

## Caractéristiques de combustion des résidus agricoles

T. Sauvé, ing.

### INTRODUCTION

Il est possible de cultiver des matières agricoles afin de les utiliser comme combustible dans les exploitations agricoles et de les vendre. La présente fiche technique décrit les caractéristiques physiques et chimiques des biocombustibles agricoles solides, explique leur importance et contient des données détaillées sur les propriétés de 22 biocombustibles solides courants en Ontario.

### BIOCOMBUSTIBLES SOLIDES

Les biocombustibles solides sont des matières organiques dérivées de végétaux. Lorsqu'il est brûlé, le biocombustible solide libère l'énergie qu'il contient pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Les cultures, leurs résidus et les produits forestiers (p. ex. le panic raide) sont des exemples courants de biocombustibles solides (figure 1).



Figure 1. Champ de panic raide.

L'utilisation de biocombustible solide comme source d'énergie comporte des avantages :

- le biocombustible solide est une source d'énergie abondante et renouvelable
- l'utilisation de biocombustible solide pour la production d'énergie diversifiera les sources d'énergie et réduira la dépendance aux combustibles fossiles
- la production de biocombustible solide peut créer de nouveaux emplois locaux en Ontario

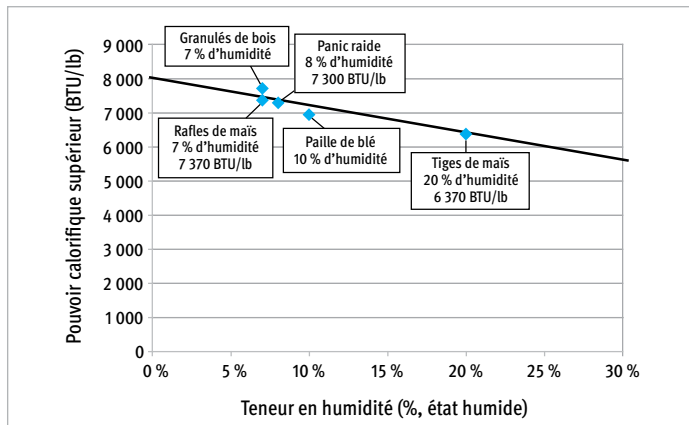
### CONTENU ÉNERGÉTIQUE

Le pouvoir calorifique d'un combustible indique l'énergie qu'il contient par unité de masse, exprimée en MJ/kg (BTU/lb). Le pouvoir calorifique inférieur est l'énergie effectivement disponible pour le transfert thermique. Cette différence sur le plan de l'énergie utilisable repose sur la composition chimique et la teneur en humidité et en cendres du combustible. À des fins de comparaison, le contenu énergétique des combustibles est exprimé sur une base sèche. Par exemple, la plupart des résidus agricoles présentent un pouvoir calorifique dans la plage de 14 à 19 MJ/kg (de 6 040 à 8 200 BTU/lb), par rapport à une plage de 17 à 30 MJ/kg (de 7 300 à 13 000 BTU/lb) pour le charbon.

### HUMIDITÉ

La teneur en humidité est le principal facteur qui permet de déterminer le contenu énergétique net de la matière brute du biocombustible solide. Les résidus secs et les cultures sèches ont un pouvoir calorifique (ou potentiel énergétique net) plus élevé, puisqu'ils dépensent moins d'énergie pour évaporer l'humidité qu'ils contiennent

durant la combustion. La [figure 2](#) illustre ce lien ainsi que la relation entre le contenu énergétique et la teneur en humidité. Une humidité plus élevée veut dire que moins d'énergie est disponible durant la combustion.



**Figure 2.** Pouvoir calorifique inférieur typique (BTU/lb) en fonction de la teneur en humidité. Cette teneur, exprimée à l'état humide, représente la proportion (%) de biocombustible brut qui se compose d'eau.

En général, la teneur d'un solide en humidité est exprimée en quantité d'eau par unité de masse. Elle est habituellement indiquée « telle quelle » ou à l'état humide, où la teneur en eau représente une fraction de la masse totale. Tous les biocombustibles solides contiennent de l'humidité, qui peut varier de 8 % pour la paille sèche à plus de 50 % pour le bois fraîchement coupé.

Une teneur élevée en humidité est défavorable à la collecte, à l'entreposage, au prétraitement, à la manutention et au transport du biocombustible solide. En outre, le transport de matières humides coûte plus cher.

