



MARS
2018

VALOCENDRES

Valorisation des cendres volantes
papetières dans le béton après
différents prétraitements

Synthèse publique

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :



Norske Skog
Golbey

CERIB
Expertise concrète

**Heinrich
& Bock**
Environnement - Bâtiment
Travaux Publics & Collectivités

ctp
centre technique
du papier

Auteurs :

Marjorie Petitpain, François Jacquemot, Martine Bortolotti, Yannick Louazel, Arnaud Aubigny

REMERCIEMENTS

Martine Bortolotti – Norske Skog Golbey (NSG)

Arnaud Aubigny – Centre Technique du Papier (CTP)

Marjorie Petitpain – Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB)

François Jacquemot – Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB)

Patrick Rougeau – Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB)

Yannick Louazel – Heinrich & Bock

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1401C0072

**Étude réalisée par Marjorie Petitpain, François Jacquemot,
Martine Bortolotti, Yannick Louazel, Arnaud Aubigny**

Projet de recherche coordonné par : Norske Skog Golbey

Appel à projet de recherche : « Bioressources, Industries et Performance (BIP) » Edition 2014

Coordination technique - ADEME : Marie April - Simon Cousin
Direction/Service : Direction Productions et Énergies Durables,
Service Forêt Alimentation et Bioéconomie

TABLE DES MATIERES

Résumé	4
Contexte et enjeux du projet	5
Objectifs	5
Bilan / Principaux résultats obtenus	6
Conclusion / Perspectives	6

Résumé

Le développement de la filière bois-énergie a conduit à une croissance importante du nombre de chaufferies utilisant ce combustible (nombre multiplié par 10 depuis 1994). En France, deux papeteries utilisent plus particulièrement ce combustible en co-incinération avec les boues issues du lavage du papier recyclé. Toutefois, l'exploitation de ces installations entraîne la production de volumes importants de cendres encore difficilement valorisables.

Par leurs propriétés physico-chimiques, ces cendres volantes de papeterie issues de la co-incinération de boues et biomasse présentent un intérêt technique et économique pour l'industrie du béton (incorporation dans le liant ou en tant que filler).

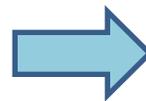
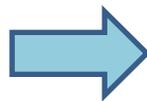
Ce projet de valorisation matière s'inscrit dans le cadre d'une économie circulaire entre le domaine papetier producteur de cendres volantes et le domaine du béton, utilisateur de matériaux fins comme le ciment.

Les cendres volantes de papeterie contiennent néanmoins une quantité non négligeable de chaux susceptible de générer des gonflements au sein du béton. Le projet a permis de définir les conditions de prétraitement des cendres volantes adaptées pour une substitution de matières premières (ciment, filler) au sein du matériau béton, contribuant également à la réduction des différents impacts environnementaux induits par les deux domaines industriels.

Des essais industriels concluants permettent, dès la fin du projet, la valorisation des cendres volantes papetières dans des produits en béton de type pavés, voire dans d'autres produits préfabriqués, moyennant quelques essais complémentaires.



Cendres volantes de papeterie



*Fabrication de pavés
(Crédit : Heinrich et Bock)*

Abstract

The development of the wood energy sector has led to a significant increase in the number of boiler houses using this fuel (number multiplied by 10 since 1994). In France, two paper mills use particularly this combustible in co-incineration with sludges from recycled paper wash.

However, the operation of these facilities leads to the production of large volumes of ashes still difficult to recover.

Due to their physical and chemical properties, paper mill fly ashes, resulting from the co-incineration of sludge and biomass, are technically and economically interesting for the concrete industry.

This project is part of a circular economy between paper industry, which produces fly ashes, and concrete industry, which uses fine materials such as cement.

Nevertheless, the concerned ashes contain a significant amount of lime, which can generate swelling in concrete. The project has made it possible to define the pretreatment conditions for biomass fly ashes, suitable for substitution of raw materials (mineral additions, cement) within the concrete material, also contributing to the reduction of the different environmental impacts induced by both industries.

Successful industrial tests make it possible, at the end of the project, to recover paper fly ashes in concrete paving blocks, or even in other concrete products, with some additional tests.

