

## Cendres volantes de centrale thermique

Version mise en ligne en avril 2013

### 1 Unités fonctionnelles

Les données d'inventaire concernant les cendres volantes sont définies en fonction du système que l'on étudie. Quatre unités fonctionnelles peuvent être identifiées pour les cendres volantes :

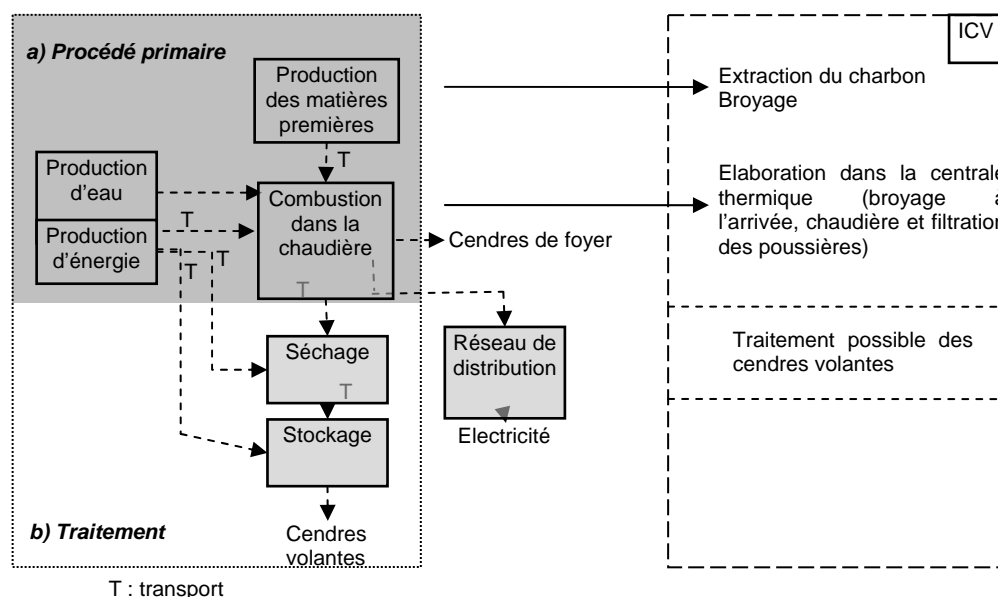
- 1 kWh d'électricité produite lors de la production primaire,
- 1 tonne de cendres lors de leur élaboration (traitements préalables qui permettent l'utilisation des cendres en travaux publics),
- La quantité de cendres volantes nécessaire pour la production d'1 tonne de matériau en substitution à un liant (ciment, béton...),
- La quantité nécessaire pour construire 1m<sup>2</sup> d'infrastructure ou 1km d'une infrastructure définie (largeur et épaisseur).

Les unités fonctionnelles correspondent à l'échelle du système étudié : soit par rapport au matériau produit, (par exemple la production d'une tonne de ciment ou d'un m<sup>3</sup> de béton défini par sa formule), soit par rapport à la construction d'une infrastructure, (par exemple 1km de voirie avec une largeur et une épaisseur donnée).

### 2 Présentation des process donnant un ICV des cendres volantes

#### 2.1 Système de production primaire

Le système de production primaire des cendres volantes correspond à celui de la fabrication d'électricité en centrale thermique (figure 1). Le système est séparé en deux : le procédé primaire (commun à l'électricité et aux cendres), et le traitement (propre aux cendres volantes).



**Figure 1: Système de production primaire (Chen, 2010)**

Au niveau du procédé primaire (a- figure 1), l'unité fonctionnelle correspond à la production d'1 kWh d'électricité tandis que pour la partie traitement (b- figure 1), l'unité fonctionnelle peut être définie pour une tonne de cendres volantes.

Ces deux procédés existants dans les centrales thermiques françaises et conduisent à la production de cendres volantes aux propriétés différentes : les cendres silico-alumineuses et les cendres silico-calciques. Ces deux types de cendres peuvent être utilisés en liant, notamment dans le ciment d'après la norme NF EN 197-1 (AFNOR, 2001). Seules les cendres alumineuses font également l'objet d'autres usages (terrassent... ) (Chen, 2009) et ne seront plus différenciées dans la suite de ce chapitre.

## 2.2 Système d'utilisation des cendres volantes

Une fois traitées, les cendres volantes peuvent être utilisées de différentes manières en technique routière (figure 2).