Voici comment la teneur en humidité d'un biocombustible solide brut peut être réduite :

- laisser le biocombustible solide sécher dans le champ pendant plusieurs semaines
- entreposer le biocombustible solide à l'abri des précipitations
- procéder au séchage commercial du biocombustible solide

## COMPOSITION

La composition d'un biocombustible solide varie grandement en fonction des différents types de biocombustible solide. Le rendement du combustible

est relié à la composition du biomatériau. La teneur en cendres, carbone, hydrogène, azote, soufre, oxygène et chlorure est importante sur ce plan. La composition élémentaire de divers combustibles utilisés en Ontario figure au [tableau 1](#). Les valeurs sont exprimées à l'état sec.

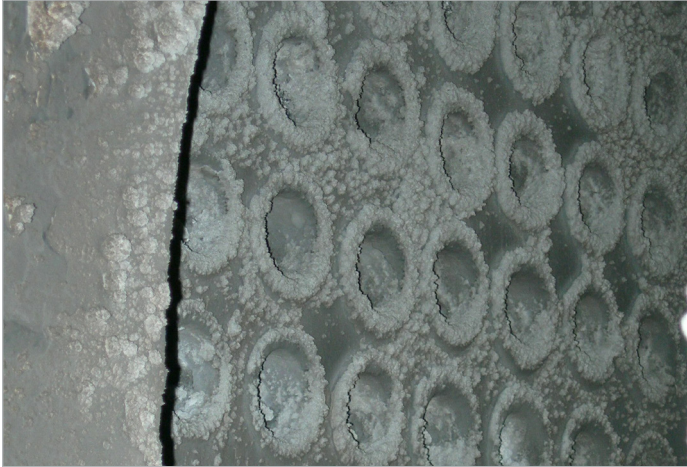
## Cendres

Les éléments non combustibles du biocombustible solide sont appelés « cendres ». Une forte teneur en cendres donne lieu à des problèmes liés à l'encrassement, surtout si les cendres contiennent une proportion élevée d'halogénures métallisés (p. ex., potassium). Malheureusement, les biocombustibles solides, particulièrement les cultures ou résidus de cultures, tendent à contenir beaucoup de cendres ayant une teneur élevée en potassium. Ces cendres fondent donc à des températures plus basses, causant la formation de mâchefer qui peut encrasser les éléments de la chaudière ([figure 3](#)). Une scorification et un encrassement peuvent également se produire lorsque les cendres sont vaporisées puis se condensent dans la chaudière, causant la production de résidus durs sur les surfaces d'échange thermique ([figure 4](#)).

Le bois (excluant l'écorce) compte moins de 1 % de cendres, alors que l'écorce peut en contenir jusqu'à 3 %. Les cultures en renferment une plus forte proportion, soit 3 % et plus ([figure 5](#)). Certains poêles et chaudières ne sont pas en mesure de brûler les combustibles à forte teneur en cendres. Plus il y a de cendres, plus il faut d'entretien.

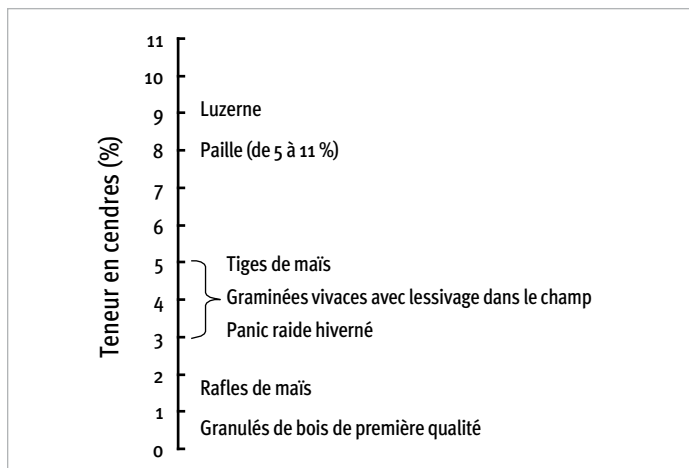


**Figure 3.** Le mâchefer peut encrasser les éléments de la chaudière.  
Source : CanmetÉNERGIE.



**Figure 4.** L'encrassement des tubes de chaudière réduit l'efficacité de fonctionnement.

Source : CanmetÉNERGIE.



**Figure 5.** Teneur typique en cendres de certains produits de biomasse à l'état sec.

Source : AURI, 2005; Preto, 2010.

