

Valorisation des cendres de biomasse en tant que granulats et filler dans les bétons

Contexte

Les chaufferies bois produisent plus de 200 000 tonnes de cendres de biomasse en France. Ces cendres représentent une quantité importante de déchets que les exploitants des centrales biomasses doivent valoriser ou éliminer, en fonction de la typologie des cendres (sous-foyer, volantes), de la technologie de combustion utilisée (chaudières à grille, lit fluidisé, spreader stocker) et des filières existantes (valorisation agricole, envoi en centre d'enfouissement, etc.). Une étude territoriale et économique a permis d'estimer à entre 13 et 38 tonnes les gisements de cendres de biomasse disponibles dans la région Hauts-de-France. Par ailleurs, ce chiffre est voué à augmenter du fait du développement croissant de ce type de chaufferie.

Une voie de valorisation intéressante des cendres de chaufferie bois concerne leur utilisation dans des matériaux de construction. Chaque année en France, plus de 117 millions de tonnes de granulats sont utilisées, dont la grande majorité sont issus de l'extraction des carrières ou des fleuves. Or, ces ressources se raréfient et sont de plus en plus difficilement accessibles. Le secteur du BTP a développé des matériaux en substituant une partie des matières premières (ciment, granulats) par des sous-produits industriels (laitiers de haut fourneau, cendres volantes, granulats recyclés, etc.).

L'introduction d'un sous-produit issu de la biomasse dans une matrice cimentaire doit cependant faire l'objet d'une étude préalable vu la complexité de l'interaction des cendres avec l'eau de gâchage et les différents constituants du béton. Il s'agira notamment de définir les proportions de chaque constituant du béton pour que ce dernier ait les propriétés finales spécifiques. Pour caractériser les cendres volantes, il est nécessaire de connaître sa finesse par la mesure de la surface spécifique Blaine. Elle peut varier de 4500 à 13000 cm²/g. Cette valeur est supérieure à celle du ciment Portland (environ 3000 cm²/g). Dans le cas des cendres sous-foyers, elles se seront utilisées comme des granulats recyclés.

Depuis une décennie, de nombreux projets de recherche sur les cendres de biomasse émergent en Europe (Espagne [1-4], Italie [5-7], Grèce [8-10], Portugal [11-13], Finlande [14-16], etc.), en Amérique [17-19] et en Asie [20-23]. En France, plusieurs études ont également traitées de la faisabilité de valorisations de cendres dans les matériaux cimentaires (mortiers et béton) [24-27].

Dans le cadre de cette thèse, l'étude portera sur la valorisation des cendres volantes et sous-foyer issues de chaudières de fortes puissances (> 20 MW) :

- les chaudières à lit fluidisé produisent des cendres sèches : 85% de cendres volantes et 15% de cendres sous foyer ;
- les chaudières de type spreader stocker produisent 60% de cendres volantes (sèches) et 40% de cendres sous foyer (sèches ou humides).

Résultats attendus

- Recherche bibliographique sur les travaux portant sur l'utilisation de cendres de biomasses dans les matériaux de construction et sur les propriétés et caractéristiques des bétons incorporant des granulats ou sous-produits recyclés.
- Caractérisation physico-chimique des cendres de biomasse sous-foyers produites dans les Hauts-de-France.
- Optimisation des formulations de deux types de bétons selon les propriétés des cendres : compacts (béton classique, coulé en place) et poreux (blocs vibro-compactés, à démoulage immédiat).
- Evaluation de la durabilité des nouveaux écomatériaux via des essais adaptés.

Objectifs

L'objectif principal de cette étude est de valoriser durablement des quantités élevées de cendres sous foyers et de développer des composites cimentaires capables d'être utilisés comme matériau porteur de charges mais avec des propriétés thermo-physiques conformes aux normes en vigueur. Plusieurs formulations de bétons pourront être étudiées, telles que :

- Un béton sec à démoulage immédiat dont la formulation est couramment utilisée pour la fabrication de blocs de construction (pleins ou creux) par vibrocompactage (NF EN 771-3/CN).
- Un béton de structure, caractérisé par son affaissement, sa mise en œuvre dans les coffrages, sa résistance mécanique (35 MPa) à la compression et l'aspect des parements en béton. Plusieurs questions se posent lors du malaxage des bétons à base d'éco-produits : l'ordre d'introduction des constituants, l'état de saturation des additions ou encore la modification du temps de prise et l'hydratation cimentaire.

