

Madame, Monsieur,

J'ai le plaisir de vous convier à ma soutenance de thèse intitulée :

Les processus couplés dans les argilites du Callovo-Oxfordien sur le site de Bure : Implications pour les mouvements de fluide et de solutés.

en vue de l'obtention du grade de Docteur en Hydrologie et Hydrogéologie Quantitatives.

La soutenance aura lieu le 19 Septembre 2008 à 14h à l'Université Pierre et Marie Curie, Salle Fourcade, Couloir 56-55, 4<sup>e</sup> étage.

Le jury sera composé de :

Philippe Ackerer	IMFS, Université Louis Pasteur, Strasbourg	Rapporteur
Scott Altmann	ANDRA	Invité
Vincent de Greef	LMS, Ecole Polytechnique	Invité
Ghislain de Marsily	Université Pierre et Marie Curie	Examineur
Julio Gonçalves	Université Pierre et Marie Curie	co-directeur de thèse
André Revil	School of Mines, Colorado	Examineur
John Sherwood	Schlumberger, Cambridge	Rapporteur
Josep Soler	IJA, Barcelone	Examineur
Sophie Violette	Université Pierre et Marie Curie	co-directrice de thèse

Vous êtes cordialement invité au pot qui suivra à l'UMR SISYPHE (Salle Darcy, Couloir 56-46, 3<sup>e</sup> étage).

## RÉSUMÉ :

La mesure de la pression dans les milieux argileux est relativement récente et associée à la recherche sur le stockage des déchets radioactifs. Ces mesures ont interpellé la communauté scientifique car elles donnent parfois des valeurs supérieures à la pression hydrostatique (théorique). Ces surpressions peuvent potentiellement être à l'origine d'une force motrice supplémentaire dans le transfert des radionucléides. Comprendre et interpréter ces pressions est donc cruciale pour estimer les flux à travers ces milieux et évaluer le risque de migration des radionucléides vers la biosphère.

Dans ce travail, une réinterprétation des surpressions relatives mesurées dans la formation du Callovo-Oxfordien sur le site de Bure a été réalisée en considérant les flux couplés. Dans les milieux de faible perméabilité la loi de Darcy, dans sa forme historique, n'est plus suffisante du fait de l'existence, en plus du gradient de pression, de forces motrices additionnelles qui entraînent l'existence de flux couplés. Les flux de fluide et de soluté dans de tels milieux ne sont pas provoqués uniquement par leur force motrice conjuguée, e.g. le gradient de pression pour le flux d'eau, mais également par ces forces additionnelles. Ces processus sont importants dans les milieux de faibles perméabilités. Un de ces processus, l'osmose chimique, est ainsi invoqué pour expliquer les surpressions mesurées dans les milieux argileux.

Le processus osmotique a été particulièrement étudié dans cette thèse. Des approches théorique, expérimentale et numérique ont été menées. La partie théorique a porté sur les modèles d'estimation du coefficient de couplage osmotique. Ces modèles nécessitent la connaissance de la concentration en anions près des surfaces et de la taille de pore. La distribution des ions dans la porosité est décrite à l'aide de modèles électriques. Un retour sur ces modèles nous a amené à proposer une amélioration d'un modèle électrique de type triple couche (TLM) en introduisant la superposition des couches diffuses, invoquée pour expliquer les processus osmotique et le gonflement des argiles.

L'approche expérimentale a permis d'obtenir des valeurs du coefficient de couplage d'osmose chimique selon deux méthodes, *in situ* et en laboratoire. Les mesures *in situ* ont été réalisées dans le laboratoire souterrain de l'Andra (agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) sur le site de Bure (Est du bassin de Paris). Les expérimentations en laboratoire ont été réalisées au LMS (Laboratoire de Mécanique des Solides) à l'aide d'un concept expérimental unique, sur des échantillons cylindriques en confinement isotrope. Les résultats montrent que cette formation aurait une efficacité osmotique significative, entre 0.08 et 0.028 pour une concentration maximale observée dans le Callovo-Oxfordien. En revanche, ils suggèrent des modifications de la courbe de Bresler, qui est classiquement utilisée afin d'estimer le coefficient d'efficacité osmotique en fonction du produit  $r\sqrt{c}$  (taille de pore et concentration), qui prédit une diminution trop importante de ce coefficient en fonction de ce produit. L'interprétation de ces mesures a été effectuée à l'aide d'un modèle numérique original développé pour la géométrie d'une chambre de mesure fermée. Une étude de sensibilité de la réponse osmotique à la variation du coefficient d'efficacité osmotique a été effectuée avec ce modèle. Cette analyse montre qu'à partir de la forme de la réponse osmotique il est possible d'avoir une idée de la variabilité du coefficient de couplage dans le milieu poreux.

L'approche numérique souligne l'importance de la non-linéarité des équations de couplage et l'hétérogénéité des paramètres, afin de faire des interprétations correctes de l'état des pressions dans une formation argileuse. Des calculs en régime permanent effectués au cours de cette thèse montrent que le processus d'osmose chimique permet d'expliquer une part des surpressions. Cette accumulation de pression est associée à la dépendance du coefficient d'efficacité osmotique à la concentration. Cette part est alors permanente et n'entraîne pas

de flux divergents, mais des flux mono-directionnels traversant la formation de l'encaissant le moins concentré vers l'encaissant le plus concentré. Le reste des surpressions pourrait être dû à des processus transitoires, tel que le changement de condition aux limites ou le fluage des argiles, qui entraîneraient alors des flux divergents.

