

Densification d'un biocombustible solide pour la production d'énergie

T. Sauvé, ing.

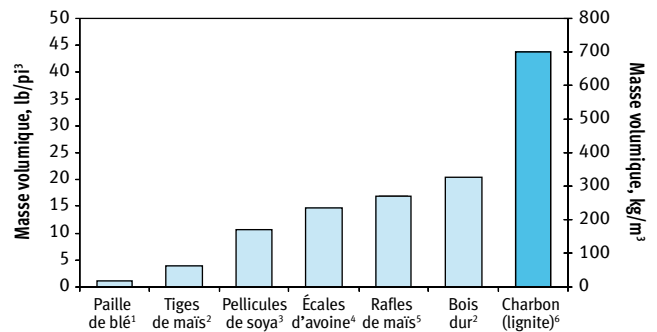
INTRODUCTION

Les biocombustibles solides représentent une source potentielle d'énergie renouvelable. Cependant, leur contenu énergétique est inférieur à celui des combustibles fossiles traditionnels, ce qui fait obstacle à leur utilisation à grande échelle, puisqu'il en faut plus pour obtenir la même quantité d'énergie. Lorsque ce contenu énergétique faible se double d'une faible masse volumique, le volume de biocombustibles solides dont on a besoin croît de façon considérable. Le compactage, ou densification est un moyen d'accroître la densité d'énergie et de réduire les problèmes de manutention et d'entreposage, en particulier pour les sources de biocombustibles solides agricoles. La présente fiche technique examine les propriétés des biocombustibles solides en matière de masse volumique ainsi que des technologies potentielles de densification.

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

La masse volumique apparente est définie comme étant la masse par unité de volume d'une matière, exprimée en kilogrammes par mètre cube (kg/m^3) ou en livres par pied cube (lb/pi^3). La plupart des résidus agricoles présentent une masse volumique apparente faible, comme le montre la [figure 1](#).

Par exemple, la masse volumique apparente de la paille de blé en vrac est d'environ $18 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($1,1 \text{ lb}/\text{pi}^3$), par rapport à $700 \text{ kg}/\text{m}^3$ ($44 \text{ lb}/\text{pi}^3$) pour le charbon. Par conséquent, seul le transport de biocombustibles solides non transformés à une distance inférieure à 200 km est économiquement réalisable^[7].



Sources : ¹Reisinger et coll. (2006); ²Preto (2007); ³Blasi et coll. (1998); ⁴Shaw et Tabi (2006); ⁵Murphy (1993); ⁶Scurlock (2008)

Figure 1. Masses volumiques apparentes typiques de biocombustibles solides et de combustibles fossiles non traités.

DENSITÉ D'ÉNERGIE

La densité d'énergie désigne la quantité d'énergie présente dans une unité de volume, souvent exprimée en MJ/m^3 ou en BTU/pi^3 .

La [figure 2](#) est une représentation graphique de volumes de matières non transformées ayant une densité d'énergie équivalente, soit 16 unités de volume pour la paille, quatre pour le bois et une pour le charbon.

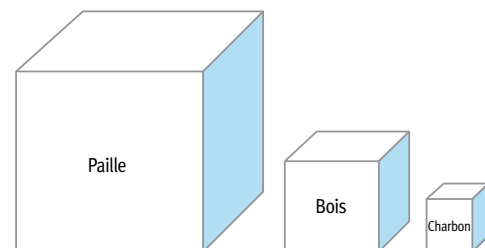


Figure 2. Masses volumiques apparentes typiques de biocombustibles solides et de combustibles fossiles non traités.

POURQUOI DENSIFIER LES BIOCOMBUSTIBLES SOLIDES?

La faible masse volumique des biocombustibles solides en complique la manutention, le transport, l'entreposage et la combustion. Ces problèmes peuvent être résolus grâce à la densification, un processus qui permet d'obtenir un biocombustible liquide ou solide plus dense et aux propriétés plus uniformes que la biomasse brute.

Les principaux avantages de la densification d'un biocombustible solide à des fins de combustion sont les suivants :

- manutention et alimentation mécaniques simplifiées
- combustion uniforme dans les chaudières
- réduction de la production de poussière
- réduction du risque de combustion spontanée pendant l'entreposage
- simplification de l'infrastructure d'entreposage et de manutention, réduisant les besoins en capital à l'installation de combustion
- baisse des frais de transport grâce à une densité d'énergie accrue

Le principal inconvénient des technologies de densification d'un biocombustible solide réside dans le coût élevé de certains procédés de densification.

