération / réutilisation des particules usées, *SPE Prod. Oper.* 32, 3. doi: [10.2118/179576-PA](https://doi.org/10.2118/179576-PA) . [Google Scholar]
- Duan M., Ma Y., Fang S. (2014) Traitement des eaux usées produites par l'inondation de polymères à l'aide de polyéthylèneimine polyoxyalkylée, *Sep. Purif. Technol* 133, 160-167. doi: [10.1016/j.seppur.2014.06.058](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.06.058) . [Google Scholar]
- Liu Q., Xu Z., Finch JA (2002) Un nouveau procédé de revêtement de silice en deux étapes pour l'ingénierie de nanoparticules magnétiques, *Chem. Mater.* 10, 12, 3936-3940. doi: [10.1021/cm980370a](https://doi.org/10.1021/cm980370a) . [Google Scholar]
- Zhao D., Su C., Liu G., Zhu Y., Gu Z. (2019) Performance et autopsie de membranes de nanofiltration dans une usine de dessalement des eaux usées d'un champ pétrolier, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 3, 2681-2690. doi: [10.1007/s11356-018-3797-x](https://doi.org/10.1007/s11356-018-3797-x) . [CrossRef] [Google Scholar]
- Zhao G., Li J., Gu C., Li L., Sun Y., Dai C. (2018) Polymère / tensioactif renforcé par un gel de particules dispersées en tant que nouveau système d'inondation combiné pour la récupération assistée du pétrole, *Energy Fuels* 32, 11, 11317-11327. doi: [10.1021/acs.energyfuels.8b02720](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.8b02720) . [Google Scholar]
- Ming L., Vashae S., Romero-Zeron L., Marica F., Balcom BJ (2017) Une étude par résonance magnétique de l'inondation d'eau à faible salinité pour la récupération améliorée du pétrole, *Energy Fuels* 31, 10, 10802-10811. doi: [10.1021/acs.energyfuels.7b02166](https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b02166) . [Google Scholar]
- Lyu C., Wang Q., Ning Z., Chen M., Li M., Chen Z., Xia Y. (2018) Enquête sur l'application de la RMN à la récupération spontanée par imbibition des grès serrés: une étude expérimentale, *Energies* 11, 9, 2359. doi: [10.3390/en11092359](https://doi.org/10.3390/en11092359) . [Google Scholar]
- Oldenburg CM, Borglin SE, Moridis GJ (2000) Simulation numérique de l'écoulement de ferrofluide pour les applications d'ingénierie environnementale souterraine, *Trans. Porous Med.* 38, 319. doi: [10.1023/A:1006611702281](https://doi.org/10.1023/A:1006611702281) . [CrossRef] [Google Scholar]
- El-Amin MF, Khalid U., Beroual A. (2018) Effet de champ magnétique sur un écoulement de fluide ferromagnétique et transfert de chaleur dans une cavité poreuse, *Energies* 11, 11, 3235. doi: [10.3390/en11113235](https://doi.org/10.3390/en11113235) . [Google Scholar]
- El-Amin MF, Brahimi T. (2017) Modélisation numérique du transport de nanoparticules magnétiques dans un écoulement biphasé en milieu poreux, in: *SPE-185973-MS, SPE Reservoir Characterization and Simulation Conference*, 8-10 mai, Abu Dhabi, ÉMIRATS ARABES UNIS. doi: [10.2118/185973-MS](https://doi.org/10.2118/185973-MS) . [Google Scholar]
