

Unités de recherche d'accueil

Laboratoire Génie Civil et Génie Mécanique (LGCGM UR 3913) – Equipe Matériaux pour l'éco-construction

Institut des Sciences Chimiques de Rennes (ISCR UMR 6226) – Equipe Chimie du Solide et Matériaux

Encadrement**Directeur de thèse** : Christophe Lanos**Unité de recherche** : LGCGM**Employeur/Établissement d'origine** : Univ Rennes**Mail** : christophe.lanos@univ-rennes.fr**Tél.** : 02 23 23 40 67**Co-directeur de thèse** : Laurent Le Polles**Unité de recherche** : ISCR**Employeur/Établissement d'origine** : ENSCR**Mail** : laurent.le-polles@ensc-rennes.fr**Tél.** : 02 23 23 81 32**Implication dans l'encadrement :**

Claire ROILAND – IR CNRS

Annabelle PHELIPOT MARDELE – MCF Univ Rennes

Sujet**Titre** : Evaluation de la réactivité de Liants VERTs par la RMN du solide, après Activation thermique de déchets argileux - ALVERA**Mots clés** : Liants verts, argiles de synthèse, activation thermique, argile, calcination flash, caractérisation multi-physique, RMN du solide**Cotutelle internationale** : NON**Descriptif :**

Dans le contexte environnemental actuel, la valorisation de géo-ressources activées thermiquement (calcination flash) telles que les fines et stériles de carrière, sédiments, pour la production de liants verts destinés à la construction est essentielle pour limiter la proportion de clinker (principal facteur d'émission de CO₂ durant la production) dans la formulation d'un ciment.

Le Laboratoire GCGM, équipé depuis 2014 d'un calcinateur flash pilote (150-850°C), a su acquérir une compétence reconnue dans la maîtrise des conditions optimales de calcination de géo-ressources. Mieux comprendre les aspects structuraux (phases cristallines et phases amorphes) conduisant à la réactivité des produits de calcination est devenu indispensable pour orienter et optimiser les formulations de liants minéraux. A cette fin, un rapprochement avec les chercheurs travaillant sur la RMN du solide de l'ISCR a été initié en 2023 (spectromètre RMN Bruker AvIII 600MHz - champ magnétique de 14T). L'argile calcinée ou métakaolin est un matériau complexe dont les propriétés pouzzolaniques sont remarquables. Cette réactivité est d'une part liée à la composition chimique silico-alumineuse sous saturée en calcium (comparativement aux clinkers), et d'autre part à leur structure, majoritairement amorphe (leur taux de vitrification oscille entre 80 et 100%). Il apparaît que l'organisation structurale des parties amorphes des échantillons est la clé de compréhension de leur réactivité. La mise en place de protocoles spécifiques d'analyses par spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) à l'état solide a pu apporter des éléments de réflexion. En particulier, la RMN du solide de l'aluminium 27 (de spin nucléaire 5/2) a permis d'associer la présence d'aluminium en environnement V (pentacoordonné) dans des parties amorphes des échantillons avec une réactivité favorable à leur utilisation comme liants pouzzolaniques. La RMN du solide du silicium 29 (de spin nucléaire 1/2) a montré également son potentiel en termes d'analyse structurale des phases silicatées, en mettant en évidence les espèces Qⁿ contenues dans les argiles. Le projet de thèse se base sur ces premiers résultats. Nous proposons d'étudier la réactivité pouzzolanique au regard de la structure analysée par RMN ²⁷Al et ²⁹Si de produits de calcination issus de produits de synthèse, de carrières raffinées ou de boues de lavage. Dans cette étude, une caractérisation multi-physique sera mise en place s'appuyant sur les outils disponibles au LGCGM et à l'ISCR. Dans un premier temps, des argiles modèles de différentes natures minéralogiques seront synthétisées. Elles seront caractérisées à l'aide de méthodes multi-physiques conventionnelles puis serviront de référence pour développer et valider l'intégralité des protocoles de production et d'analyses (calcination, RMN ²⁹Si et ²⁷Al, tests de réactivité). Des expériences de corrélations hétéronucléaires ²⁹Si-²⁷Al seront envisagées sur des argiles modèles et leurs produits de calcination. Les effets d'interaction induits par le mélange de phases minéralogiques différentes seront également évalués. La démarche sera ensuite adaptée aux cas d'argiles naturelles représentatives. L'évaluation de la réactivité des produits sera également abordée à l'aide des méthodes conventionnelles appliquées aux produits de calcination, de l'évaluation du caractère pouzzolanique d'un produit (proportion de SiO₂ réactif - NF EN 197-1, test Chapelle), mais également à l'aide de tests de performances mécaniques, réalisés sur des pâtes et mortiers hydratés et durcis, obtenues pour différents taux de substitution du ciment (selon les normes professionnelles NF P18-513 et NF EN 197). Ces éléments doivent permettre d'identifier les conditions optimales de calcination et les phases argileuses à privilégier pour viser une réactivité optimale.

La thèse sera réalisée sur le Campus Beaulieu à Rennes.

Profil souhaité : - M2 ou Ingénieur : Matériaux, Génie Civil, Géologie – minéralogie

Qualités recherchées :

- Goût pour l'expérimental
- Maîtrise des techniques de caractérisation des matériaux
- Maîtrise de l'anglais
- Esprit de synthèse, autonomie, qualité rédactionnelle, esprit d'équipe

Contrat : Contrat doctoral Université de Rennes (financement acquis)
Initié en Octobre 2024, durée 36 mois
Rémunération indicative : 2100 € brut en 2024 à 2300 € brut en 2026
(Possibilité d'associer le contrat doctoral à de l'enseignement)

Candidature à faire sur le site Amethis :

<https://amethis.doctorat-bretagne.fr/amethis-client/prd/consulter/offre/352>
avant le dimanche 28 avril 2024