

Spécialité : / CHIMIE

[Laboratoire : /LSI/](#)

Ciments écologiques et structure vitreuse des pouzzolanes

Responsable de stage : de NOIRFONTAINE Marie-Noelle

marie-noelle.de-noirfontaine@polytechnique.edu

Tel : +33 1 69 33 44 83

Stage pouvant se prolonger en thèse : Oui

Durée du stage : 5 mois

Résumé:

La contribution du secteur cimentier aux émissions de CO₂ est de l'ordre de 5 à 7%. Ceci est lié au processus de cuisson à température élevée (1450°C) et à la décarbonatation thermique du calcaire, qui conduit à la formation du clinker. La réduction de l'empreinte environnementale des ciments est ainsi l'enjeu majeur de l'industrie cimentière pour les 5 ans à venir. En marge des travaux d'ingénierie du procédé cimentier, la voie la plus immédiate consiste à substituer le plus possible le clinker par des matrices silico- alumineuse plus ou moins riches en calcium, sans pour autant diminuer les performances mécaniques.

L'objectif du stage est, à partir d'un échantillonnage approprié de pouzzolanes volcaniques et sédimentaires naturelles, de laitiers de haut fourneau, de cendres volantes silico-alumineuses, de cendres volantes calciques et de fumées de siliceuses plus ou moins calciques, de mesurer la position du maximum du halo de diffusion de ces matériaux vitreux et son évolution en fonction de la chimie. Cette caractéristique structurale obtenue à partir des mesures de diffraction des Rayons X pourra être corrélée avec les propriétés de réactivité. Ces éléments pourraient s'avérer utiles pour la sélection et le contrôle prédictif des matériaux. Ils pourraient également être utilisés pour l'identification à posteriori de la nature des constituants dans les ciments.

Sujet :

À l'échelle mondiale, la contribution du secteur cimentier aux émissions de CO₂ est de l'ordre de 5 à 7%. Cette contribution est liée au processus de cuisson du cru (mélange de 75% de calcaire et 25% d'argile) et qui résulte d'une part de la décarbonatation thermique du calcaire et d'autre part des émissions thermiques du fait de la température de cuisson à 1 450°C. Le résultat de la cuisson est appelé "clinker", composé de deux silicates et deux aluminates de calcium et constitue le "principe actif" hydraulique des ciments. C'est ce clinker qui porte l'essentiel de la charge en CO₂ (850kg CO₂/t Clinker).

La production de ciment se fait à partir du clinker, toujours associé à une petite quantité (5%) de gypse (ciment CEM I), et de plus en plus intensément associé à différents constituants aux propriétés hydrauliques latentes ou pouzzolaniques, qui peuvent être naturels comme la pouzzolane volcanique, ou issus d'industries voisines comme le laitier de haut fourneau, les cendres volantes, les fumées de silice ou le métakaolin (ciments CEM II, II, IV et V de la norme EN 197-1). Ces matières ont une charge réduite en CO₂ soit par ce qu'elles sont naturelles, soit parce qu'elles sont considérées comme des déchets, le CO₂ étant porté par le produit final (acier, électricité, ...). Incorporées dans le ciment, elles contribuent à la baisse de l'empreinte environnementale des ciments par simple effet de dilution. Toutefois la dilution se porte également sur les performances mécaniques, la baisse des propriétés étant schématiquement

d'autant plus forte que la teneur en constituant principal (autre que le clinker) est forte. Il est donc crucial de sélectionner les matériaux les plus performants et de déterminer les combinaisons les plus efficaces pour limiter cette baisse de performance.

La réduction de l'empreinte environnementale des ciments est l'enjeu majeur de l'industrie cimentière pour les 5 ans à venir. En marge des travaux d'ingénierie du procédé cimentier, la voie la plus immédiate consiste à substituer le plus possible le clinker par des matrices silico- alumineuse plus ou moins riches en calcium, sans pour autant diminuer les performances mécaniques. Leur réactivité pouzzolanique en milieu basique repose en partie sur le caractère vitreux ou mal cristallisés de leur structure et en partie sur leur composition chimique silico- alumineuse bien qu'assez variable.

Des résultats récents obtenus par diffraction des rayons X (DRX) ont montré une évolution de la position du maximum du halo de diffusion de la phase vitreuse de différents composés en relation avec la composition chimique dans le diagramme ternaire $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Lorsque que l'on trace l'évolution de la position du maximum du halo de diffusion en fonction de la composition chimique, on constate une évolution régulière avec la teneur en calcium (la position angulaire se décalant vers les grands angles). Inversement, une augmentation de la teneur en silicium tend à décaler le pic du halo vers les bas angles. Avec l'aluminium, la tendance semble similaire à celle du calcium à l'exception des deux points représentatifs des laitiers.

Ecological cements and glassy structure of pozzolans

Abstract:

The contribution of the cement sector to CO₂ emissions is in the order of 5 to 7%. This is linked to the high temperature firing process (1450°C) and the thermal decarbonation of limestone, which leads to the formation of clinker. Reducing the environmental footprint of cements is thus the major challenge for the cement industry over the next 5 years. Besides the engineering works of the cement process, the most immediate way consists in substituting the clinker by silico-aluminous matrices more or less rich in calcium, without reducing the mechanical performances.

The objective of the internship is, from an appropriate sampling of volcanic and sedimentary pozzolans, blast furnace slags, silico-aluminous fly ashes, calcic fly ashes and more or less calcic siliceous fumes, to measure the position of the maximum of the diffusion halo of these glassy materials and its evolution according to the chemistry. This structural characteristic obtained from the X-ray diffraction measurements could be correlated with the reactivity properties. These elements could be useful for the selection and predictive control of materials. They could also be used for the identification of the nature of the constituents in cements.

Subject :
