

# PROFIL DES PRODUITS FORESTIERS

## *TECHNOLOGIES DE BIOÉNERGIES À BASE DE BIOMASSE FORESTIÈRE*

AVRIL 2011

## Note au lecteur

L'information contenue dans ce document est fournie à titre indicatif seulement et n'engage aucunement la responsabilité du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) du Québec. En outre, les hyperliens fournis en référence peuvent ne plus être valides.

## Auteurs

Ce document a été réalisé par M<sup>mes</sup> Olga Solomatnikova, Ginette Douville et Nancie Carrière, par MM. Vincent Vallée et Florian Trudel du Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) ainsi que par M<sup>mes</sup> Mireille Duchesne, Myjanoue Perron et MM. Robert Gauthier et Alain Gaudreault de la Direction du développement de l'industrie des produits forestiers (DDIPF) du MRNF. Il a été révisé par M. François Rouleau.

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le personnel du CRIQ qui a collaboré aux travaux menant à la production de ce profil sur les technologies de bioénergies à base de biomasse forestière de même que le personnel de la DDIPF pour leur soutien dans la réalisation de cette étude.

Les auteurs remercient également M<sup>me</sup> France Bergeron de la DDIPF du MRNF qui a effectué l'édition de ce document ainsi que M<sup>mes</sup> Geneviève Toussaint et Judith Langevin de Bla bla rédaction qui en ont assuré la révision linguistique.

## Diffusion

Cette publication, conçue pour une impression recto verso, est accessible en ligne uniquement à l'adresse suivante :

[www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/bioenergies-biomasse.pdf](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/bioenergies-biomasse.pdf)

Compte tenu du volume important des annexes, celles-ci peuvent être consultées directement au MRNF.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2011

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2011

ISBN 978-2-550-62546-9

## Réalisation

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune  
Direction du développement de l'industrie des produits forestiers  
880, chemin Sainte-Foy, bureau 7.50  
Québec (Québec) G1S 4X4 CANADA  
Téléphone : 418 627-8644, poste 4106  
Télécopieur : 418 643-9534  
Courriel : [prodfor@mrnf.gouv.qc.ca](mailto:prodfor@mrnf.gouv.qc.ca)

---

**TABLE DES MATIÈRES**


---

	<b>PAGE</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTE DES PHOTOS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTE DES GRAPHIQUES</b> .....	<b>XIII</b>
<b>LISTE DES ANNEXES</b> .....	<b>XV</b>
<b>DÉFINITIONS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>AVANT-PROPOS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIFS</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TECHNOLOGIES DE CONDITIONNEMENT DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE</b> .....	<b>3</b>
2.1 Définition de la biomasse forestière .....	3
2.2 Fragmentation .....	3
2.3 Séchage .....	5
2.4 Broyage et séchage simultanés .....	13
<b>3. TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION : PROCÉDÉS PHYSIQUES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE PAR DENSIFICATION (GRANULES, BÛCHES ET BRIQUETTES)</b> .....	<b>17</b>
3.1 Techniques de densification .....	17
3.2 Données de marché (granules de bois et bûches de bois densifié) .....	24
<b>4. TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION : PROCÉDÉS THERMOCHIMIQUES</b> .....	<b>41</b>
4.1 Combustion directe .....	42
4.1.1 Types de foyers .....	44
4.1.2 Types d'échangeurs de chaleur .....	50
4.1.3 Technologies utilisées pour l'épuration des gaz de combustion .....	52
4.1.4 Émissions liées à chacun des combustibles et des systèmes de combustion .....	57
4.1.5 Règlements québécois relatifs aux émissions particulières des fournaies, des chaudières et des séchoirs à la biomasse forestière .....	58
4.2 Gazéification .....	61
4.3 Carbonisation .....	76
4.4 Torréfaction .....	88
4.5 Pyrolyse .....	96