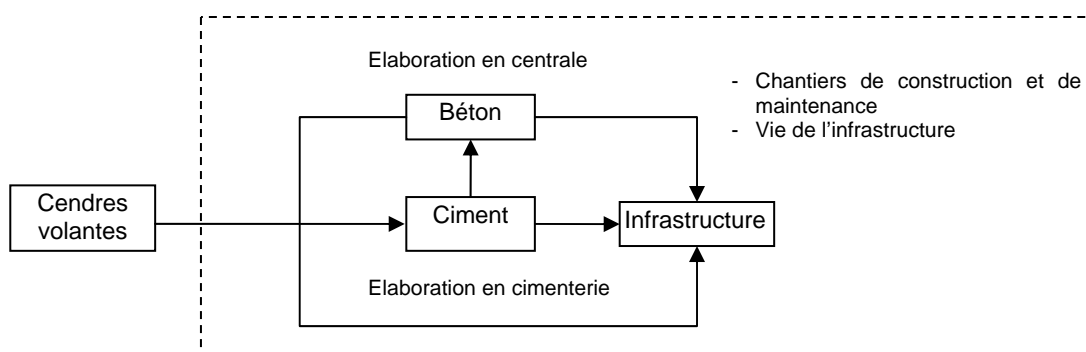


Figure 2: Système d'utilisation des cendres volantes

## 2.3 Analyse des inventaires

Le contenu des inventaires et des listes de flux spécifiques à une installation sont disponibles en tableau 1, pour chaque étape du cycle de vie. Ceci permet de visualiser le contenu des différents inventaires et de vérifier leur homogénéité. En effet, les différentes listes de flux n'incluent pas les mêmes processus selon la manière dont leur système a été défini.

**Tableau 1 : Analyses des inventaires concernant l'utilisation des cendres volantes en technique routière**

Etape du cycle de vie	Matières premières	Transport	Fonctionnement des équipements	Construction des installations	Entretien des installations	Prise en compte de la production d'énergie	Stockage du produit
Fabrication des cendres volantes	Extraction charbon et calcaire (Chen, 2009)		Chaudière (Chen, 2009, ecoinvent, 2002)	Chaudière (ecoinvent, 2002)	Cendres en décharge	oui	
Traitement (Chen, 2009)		camion	Electricité, gaz, diesel (CTL, 2003)		Eau pour traiter les déchets		

### 3 Données disponibles

#### 3.1 Issues du procédés de production primaire

Le tableau 2 présente les procédés qui conduisent à la fabrication d'électricité (production primaire) et à celle des cendres volantes. Ces dernières correspondent aux déchets de la production primaire, et sont aussi appelées des sous-produits en raison de leurs débouchés. Ce tableau indique également les références de travaux d'ACV et d'inventaires disponibles.

**Tableau 2 : Procédés de production d'électricité et références ACV correspondantes**

	Production / Stockage	Production du déchet	Devenirs du déchet
<b>Process du site industriel</b>	Process de production d'électricité en centrale thermique	Cendres volantes sèches (silos), humides (air libre) ou liquéfiées	Décharge Recyclage
<b>Références ACV</b>	Ecoinvent pour la production d'électricité (Suisse) ELCD pour la production d'électricité (Europe)	/	

#### 3.2 Issues de transformation en lien avec l'utilisation

Les cendres volantes de fraîche production sont généralement utilisées (surtout dans la composition de ciment). Les plus anciennes ont été stockées dans des bassins à proximité immédiate des centrales thermiques, sans protection du milieu naturel.

Dans ce paragraphe, seuls les procédés spécifiques au matériau « cendres volantes » sont considérés. Cela signifie que tous les flux de matières ou d'énergie liés à ces processus sont attribuables au matériau. Cette étape, appelée élaboration du matériau, consiste à traiter les cendres volantes pour pouvoir les utiliser en technique routière. Le tableau 3 présente ces procédés et les différentes utilisations possibles du matériau.

**Tableau 3 : Procédés d'élaboration du matériau, ses utilisations et données d'inventaires disponibles**

Matériau	Pré-traitement / Stockage sur le site de production	Usages
<b>Processus</b>	Séchage	Béton Grave-cendres-chaux Grave-laitier-cendres-chaux Cendres-chaux-gypse Cendres traitées au liant Remblais non traités
<b>Données ICV à utiliser</b>		

### 3.3 Issues de l'inventaire

Aucun inventaire n'est actuellement disponible dans la littérature pour être diffusé librement.

Les données utilisées par Chen (2009) sont issues en partie de données de la base Ecoinvent (2002) (production d'électricité, production des cendres volantes, construction des installations) et d'autres données, dont certaines ont été collectées par l'IFSTTAR (ex-LCPC) ne sont pas publiques.

En dehors de la base de données Ecoinvent (2002), d'autres bases comme la base européenne ELCD (2003) proposent des inventaires pour la production d'électricité qu'il faut adapter pour obtenir un inventaire de la production de cendres volantes.

Concernant leur utilisation, il faut se reporter aux inventaires disponibles pour leur usage. Par exemple, l'ATHIL (2011) propose un inventaire pour chaque catégorie de ciment (CEM I à VI). En dehors du CEM I, les autres ciments intègrent en proportion variables d'autres composés dont les cendres volantes. Seuls les flux d'élaboration et de transport des cendres volantes sont inclus dans l'inventaire ATILH des flux de production du ciment (ATILH, 2011).

Les inventaires d'émissions concernant les phases de mise en place et de vie de l'ouvrage doivent encore être améliorés.

