

Optimisation des matériaux cimentaires par mécano-activation des argiles : étude des modifications microstructurales

La croissance démographique et urbaine conduit à une consommation croissante de béton dans le domaine de la construction, ayant pour conséquence une production importante de ciment responsable de 7% des émissions CO₂ mondiales (Czigler et al., 2020). Un plan mondial pour le secteur du béton et du ciment a conduit à la définition d'une feuille de route pour la neutralité carbone 2050 (GCCA, 2026). En effet, la décarbonation est un enjeu majeur du secteur cimentier dont l'objectif est une réduction de 90% des GES d'ici 2050 soit une réduction de 10,6 MtCO₂e. Selon un rapport du Programme environnemental des Nations Unies (Scrivener et al. 2026), la substitution partielle du clinker dans les ciments est l'approche la plus prometteuse à court terme, plus spécifiquement par deux technologies : les ajouts cimentaires à faible teneur en CO₂ et les fillers calcaires. Si certains ajouts sont bien connus et utilisés depuis plusieurs décennies, leur disponibilité est insuffisante et l'utilisation de nouveaux matériaux alternatifs doit dès maintenant être envisagée puis adoptée. Actuellement, les ciments aux argiles calcinées et au calcaire sont une technologie émergente qui s'implante progressivement à l'échelle mondiale, même si plusieurs problématiques demeurent. En effet, les ciments aux argiles calcinées se basent actuellement sur un type spécifique d'argile très réactive (kaolinite) et sur une méthode de calcination (calcination flash). Cette technologie est cependant bien moins efficace pour d'autres types d'argiles (smectite et illites) qui représentent une disponibilité bien supérieure à l'échelle du globe. De plus, du point de vue environnemental, la calcination demeure énergivore et génère des émissions associées.

Comme solution alternative, l'activation mécanique par broyage semble être une technologie de choix pour activer efficacement les argiles à faible teneur en kaolinite, même si les fondements scientifiques restent à éclaircir. En effet, la mécano-activation des argiles induit un désordre structural, une création de défauts cristallins et une amorphisation partielle susceptibles d'accroître la réactivité pouzzolanique. Par contre, les liens restent à éclaircir entre l'énergie mécanique déployée, les modifications structurales multi-échelles de l'argile, sa cinétique de dissolution et plus largement les performances cimentaires finales du matériau cimentaire.

Ce travail de thèse a pour objectif de définir les conditions optimales de la méca-activation des argiles de types TOT (smectites, illites, ...), de manière à optimiser leur réactivité dans les ciments composés. Au cours de l'étude et sur la base de compétences des deux équipes, le (la) doctorant(e) combinera un suivi de la transformation structurale des argiles au cours de la mécano-activation (par calorimétrie, DRX et analyse Rietveld, RMN du solide (²⁹Si, ²⁷Al, ¹H), analyse thermique et spectroscopie infra-rouge), un suivi de l'évolution des propriétés physiques (surface spécifique, distribution de tailles et les propriétés aux interfaces des particules), un suivi de leur réactivité dans une eau cimentaire et enfin une évaluation de leur comportement rhéologique et mécanique de matériaux cimentaire incorporant ces additifs.

Ce projet de thèse combine à la fois une compréhension fondamentale des effets de cette méthode d'activation des argiles sur leur structuration atomique, l'étude de leur réactivité en

milieu basique et enfin leurs effets sur les modifications des propriétés mécaniques et de transfert des matrices cimentaires.

Cette thèse sera menée en co-tutelle entre l'institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel et le groupe de recherche ciment et béton du département de Génie Civil et du bâtiment de l'Université de Sherbrooke (Canada). La thèse débutera en France avec une répartition du temps équitable entre les deux établissements. Chaque établissement mettra à disposition ces équipements et compétences dans l'utilisation des dispositifs analytiques et expérimentaux.

Pour mener à bien cette étude, nous recherchons un(e) étudiant(e) présentant des connaissances solides en physico-chimie des matériaux, dans la caractérisation des matériaux, en chimie et cristallographie et ayant un intérêt prononcé pour l'expérimentation. Il/elle devra en outre posséder de très bonnes aptitudes à la communication et au travail en équipe et devra maîtriser l'anglais oral et écrit. Il/Elle sera autonome, sérieux et fera preuve de curiosité, de rigueur scientifique et d'une forte capacité d'adaptation dans les laboratoires d'accueil.

Financement : 50% CNRS et 50% Université de Sherbrooke
Co-tutelle Université de Nantes et Université de Sherbrooke (UdeS)

Direction: Dimitri Deneele CNRS - William Wilson UdeS

Références :

GCCA 2026- Concrete Future, Cement & Concrete Industry Net Zero Action & Progress Report 2025/26 (https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2025/11/GCCA_ProgressReport_2025_AW_FINAL.pdf)

Czigler, T., Reiter, S., Schulze, P., & Somers, K. (2020, May 14). *Laying the foundation for a zero-carbon cement industry* | McKinsey. McKinsey & Company.
<https://www.mckinsey.com/industries/chemicals/our-insights/laying-the-foundation-for-zero-carbon-cement>

Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2016). *Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry* (Issue December). United Nations Environmental Program.