PRÉTRAITEMENT DU BIOCOMBUSTIBLE SOLIDE

Le prétraitement du biocombustible solide pourrait être nécessaire avant sa densification afin d'optimiser la densité d'énergie et la masse volumique apparente du produit.

Ce prétraitement peut comprendre :

- la modification de la longueur de hachage ou broyage
- le séchage pour réduire la teneur en humidité
- l'utilisation d'un agglomérant
- le traitement à la vapeur
- la torréfaction

Modification de la longueur de hachage ou broyage

Chaque procédé de densification nécessite une longueur de hachage précise ou un broyage pour assurer :

- une densification moins énergivore
- des produits plus denses
- des produits moins friables^[2]

Séchage

Une faible teneur en humidité entraîne une amélioration de la densité et de la durabilité du biocombustible^[8]. Pour la plupart des procédés de densification d'un biocombustible solide, la teneur optimale en humidité se situe entre 8 et 20 % (à l'état humide)^[3]. La plupart des techniques de compactage nécessitent une petite quantité d'humidité (comme de la vapeur) pour « amollir » la biomasse. Cependant, lorsque la teneur optimale en humidité est dépassée, la résistance et la durabilité du biocombustible solide densifié sont réduites.

Utilisation d'un agglomérant

La teneur des matières en agglomérants naturels influe sur la densité et la durabilité du biocombustible solide densifié. Cette capacité agglomérante augmente parallèlement à la teneur en protéines et en amidon^[10]. Les tiges de maïs ont des propriétés agglomérantes élevées, contrairement aux graminées de saison chaude dont la teneur en protéines et en amidon est plus faible^[4]. Il est possible d'ajouter des agglomérants aux matières afin de bonifier leurs propriétés agglomérantes. Les agglomérants courants comprennent l'huile végétale, l'argile, l'amidon, l'huile à cuisson ou la cire.

Traitement à la vapeur

Un traitement à la vapeur préalable à la densification peut favoriser la libération et l'activation des agglomérants naturels présents dans un biocombustible solide, comme la lignine.

Torréfaction

La torréfaction est une forme de pyrolyse qui consiste à chauffer le biocombustible solide en l'absence d'oxygène et d'air. Il s'agit d'un procédé de prétraitement employé pour améliorer les propriétés des granulés. Elle peut également être employée seule pour améliorer les propriétés du biocombustible solide. La torréfaction est une forme plus douce de pyrolyse lente dont l'objectif consiste à assécher, fragiliser et hydrofuger le biocombustible solide. Pour ce faire, le biocombustible solide est chauffé dans un environnement inerte à une température de 280 à 320 °C.

TECHNIQUES DE DENSIFICATION D'UN BIOCOMBUSTIBLE SOLIDE

Un biocombustible solide se densifie grâce à deux procédés principaux : la densification mécanique et la pyrolyse. La densification mécanique consiste à soumettre les matières à une pression mécanique pour la densifier. La pyrolyse consiste à chauffer le biocombustible

solide en l'absence d'oxygène. En général, la pyrolyse à une température plus faible pendant plus longtemps (pyrolyse lente) favorise la production de combustible solide (charbon). Une température moyenne (de 400 à 500 °C) pendant une très brève période (une ou deux secondes), ce que l'on appelle la pyrolyse rapide, favorise la production de combustible liquide ou biohuile.

La méthode de densification à employer repose sur le type de résidus et la situation locale. Le [tableau 1](#) décrit

les diverses technologies employées pour accroître la densité d'énergie d'un biocombustible solide ou pour lui donner une taille et une forme homogènes.

TABLEAU DE CONVERSION

De	À	Multiplier par
mm	pouce	0,0394
pouce	pied	0,0833
kg/m ³	lb/pi ³	0,0624
MJ/kg	BTU/lb	430

Tableau 1. Technologies de densification

Densification mécanique



La formation de **BALLES** est une méthode traditionnelle de densification employée couramment pour la récolte. On forme une balle au moyen d'une machine agricole (appelée ramasseuse-botteuse) qui comprime les matières hachées. Les balles peuvent être carrées, rectangulaires ou rondes, selon le type de ramasseuse-botteuse employé. Les dimensions des balles rondes vont de 1,2 m sur 1,5 m (4 pi sur 5 pi) à 1,5 m sur 1,5 m (5 pi sur 5 pi). Les grosses balles rectangulaires mesurent généralement 0,9 m sur 0,9 m sur 1,8 m (3 pi sur 3 pi sur 6 pi). Les balles rondes sont moins coûteuses à produire; cependant, les grosses balles carrées sont généralement plus denses et plus faciles à manipuler et à transporter.