## Carbone

La teneur en carbone du biocombustible solide avoisine 45 %, alors que celle du charbon est de 60 % ou plus<sup>[2]</sup>. Une plus forte teneur en carbone donne un pouvoir calorifique plus élevé.

## Hydrogène

La teneur en hydrogène du biocombustible solide est d'environ 6 %. Une plus forte teneur en hydrogène donne un pouvoir calorifique plus élevé.

## Azote

La teneur en azote du biocombustible solide varie de 0,2 % à plus de 1 %. L'azote contenu dans les combustibles est à l'origine de la plupart des émissions d'oxydes d'azote (NOx) découlant de la combustion de biocombustible solide. Un combustible avec une teneur plus faible en azote permet de réduire les émissions de NOx.

## Soufre

La plupart des biocombustibles solides présentent une teneur en soufre inférieure à 0,2 %, bien que certains puissent en contenir de 0,5 % à 0,7 %. La teneur en soufre du charbon varie de 0,5 % à 7,5 %<sup>[2]</sup>. La combustion donne lieu au rejet d'oxydes de soufre (SOx), qui contribuent considérablement à la formation de pollution particulaire et de pluies acides. Comme le biocombustible solide contient une teneur négligeable en soufre, sa combustion ne contribue pas de façon importante aux émissions de soufre.

## Chlorure

La combustion de biomasse présentant une teneur élevée en chlorure (plus de 1 000 µg/g) peut accélérer l'encrassement par les cendres. Une forte teneur en chlorure entraîne la formation d'acide chlorhydrique dans les tubes de chaudière, causant de la corrosion, la défaillance des tubes et des fuites d'eau dans la chaudière. Ce problème a déjà été constaté avec des combustibles à base de tiges et de rafles de maïs.

## PROPRIÉTÉS

Le [tableau 1](#) présente l'analyse de divers types de biocombustibles solides. À des fins de comparaison, toutes les données sont à l'état sec. Ce tableau ne représente toutefois qu'un guide comparatif général.

Il importe de souligner que la composition d'un biocombustible solide est naturellement variable, notamment en fonction des facteurs suivants :

- emplacement
- variété
- conditions climatiques
- méthodes de récolte

**Tableau 1.** Analyse élémentaire de divers biocombustibles solides employés en Ontario (chiffres à l'état sec)

Attributs du système	MJ/kg	BTU/lb	Valeurs caractéristiques <sup>1</sup>						Chlore total (µg/g) <sup>3</sup>
			% de cendres	% de carbone	% d'hydrogène	% d'azote	% de soufre	% d'oxygène <sup>2</sup>	
<b>Céréales non conformes (non alimentaires)</b>									
Haricots	19	7 996	4,7	45,7	6,3	4,3	0,7	38,8	193
Maïs	17	7 350	1,5	42,1	6,5	1,2	0,1	48,9	472
Canola	28	12 220	4,5	60,8	8,3	4,5	0,5	21,4	163
Drèche sèche de distillerie	22	9 450	4,9	50,4	6,7	4,7	0,7	32,6	1 367
<b>Graminées/fourrage</b>									
Barbon de Gérard	19	8 020	6,1	44,4	6,1	0,8	0,1	42,6	1 880
Miscanthus	19	8 250	2,7	47,9	5,8	0,5	0,1	43,0	1 048
Sorgho	17	7 240	6,6	45,8	5,3	1,0	0,1	42,3	760
Panic raide	18	7 929	5,7	45,5	6,1	0,9	0,1	41,7	1 980
<b>Paille/résidus</b>									
Luzerne	17	7 435	9,1	45,9	5,2	2,5	0,2	39,5	3 129
Paille d'orge	17	7 480	5,9	46,9	5,3	0,7	0,1	41,0	1 040
Rafles de maïs	18	7 927	1,5	48,1	6,0	0,4	0,1	44,0	2 907
Tiges de maïs	19	7 960	5,1	43,7	6,1	0,5	0,1	44,6	1 380
Paille de lin	18	7 810	3,7	48,2	5,6	0,9	0,1	41,6	2 594
Paille de blé	18	7 710	7,7	43,4	6,0	0,8	0,1	44,5	525
<b>Sous-produits de transformation</b>									
Écales d'avoine	19	7 960	5,1	46,7	6,1	0,9	0,1	41,1	1 065
Pellicules de soya	18	7 720	4,3	43,2	6,2	1,8	0,2	44,3	266
Écales de tournesol	20	8 530	4,0	47,5	6,2	1,0	0,2	41,2	3 034
<b>Bois</b>									
Écorce	19	8 432	1,5	47,8	5,9	0,4	0,1	45,4	257
Saule	19	8 550	2,1	50,1	5,8	0,5	0,1	41,4	134
Bois de feuillus	19	8 300	0,4	48,3	6,0	0,2	0,0	45,1	472
<b>Charbon</b>									
Charbon subbitumineux à faible teneur en soufre – PRB <sup>4</sup>	25	10 520	6,0	55,0	3,7	0,9	0,4	11,5	35
Lignite	22	9 350	22,0	58,8	4,2	0,9	0,5	13,6	25