Contexte et enjeux du projet

Pour atteindre les objectifs de développement de la filière bois énergie, des appels d'offres ont été lancés en France par la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) et l'ADEME (Fonds Chaleur). Parmi les candidats industriels ayant été accompagnés, on compte de nombreux sites papetiers. En phase d'exploitation, l'ensemble de ces sites généreront près de 300 000 tonnes de cendres à valoriser. Certaines filières existent mais une valorisation matière à plus forte valeur ajoutée permettrait de diversifier les modes de valorisation et de réduire les coûts supportés par les industriels papetiers et ainsi améliorer leur compétitivité.

Le projet ValoCendres a vu le jour à l'initiative de la papeterie Noske Skog Golbey, producteur de papier et générateur de plusieurs dizaines de milliers de tonnes de cendres.

Les difficultés associées à la valorisation de ces cendres sont de plusieurs natures :

- nature financière : les coûts associés aux voies actuelles de valorisation (plateformes agricoles, stabilisation de déchets), y compris les frais de transport, sont très lourds pour la papeterie dans une conjoncture délicate ;
- nature technique : la production de cendres étant continue, et leurs applications souvent saisonnières un stockage temporaire est nécessaire.

Du côté utilisateur, les analyses de cycle de vie (ACV) des produits en béton montrent que la majeure partie de leur impact environnemental est due à ses matériaux constitutifs et principalement le liant, souvent à base de ciment Portland. En effet, la production de ce ciment est consommatrice d'énergie et émettrice de gaz à effet de serre. En parallèle, l'intérêt de la filière béton pour les additions minérales, comme les cendres volantes issues de centrale thermique, est croissant ces dernières années. Par leurs propriétés physico-chimiques similaires, les cendres volantes de papeterie issues de la co-incinération de biomasse et de boues, sont susceptibles de présenter un intérêt technique et économique pour l'industrie du béton (en les incorporant dans le liant ou en tant que filler) et ainsi contribuer à la réduction des impacts environnementaux générés par les deux secteurs industriels.

Objectifs

Ce projet de valorisation matière s'inscrit dans le cadre d'une économie circulaire entre le domaine papetier producteur de cendres volantes et le domaine du béton, utilisateur de matériaux fins comme le ciment. Des freins liés aux caractéristiques physico-chimiques de ces cendres, notamment leur teneur en chaux vive pouvant engendrer un désordre dimensionnel, ont été identifiés dans une précédente étude (projet « Valorisation Croisée » co-financé par l'ADEME), engendrant la nécessité d'un prétraitement de ces dernières.

Le projet a donc pour but de définir les conditions de prétraitement des cendres volantes adaptées à une substitution de matières premières (ciment, filler) au sein du matériau béton.

Les travaux se sont déroulés en plusieurs phases :

- détermination de l'effet des prétraitements sur les propriétés physico-chimiques des cendres ;
- tests d'incorporation dans le béton des cendres prétraitées à l'échelle du laboratoire ;
- essais en usine réalisés par l'industriel fabricant des produits en béton ;
- analyse technico économique, sociale et environnementale.

Bilan / Principaux résultats obtenus

Lors de la première année d'études, plusieurs lots de cendres papetières ont été caractérisés. Des tests laboratoire ont permis de définir le taux d'incorporation optimum de cendres brutes permettant de ne pas dégrader la résistance mécanique ou la stabilité dimensionnelle de mortiers.

Dans le but d'augmenter ce taux d'incorporation en substitution de matières premières constitutives du liant, différents prétraitements ont été testés en laboratoire. Ils avaient pour objectif d'inertiser la chaux vive présente dans les cendres :

- prétraitement mécanique ;
- carbonatation ;
- prémouillage ;
- mélange avec d'autres additions pour béton.

En mesurant leur influence par l'intermédiaire d'essais sur mortiers (résistances mécaniques, variations dimensionnelles) ou essais sur les cendres, le traitement le plus performant semblait être le prémouillage des cendres.

Il a été montré que pour des teneurs en cendres dans le liant supérieures à 17 %, l'application d'un prétraitement adapté permettait de prévenir les risques de gonflement générateur d'éventuels désordres.