Les **GRANULÉS** ont une densité très élevée. Ils sont plus faciles à manipuler que les autres produits de biocombustible solide densifié, car il est possible d'utiliser l'infrastructure employée pour la manutention des grains. Les granulés sont fabriqués au moyen d'un processus d'extrusion, en utilisant une presse à piston qui fait passer le biocombustible solide finement broyé dans une filière ronde ou carrée pour ensuite le couper à la longueur désirée. Les granulés de biocombustible solide sont généralement cylindriques, de moins de 38 mm (1,5 po) de longueur et de 7 mm (0,3 po) de diamètre. Bien qu'ils soient de taille uniforme, les granulés se brisent facilement pendant la manutention. Il existe différentes catégories de granulés dont la densité d'énergie et la teneur en cendres varient. *Source (photo) : CanmetÉNERGIE.*



Les **CUBES** sont de gros granulés de forme généralement cubique. Ils sont moins denses que les granulés. Leur taille varie de 13 à 38 mm (0,5 à 1,5 po) de largeur et de 25 à 102 mm (1 à 4 po) de longueur. Ils sont fabriqués en comprimant du biocombustible solide haché au moyen d'une roue plombeuse lourde qui le force à travers des filières pour produire des cubes. *Source (photo) : CanmetÉNERGIE.*



Les **BRIQUETTES** sont semblables aux granulés, sauf pour leur taille. Elles font au moins 25 mm (1 po) de diamètre, et sont fabriquées au moyen d'une presse à piston qui fait passer sous forte pression le biocombustible solide dans une filière. Elles peuvent aussi être fabriquées au moyen d'un procédé appelé extrusion à vis. Le biocombustible solide est alors extrudé au moyen d'une vis à travers une filière chauffée. Le biocombustible solide densifié par extrusion à vis est plus facile à entreposer et présente une densité d'énergie plus élevée que le biocombustible solide produit par presse à piston. *Source (photo) : Wayne Winkler.*



Les **RONDELLES** sont semblables à des rondelles de hockey, et font 75 mm (3 po) de diamètre. On les fabrique au moyen d'une machine de briquetage, et elles sont résistantes à l'humidité. D'une densité semblable à celle des granulés, elles ont l'avantage de coûter moins cher à produire.



Les **COPEAUX DE BOIS** sont employés dans de nombreux dispositifs, des appareils ménagers aux grandes centrales électriques. Les copeaux destinés aux chaudières mesurent de 5 à 50 mm (0,2 à 2 po) de longueur. Ils sont fabriqués au moyen d'un déchiqueteur. Comme combustible, les copeaux de bois sont d'un coût comparable au charbon. *Source (photo) : CanmetÉNERGIE.*

Pyrolyse



La **TORRÉFACTION** consiste à chauffer le biocombustible solide dans une atmosphère inerte à une température de 280 à 320 °C pendant quelques minutes. Le combustible torréfié présente une meilleure broyabilité. Il a également des propriétés hydrofuges (il repousse l'eau) qui le rendent résistant aux atteintes biologiques et à l'humidité, ce qui en facilite l'entreposage. Ce processus requiert peu d'énergie, car une partie des gaz volatils libérés pendant le chauffage sont brûlés, générant 80 % de la chaleur nécessaire à la torréfaction. Le biocombustible solide torréfié est densifié sous forme de granulés ou de briquettes, augmentant encore plus sa masse volumique et améliorant ses propriétés hydrofuges. *Source (photo) : CanmetÉNERGIE.*



La **PYROLYSE LENTE** consiste à chauffer la biomasse à une température de 350 à 500 °C en l'absence d'oxygène et d'air pendant une longue période (généralement de 0,5 à 2 heures). Le principal produit de cette opération est un combustible solide (charbon) qui conserve de 30 à 40 % de l'énergie initiale du biocombustible solide brut. La densité d'énergie peut être accrue, de sorte que le charbon est un combustible qui se prête à des utilisations commerciales, comme dans le cas du biocombustible solide torréfié, ou résidentielles (p. ex., barbecues), et qui peut servir d'amendement appelé « biochar ». *Source (photo) : CanmetÉNERGIE.*