<b>5. INTÉGRATION DES TECHNOLOGIES DE BIOÉNERGIE .....</b>	<b>107</b>
5.1 Production de chaleur .....	107
5.2 Production d'énergie électrique .....	110
5.3 Cogénération .....	111
5.4 Polygénération .....	117
<b>6. EXEMPLES D'APPLICATIONS .....</b>	<b>123</b>
<b>7. NORMALISATION ET CERTIFICATION DES BIOCOMBUSTIBLES SOLIDES .....</b>	<b>129</b>
<b>8. MESURES D'AIDE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE     BIOÉNERGÉTIQUE AU CANADA ET AU QUÉBEC .....</b>	<b>143</b>
<b>9. OUTILS D'ÉVALUATION DE PROJETS BIOÉNERGÉTIQUES .....</b>	<b>151</b>
<b>10. CONCLUSIONS .....</b>	<b>153</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>157</b>

## LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1 : Valeur calorifique de quelques combustibles renouvelables .....	7
Tableau 2 : Liste des usines québécoises .....	24
Tableau 3 : Répartition des usines de granules actuelles, en construction et projetées (Canada) .....	25
Tableau 4 : Répartition des usines de granules et capacité de production par régions ( <i>États-Unis, 2009</i> ) .....	26
Tableau 5 : Ventes de poêles à granules au Canada et aux États-Unis de 2005 à 2009 ....	27
Tableau 6 : <i>Profitabilité des ventes de granules canadiennes sur le marché européen, en février 2009 et en juin 2010</i> .....	29
Tableau 7 : Nombre de producteurs, capacité de production, production et consommation de granules en Europe <i>en 2008</i> .....	30
Tableau 8 : <i>Offre et demande de granules en Europe sur les principaux marchés (&gt; 500 000 tonnes métriques)</i> .....	31
Tableau 9 : <i>Principales utilisations des granules caractérisant certains pays européens (2010)</i> .....	33
Tableau 10 : Liste des fabricants québécois de bûches de bois densifié .....	37
Tableau 11 : Principaux vendeurs de bûches aux États-Unis .....	38
Tableau 12 : Comparaison des coûts de l'énergie pour le chauffage de différents combustibles .....	43
Tableau 13 : Principales caractéristiques distinguant les foyers à lit fluidisé à bulles (LFB) de ceux à lit fluidisé circulant (LFC) .....	49
Tableau 14 : Principales caractéristiques des types de foyers des bouilloires à la biomasse .....	50
Tableau 15 : Caractéristiques des échangeurs de chaleur des bouilloires à la biomasse ....	52
Tableau 16 : Émissions au cours de la combustion .....	58

Tableau 17 :	Concentration maximale d'émissions particulaires permise par le Règlement sur la qualité de l'atmosphère selon la puissance de l'appareil de combustion .....	59
Tableau 18 :	Valeur limite d'émission de particules prescrite par le projet de règlement sur l'assainissement de l'atmosphère selon la puissance de l'appareil de combustion .....	59
Tableau 19 :	Production de charbon de bois au Québec, de 2005 à 2008 .....	86
Tableau 20 :	Production de charbon de bois dans certains pays sélectionnés .....	86
Tableau 21 :	Consommation annuelle moyenne du charbon de bois dans les grandes régions du monde .....	87
Tableau 22 :	Consommation de charbon de bois de 2005 à 2010 (États-Unis).....	87
Tableau 23 :	Comparaison des propriétés des copeaux et des granules de bois, des briquettes de biocharbon et des granules de bois torréfié.....	90
Tableau 24 :	Photos ou illustrations représentant certains types de réacteurs de torréfaction pour la biomasse .....	92
Tableau 25 :	Demande potentielle de biomasse forestière torréfiée aux États-Unis en remplacement du charbon minéral.....	95
Tableau 26 :	Bilan de masse de la pyrolyse sous vide Pyrovac (base sèche) pour une unité de 2,2 tonnes par heure . .....	100
Tableau 27 :	Propriétés typiques de la biohuile filtrée de Pyrovac .....	100
Tableau 28 :	Différentes technologies de cogénération .....	112
Tableau 29 :	Classification par la taille (kW) des installations de cogénération .....	112
Tableau 30 :	Investissements requis pour différentes technologies de conversion énergétique .....	117
Tableau 31 :	Production d'électricité à partir de la biomasse forestière au Québec .....	117
Tableau 32 :	Spécifications des différentes catégories de granules définies par la Pellet Fuels Institute .....	131
Tableau 33 :	Normes européennes (EN) déjà publiées sur les biocombustibles solides .....	133
Tableau 34 :	Projets de norme EN (prEN) en cours sur les biocombustibles solides .....	134
Tableau 35 :	Comparaison des exigences des normes prEN 14961-2, ÖNORM M 7135, DIN 51731 et DINplus .....	137

