

Proposition d'un sujet de thèse (2021-2024)

Modélisation de la propagation dynamique d'une fracture en milieu poreux avec l'approche de champ de phase : couplage hydromécanique-transport réactif

Présentation de l'équipe d'accueil

Unité de recherche : Institut Terre et Environnement de Strasbourg (ITES) (UMR7063)
Discipline(s) : Sciences de la Terre et Environnement
Intitulé de l'équipe d'accueil : TRansferts dans les HYdrosystèmes COntinentaux – TrHyCo
Cotutelle : Université de Strasbourg et Université KAUST (<https://www.kaust.edu.sa>)
Nom du directeur de la thèse : Anis Younes
Co-directeur: Hussein Hoteit - King Abdullah Univ. of Science and Technology (KAUST)
Co-encadrant: Haibing Shao: The Helmholtz-Centre for Environmental Research (Leipzig university, Germany)

Sujet de thèse

La fracturation hydraulique est une technique importante pour améliorer la performance d'un réservoir géothermique ainsi que pour l'extraction du pétrole et du gaz naturel. Les fractures créées par un fluide sous pression forment des canaux artificiels, qui relient les puits de forage aux ressources attendues dans la matrice rocheuse. Cette technique permet d'énormes avantages économiques en raison de sa faisabilité et efficacité. Cependant, la fracturation hydraulique peut créer parfois de nombreuses fractures supplémentaires, qui peuvent faciliter l'infiltration du fluide de fracturation ou du gaz dans les aquifères. L'exemple de l'eau du robinet qui prend feu à cause d'infiltration de méthane a fait le tour du monde (Fig.2). Les eaux souterraines ne sont pas seules exposées à la pollution liée à la fracturation hydraulique, cette pollution peut aussi atteindre les réseaux d'eau urbains. Le stockage du CO₂ peut aussi entraîner la fracturation des roches hôtes. La propagation des fractures dans les milieux poreux est actuellement un sujet intéressant dans les domaines de la mécanique, de l'énergie et de l'environnement. Dans ces applications, la modélisation de la propagation des fractures est un outil incontournable pour des meilleures pratiques de fracturation hydraulique.

Le développement de modèles numériques permettant la prise en compte de la propagation des fractures dans les milieux poreux est l'un de challenge actuel de la communauté scientifique. Cela nécessite des modèles mathématiques précis et des outils de simulation numérique appropriés qui peuvent décrire et prédire les comportements complexes des réseaux de fracture dans des milieux poreux. Les recherches dans ce domaine visent à proposer des nouveaux modèles permettant d'améliorer les compromis entre temps de calcul, fiabilité et représentativité. La propagation des fractures en milieux poreux est un processus de couplage hydromécanique. La théorie de Biot est souvent utilisée pour le couplage entre l'écoulement et les processus de déformation mécanique. L'écoulement dans le milieu poreux est généralement modélisé avec la loi de Darcy. Deux approches sont utilisées dans ce contexte :

L'approche discrète consiste à considérer explicitement le réseau de fractures et à introduire des discontinuités dans le champ de déplacement. Pour l'étude de la propagation de la fracture, l'approche discrète nécessite une technique de remaillage, permettant de suivre l'évolution de la fracture. La procédure de remaillage implique des temps de calcul très importants. Dans certains cas, le chemin de fracturation peut être dépendant du maillage.

L'approche du champ de phase consiste à représenter les phases fracture et roche par deux variables indépendantes. La diffusion de l'interface entre ces deux variables permet de simuler la propagation de la fracture. Cette approche est indépendante du maillage.

L'approche discrète est largement utilisée dans la littérature car elle est basée sur des modèles mathématiques bien connus. Un modèle numérique avancé, basé sur cette approche et utilisant le couplage de la méthode XFEM (extended finite element method) avec la méthode des éléments finis mixte (EFM) a été développée dans un projet de collaboration entre ITES, KAUST et l'université de Wuhan en Chine. Cependant, cette approche nécessite des temps de calcul prohibitifs ce qui limite son application à des grandes échelles. L'approche du champ de phase suscite actuellement un intérêt croissant. Cette approche nécessite encore des travaux de recherche sur sa formulation mathématique ainsi que sa solution numérique afin d'améliorer son applicabilité dans les milieux naturels avec prise en compte de l'hétérogénéités et de différents processus multi-physique.

Dans ce contexte, l'objectif de cette thèse est de développer un modèle numérique efficace et robuste pour la simulation de la fracturation hydraulique, basé sur l'approche *du champ de phase*. Il est connu que les processus réactifs, tel que la précipitation-dissolution, peuvent affecter les interfaces matrice-fracture, là où le gradient de concentration peut-être important. Les travaux existants, sur cette approche, ne prennent pas en compte l'effet des processus de transfert réactif. Ceci est un élément très important pour l'application en géothermie et pour le stockage géologique du CO₂. Ce projet de thèse vise à développer une formulation mathématique précise de l'approche du champ de phase, permettant de coupler les processus d'écoulement, de déformation mécanique et de transfert réactif. Une attention particulière sera accordée à la résolution numérique du système d'équations basée sur des techniques avancées de discrétisation spatiale et d'intégration en temps. L'idée principale est de coupler la méthode EFM pour la discrétisation spatiale avec un schéma d'intégration en temps basé sur les méthodes multi-échelle. La méthode EFM est basée sur un bilan calculé sur les interfaces des éléments du maillage. Ceci permet de simuler, d'une façon précise, les échanges fracture-matrice. Cette méthode n'a jamais été utilisée pour le transfert de masse qui, en plus de l'opérateur parabolique, implique un opérateur hyperbolique représentant les processus de transfert par convection. Une nouvelle formulation de la méthode EFM sera développée pour traiter cet opérateur hyperbolique. La méthode d'intégration temporelle multi-échelle permettra de gérer d'une façon précise les pas de temps en fonction de l'échelle temporelle de chaque processus. Ceci est important dans les milieux fracturés caractérisés par des processus multi-échelle.

Profil du Candidat

Le candidat devra avoir un master en hydrogéologie, géosciences, mécanique, mécanique des fluides ou génie civil avec un gout prononcé pour la modélisation numérique (la méthode des éléments finis) et le développement des codes de calcul (gestion des maillages, FORTRAN, postprocessing). Une expérience avec COMSOL sera très appréciée.

Candidature

Pour postuler, envoyez un CV et une lettre de motivation avec recommandations à Anis Younes (younes@unistra.fr).