La **PYROLYSE RAPIDE** consiste à traiter la biomasse à une température pouvant atteindre 450 à 500 °C pendant une ou deux secondes. Ce procédé donne jusqu'à 75 % de biohuile et de 10 à 15 % de charbon. La biohuile est un combustible de densité d'énergie plus élevée qui est facile à manipuler, car il s'agit d'un liquide que l'on peut pomper et entreposer dans des citernes. Il faut prendre des précautions, car les biohuiles sont très acides, dégagent une odeur forte et tendent à se séparer ou à former un sédiment. Elles peuvent remplacer les combustibles fossiles et les huiles lourdes et moyennes. Des recherches sont en cours en vue de trouver un moyen de les transformer en huiles plus légères comme du diesel et de l'essence. *Source (photo) : CanmetÉNERGIE.*

Tableau 2. Masse volumique et densité d'énergie d'un biocombustible solide soumis à certaines technologies de densification

Forme de biocombustible solide	Forme et taille	Masse volumique (lb/pi ³)	Masse volumique (kg/m ³)	Densité d'énergie (GJ/m ³)
Méthode traditionnelle				
Balles de résidus agricoles	Grandes, rondes, milieu mou 1,2 x 1,2, 1,2 x 1,5, 1,5 x 1,2, 1,8 x 1,5 m (4 x 4,4 x 5,5 x 4,6 x 5 pi) diamètre sur largeur	10–12	160–190	2,8–3,4
Balles de résidus agricoles	Grandes, rondes, milieu dur 1,2 x 1,2, 1,2 x 1,5, 1,5 x 1,2, 1,8 x 1,5 m (4 x 4,4 x 5,5 x 4,6 x 5 pi) diamètre sur largeur	12–15	190–240	3,4–4,5
Balles de résidus agricoles	Grandes ou moyennes, carrées 0,6 x 0,9 x 2,4 m (2 x 3 x 8 pi) 0,9 x 1,2 x 2,4 m (3 x 4 x 8 pi)	13–16	210–255	3,7–4,7
Méthode non traditionnelle				
Résidus forestiers broyés ^[9] (broyeur à marteaux)	1,5 mm (0,06 po.) emballés et comprimés	13	200	3,6
Briquettes ^[9]	32 mm (1,3 po) de diamètre x 25 mm (1 po) d'épaisseur	22	350	6,4
Cubes ^[9]	Coupe transversale de 33 mm (1,3 po) x 33 mm (1,3 po)	25	400	7,3
Rondelles ^[11]	75 mm (3 po) de diamètre x 12 mm (1 po) d'épaisseur	30–40	480–640	8,6–12,0
Granulés ^[9]	6,24 mm (0,2 po) de diamètre	35–45	550–700	9,8–14,0
Granulés torréfiés ^[5]	6,24 mm (0,2 po) de diamètre	50	800	15,0
Biohuile ^[5]	Liquide	75	1 200	20

Remarque : Le biocombustible solide libre a une masse volumique de 3,5 à 5 lb/pi³ ou de 60 à 80 kg/m³.

Grâce à l'utilisation de diverses technologies de densification, le biocombustible solide brut est comprimé afin d'atteindre une masse volumique de 7 à 10 fois sa masse volumique apparente initiale^[4]. La masse volumique apparente que certaines technologies de prétraitement permettent d'obtenir est indiquée au [tableau 2](#) et à la [figure 3](#).

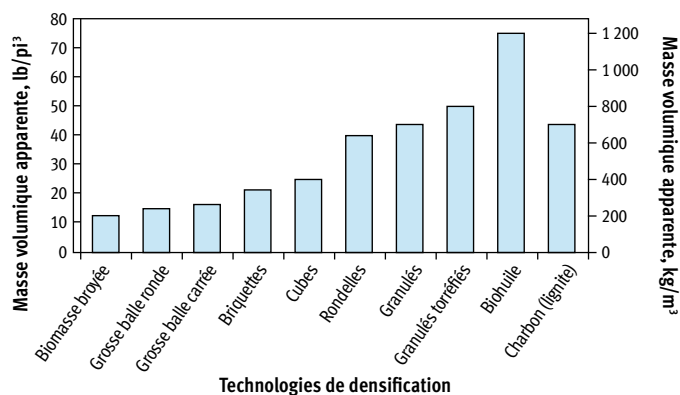


Figure 3. Masses volumiques apparentes résultant d'un biocombustible solide soumis à certaines technologies de densification.