## LISTE DES FIGURES

	<b>PAGE</b>
Figure 1 : Quelques voies de conversion énergétique de la biomasse .....	1
Figure 2 : Influence du taux d'humidité de la biomasse sur son pouvoir calorifique inférieur .....	5
Figure 3 : Étapes de fabrication des granules énergétiques .....	19
Figure 4 : Principes de granulation standard et à doubles matrices.....	20
Figure 5 : Les voies de conversion thermochimique de la biomasse .....	41
Figure 6 : Composants typiques d'un système de chauffage à la biomasse .....	44
Figure 7 : Chaudière hybride à foyer à grille fixe .....	45
Figure 8 : Chaudière à foyer volcan .....	46
Figure 9 : Chaudière à grilles mobiles .....	46
Figure 10 : Foyer Biograte à grilles coniques rotatives .....	47
Figure 11 : Chaudière à foyer à lit fluidisé à bulles .....	48
Figure 12 : Chaudière à foyer à lit fluidisé circulant .....	49
Figure 13 : Représentation schématique de chaudières à tubes de fumée et à tubes d'eau .....	51
Figure 14 : Dépoussiéreur multicyclone .....	53
Figure 15 : Filtre à manches .....	54
Figure 16 : Laveur de gaz.....	55
Figure 17 : Précipitateur électrostatique .....	56
Figure 18 : Principe de fonctionnement d'une chaudière à condensation .....	57
Figure 19 : Schéma d'un gazogène vertical à lit fixe de type à cocourant .....	63
Figure 20 : Installation de gazéification de la biomasse forestière .....	64
Figure 21 : Moteur à gaz .....	65

Figure 22 :	Différentes voies de valorisation énergétique de la biomasse au moyen de la gazéification .....	66
Figure 23 :	Production de carburants et de produits chimiques à partir du syngaz .....	68
Figure 24 :	Schéma du procédé d'Enerkem .....	70
Figure 25 :	Schéma d'un gazogène Nexterra .....	72
Figure 26 :	Schéma du procédé SilvaGas de Rentech Inc. ....	73
Figure 27 :	Schéma du procédé Ebara RFB (Japon) .....	75
Figure 28 :	Schéma du procédé Reichert .....	79
Figure 29 :	Four Lambiotte CISR .....	80
Figure 30 :	Schéma du procédé Lurgi GmbH .....	81
Figure 31 :	Schéma du procédé I.T.B. s.r.l.....	81
Figure 32 :	Schéma du procédé Flash Carbonization™ .....	83
Figure 33 :	Énergie électrique requise pour la fragmentation du bois et du bois torréfié en particules fines en fonction de la granulométrie .....	89
Figure 34 :	Schéma du procédé BO <sub>2</sub> pour la préparation de granules torréfiés.....	91
Figure 35 :	Usine de démonstration de Pyrovac, Saguenay .....	98
Figure 36 :	Schéma du procédé Pyrovac de pyrolyse sous vide de la biomasse.....	99
Figure 37 :	Procédé Rapid Thermal Processing d'Ensyn Technologies Inc. ....	101
Figure 38 :	Approvisionnement d'huile pyrolitique à partir de pyrolyseurs mobiles .....	103
Figure 39 :	Bilan thermique d'une centrale électrique à condensation pour la production d'électricité seulement .....	111
Figure 40 :	Bilan thermique typique d'une centrale de cogénération pour la production simultanée d'électricité et de chaleur .....	113
Figure 41 :	Principe de la cogénération .....	113
Figure 42 :	Combustion et cogénération .....	115
Figure 43 :	Schéma d'une centrale de gazéification à la biomasse à cycle combiné .....	116