Il sera également attendu de la part du-de la doctorant-e de synthétiser les résultats et analyses sous la forme de rapports. Par ailleurs, il-elle devra valoriser ces travaux sous la forme de communications dans des conférences et dans des revues scientifiques de rang A.

Les encadrants de la thèse veilleront à informer le-a doctorant-e des conférences et revues en lien avec son travail afin de lui permettre de présenter ses résultats sous la forme la plus appropriée.

Profil

- Génie civil ou génie des sciences des matériaux.
- Compétences en caractérisation des matériaux et en expérimentation.
- Capacité d'analyse et de synthèse, autonomie, force de proposition.
- Forte aptitude à la communication, capacité d'initiative et d'organisation, goût prononcé pour l'expérimentation.
- Niveau de français requis : capacité à s'exprimer spontanément à l'écrit comme à l'oral sur des sujets complexes.
- Niveau d'anglais requis : aptitude à parler la langue avec assurance et de manière compréhensible.

Conditions

- Localisation : LGCgE - IUT de Béthune
- Début : 1^{er} octobre 2020
- Bourse : Université d'Artois

Encadrement

- Direction : Pr. Chafika DJELAL-DANTEC
- Co-encadrement : Jonathan PAGE et Laurent Libessart

Pour postuler, envoyer les documents suivants :

- 1- CV + lettre de motivation
- 2- Relevés de notes des 3 dernières années d'études (y compris L3 ou équivalent)
- 3- Rang de classement et effectifs de la promotion
- 4- Diplôme de Master ou équivalent
- 5- Lettres de recommandation
- 6- Une étude bibliographique de 2 pages sur le sujet

A transmettre à :

- Chafika Djelal-Dantec (PR) chafika.dantec@univ-artois.fr
- Jonathan Page (MCF) jonathan.page@univ-artois.fr
- Laurent Libessart (MCF) laurent.libessart@univ-artois.fr