COÛT DE LA DENSIFICATION DU BIOCOMBUSTIBLE SOLIDE

Les matières pyrolysées sont les plus coûteuses à densifier, alors que les cubes, rondelles, briquettes et copeaux de bois sont moins coûteux.

Les facteurs qui influent sur le coût des technologies de densification sont notamment les suivants^[6] :

- la taille de l'installation de densification (tonnes/an)
- les heures d'exploitation (h/jour)
- le coût de l'équipement
- le coût du personnel
- le coût des matières brutes

Les technologies de densification nécessitent une hausse de l'apport énergétique et augmentent les coûts. Une partie de ces coûts est récupérée grâce à la réduction des coûts de manutention, d'entreposage et de transport, à un meilleur fonctionnement de la chaudière et à un processus de combustion amélioré. Certaines technologies mentionnées sont en vente dans le commerce, et d'autres sont nouvelles.

CONCLUSION

La faible densité d'énergie d'un biocombustible solide par unité de volume par rapport aux combustibles fossiles entraîne des coûts de manutention, d'entreposage et de transport plus élevés. Un biocombustible solide est donc rentable surtout lorsqu'il est utilisé près de sa source. Le recours à des technologies de densification permet de réduire le coût du transport du biocombustible solide. Ces technologies permettent d'obtenir un produit homogène présentant une densité d'énergie supérieure à celle des matières brutes d'origine, moyennant des coûts d'immobilisations et d'exploitation supplémentaires.

RESSOURCES

Les énergies renouvelables dans les exploitations agricoles

Canadian biofuel

CanmetÉNERGIE

R.E.A.P. (Resource Efficient Agricultural Production)

OUVRAGES CONSULTÉS

- [1] Demirbas, K., et K.A. Sahin-Demirba. 2009. « *Compacting of biomass for energy densification* », Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 1556–7230, vol. 31 n° 12, p. 1063–1068.
- [2] Dobie, J.B. 1959. « *Engineering appraisal of hay pelleting* », Agricultural Engineering, vol. 40, n° 2, p. 72–76.
- [3] Kaliyan, N., et R.V. Morey. 2009. « *Factors affecting strength and durability of densified biomass products* », Biomass Bioenergy, vol. 33, n° 3, p. 337–359.
- [4] Kaliyan, N., et V. Morey. 2006. *Densification characteristics of corn stover and switchgrass*, ASABE Paper No. 066174, St. Joseph (Michigan), ASABE.
- [5] Kiel, J. 2007. *Torrefaction for biomass upgrading into commodity fuels*. Exposé fait lors du IEA Bioenergy Task 32 Workshop, « Fuel storage, handling and preparation and system analysis for biomass combustion technologies », Berlin, 7 mai 2007.
- [6] Mani, S., S. Sokhansanj, X. Bi et A. Turhollow. 2006. « *Economics of producing fuel pellets from biomass* », Applied Engineering in Agriculture, vol. 22, n° 3, p. 421–426.
- [7] Preto, F. 2007. *Strategies and techniques for combustion of agricultural biomass fuels*. Growing the Margins Energy Conference.
- [8] Shaw, M., et L. Tabil. 2007. *Compression and relaxation characteristics of selected biomass grinds*, ASABE Paper No. 076183, St. Joseph (Michigan), ASABE.
- [9] Sokhansanj, S., et J. Fenton. 2006. *Cost benefit of biomass supply and pre-processing*, Biocap Research Integration Program Synthesis Paper. Sur Internet : www.biocap.ca/rif/report/Sokhansanj_S.pdf.
- [10] Tabil, L.G., S. Sokhansani et R.T. Tyler. 1997. « *Performance of different binders during alfalfa pelleting* », Canadian Agricultural Engineering, vol. 39, n° 1, p. 17–23.
- [11] Winkler, W. 2010. *Briquetting Systems*, New York.

REMERCIEMENTS

La présente fiche technique a été mise à jour par Terrence Sauvé, ingénieur, optimisation et sécurité des exploitations agricoles, MAAAO. Elle a été originalement rédigée par Steve Clarke, ing., spécialiste, énergie et génie agricole, MAAAO, Kemptville, et par Fernando Preto, Systèmes de bioénergie, CanmetÉNERGIE.

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 26-009)

Centre d'information agricole :

1 877 424-1300

1 855 696-2811 (ATS)

Courriel : ag.info.omafa@ontario.ca

ontario.ca/maaa

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.