

Modélisation de la propagation des fractures hydrauliques par la méthode des éléments finis étendue

P. Massin^a

a. IMSIA (EDF-CNRS-CEA-ENSTA ParisTech / UMR 9219), patrick.massin@ensta-paristech.fr

MOTS CLES : fissuration ; mode mixte ; hydraulique ; éléments finis étendus

RESUME

Prédire l'apparition d'endommagement hydraulique dans les milieux géologiques représente un défi majeur en vue d'une exploitation durable du sous-sol. En effet, l'exploitation des ressources (géothermie), le stockage souterrain (déchets, CO₂) ou même la gestion d'ouvrages (tunnel, mine, stockage géologique) peuvent être affectés par un endommagement progressif dû à la circulation de fluide dans ces milieux déformables. Si le développement de réseaux de fracturation des roches peut être mis à profit dans un cadre géothermique ou bien pour la récupération d'hydrocarbures, il faut par contre contrôler ce développement et prévoir les extensions ou réorientations de fractures, dans le cadre du stockage géologique. Elles sont dues aux pressions de fluide et à l'état des contraintes mécaniques dans la roche. Un modèle numérique hydromécanique totalement couplé a ainsi été développé afin de prévoir les évolutions de réseaux de fissures dans le cadre de la fracturation hydraulique. Il intègre trois processus de couplage : i) la déformation mécanique provoquée par la pression fluide sur les surfaces de la fissure, ii) l'écoulement du fluide à l'intérieur de la fissure, iii) la propagation de la fissure elle-même.

Ce nouveau modèle [Fai 16, Pau 18] repose sur la méthode des éléments finis étendus (XFEM) [Moe 99] qui permet de ne pas avoir à gérer le remaillage pour tenir compte de l'évolution de la fracturation, ce qui peut s'avérer particulièrement difficile dans le cadre de la fracturation hydraulique, voire impossible pour certaines configurations géométriques du fait de la dégénérescence du conditionnement numérique. De plus, non seulement cette méthode permet de s'affranchir de ces problèmes de conditionnement numérique, mais elle évite aussi les transferts d'information des variables internes du modèle lors du remaillage suite à l'évolution des fractures. Le comportement mécanique des fractures est décrit par un modèle cohésif dans un cadre XFEM [Fer 16]. L'écoulement dans les fractures est fonction de leur ouverture et des échanges qu'elles peuvent avoir avec le massif rocheux poreux. L'ouverture de la fissure est gérée de manière automatique par le modèle élément fini cohésif ainsi que la réorientation du trajet de fissuration en mode mixte, en 2D [Fai 16], puis en 3D [Pau 18].

Le modèle hydromécanique résultant appelé HM-XFEM est validé par rapport à des solutions analytiques [Ada 07, Ada 10] et des solutions obtenues par éléments finis cohésifs [Car 12],

afin de vérifier sa capacité à prédire le comportement des fractures en intégrant les effets de pression fluide et de contraintes mécaniques dans le massif rocheux.

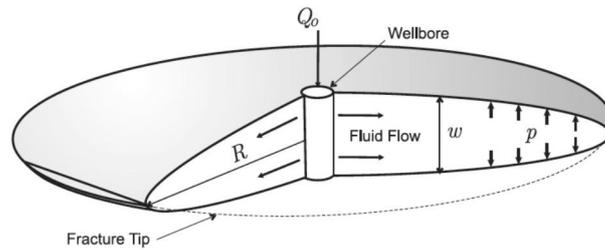


Fig.1 : modèle analytique du puits d'injection avec fracture circulaire [Ada 07].

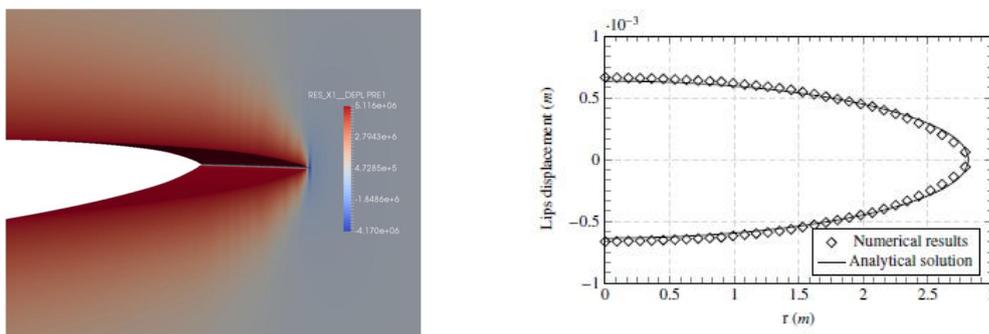


Fig.2 : profil de fissuration (déformée x1000) et pression de fluide en Pa dans la fracture.

Les perspectives identifiées concernent principalement la prise en compte de l'anisotropie, mais aussi la diffusion d'espèces chimiques dans les réseaux de fractures, voire la nature multiphasique de l'écoulement. Une partie de ces développements seront réalisés dans le cadre du projet ANR HYDROGEOGODAM (ANR 17-CE06-0016).

REFERENCES

- [Ada 07] *Computer simulation of hydraulic fractures*, J. Adachi, E. Siebrits, A. Pierce, J. Desroches, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 44:739–757, 2007.
- [Ada 10] *Analysis of the classical pseudo-3d model for hydraulic fracture with equilibrium height growth accross stress barriers*, J. Adachi, E. Detournay, A. Pierce, , *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 47:625–639, 2010.
- [Car 12] *Numerical modeling of hydraulic fracture problem in permeable medium using cohesive zone model*, B. Carrier, S. Granet, *Engineering Fracture Mechanics*, 79:312–328, 2012.
- [Fai 16] *2D coupled HM-XFEM modeling with cohesive zone model and applications to fluid-driven fracture network*, M. Faivre, B. Paul, F. Golfier, R. Giot, P. Massin, D. Colombo, *Eng. Fracture Mech.*, 159:115-143, 2016.
- [Fer 16] *3D crack propagation with cohesive elements in the extended finite element method*, G. Ferté, P. Massin, N. Moës, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 300:347-374, 2016.
- [Moë 99] *A finite element method for crack growth without remeshing*, N. Moës, J. Dolbow, T. Belytschko, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 46:131–150, 1999.
- [Pau 18] *3D coupled HM-XFEM modeling with cohesive zone model and applications to non planar hydraulic fracture propagation and multiple hydraulic fractures interference*, B. Paul, M. Faivre, P. Massin, R. Giot, D. Colombo, F. Golfier, A. Martin, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* , 342:321–353, 2018.