

**Titre :** Amélioration des propriétés rhéologiques et à jeune âge des laitiers alcali-activés au carbonate de sodium

**Mots clés :** Laitier de hauts fourneaux ; ciment à base de laitier ; liant alkali-activé ; Carbonate de sodium ; ciment écologique ; ciment à faible impact CO<sub>2</sub>

**Résumé :** Aujourd'hui, les problèmes environnementaux sont plus graves que jamais. Des mesures urgentes devraient être prises dans tous les domaines de l'activité humaine, y compris la construction. L'un des principaux contributeurs à l'impact négatif de cette industrie sur l'environnement est la fabrication du ciment Portland ordinaire (OPC) nécessaire à la production de béton et d'autres matériaux cimentaire. Malgré son importance, il présente un inconvénient important: sa production est accompagnée par de grandes quantités de gaz à effet de serre. Ils représentent 5 à 8% des émissions mondiales totales de CO<sub>2</sub>. Des matériaux cimentaires plus écologiques sont maintenant nécessaires.

Des réductions significatives de l'impact sur l'environnement ne peuvent être obtenues que par l'utilisation de liants de nouvelle génération dont la fabrication ne nécessite pas beaucoup de processus et de traitements supplémentaires. L'une d'elles consiste à utiliser des déchets industriels comme liants (différents laitiers, cendres volantes, cendres de biomasse, etc.). De cette manière, il y a non seulement une réduction de l'impact de processus tels que l'extraction minière ou la calcination, mais également le recyclage des déchets (un principe de l'économie circulaire).

Une possibilité consiste à utiliser du laitier de haut fourneau (GGBS) comme base pour ce ciment de nouvelle génération. En raison de sa réactivité relativement faible avec l'eau, des suppléments (également appelés activateurs) doivent être utilisés pour favoriser le processus d'hydratation. Le carbonate de sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) est l'un des activateurs les plus prometteurs et en même temps les moins étudiés. Un tel ciment alkali-activé présente des propriétés mécaniques et de durabilité élevées, ainsi qu'une empreinte CO<sub>2</sub> très faible. Parmi les principaux problèmes qui entravent son utilisation à l'échelle industrielle, on peut mentionner une évolution de la résistance lente à jeune âge et de rhéologie médiocre.

L'objectif de la présente thèse est de développer une nouvelle conception du liant à base de laitier activé par Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, qui répondrait à toutes les exigences modernes du secteur de la construction, en particulier les propriétés rhéologiques et le développement de la résistance à jeune âge. Ce liant doit toujours répondre à au moins trois critères principaux: faible impact environnemental, faibles risques de danger dans les applications sur le terrain et être économiquement compétitif à l'échelle industrielle.

Dans le présent travail, l'influence de différents paramètres tels que le rapport eau/liant, la concentration de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, la finesse du laitier et les conditions de durcissement sur les propriétés du mélange à jeune âge et à long terme a été étudiée. Sur la base des résultats du processus d'hydratation, les additifs à base de phosphonate qui permettent de contrôler efficacement la rhéologie de tels liants ont été testés avec succès. Ils permettent non seulement de contrôler le temps de prise, mais fournissent également un effet plastifiant.

En ce qui concerne l'amélioration des propriétés de résistance au jeune âge, différentes méthodes ont été utilisées. L'utilisation d'un traitement thermique ou d'une augmentation de la finesse du GGBS s'est avérée efficace. L'exploration des causes d'une longue période d'induction a montré que l'accélération pouvait également être obtenue par l'ajout d'une source de calcium à cinétique de dissolution contrôlée. En conséquence, le liant est devenu plus réactif et plus robuste à certains facteurs (concentration d'activateur, rapport eau/liant, conditions de durcissement, etc.). Pour compenser l'empreinte carbone supplémentaire de la source de calcium ajoutée, le liant a été dilué avec succès par le calcaire sans aucune dégradation des propriétés à un certain pourcentage de dilution.

**Université Paris-Saclay**

Espace Technologique / Immeuble Discovery

Route de l'Orme aux Merisiers RD 128 / 91190 Saint-Aubin, France



**Title :** Improving the rheological and early age properties of sodium carbonate alkali-activated GGBS

**Keywords :** Ground granulated blast-furnace slag (GGBS); slag cement; Alkali-activated binder; Sodium carbonate; eco-friendly cement; low CO<sub>2</sub> binder

**Abstract :** Today, environmental problems are more acute than ever. Urgent measures should be taken in all spheres of human activity including construction and civil engineering. One of the major contributors of negative environmental impacts from this industry is the manufacturing of ordinary Portland cement (OPC) required for concrete and other cementitious materials production. Although its importance to economical development, it has a significant drawback - its production is accompanied by the emission of large quantities of greenhouse gases. They account for 5-8% of total world CO<sub>2</sub> emissions. More environmentally friendly cementitious materials are now required.

Significant reductions of the environmental impact can be achieved only through the use of new-generation binders whose manufacture does not require a lot of additional processes and treatments. One route is through the use of industrial wastes as binders (different slags, fly ash, biomass bottom ash, etc.). In this way there is not only a reduction in the impact of processes such as mining or calcination, but also the recycling of waste materials (circular economy principle).

One possibility is to use ground granulated blast furnace slag (GGBS) as the basis for such a new generation cement. Due to its rather low reactivity with water, additional supplements (also called activators) should be used to promote the hydration process. One of the most promising, and at the same time least studied, activators is sodium carbonate (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Such alkali-activated cements present high mechanical and durability properties, as well as a very low CO<sub>2</sub> footprint. Among the main problems hindering its industrial scale adoption are their poor rheology and too slow strength gain within the first days of hardening.

The objective of the present thesis is to develop a new binder based on Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activated GGBS that would meet all the modern requirements of the construction industry, in particular regarding the rheological properties and early age strength development. In addition this binder should always respond to at least three main criteria: low environmental impact, low health and safety concerns in field applications, and be economically competitive at industrial scale.

In the present work, the influence of different parameters like water/binder ratio, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> concentration, slag fineness and curing conditions on both early age and long term properties of the mixture were studied. Based on the results of the hydration process analysis, phosphonate based additives that allow for the effective control of the rheology of such binders were successfully tested. They not only allow control over the setting time, but also provide a plasticizing effect.

Regarding the improvement of early age strength properties, various methods have been used. The use of heat treatment or an increase of GGBS fineness turned out to be efficient. Exploring the causes of the long induction period has shown that acceleration can also be achieved by the addition of a calcium source with controlled dissolution kinetics. As a result, the binder became more reactive and robust against certain factors (activator concentration, Water/Binder ratio, curing conditions, etc.). To compensate for the additional carbon footprint from the added calcium source, the binder was successfully diluted by limestone without any degradation of the properties below some dilution percentages.