## 4 Bibliographie sur l'ACV sur l'utilisation des cendres volantes

Flower and Sanjayan (2007) ont travaillé sur les émissions de CO<sub>2</sub> au cours de l'étape de fabrication du cycle de vie du béton. Ils considèrent que la production d'électricité (production primaire) aurait eu lieu même en absence de la production de cendres volantes, lui conférant ainsi le statut de sous-produit. Ainsi, seules les émissions liées aux processus en aval de la production primaire sont prises en compte c'est à dire celles liées au captage, au broyage, à l'affinage et au transport (100km) des cendres volantes.

De même, Mroueh (2001) considèrent que les sous-produits inclus dans la réglementation déchets n'ont pas à être affectés de flux liés à leur production.

Babbitt and Lindner (2008) ont défini leur système de manière à éviter les allocations de flux liés à la production primaire par extension du système en incluant l'ensemble des flux des produits de combustion du charbon : lagunage, mise en décharge et recyclage. La méthode des impacts évités a été utilisée pour l'utilisation de ces déchets. Deux scénarios sont comparés : 1) le stockage final de l'ensemble des déchets, 2) le stockage final de 50 % des déchets et recyclage pour le reste de ceux-ci. L'hypothèse qui est faite est qu'une unité massique du matériau original est économisée par unité massique du déchet utilisé, soit une unité de ciment Portland évitée par unité massique de cendres volantes utilisée. Cette hypothèse peut être remise en cause pour des questions techniques liées aux règles massiques de substitution d'un liant classique par des cendres, car les propriétés de liant des cendres volantes sont inférieures à celles du ciment. Pour obtenir les mêmes propriétés, une quantité plus importante de cendres doit être utilisée modifiant ainsi l'unité fonctionnelle.

Chen *et al.* (2010) ont travaillé sur les procédures d'allocation pour les additions minérales dans le béton. L'objectif de ce travail était de comparer les impacts d'un ciment classique avec ceux d'un ciment contenant des cendres volantes en remplacement selon trois scénarios d'allocation des flux de production primaire. Ces scénarios correspondent soit à une absence d'allocation, soit à une allocation massique ou à une allocation économique. Onze indicateurs d'impact ont été calculés : déplétion abiotique, changement climatique, amincissement de la couche d'ozone, toxicité humaine, écotoxicité aquatique d'eau douce et d'eau de mer, écotoxicité terrestre, oxydation photochimique, acidification, eutrophisation et consommation d'énergie. Les résultats obtenus sont les suivants :

- En absence d'allocation, les impacts calculés sont bien inférieurs à ceux du ciment CEM I (moins de 25%) pour les 11 indicateurs ;
- En cas d'allocation massique, des impacts bien supérieurs (au moins 178%) à ceux du ciment CEM I sont observés pour l'ensemble des indicateurs ;
- l'allocation économique influe relativement peu sur les impacts calculés par rapport à ceux du ciment CEM I, sauf pour l'écotoxicité marine (supérieur en cas d'allocation d'un facteur 10).

Ces résultats montrent que le choix d'allocation a une influence considérable sur les résultats d'évaluation environnementale.

## 5 Références

- AFNOR, 2001 ; Association Française de Normalisation, NF EN 197-1, Liants hydrauliques – ciment courants, composition, spécifications et critères de conformité. AFNOR, 30 p. 2001
- ATILH, 2011 : Module d'informations environnementales de la production de ciments courants. 28 p. Disponible sur : <http://www.infociments.fr/developpement-durable/construction-durable/icv-ciments>
- Babbitt, 2008 : Babbitt CA, Lindner AS. A Life Cycle Comparison of Disposal and Beneficial Use of Coal Combustion Products in Florida. Part 1: Methodology and Inventory of Materials, Energy, and Emissions. *Int J LCA* 13 (3), 202–211. 2008
- Chen, 2009 : Chen C., Une étude des bétons de construction par la méthode d'Analyse de Cycle de Vie. Thèse de l'Université Technologique de Troyes, 255 p. 2009
- Chen, 2010 : Chen C., Habert G., Bouzidi Y., Jullien A., Ventura A., 2010. LCA allocation procedure used as an incitative method for waste recycling: An

application to mineral additions in concrete. Resources, Conservation and Recycling 54, 1231–1240, 2010

Ecoinvent, 2002 : Database ecoinvent data v2.2.

ELCD, 2003 : European Life Cycle Database Core version II. Electricity Mix AC; consumption mix, at consumer; 230V. FR; 2002 / Diesel from crude oil consumption mix at refinery 200 ppm sulphur. EU-15; 2003. <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm> (10/2012).

Flower, 2007 : Flower D.J.M. and Sanjayan J.G. Green House Gas Emissions due to Concrete Manufacture. Int J LCA 12 (5) 282–288, 2007

Mroueh 2001 : Mroueh U.-M., Eskola P., Laine-Ylijoki J.. Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction. Waste Management 21, 271:277, 2001

## 6 Auteurs et relecteurs

Auteurs	Véronique Lépicier (IFSTTAR)
Relecture d'experts	Agnès Jullien (IFSTTAR), Bogdan Muresan-Paslaru (IFSTTAR), Chantal Proust (Université d'Orléans)
Relecture bureau	Laurent Château (ADEME)
Date de mise en ligne, version finale	avril 2013