Les essais réalisés sur pavés en béton fabriqués en usine ont montré qu'il était possible de substituer la totalité des cendres volantes de centrale thermique de la formule par des cendres volantes de papeterie brutes (soit 16 % du liant).

Dans le but de substituer davantage de liant (dont du ciment) tout en gardant des cendres brutes, un travail sur la formulation du béton a été entrepris. Les résultats des essais ont démontré que les cendres de papeterie avaient une bonne interaction avec le superplastifiant employé. Des pavés industriels répondant aux spécifications en termes de résistance mécanique par fendage ont été fabriqués avec 25 % de cendres de papeterie brutes, permettant une substitution partielle de ciment. Les pavés devront être testés en lixiviation afin de s'assurer de leur bon comportement sanitaire ainsi qu'en fendage à long terme afin de valider la durabilité du produit.

Conclusion / Perspectives

Plusieurs autres compositions de béton à démoulage différé, correspondant à d'autres gammes de produits que les pavés fabriqués industriellement lors de ce projet, ont été testées en laboratoire. Les résultats obtenus sont prometteurs et démontrent que l'utilisation de cendres de papeterie est techniquement possible sous réserve d'une optimisation du matériau intégrant toutes les performances attendues, y compris celles sur la durabilité.

En fonction de l'application visée, une étude au cas par cas est donc nécessaire. À partir d'une caractérisation précise des cendres volantes de papeterie (compositions chimiques, minéralogiques, morphologiques), leur quantité dans le liant devra être ajustée (jusque 25 % voire 50 %) tout en appliquant un prétraitement efficace afin d'éviter tout risque de gonflement dans le temps, obtenir les meilleures résistances mécaniques et garantir la durabilité du matériau.

Le bilan technico-économique est positif pour les deux industriels partenaires de ce projet qui vont poursuivre leur collaboration. Après une optimisation finale de la composition de pavés testée dans ce projet, l'utilisation de cendres va s'étendre à d'autres produits. Dans tous les cas, la mise en place d'un protocole qualité est nécessaire afin d'assurer la conformité des produits préfabriqués en béton.

D'un point de vue environnemental (au sens de l'analyse du cycle de vie), la substitution de cendres volantes de centrale thermique par des cendres de papeterie dans la même proportion ne présente qu'une très faible amélioration des indicateurs d'impact. En revanche, les essais usine démontrent qu'il est techniquement possible de substituer, en plus des cendres volantes de centrale thermique, une petite proportion de ciment. Cela permettrait d'améliorer encore les performances environnementales du matériau. À ce bilan positif s'ajoute la réduction de la distance de transport entre le site industriel papetier et le lieu de valorisation améliorant davantage le bilan environnemental.

VALOCENDRES

Résumé

Le développement de la filière bois-énergie a conduit à une croissance importante du nombre de chaufferies utilisant ce combustible (nombre multiplié par 10 depuis 1994). En France, deux papeteries utilisent plus particulièrement ce combustible en co-incinération avec les boues issues du lavage du papier recyclé. Toutefois, l'exploitation de ces installations entraîne la production de volumes importants de cendres encore difficilement valorisables.

Par leurs propriétés physico-chimiques, ces cendres volantes de papeterie issues de la co-incinération de boues et biomasse présentent un intérêt technique et économique pour l'industrie du béton (incorporation dans le liant ou en tant que filler).

Ce projet de valorisation matière s'inscrit dans le cadre d'une économie circulaire entre le domaine papetier producteur de cendres volantes et le domaine du béton, utilisateur de matériaux fins comme le ciment.

Les cendres volantes de papeterie contiennent néanmoins une quantité non négligeable de chaux susceptible de générer des gonflements au sein du béton. Le projet a donc permis de définir les conditions de prétraitement des cendres volantes adaptées pour une substitution de matières premières (ciment, filler) au sein du matériau béton, contribuant également à la réduction des différents impacts environnementaux induits par les deux domaines industriels.

Des essais industriels concluants permettent, dès la fin du projet, la valorisation des cendres volantes papetières dans des produits en béton de type pavés, voire dans d'autres produits préfabriqués, moyennant quelques essais complémentaires.

***Un exemple de transition
vers une économie circulaire
mise en œuvre entre
l'industrie papetière et
l'industrie du béton !***



www.ademe.fr