- El-Amin MF, Saad AM, Sun S., Salama A. (2017) Simulation numérique de l'injection de nanoparticules magnétiques dans un écoulement diphasique en milieu poreux, *Procedia Comp. Sci.* 2017, 2260-2264. doi: [10.1016/j.procs.2017.05.010](https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.010) . [CrossRef] [Google Scholar]
- El-Amin MF, Saad AM, Salama A., Sun S. (2017) Modélisation et analyse de l'injection de nanoparticules magnétiques dans un écoulement biphasique eau-huile en milieu poreux sous effet de champ magnétique, *Geofluids* 2017, 12. ID 3602593. doi: [10.1155/2017/3602593](https://doi.org/10.1155/2017/3602593) . [Google Scholar]
- Kamachi M. (2002) Polymères magnétiques, *J. Macromol. Sci. Partie C: Polym. Rev.* 42, 4, 541-561. doi: [10.1081/MC-120015990](https://doi.org/10.1081/MC-120015990) . [CrossRef] [Google Scholar]
- Ford Versypt AN, Arendt PD, Pack DW, Braatz RD (2015) Dérivation d'une solution analytique à un modèle de réaction-diffusion pour la dégradation autocatalytique et l'érosion dans les microsphères de polymère, *PLoS One* 10, 8, e0135506. doi: [10.1371/journal.pone.0135506](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135506) . [CrossRef] [PubMed] [Google Scholar]
- Lyu S., Sparer R., Untereker D. (2005) Solutions analytiques aux modèles mathématiques de la surface et de l'érosion en masse des polymères solides, *J Polym. Sci. Partie B: Polym. Phys.* 43, 4, 383-397. doi: [10.1002/polb.20340](https://doi.org/10.1002/polb.20340) . [CrossRef] [Google Scholar]
- Rosensweig RE (1985) *Ferrohydrodynamique*, Cambridge University Press, Cambridge. https://www.worldcat.org/title/ferrohydrodynamics/oclc/807640422&referer=brief_results . [Google Scholar]
- Xin X., Yu G., Chen Z., Wu K., Dong X., Zhu Z. (2018) Effet de la dégradation du polymère sur l'inondation du polymère dans des réservoirs hétérogènes, *Polymères* 10, 8, 857. doi: [10.3390/polym10080857](https://doi.org/10.3390/polym10080857) . [Google Scholar]
- Bao K., Lie KA, Moyner O., Liu M. (2017) Simulation entièrement implicite de l'inondation de polymère avec MRST, *Comput Geosci* 21, 1219. doi: [10.1007/s10596-017-9624-5](https://doi.org/10.1007/s10596-017-9624-5) . [Google Scholar]
- Flory PJ (1953) *Principes de chimie des polymères*, Cornell University Press, Ithaca, NY. <https://www.worldcat.org/title/principles-of-polymer-chemistry/oclc/542497> . [Google Scholar]
- Lapidus L., Amundson NR (1952) Mathématiques de l'adsorption dans les lits. VI. Les effets de la diffusion longitudinale dans les colonnes d'échange d'ions et de chromatographie, *J. Phys. Chem.* 56, 984-988. doi: [10.1021/j150500a014](https://doi.org/10.1021/j150500a014) . [Google Scholar]

