

Proposition de thèse de doctorat

Début : 2017-2018

Titre de la thèse : Approches expérimentale et numérique de l'évolution des propriétés de transport (perméabilité-diffusion) des ouvrages en béton sous sollicitations THMC

Laboratoire : GeM

Equipe : IEG

Localisation de la thèse : Equipe IEG Saint-Nazaire

Directeur de thèse

Nom et prénom :

Stéphanie BONNET

Tél : 02 40 17 81 88

Mail : stephanie.bonnet@univ-nantes.fr

Co-Encadrants

Nom et prénom :

Harifidy RANAIVOMANANA,

harifidy.ranaivomanana@univ-nantes.fr

Marta CHOINSKA

marta.choinska@univ-nantes.fr,

Tél : 02 40 17 81 89

Description du sujet

L'évaluation du risque de fissuration du béton et des ouvertures de fissure est une problématique majeure lors de la conception de certains ouvrages de génie civil (enceinte de confinement de bâtiments réacteurs de centrales nucléaires, ouvrages de stockage de déchets radioactifs...). Les alvéoles de stockage des colis de déchets radioactifs peuvent par exemple être soumises à de la fissuration à cause de différents facteurs T.H.M.C : thermique (réactions d'hydratation et exothermie des colis), hydrique (séchage du béton lors de la phase d'exploitation puis re-saturation par le massif environnant), chimique (lixiviation du matériau), mécanique (convergence des sols)...Or il s'avère que ces facteurs n'engendrent pas que de la fissuration puisque leurs effets couplés sont également susceptibles d'entraîner le colmatage des fissures créées et donc contribuer à améliorer la durabilité des ouvrages.

Le présent projet se propose donc d'une part de caractériser expérimentalement le processus de colmatage d'une éprouvette en béton sous sollicitations couplées THMC et d'autre part de modéliser le processus en vue d'une prédiction plus pertinente de la durée de vie d'un ouvrage.

Medjigbodo, [Medjigbodo 2014] a récemment soutenu une thèse s'inscrivant dans le cadre du projet ANR ECOBA (Etude du Confinement des Ouvrages en Béton Armé) et qui s'intéresse aux problèmes d'étanchéité des enceintes de confinement des Réacteurs à Eaux Pressurisées (REP) en service et en cas d'accident

grave. Concernant les interactions degré de saturation-compression simple-perméabilité azote (air sec), il a mis en évidence les résultats suivants:

- En dessous de 75-80% de la contrainte au pic, la perméabilité d'un béton partiellement saturé diminue légèrement en raison d'une re-fermeture partielle des pores et des microfissures et d'une diminution du volume poreux accessible.
- Au delà de 80% de la contrainte au pic, la perméabilité du béton augmente de manière significative INDEPENDAMMENT du taux de saturation : apparition d'un réseau de microfissures interconnectées.

Dans le deuxième cas de figure, le processus de colmatage peut alors être envisagé en intégrant le couplage avec la chimie. En effet, lorsqu'une fissure est traversée par un mélange gazeux air-CO₂ (perméation et/ou diffusion), il se produit un enchaînement de processus physico-chimiques : transfert d'humidité en bord de fissure (pourvu que l'humidité relative interne du matériau soit suffisamment élevée par rapport à celle du mélange gazeux)- transport convectif des ions Ca²⁺ de la solution interstitielle vers les bords de la fissure- réaction chimique entre les ions Ca²⁺ et CO₃²⁻ pour former de la calcite colmatant progressivement la fissure.

D'un point de vue expérimental, les aspects suivants seront parmi les plus intéressants à étudier:

- L'influence de l'humidité relative interne (qui est liée au degré de saturation). Pour que la carbonatation puisse avoir lieu, il faut un certain taux d'humidité relative pour que le CO_2 gazeux puisse se dissoudre en acide carbonique puis en ions carbonates. Par ailleurs, le taux d'humidité conditionnera également les transferts hydriques au sein du matériau.
- L'influence du gradient de pression (dans le cas d'une perméation gazeuse) ou du gradient de concentration en CO_2 (dans le cas d'une diffusion gazeuse). Bien entendu, une bonne maîtrise de l'ouverture de fissure sera nécessaire car les essais devront être menés avec une ouverture de fissure constante.
- L'influence de la température. En effet, si on travaille à des températures élevées, des phénomènes de condensation peuvent se produire engendrant des gradients d'humidité; ce qui peut amplifier le transport convectif des espèces chimiques présentes dans la solution interstitielle par exemple. La carbonatation peut également être affectée par la température.
- L'influence du type de liant. En effet, Olivier [Olivier 2016] a récemment montré dans sa thèse de doctorat que l'utilisation de liant contenant du laitier de haut fourneau semble favorable au développement du processus de cicatrisation (par reprise d'hydratation ou par formation de carbonates de calcium).
- L'influence de la taille des éprouvettes (effets d'échelle). On s'intéressera principalement aux impacts des caractéristiques morphologiques de la fissure (tortuosité, constrictivité) sur les propriétés de transport.

Notons que l'étude du processus de colmatage a été amorcée au sein de l'équipe IEG du GeM dans le cadre du projet fédérateur NEEDS MiPor, financée par l'ANDRA. Ce projet a permis la conceptualisation d'un banc expérimental sur lequel il est possible de réaliser des essais de diffusion au gaz avec maîtrise des conditions d'essais (HR, T, débit ou concentration de CO_2): ce banc est en cours de montage. Concernant le couplage endommagement / perméabilité et effet d'échelle, les travaux d'Aurélien Fabien (Fabien, 2012) serviront de base pour approfondir cet aspect de la problématique.

D'un point de vue de la modélisation, il s'agira de décrire à l'aide d'approches numériques, le processus de cicatrisation par carbonatation en prenant en compte les différents phénomènes en jeu suivants :

- -Transferts hydriques et gazeux,
- -Transports diffusifs et convectifs des espèces en solution
- -Dissolution des phases hydratées de la pâte de ciment
- -Précipitation des carbonates de calcium
- -Evolution de la structure poreuse au voisinage de la zone contigüe à la fissure sous l'effet conjugué des phénomènes précédents ainsi que celle des propriétés de transfert.

L'approche de modélisation qui pourra être utilisée s'appuiera sur un modèle de type réseau poreux comme celui développé par (Ranaivomanana 2010). Il s'agit d'une description de la structure poreuse d'un matériau cimentaire basée sur une distribution idéalisée de taille des pores et qui restitue sa partition en pores saturés et non saturés à travers la prise en compte de l'interconnectivité du réseau poreux. Grâce à cette approche, Ranaivomanana et al. parviennent à prédire à la fois les courbes de rétention d'eau avec prise en compte de l'effet d'hystérésis mais également les perméabilités relatives au liquide et au gaz. L'utilisation du modèle dans la description du processus de cicatrisation peut être intéressante étant donné que les propriétés de transport évoluent dans la zone contigüe à la fissure à cause des modifications microstructurales engendrées par les phénomènes de lixiviation/carbonatation.

D'autre part, un stage de Master Recherche a également été proposé cette année en vue de d'explorer l'aspect modélisation (choix du type d'approche, mise en œuvre du couplage entre les différents phénomènes...).

Mots clés

Béton, fissuration, cicatrisation, carbonatation, propriétés de transport, modélisation

MEDJIGBODO S., « Etude des transferts de la vapeur d'eau dans les bétons endommagés : de l'éprouvette à la structure » thèse de l'Ecole Centrale Nantes soutenue le 05 décembre 2014.

OLIVIER K., « Etude expérimentale et modélisation de l'auto-cicatrisation des matériaux cimentaires avec additions minérales » thèse de l'Université de Sherbrooke et de l'Université Paris-Saclay soutenue le 14 janvier 2016.

FABIEN A., “ Etude du couplage comportement hydromécanique – durabilité dans le béton de structure. Application à la maquette MAREVA”, thèse de l'Université de Nantes soutenue le 20 décembre 2012.

RANAIVOMANANA H., « Transferts dans les milieux poreux réactifs non saturés : application à la cicatrisation de fissure dans les matériaux cimentaires par carbonatation » thèse de l'Université de Toulouse soutenue le 17 décembre 2010.

Compétences requises

Solides connaissances sur les transferts en milieux poreux et sur les matériaux cimentaires.
Goût pour l'expérimental et la modélisation.

Commentaires Supplémentaires

Etude en relation

Financement prévu : Indemnité : Oui (pour les étudiants non déjà boursiers)

Montant net mensuel envisagé :