<sup>1</sup> La teneur en cendres, en chlore et en autres éléments peut être abaissée en modifiant les cultures choisies, les conditions de croissance, les fractions végétales employées ainsi que le moment et la méthode de récolte.

<sup>2</sup> Calculé de façon différentielle, c'est-à-dire en fonction de la différence entre deux chiffres en pourcentage de l'un d'entre eux. Par exemple, la différence entre 5 et 3 en pourcentage est égale à  $2/5 = 0,4 = 40\%$ .

<sup>3</sup> Un microgramme (µg) est une unité de masse égale à 1/1 000 000 de gramme ( $1 \times 10^{-6}$ ) ou à 1/1 000 de milligramme. Il s'agit de l'une des plus petites unités courantes de masse.

<sup>4</sup> Bassin de la rivière Powder.

Données compilées à partir des sources suivantes : AURI, 2005<sup>[1]</sup>; BIOBIB; Preto, 2010<sup>[4]</sup>.

## PROCÉDÉS DE RÉDUCTION DE LA TENEUR EN CENDRES, EN CHLORURE ET EN AUTRES ÉLÉMENTS

Il existe diverses stratégies de gestion visant à réduire la teneur en cendres et en éléments primaires qui nuisent au processus de combustion, comme la sélection des cultures, les conditions de croissance, les fractions végétales employées, le moment de la récolte et la réduction de la contamination par le sol.

## Sélection des cultures

La teneur en cendres des graminées de saison chaude, comme le barbon de Gérard, le panic raide et des plantes annuelles telles que le maïs, est inférieure à celle des graminées de saison fraîche comme le dactyle pelotonné, les fétuques et l'ivraie vivace<sup>[3]</sup>.

## Conditions de croissance

Le type de sol influence grandement la teneur en cendres du biocombustible solide. La teneur en cendres est plus élevée dans les cultures produites dans un sol argileux que dans un sol sableux.

## Fractions végétales

Les cendres se composent surtout de silice et de potassium. La répartition et la composition des cendres varient selon la fraction végétale. Ainsi, la teneur en cendres est la plus faible dans les tiges des graminées et la plus élevée dans leurs feuilles<sup>[5]</sup>. La récolte de biocombustible solide comportant une plus forte proportion de tiges réduira la teneur en cendres tout en améliorant la qualité du biocombustible destiné à la combustion (tableau 2).

**Tableau 2.** Teneur en cendres (%) du panic raide récolté au printemps dans l'Est de l'Ontario et le Sud-Ouest du Québec

Élément	Teneur en cendres du panic raide (%)
Feuilles	7,0
Gaines foliaires	3,0
Tiges	1,0
Épis	2,4

Source : adapté de Samson et coll., 1999b.

## Récolte effectuée après le lessivage

La teneur en cendres, en chlorure et en potassium peut être réduite en laissant le biocombustible solide coupé dans le champ pendant l'hiver. L'hivernage du panic raide dans le champ peut faire tomber à 3,5 % la teneur en cendres par lessivage et la perte de fractions végétales contenant plus de cendres (p. ex. les feuilles). Cependant, il est coûteux de récolter au printemps, car il y a des pertes de biocombustible solide de 20 à 50 %.

## Réduction de la contamination par le sol

Il importe que les résidus de culture comprennent le moins possible de particules de sol, qui augmentent considérablement la teneur en cendres du biocombustible solide. Il y a lieu de privilégier des techniques de récolte mécaniques permettant d'éviter de soulever la terre (p. ex., couper le biocombustible solide en laissant une hauteur de chaume plus élevée).

## RÉSUMÉ

Les matières biocombustibles solides sont très variées : bois, écorce, paille, autres résidus agricoles, graminées, fourrages, produits non conformes, etc. Malgré cette diversité, la composition de la plus grande partie de matières biocombustibles solides est relativement uniforme, particulièrement à l'état sec. Le contenu énergétique (par unité de masse) de la plupart des biocombustibles solides secs se retrouve dans la plage de 17 à 19 MJ/kg (7 300 à 8 000 BTU/lb). Les différences dans le contenu énergétique sont attribuables à des variations de la masse volumique et de la teneur en humidité.