Figure 44 :	Schéma d'une centrale de gazéification (conversion BTL) de type monogénération (grande échelle) (15 000 t/an, CHOREN Fuel Freiberg, Allemagne) .....	118
Figure 45 :	Exemple de conversion de la biomasse (monogénération) .....	119
Figure 46 :	Exemple de polygénération à petite échelle à partir de gazéification (usine pilote de démonstration à Güssing, en Autriche) .....	119
Figure 47 :	Représentation graphique du système Nexterra utilisé par Kruger .....	124
Figure 48 :	États américains et provinces canadiennes partenaires et observateurs de la WCI (décembre 2010) .....	148



## LISTE DES PHOTOS

	<b>PAGE</b>
Photo 1 : Copeaux et broyats .....	4
Photo 2 : Séchoir rotatif .....	8
Photo 3 : Séchoir tubulaire .....	9
Photo 4 : Séchoir à vapeur surchauffée .....	10
Photo 5 : Séchoir à bande .....	11
Photo 6 : Base du pulvérisateur à fléaux KDS Micronex .....	13
Photo 7 : Étapes de valorisation de la biomasse par la technologie KDS Micronex .....	14
Photo 8 : Matrice de densification .....	18
Photo 9 : Presse à granuler Équipements Comact inc. et PROMILL STOLZ .....	19
Photo 10 : Presse hydraulique à briqueter .....	22
Photo 11 : Presse BRIK MB90 .....	23
Photo 12 : Usine de la compagnie GRANULES LG inc. ....	26
Photo 13 : Réacteur Fischer-Tropsch .....	67
Photo 14 : Unité de gazéification de Norampac (Trenton, Ontario) .....	74
Photo 15 : Four Missouri .....	77
Photo 16 : Fours de carbonisation VMR (Van Marion Retort) .....	78
Photo 17 : Étapes de transformation de la biomasse forestière par torréfaction .....	88
Photo 18 : Centrale de production d'électricité à charbon pulvérisé .....	94
Photo 19 : Huile de pyrolyse .....	97
Photo 20 : Usine de pyrolyse mobile (50 tonnes par jour) .....	103
Photo 21 : Canalisations d'un réseau de chaleur .....	110
Photo 22 : Chaufferie à la biomasse forestière de l'hôpital d'Amqui .....	123



**LISTE DES GRAPHIQUES**

	<b>PAGE</b>
Graphique 1 : Évolution de l'utilisation des différents combustibles pour le chauffage urbain en Suède .....	108
Graphique 2 : Courbe monotone de chauffage des usagers du réseau (chaleur et eau chaude sanitaire).....	109
Graphique 3 : Rendement des capitaux investis (RCI) pour le Québec : produits traditionnels et nouvelles technologies ayant récupéré le coût du capital .....	121



**LISTE DES ANNEXES**

- Annexe A : Ouvrages généraux
- Annexe B : Documents portant sur les biocombustibles densifiés
- Annexe C : Documents portant sur les technologies de combustion de la biomasse
- Annexe D : Documents portant sur la gazéification
- Annexe E : Documents portant sur la carbonisation
- Annexe F : Documents portant sur la torréfaction
- Annexe G : Documents portant sur la pyrolyse
- Annexe H : Documents portant sur l'intégration de procédés énergétiques
- Annexe I : Documents portant sur les normes et les certifications de biocombustibles solides
- Annexe J : Documents portant sur les incitatifs

Voir note au lecteur.





