

Modélisation multi-échelle des transferts en milieux fracturés :  
application au site de Äspö (Suède)

Dans le cadre de la problématique de l'enfouissement des déchets nucléaires, la barrière géologique constitue la dernière zone de transfert des radio-éléments. Cette barrière pouvant être fracturée, ce qui est le cas en milieu granitique naturel, des recherches sont menées pour faire progresser la modélisation des transferts en milieu fracturé. La complexité du milieu, les incertitudes liées aux propriétés physiques et les contrastes existant entre les différentes zones du milieu rendent cette tâche complexe. De plus, pour des conditions après fermeture de site, les écoulements dans le milieu sont lents et favorisent les phénomènes diffusifs dans la roche contribuant ainsi à augmenter le temps de transit des radio-éléments dans le milieu. Dans ce contexte, une approche Smearred Fractures a été développée à partir d'un schéma en Eléments Finis Mixtes Hybrides et a été implémentée dans le code Cast3M. Cette approche fait partie de la classe des approches dites hybrides (entre les approches discrètes et continues) en ce sens que les fractures principales sont représentées alors que la fracturation de plus petite échelle est homogénéisée. L'approche Smearred Fractures ne fait pas appel à un maillage explicite coûteux des unités géométriques. Le bloc fracturé est représenté sur un maillage régulier, la présence des fractures étant prise en compte par un champ hétérogène de propriétés. Ces propriétés sont affectées de manière à respecter les critères de conservation des flux (hydraulique et massique) à l'échelle de la fracture. Pour l'écoulement, l'approche Smearred Fractures présente des performances comparables à celles obtenues avec des approches discrètes et présente de plus l'avantage, lors de la résolution du transport, de respecter le caractère 3D de la géométrie des blocs matriciels. Le choix de la taille de maille ainsi que de la discrétisation temporelle doit respecter des critères qui ont été établis. Néanmoins, à l'intérieur de ces limites, et pour un niveau de précision contrôlé et acceptable, l'approche permet de réduire notablement les temps de calcul. Les résultats de validation et de qualification de l'approche appliquée à des géométries 2D et 3D, synthétiques et réalistes, sont présentés pour différents jeux de paramètres physiques. Des applications de l'approche au site d'Äspö (Suède) clôturent ce travail.

Multi-scale modelling of transfers in fractured media -  
Application to the Äspö site (Sweden)

In the field of nuclear waste storage, the geological barrier is the last transfer zone for radio-elements. Since fractures are to be found in geological media, especially for granitic fractured media, special emphasis is put on improving modeling approaches to transfer processes in fractured media. It remains a challenging task due to the large contrasts in the properties of different units of the medium, the geometrical complexity of the system and strong level of uncertainties for flow and transport parameters. In addition, for post closure natural flow conditions, flow is slow and diffusion processes play a major role contributing to reducing the velocity of the plume. In this context, a Smearred Fractures approach was developed for a Mixed and Hybrid Finite Element scheme (EFMH) and implemented in our code (Cast3M). This approach, classified as hybrid (between discrete and continuous) allows for explicit representation of major fractures while adopting an homogenized representation of lower levels of fracturation. This Smearred Fracture approach doesn't require explicit meshing of the complex fracture network geometry. The fractured block is represented on regular mesh, the presence of the fracture being taken into account through an heterogeneous field of parameters. Considering conservation of flow and mass fluxes for each fracture, these parameters are derived. The performances of Smearred Fractures approach are comparable to discrete modelling for flow and presents in addition the advantage of taking full 3D matrix block geometry into account for transport. The size of the mesh as well as temporal discretization have to comply with criteria that were established. Nevertheless, within these boundaries coarser discretization is possible allowing for notable computing costs. The validation and qualification phase was conducted for 2D and 3D cases. These include results on synthetics and realistic systems, for different flow regimes and parameter values. The approach is finally applied on several cases from the Äspö site (Sweden).