Tous les chiffres

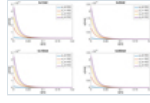


Fig. 1

L'aimant est placé sur le côté droit du noyau, avec une longueur de noyau, $h = 0,2$ m, et l'aimant est positionné à $x = 0,2$ m, $y = |x - 0,2|$ m.

[Dans le texte](#)

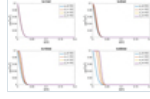
Fig. 2



Effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité k sur les profils de vitesse le long de la longueur du noyau à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-5}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $f = 0,0$ [-], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ [-] et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

[Dans le texte](#)

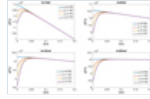
Fig. 3



Effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité k sur les profils de concentration le long de la longueur du noyau à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-5}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $f = 0,0$, $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ [-] et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

[Dans le texte](#)

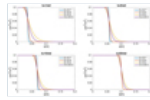
Fig. 4



Effets du paramètre magnétique a_1 et de la perméabilité k sur les profils de pression le long de la longueur du noyau à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-5}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $f = 0,0$ [-], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ [-] et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

[Dans le texte](#)

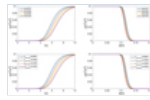
Fig. 5



Effets du coefficient de diffusion D et de la perméabilité k sur les profils de concentration le long de la longueur du cœur à $t = 25$ [-], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $a_1 = 3 \times 10^2$ [A m⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-5}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $f = 0,0$ [-], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

[Dans le texte](#)

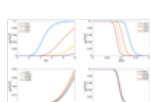
Fig. 6



Profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs des paramètres d'adsorption d et $c_{ad, \max}$ à $k = 0,5$, $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $a_1 = 1 \times 10^2$ [A m⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-7}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $f = 0,0$ [-], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³] et $B = 1,016$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

[Dans le texte](#)

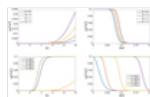
Fig. 7



Profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs de porosité ϕ et le paramètre de volume poreux inaccessible f à $k = 1$, $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $B_r = 1,19$ [T], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $a_1 = 1 \times 10^2$ [A m⁻¹], $b_1 = 3 \times 10^{-5}$ [m A⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\mu = 0,001$ [kg m⁻¹ s⁻¹], $c_0 = 0,1$ [m³ m⁻³], $\rho_r = 2580$ [kg m⁻³], $B = 1,016$ [m³ m⁻³], $d = 0,01$ [-] et $c_{ad, \max} = 0,001$ [m³ m⁻³]. (1 [md] = $0,9869 \times 10^{-15}$ [m²]).

[Dans le texte](#)

Fig. 8

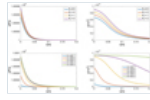


Profils de concentration en temps et en distance pour différentes valeurs des paramètres magnétiques B_r et b_1 à $k = 1$, $D = 1 \times 10^{-6}$ [m² s⁻¹], $\phi = 0,3$ [-], $f = 0,0$ [-], $a = b = 0,0254$ [m], $L = 0,127$ [m], $\mu_0 = 4 \times 10^{-7}$ [T m A⁻¹], $a_1 = 1 \times 10^2$ [A m⁻¹], $\rho_0 = 1 \times 10^6$ [Pa], $u_0 = 5 \times 10^{-5}$ [m s⁻¹], $\mu =$

$0,001 \text{ [kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}], c_0 = 0,1 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-3}], \rho_r = 2580 \text{ [kg m}^{-3}], B = 1,016 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-3}], d = 0,01 \text{ [-]}$
et $c_{ad, \max} = 0,001 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-3}]. (1 \text{ [md]} = 0,9869 \times 10^{-15} \text{ [m}^2 \text{]}).$

[Dans le texte](#)

Fig. 9



Profils de pression et de vitesse par rapport à la distance pour diverses valeurs des paramètres magnétiques B_r et b_1 à $k = 10, D = 1 \times 10^{-6} \text{ [m}^2 \text{ s}^{-1}], \phi = 0,3 \text{ [-], } f = 0,0 \text{ [-], } a = b = 0,0254 \text{ [m], } L = 0,127 \text{ [m], } \mu_0 = 4 \times 10^{-7} \text{ [T m A}^{-1}], a_1 = 1 \times 10^2 \text{ [A m}^{-1}], \rho_0 = 1 \times 10^6 \text{ [Pa], } u_0 = 5 \times 10^{-5} \text{ [m s}^{-1}], \mu = 0,001 \text{ [kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}], c_0 = 0,1 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-3}], \rho_r = 2580 \text{ [kg m}^{-3}], B = 1,016 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-3}], d = 0,01 \text{ [-]} et $c_{ad, \max} = 0,001 \text{ [m}^3 \text{ m}^{-3}]. (1 \text{ [md]} = 0,9869 \times 10^{-15} \text{ [m}^2 \text{]}).$$

[Dans le texte](#)

[Contacts](#)

[Politique de confidentialité](#)