Références bibliographiques

1. Medina JM, Sáez del Bosque IF, Frías M, Sánchez de Rojas MI, Medina C (2019) Durability of new blended cements additioned with recycled biomass bottom ASH from electric power plants. *Constr Build Mater* 225:429-440.
2. Medina JM, Sáez del Bosque IF, Frías M, Sánchez de Rojas MI, Medina C (2019) Design and properties of eco-friendly binary mortars containing ash from biomass-fuelled power plants. *Cem Concr Compos* 104:103372.
3. Cabrera M, Rosales J, Ayuso J, Estaire J, Agrela F (2018) Feasibility of using olive biomass bottom ash in the sub-bases of roads and rural paths. *Constr Build Mater* 181:266-275.
4. Rosales J, Cabrera M, Beltrán MG, López M, Agrela F (2017) Effects of treatments on biomass bottom ash applied to the manufacture of cement mortars. *J Clean Prod* 154:424-435.
5. Berra M, Mangialardi T, Paolini AE (2015) Environmental quality of hardened wood fly ash-cement mixtures. *Proc Inst Civ Eng - Waste Resour Manag* 169:3-13.
6. Berra M, Mangialardi T, Paolini AE (2015) Reuse of woody biomass fly ash in cement-based materials. *Constr Build Mater* 76:286-296.
7. Salvo M, Rizzo S, Caldirola M, Novajra G, Canonico F, Bianchi M, Ferraris M (2015) Biomass ash as supplementary cementitious material (SCM). *Adv Appl Ceram* 114:S3-S10.
8. Sklivaniti V, Tsakiridis PE, Katsiotis NS, Velissariou D, Pistofidis N, Papageorgiou D, Beazi M (2017) Valorisation of woody biomass bottom ash in Portland cement: A characterization and hydration study. *J Environ Chem Eng* 5:205-213.
9. Demis S, Tapali JG, Papadakis VG (2014) An investigation of the effectiveness of the utilization of biomass ashes as pozzolanic materials. *Constr Build Mater* 68:291-300.
10. Baran Y, Gökçe HS, Durmaz M (2020) Physical and mechanical properties of cement containing regional hazelnut shell ash wastes. *J Clean Prod* 259:120965.
11. da Costa TP, Quinteiro P, Tarelho LAC, Arroja L, Dias AC (2019) Environmental assessment of valorisation alternatives for woody biomass ash in construction materials. *Resour Conserv Recycl* 148:67-79.
12. Rajamma R, Senff L, Ribeiro MJ, Labrincha JA, Ball RJ, Allen GC, Ferreira VM (2015) Biomass fly ash effect on fresh and hardened state properties of cement based materials. *Compos Part B Eng* 77:1-9.
13. Rajamma R, Ball RJ, Tarelho LAC, Allen GC, Labrincha JA, Ferreira VM (2009) Characterisation and use of biomass fly ash in cement-based materials. *J Hazard Mater* 172:1049-1060.
14. Illikainen M, Tanskanen P, Kinnunen P, Körkkö M, Peltosaari O, Wigren V, Österbacka J, Talling B, Niinimäki J (2014) Reactivity and self-hardening of fly ash from the fluidized bed combustion of wood and peat. *Fuel* 135:69-75.
15. Ohenoja K, Wigren V, Österbacka J, Illikainen M (2019) Mechanically Treated Fly Ash from Fluidized Bed Combustion of Peat, Wood, and Wastes in Concrete. *Waste Biomass Valorization*.
16. Rissanen J, Ohenoja K, Kinnunen P, Romagnoli M, Illikainen M (2018) Milling of peat-wood fly ash: Effect on water demand of mortar and rheology of cement paste. *Constr Build Mater* 180:143-153.
17. Cordeiro GC, Tavares LM, Toledo Filho RD (2016) Improved pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash by selective grinding and classification. *Cem Concr Res* 89:269-275.
18. Vieira AP, Toledo Filho RD, Tavares LM, Cordeiro GC (2020) Effect of particle size, porous structure and content of rice husk ash on the hydration process and compressive strength evolution of concrete. *Constr Build Mater* 236:117553.
19. Lessard J-M, Omran A, Tagnit-Hamou A, Gagne R (2017) Feasibility of using biomass fly and bottom ashes in dry-cast concrete production. *Constr Build Mater* 132:565-577.
20. Tangchirapat W, Khamklai S, Jaturapitakkul C (2012) Use of ground palm oil fuel ash to improve strength, sulfate resistance, and water permeability of concrete containing high amount of recycled concrete aggregates. *Mater Des* 41:150-157.
21. Jaturapitakkul C, Kiattikomol K, Tangchirapat W, Saeting T (2007) Evaluation of the sulfate resistance of concrete containing palm oil fuel ash. *Constr Build Mater* 21:1399-1405.
22. Lim SK, Tan CS, Lim OY, Lee YL (2013) Fresh and hardened properties of lightweight foamed concrete with palm oil fuel ash as filler. *Constr Build Mater* 46:39-47.
23. Chandara C, Mohd Azizli KA, Ahmad ZA, Saiyid Hashim SF, Sakai E (2012) Heat of hydration of blended cement containing treated ground palm oil fuel ash. *Constr Build Mater* 27:78-81 .
24. Ayrinhac F (2005) Valorisation des cendres volantes de chaudière à lit fluidisé circulant dans la filière du génie civil. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse.
25. Sow M (2016) Réalisation d'éco-ciments par la valorisation de cendres volantes de charbon non conventionnelles issues de centrales thermiques Spreader Stoker. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.
26. Sow M, Hot J, Tribout C, Cyr M (2015) Characterization of Spreader Stoker Coal Fly Ashes (SSCFA) for their use in cement-based applications. *Fuel* 162:224-233.
27. Chen M (2012) Faisabilité technique et environnementale de l'utilisation dans des matériaux de construction cimentaires de cendres d'incinération de boues de station d'épuration. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Lyon.