

# Avenues pour la valorisation des cendres de combustion de la biomasse agricole

Stéphane Godbout<sup>1</sup>, Joahnn H. Palacios<sup>1</sup> et Patrick Brassard<sup>1-4</sup>

**Collaborateurs :** Jean-Pierre Larouche<sup>1</sup>, Denis Bussièrès<sup>2</sup>, Sébastien Fournel<sup>1</sup>, François Léveillé<sup>1</sup>, Frédéric Pelletier<sup>1</sup>, René Morissette<sup>3</sup>, Claude Charest<sup>7</sup>, Armand Perrault<sup>9</sup>, Robert Lagacé<sup>4</sup>, Philippe Savoie<sup>3</sup>, Benjamin Prost<sup>11</sup> et Vincent Lamarre<sup>10</sup>

Des essais réalisés à l'IRDA en 2011 ont démontré que la combustion de certaines biomasses agricoles génère d'importantes quantités de cendres, soit de quatre à dix fois plus que le bois. Il est donc essentiel de développer des débouchés potentiels pour valoriser ces cendres de façon durable.

Cette fiche présente un résumé d'une revue de littérature portant sur les possibilités et contraintes dans la valorisation des cendres ainsi que la composition des cendres obtenues lors des essais.

## Revue de littérature

Les composants des cendres peuvent être séparés en trois catégories : les éléments fertilisants pour les plantes, les métaux lourds et les autres composés.

Les cendres provenant de la combustion de la biomasse sont pour la plupart valorisées comme amendement calcique dans les champs ou dans les milieux forestiers. En effet, les cendres contiennent une quantité considérable de nutriments pour les plantes tels que le potassium, le phosphore, le calcium et le soufre. Cependant, cette application est limitée, car de faibles quantités doivent être ajoutées aux sols pour éviter la pollution par lessivage de certains éléments.

Les métaux lourds peuvent être une source de contamination si les cendres sont utilisées comme engrais. Bien que les cendres contiennent quelques métaux lourds classés comme des oligo-éléments essentiels pour les plantes (zinc, cobalt, cuivre et molybdène), ces derniers n'y sont présents qu'en très faible quantité.

Enfin, la catégorie des autres composés comprend entre autres le carbone (C) et le chlore qui sont considérés ici comme étant des sources de contamination. Selon les normes de plusieurs pays, le contenu

en C des cendres ne doit pas excéder 5 % sur base sèche afin qu'elles soient utilisées comme engrais sur les terres agricoles et forestières, parce que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les dioxines et les furanes sont adsorbées sur le carbone non brûlé. De même, le contenu en chlore doit être faible, car il est associé à la formation de dioxines et de furanes. Le silicium est neutre du point de vue écologique et il peut améliorer la structure du sol. L'aluminium est neutre du point de vue écologique si le pH du sol est plus grand que 3,8. Autrement, il est soluble dans l'eau et peut causer des dommages aux plantes lorsque des ions  $Al_{3+}$  sont relâchés.

Il y a aussi des inquiétudes quant au contenu des cendres en polluants organiques tels les dioxines, les furanes et les HAP, en particulier dans les cendres volantes. Les cendres de grille, ayant été soumises à des températures plus élevées pendant un temps de résidence plus grand, sont moins sujettes à contenir ce type de polluants. Étant donné que les polluants organiques sont des produits de la combustion incomplète, il est d'usage courant de fixer une limite maximale d'imbrulés dans les cendres volantes avant d'approuver leur utilisation.

En plus de leur valorisation comme fertilisant ou amendement agricole ou forestier, les cendres des biomasses agricoles peuvent être utilisées pour des applications très spécifiques (ex.: comme molluscicide pour les cultures maraîchères), demandant de très faibles quantités. De grandes quantités pourraient être utilisées dans le domaine de la construction, comme c'est présentement le cas pour les cendres issues de la combustion du charbon. Cependant, certaines normes restreignent le potentiel d'utilisation des cendres de biomasse agricole comme ajout dans les ciments en raison de leur composition.

Néanmoins, une étude comparative sur la faisabilité d'utiliser les cendres des différentes biomasses étudiées à l'IRDA dans des matériaux à base de ciment a été réalisée en 2011. À la suite de la comparaison des cendres avec les paramètres exigés par la norme ASTM, il a été conclu que les cendres de grille de la combustion du panic érigé ont des valeurs acceptables en regard des exigences, ce qui les rend potentiellement utilisables dans les matériaux fabriqués en béton.

Les cendres peuvent aussi être utilisées comme matériau de construction pour les routes. En effet, l'utilisation des cendres dans les sous-couches de la chaussée peut permettre de compléter la granulométrie d'un matériau pauvre en fraction fine. Les cendres sont également utilisées dans les matériaux de terrassement.

## Analyse des cendres

Lors des essais réalisés à l'IRDA en 2011, l'appareil de combustion permettait d'échantillonner séparément les cendres de grille et les cendres volantes. Toutes deux ont été analysées au laboratoire pour déterminer leur composition, présentée au tableau 1.

Seulement 1,0 à 2,8 % des cendres récoltées correspond aux cendres volantes et le reste, aux cendres de grille. Les cendres les plus denses ont été celles de la fraction solide de lisier porcin. Cela est possiblement dû à la portion moins importante de composés volatils qui constituent cette biomasse.

Une grande partie des cendres est composée de matières fertilisantes, qui sont généralement présentes autant dans les cendres volantes que dans les cendres de grille. L'oxyde de calcium (CaO), est aussi présent en grande quantité dans les cendres (16,2-30,2%). Le phosphore ( $P_2O_5$ ;

1,8-16,4% dont la majorité dans les cendres volantes), le potassium ( $K_2O$ ; 2,6-11% dont la majorité dans les cendres de grille) et le magnésium ( $MgO$ ; 3,6-6,9%) dans certains cas (les cendres du bois et les cendres volantes de la FSLP et du saule) sont aussi des constituants importants des cendres.

