



Vous êtes cordialement invité(e) à la soutenance de thèse de

Maria REPINA

intitulée

**Modélisation du transport réactif dans les milieux fracturés
de verre nucléaire d'intérêt industriel**

Soutenance **le mercredi 27 février 2019 à 14h00**

MINES ParisTech, 60 Boulevard Saint-Michel 75006 Paris - **salle L109**

Composition du jury :

M. Tanguy LE BORGNE, Université de Rennes 1
M. Philippe RENARD, Université de Neuchâtel
M. Frédéric PLAS, ANDRA
Mme Mickaële LE RAVALEC, IFPEN
M. Vincent LAGNEAU, MINES ParisTech
M. Frédéric BOUYER, CEA

Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur

Résumé : Comprendre l'altération du verre nucléaire dans un réseau de fracture au sein d'un bloc de verre vitrifié est important pour la sûreté du conditionnement des déchets nucléaires (quantification des risques associés au relâchement des radionucléides). L'évaluation de la performance du stockage géologique des déchets nucléaires passe obligatoirement par la modélisation de l'altération aqueuse d'un bloc de verre nucléaire fracturé, l'échelle de temps envisagée (plusieurs milliers d'années) dépassant toute possibilité d'expérience directe. Cette thèse vise donc à combler le fossé entre les simulations d'écoulement et de transport à l'échelle du réservoir et la modélisation à l'échelle micrométrique des processus interfaciaux verre-eau, en apportant l'évaluation quantitative de la dégradation aqueuse du verre à l'échelle d'un bloc.

Pour aborder ce problème, les objectifs principaux de cette thèse ont été fixés comme suit : (i) la reproduction des résultats expérimentaux obtenus précédemment (pour quelques fractures modélisées de manière discrète en mode diffusif), (ii) l'analyse de l'impact des géométries de fractures sur la quantité de verre altéré pour quelques fissures modélisées de manière discrète, (iii) l'étude de la possibilité d'adaptation du modèle géochimique à la modélisation dans le cadre de l'approche milieu équivalent, (iv) la mise au point d'une méthodologie de caractérisation, (v) la modélisation géostatistique et géométrique de réseau de fractures à l'échelle d'un conteneur de verre, (vi) le calcul des paramètres équivalents diffusifs, hydrauliques et les paramètres qui contrôlent la cinétique de dissolution de verre, et au final, (vii) la modélisation de transport réactif à l'échelle d'un conteneur.

À titre illustratif, la méthodologie de la caractérisation de réseau fracturé proposée, basée sur le traitement des images, a été appliquée aux images bidimensionnelles (2D) de haute résolution de deux blocs de verre. Cette application a permis de mettre en œuvre à la fois les données directes obtenues par mesures des paramètres d'un réseau fracturé de verre vitrifié et les données indirectes explicatives issues des simulations thermomécaniques. L'application a abouti à la création de multiples réalisations de tessellation de réseaux fracturés équivalents qui ont ensuite été utilisées comme représentations physiques pour les calculs de la perméabilité équivalente, de la diffusion équivalente et des paramètres contrôlant la cinétique de dissolution de verre borosilicaté. L'évolution de la quantité de verre altéré obtenue en effectuant la modélisation de transport réactif appliquée à plusieurs réalisations de la tessellation de réseau fracturé équivalent a été comparée aux données expérimentales d'un essai d'altération aqueuse d'un conteneur non radioactif de verre nucléaire. Les résultats montrent que la méthodologie conçue offre une opportunité pour mieux comprendre l'impact de la fracturation sur l'altération aqueuse du verre vitrifié et constitue un outil fiable permettant de prendre en compte différents scénarios d'évolution du stockage.

Mots-clés : Modélisation, corrosion du verre nucléaire, analyse d'image, changement d'échelle, réseau de fracture, milieu poreux équivalent

Vous êtes cordialement invité(e) au pot amical qui suivra la soutenance

Reactive transport modeling in fractured media of nuclear glass for industrial application

Abstract: Understanding the alteration of nuclear glass in a fracture network of a vitrified glass block is important for the safe conditioning of nuclear waste (quantification of the risks associated with radionuclide release). Performance assessment of geological nuclear waste repositories entails modelling of the long-term evolution of the fractured nuclear glass block aqueous alteration, because the considered time scale, of several thousands of years, is beyond the range of any direct experimental perspectives. This dissertation aims then to bridge the gap between the reservoir-scale flow and transport simulations and the micron-scale modeling of the glass-water interfacial processes, by bringing the quantitative evaluation of the glass aqueous degradation at the block scale.

To tackle this issue, the main objectives of this thesis were fixed as follows: (i) reproduction of the experimental results previously obtained (for some fractures modeled in a discrete way in the diffusive mode), (ii) analysis of the impact of fractures geometries on the quantity of altered glass at the scale of some fractures modeled in a discrete way, (iii) investigation of the possibilities of the geochemical model adaptation for the equivalent homogenous modeling, (iv) establishment of a methodology for glass block fracture network characterization, (v) geostatistical and geometric modeling, (vi) calculation of the equivalent diffusive, hydraulic and glass dissolution kinetics controlling properties and (vii) upcoming reactive transport modeling at the scale of one canister.

As an illustrative example, the proposed image processing-based fracture network characterization methodology was applied to two-dimensional (2D) high-resolution images of two blocks of vitrified glass. This application brought into service both hard data obtained by direct measurement of the fracture network and soft physics-based explanatory data and resulted in the creation of multiple realizations of fracture network equivalent tessellation that were further used as physical representation for the calculation of the equivalent hydraulic, diffusive, and alteration kinetics - controlling properties. The evolution of the quantity of altered glass obtained by conducting reactive transport modeling applied to several realizations of the equivalent fracture network tessellation was compared with the experimental data of the aqueous alteration test of a non-radioactive full-scale nuclear glass canister. The results show that implementation of the devised procedure presents an opportunity for better understanding the impact of fracturing on aqueous alteration of borosilicate glass and provides a reliable tool enabling different scenarios of repository evolution to be accounted for.

Keywords: Modelling, nuclear glass corrosion, image analysis, upscaling, fracture network, equivalent porous medium