La plupart des biocombustibles solides ont une teneur assez faible en azote et en soufre, ce qui cause relativement peu d'émissions de SOx et de NOx. Ce sont surtout les biocombustibles solides non conformes autres que des céréales alimentaires qui échappent à cette règle.

C'est la teneur en cendres des biocombustibles solides qui les distinguent le plus les uns des autres. Le bois, biocombustible solide traditionnel, en contient généralement moins de 0,5 %. L'écorce en renferme de 2 à 3 %, et ce taux passe à plus de 5 % pour la plupart des graminées et des résidus agricoles. Une teneur élevée en cendres peut causer beaucoup d'encrassement, donner lieu à la formation de mâchefer et compliquer la manutention.

Il faut utiliser ces biocombustibles avec soin et concevoir des systèmes de conversion adaptés spécialement à celui que l'on compte employer. Ainsi, les systèmes conçus pour le bois (ou le charbon) à faible teneur en cendres pourraient être inappropriés pour d'autres biocombustibles solides.

## TABLEAU DE CONVERSION

De	à	Multiplier par
MJ/kg	BTU/lb	430
BTU/lb	GJ/tonne	0,00233

---

## RESSOURCES

[Les énergies renouvelables dans les exploitations agricoles](#). Ontario.ca.

[BIOBIB-A database for biofuels](#), Université technique de Vienne, Autriche. Base de données sur les propriétés de la biomasse.

[Ressources de la biomasse](#). CanmetÉNERGIE. Ressources naturelles Canada.

[Agence internationale de l'énergie \(AIE\)](#). Propriétés de la combustion et de la coalimentation de la biomasse.

[Phyllis2 : Database for biomass and waste \(base de données relative à la biomasse et aux déchets\)](#). Energy Data Centre.

The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australie. [Database of chemical properties of Australian biomass and waste](#) (base de données sur les propriétés chimiques de la biomasse et des déchets australiens).

[Département de l'Énergie des États-Unis \(USDOE\)](#).

Base de données sur la composition et les propriétés des matières premières.

## RÉFÉRENCES

- [1] AURI. (2005). *Agricultural renewable solid fuels data*. Extrait de l'Agricultural Utilization Research Institute Fuels Initiative. [www.auri.org](http://www.auri.org).
- [2] Demirbas, A. (2004). *Combustion characteristics of biomass fuels*. Progress Energy Combustion Science, vol. 30, p. 219 à 230.
- [3] Mehdi, B. et R. Samson (1998). *Strategies to reduce the ash content in perennial grasses*. Resource efficient Agricultural Production-Canada. Ste-Anne-de-Bellevue (Québec).
- [4] Preto, F. (2010). Properties of the 13 common biomass fuels in Ontario. Ressources naturelles Canada (NRCan), Ottawa (Ontario).
- [5] Samson, R., P. Girouard et B. Mehdi. (1999b). *Establishment of commercial switchgrass plantations*. Resource efficient Agricultural Production-Canada. Ste-Anne-de-Bellevue, Québec.

La présente fiche technique a été mise à jour par Terence Sauvé, ing., ingénieur, optimisation et sécurité des exploitations agricoles, MAAAO. Elle a été originalement rédigée par Steve Clarke, ing., spécialiste, énergie et génie agricole, MAAARO, Kemptville et Fernando Preto, Ph.D., chercheur, CanmetÉNERGIE, Ottawa.

---

Publié par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Agroentreprise

© Imprimeur du Roi pour l'Ontario, 2026

ISSN 1198-7138

Also available in English (Factsheet 26-005)

**Centre d'information agricole :**

1 877 424-1300

1 855 696-2811 (TTY)

Courriel : [ag.info.omafa@ontario.ca](mailto:ag.info.omafa@ontario.ca)

[ontario.ca/maaaao](http://ontario.ca/maaaao)

---

Le présent guide est publié à titre informatif seulement. La province de l'Ontario, représentée par le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Agroentreprise (MAAAO), ne fait aucune garantie expresse ou tacite en lien avec l'utilisation de ce guide, à savoir son contenu ainsi que tout lien menant à des sources ou des sites de tiers et tout contenu de ces sources et sites, ce qui comprend, sans limitation, les garanties d'absence de contrefaçon ou d'adaptation à un usage particulier.