Les métaux lourds se trouvent en faible quantité autant dans les cendres volantes que dans les cendres de grille. Le zinc (Zn), un métal lourd hautement volatil, est toujours présent en plus grande quantité dans les cendres volantes que dans les cendres de grille. Il se transforme en phase gazeuse pendant la combustion et s'accumule à la surface des particules de cendres volantes. La quantité de métaux lourds dans les cendres de la combustion des quatre biomasses est similaire.

À la lumière de ces résultats, il semble que la biomasse ne fut pas complètement brûlée lors des essais. En effet, une quantité importante de C est toujours présente dans les cendres (entre 2,6 et 41,7%). En plus d'entraîner une perte énergétique, cette inefficacité augmente le risque d'émission de dioxines et de furanes dans l'atmosphère, lesquels sont adsorbés sur les particules de carbone non brûlées.

Pour les autres composés chimiques, peu de différences sont remarquables entre la composition des cendres volantes et des cendres de grille. L'élément dominant de la composition des cendres est la silice ( $SiO_2$ ; 6,7-55,2%). Les cendres de panic érigé ont une teneur très importante en silice (41,9 et 55,2% respectivement pour les cendres volantes et les cendres de grille). Cela favorise leur utilisation en tant que constituant du ciment.

**Tableau 1. Propriétés des cendres récupérées suite à la combustion des biomasses agricoles.**

Paramètres	BOIS		FSLP <sup>1</sup>		PANIC		SAULE	
<b>Cendres récupérées</b>	0,9 %		10,2 %		4,1 %		4,1 %	
<b>Types de cendres</b>	Vol. <sup>2</sup>	Grille	Vol.	Grille	Vol.	Grille	Vol.	Grille
<b>Cendres / Cendres totales (%)</b>	2,8	97,2	1,0	99,0	2,5	97,5	2,0	98,0
<b>Densité apparente (g/ml)</b>	-	0,26	-	0,52	-	0,24	-	0,38
<b>Densité réelle (g/ml)</b>	-	0,71	-	0,95	-	0,74	-	0,92
<b>Volatiles (%)</b>	30,6	51,7	26,3	12,4	18,7	3,7	25,3	23,9
<b>Fertilisants (% b.s.)</b>								
<b>N</b>	0,6	0,3	0,9	0,3	0,4	0,1	0,5	0,3
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,9	1,1	2,9	3,8	1,4	1,0	1,5	1,0
<b>MgO</b>	5,8	3,7	6,9	8,0	3,8	3,7	5,1	3,6
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	9,5	1,8	12,8	16,4	4,6	3,8	7,7	5,1
<b>K<sub>2</sub>O</b>	2,6	5,0	5,1	11,0	4,1	5,2	4,1	11,0
<b>CaO</b>	24,8	19,7	20,4	22,0	16,5	16,2	29,3	30,2
<b>Métaux lourds (% b.s.)</b>								
<b>Ti</b>	0,078	0,042	0,072	0,066	0,138	0,156	0,084	0,078
<b>V</b>	0,003	0,000	0,003	0,003	0,000	0,003	0,003	0,000
<b>Cr</b>	0,047	0,172	0,031	0,031	0,026	0,156	0,031	0,036
<b>Co</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ni</b>	0,024	0,079	0,016	0,024	0,008	0,385	0,016	0,016
<b>Cu</b>	0,048	0,032	0,064	0,168	0,024	0,016	0,048	0,016
<b>Zn</b>	1,004	0,137	0,779	0,217	0,361	0,056	0,627	0,193
<b>Sr</b>	0,059	0,051	0,051	0,042	0,042	0,034	0,076	0,076
<b>Zr</b>	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,015
<b>Nb</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Ba</b>	0,09	0,134	0,054	0,018	0,063	0,045	0,09	0,09
<b>Pb</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Autres (% b.s.)</b>								
<b>C</b>	14	41,7	11,5	8,2	9,6	2,6	10,7	13,1
<b>Cl</b>	3,4	0,1	3,5	1,2	1,3	0,1	1,4	0,1
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,3	1,5	2,0	2,0	3,8	4,5	2,6	3,1
<b>SiO<sub>2</sub></b>	11,4	6,7	13,0	10,8	41,9	55,2	16,4	17,2
<b>SO<sub>3</sub></b>	4,4	1,4	3,9	6,1	1,5	0,3	3,2	1,7
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,7	4,2	4,3	5,7	2,0	4,2	2,4	1,7
<b>MnO</b>	0,65	1,79	0,46	0,29	0,40	0,25	0,46	0,30

<sup>1</sup> FSLP : Fraction solide de lisier de porc bioséchée

<sup>2</sup> Vol. : Cendres volantes

## Partenaires de réalisation et de financement

-  Institut de recherche et de développement en agroenvironnement
-  Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec
-  Université du Québec à Chicoutimi
-  UNIVERSITÉ LAVAL
-  Agriculture et Agroalimentaire Canada
-  Agriculture and Agri-Food Canada
-  Sequoia
-  Combustion Expert Inc.
-  FERTIOR
-  innovent énergies vertes
-  Ferme A. Perreault et fils
-  Biopierre
-  ISARA-Lyon

## Pour en savoir davantage

**Stéphane Godbout**, P. Eng., Ph. D.,  
ingénieur et agronome  
418 646-1075  
stephane.godbout@irda.qc.ca

**irda**

www.irda.qc.ca