



UNIVERSITE PARIS-EST MARNE-LA-VALLEE



Année 2007

SOUTENANCE DE THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L' UNIVERSITE PARIS-EST MARNE-LA-VALLEE

Discipline : Génie Civil

Présentée par

Eric Stora

Titre

**Modélisation multi-échelle et simulations du comportement chimie-
mécanique des matériaux cimentaires dégradés.**

Multi-scale modelling and simulations of the chemo-mechanical behavior of
degraded cement-based materials.

Soutenance prévue le 5 décembre 2007

devant le jury composé de

D. Kondo	Rapporteur
G. Pijaudier-Cabot	Rapporteur
J. van der Lee	Examineur
Q.-C. He	Directeur de thèse
B. Bary	Examineur

ABSTRACT

The assessment of the durability of cement-based materials, which can be employed in underground structures for nuclear waste disposal, requires accounting for deterioration factors, such as chemical attacks and damage, and for the interactions between these phenomena. The resistance of cement-based materials to these degradations is strongly conditioned by their mechanical and diffusive macroscopic properties. The first purpose of the thesis consists in building a multi-scale approach and an orthotropic damage model to estimate these properties and their evolution during chemical deterioration processes. The second objective is to perform simulations of chemo-mechanical degradations of leached cementitious materials to predict their long-term behavior. Starting from a non-exhaustive review of analytical homogenization techniques, new models, like the mixed composite spheres assemblage estimate, are proposed by revisiting the theories of Hashin and Shtrikman (1962) and of double-inclusion type schemes. A realistic multi-scale homogenization approach is then developed and validated for cement pastes and mortars. Simulations of chemo-mechanical degradations of leached cementitious materials are subsequently carried out by implementing these models into the platform ALLIANCES. The numerical results confronted with experimental tests give valuable information in terms of the material durability.

Keywords: cement-based materials; mechanical and diffusive properties; multi-scale homogenization; damage; leaching; coupled chemo-mechanical degradations.

RESUME

L'évaluation de la durabilité des matériaux cimentaires utilisables dans les structures d'entreposage de déchets nucléaires nécessite la prise en compte de facteurs de détérioration, tels que les attaques chimiques ou la fissuration, ainsi que des interactions entre ces phénomènes. La résistance des matériaux cimentaires à ces dégradations est fortement conditionnée par leurs propriétés mécaniques et diffusives macroscopiques. Le premier objectif de la thèse vise à construire une approche multi-échelle et un modèle d'endommagement orthotrope pour estimer ces propriétés ainsi que leurs évolutions au cours de processus de détériorations chimiques. Le second est de réaliser des simulations de dégradations couplées chimie-mécanique de matériaux cimentaires lixiviés afin d'étudier leur comportement à long terme. Après une synthèse non exhaustive consacrée aux techniques d'homogénéisation analytique, de nouveaux modèles, tels que l'estimation par assemblage mixte de sphères composites, sont proposés en revisitant les théories d'Hashin et Shtrikman (1962) et les méthodes de type double-inclusion. Une approche d'homogénéisation multi-échelle est ensuite développée pour les pâtes de ciment et les mortiers et validée. Des simulations de dégradations couplées chimie-mécanique de matériaux cimentaires lixiviés sont enfin effectuées en implémentant les modèles développés précédemment au sein de la plateforme numérique ALLIANCES. Les résultats numériques confrontés avec des essais expérimentaux donnent des informations utiles concernant la durabilité de ces matériaux.

Mots clés: matériaux cimentaires; propriétés mécaniques et diffusives; homogénéisation multi-échelle; endommagement; lixiviation; dégradations couplées chimie-mécanique.