

Titre : Etude des propriétés mécaniques des liants bas carbone par des approches expérimentales multi-échelles

Mots clés : Nanoindentation, microindentation, matériaux cimentaires, additions minérales, propriétés micromécaniques, fluage

Résumé : Aujourd'hui, l'industrie cimentaire est parmi les plus polluantes au monde, et la réduction de ses émissions de dioxyde de carbone est un enjeu majeur. La substitution de ciment par des additions minérales reste parmi les solutions effectives, et plusieurs efforts ont été déployés pour l'étude des nouveaux liants résultants de cette substitution. Cependant, la compréhension des observations macroscopiques nécessite la maîtrise des phénomènes à l'échelle micro- et nanométrique, là où la mécanique rejoint la chimie. La micro- et la nanoindentation se révèlent comme des techniques expérimentales utiles pour l'évaluation des propriétés mécaniques à l'échelle des pâtes et des phases cimentaires respectivement, mais aussi pour l'étude du fluage de façon plus rapide.

Le présent projet de doctorat vise à renforcer les connaissances dans la compréhension de la performance mécanique macroscopique par l'étude des propriétés microscopiques, soutenues par des informations chimiques. Des liants binaires à base de laitier de haut fourneau d'une part, d'argile calcinée d'autre part, et la combinaison des deux dans des liants ternaires sont étudiés dans cette perspective, et leur comportement au fluage est évalué.

Enfin, une méthode de déconvolution des résultats de nanoindentation a été proposée, à travers le couplage de la déconvolution statistique GMM et l'analyse d'images issues de la microscopie à balayage, afin de réduire l'incertitude sur les propriétés des phases cimentaires pures et permettre une meilleure prédiction du fluage à l'échelle des pâtes.

Title : Study of the mechanical properties of low-carbon binders using multi-scale experimental approaches

Keywords : Nanoindentation, microindentation, cementitious materials, mineral additions, micromechanical properties, creep

Abstract : Today, the cement industry is one of the most polluting in the world, and reducing its carbon dioxide emissions is a major challenge. The substitution of cement by mineral additives remains one of the most effective solutions, and many efforts have been made to study the new binders resulting from this substitution. However, understanding macroscopic observations requires mastery of micro- and nanometric-scale phenomena, where mechanics meets chemistry. Micro- and nanoindentation are proving to be useful experimental techniques for assessing mechanical properties at paste and cementitious phase scales respectively, but also for studying creep more rapidly.

The present research project aims to enhance knowledge in the understanding of macroscopic mechanical performance through the study of microscopic properties, supported by chemical information. Binary binders based on blast furnace slag on the one hand, calcined clay on the other, and the combination of the two in ternary binders are studied from this perspective, and their creep behavior assessed.

Finally, a method for nanoindentation data deconvolution has been proposed, through the coupling of GMM statistical deconvolution and scanning microscopy image analysis, in order to reduce uncertainty on the properties of pure cementitious phases and enable better prediction of creep at paste scale.