

Soutenance de Thèse



LABORATOIRE de MÉCANIQUE et GÉNIE CIVIL

Sirine
AL DANDACHLI

Vendredi 15 mars 2024 à 13h45

Amphithéâtre Serge Peytavin
Polytech Montpellier,
Université de Montpellier,
Campus Triolet Place Eugène Bataillon
34090 Montpellier

« Caractérisations expérimentale et numérique par changement d'échelles du comportement mécanique des bétons atteints de la réaction sulfatique interne avec prise en compte des propriétés interfaciales »

Le jury est composé de :

Stéphane MULTON, Professeur des Universités, INSA Toulouse, Rapporteur
Syed-Yasir ALAM, Maître de Conférence, HDR, École Centrale Nantes, Rapporteur
Anne Sophie CARO, Professeur des Universités, Institut Mines Télécom d'Alès, Examinatrice
Benoit BARY, Ingénieur-Chercheur, CEA, Examineur
Moulay Saïd EL YOUSOUFI, Professeur des Universités, Université de Montpellier, Directeur de thèse
Frédéric JAMIN, Maître de Conférence, HDR, Université de Montpellier, Co-directeur de thèse
Yann MONERIE, Professeur des Universités, Université de Montpellier, Co-encadrant de thèse
Céline PELISSOU, Ingénieure - Chercheur, IRSN, Co-encadrante de thèse
Mejdi NEJI, Ingénieur - Chercheur, IRSN, Invité

Résumé

Le vieillissement des matériaux cimentaires des centrales nucléaires est l'un des axes de recherche de l'IRSN au travers du consortium scientifique CONCRETE et du projet international ODOBA. L'objectif est notamment de prédire la durabilité des enceintes de confinement (tenue mécanique et étanchéité). L'un de ces mécanismes de vieillissement des bétons qui les composent est la Réaction Sulfatique Interne (RSI).

Dans cette thèse, des méthodologies couplant études expérimentales et simulations numériques sont mises en place afin d'améliorer la compréhension et la modélisation multi-échelle des mécanismes liés à la RSI, en partant de l'échelle de l'interface entre la pâte de ciment et les granulats (échelle locale) et en remontant jusqu'à l'échelle de l'éprouvette (échelle mésoscopique). Le comportement quasi-fragile de toutes les phases (pâte de ciment, granulats, interface) est modélisé par un comportement volumique élastique isotrope embarquant des modèles d'endommagement surfacique.

Ces paramètres élastiques et cohésifs sont identifiés à partir d'essais expérimentaux à l'échelle locale sur matériaux sains et cette modélisation est utilisée pour prédire les comportements mécaniques aux échelles plus grandes. Un essai original de flexion trois points a été mis en place à l'échelle de l'interface ciment/granat sur des éprouvettes de ciment et des composites ciment/granat afin d'étudier la propagation de la fissure sous chargement mixte. Un protocole expérimental complet est proposé pour l'extraction d'informations nécessaires à l'estimation des différents paramètres du matériau utilisés dans les simulations. Les paramètres matériau ainsi estimés sont ensuite utilisés pour prédire numériquement la rupture des poutrelles de béton sous flexion trois points à l'échelle mésoscopique.

Des expérimentations sont effectuées sur des matériaux cimentaires atteints de la RSI afin de caractériser l'évolution de la pathologie à deux échelles à partir de plusieurs essais mécaniques, des mesures d'expansions, des observations microstructurales au microscope électronique à balayage (MEB) et des analyses chimiques (EDS, DRX). Les résultats sont encourageants en visualisant bien cette dégradation physico-chimique. L'application du modèle mécanique prédictif sur les matériaux atteints de la RSI reste une perspective de ce travail.

Abstract

The ageing of cementitious materials used in nuclear power plants is one of IRSN's research priorities through the CONCRETE scientific consortium and the international ODOBA project. In particular, the aim is to predict the durability of containments (mechanical strength and tightness). One of the ageing mechanisms of the concrete of which they are composed is the Internal Sulphate Reaction (ISR or DEF: Delayed Ettringite Formation).

In this thesis, experimental studies and numerical simulations are combined to improve understanding and multi-scale modelling of the mechanisms associated with DEF, starting at the interface between the cement paste and the aggregates (local scale) and working up to the scale of the concrete specimen (mesoscopic scale). The quasi-fragile behavior of all phases (cement paste, aggregates, interface) is modelled by isotropic elastic volume behavior incorporating surface damage models.

These elastic and cohesive parameters were identified from local-scale experimental tests on intact materials, and this modelling was used to predict mechanical behavior on larger scales. An original three-point bending test was set up at the scale of the cement/aggregate interface on cement specimens and cement/aggregate composites in order to study crack propagation under mixed loading. A complete experimental protocol was proposed for extracting the information needed to estimate the various material parameters used in the simulations. The material parameters thus estimated were then used to numerically predict the failure of concrete beams under three-point bending on a mesoscopic scale.

Experiments were carried out on cementitious materials affected by DEF in order to characterize the evolution of the pathology on two scales, using several mechanical tests, expansion measurements, microstructural observations using a scanning electron microscope (SEM) and chemical analyses (EDS, XRD). The results are encouraging, providing a very accurate representation of this physico-chemical degradation. The application of the predictive mechanical model to materials affected by DEF remains a key aim of this work.