DÉFINITIONS<sup>1</sup>

<b>Anneaux de Raschig</b>	Petits objets cylindriques en métal, en verre ou en céramique que l'on place dans les colonnes de distillation fractionnée afin d'augmenter la surface de contact entre la phase liquide et la phase gazeuse, améliorant ainsi les échanges entre les phases pour un volume de colonne donné.
<b>Bar</b>	Unité de mesure de pression non incluse dans le système international (SI) et égale à $10^5$ pascals (Pa), 100 kPa ou 100 kilonewtons par mètre carré ( $100 \text{ kN/m}^2$ ). Plus communément, on admet que 1 bar vaut $1 \text{ kg/cm}^2$ ou encore $14,50 \text{ lb/po}^2$ .
<b>Biocharbon (biochar, biocoal, charcoal)</b>	Le charbon de bois est une matière riche en carbone obtenue par décomposition thermique (carbonisation) des composants du bois comme la cellulose.
<b>Biogaz</b>	Gaz ( $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ et autres) produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène.
<b>Eutectique</b>	Constituant hétérogène des alliages formé par la juxtaposition de deux ou de plusieurs phases solides (mélange eutectique) qui se solidifient simultanément à une température constante.
<b>Gaz de synthèse (syngaz)</b>	Mélange gazeux qui contient une quantité variable de monoxyde de carbone et d'hydrogène, ainsi qu'un peu de dioxyde de carbone, obtenu par différentes méthodes, dont la gazéification.
<b>Granules ou granulés</b>	Petits cylindres de granulométrie régulière obtenus par densification de matière lignocellulosique de fine granulométrie et qui ont l'avantage d'être faciles à manipuler et à stocker.
<b>Humidité base humide</b>	$100 \times \frac{(\text{poids humide} - \text{poids sec})}{\text{poids humide}}$
<b>Humidité base sèche</b>	$100 \times \frac{(\text{poids humide} - \text{poids sec})}{\text{poids sec}}$
<b>Hydrocraquage</b>	L'hydrocraquage est une opération pétrochimique qui permet de convertir les produits pétroliers lourds en produits légers en les portant à température élevée (soumis à une pression d'hydrogène injecté de 150 à 200 bar) <sup>2</sup> .

1. Définitions tirées de [Wikipédia](#) et [du Grand dictionnaire terminologique](#).

2. Union française des industries pétrolières (UFIP), [p.fr/?rubrique=petrodico&lettre=H&id=205#6](http://p.fr/?rubrique=petrodico&lettre=H&id=205#6).

---

<b>kWh(e)</b>	Kilowattheure électrique. Unité de mesure d'énergie correspondant à l'énergie consommée par un appareil de 1 000 watts (1 kW) de puissance pendant une durée d'une heure. Utilisée pour mesurer l'énergie électrique, tant générée que consommée, elle est égale à 3,6 mégajoules (MJ).
<b>MCI</b>	Moteur à combustion interne.
<b>Nm<sup>3</sup></b>	Mètre cube normal. Le mètre cube dit normal correspond à un volume de gaz ramené sous une pression de 1,01325 bar (pression d'une atmosphère normale ou 1 atm) et une température de 0 °C.
<b>MPa</b>	Le pascal est l'unité de contrainte et de pression du SI. Le mégapascal (MPa) égale 10 <sup>6</sup> Pa ou 1 N/mm <sup>2</sup> .
<b>MW(e)</b>	Le terme <i>watt électrique</i> (symbole : W <sub>e</sub> ) correspond à la production de puissance électrique. Il est égal à un joule par seconde ou encore à un newton-mètre par seconde. Ses multiples sont le mégawatt électrique (MW <sub>e</sub> ) (10 <sup>6</sup> W) et le gigawatt électrique (GW <sub>e</sub> ) (10 <sup>9</sup> W).
<b>MW(th)</b>	Le terme <i>watt thermique</i> (symbole : W <sub>th</sub> ) correspond à la production de puissance thermique. Ses multiples sont le mégawatt thermique (MW <sub>th</sub> ) (10 <sup>6</sup> W) et le gigawatt thermique (GW <sub>th</sub> ) (10 <sup>9</sup> W).
<b>NO<sub>x</sub></b>	Oxydes d'azote, principalement le NO et le NO <sub>2</sub> . Ces deux gaz sont odorants et toxiques à faible dose. Le N est le symbole de l'azote et le O, celui de l'oxygène.
<b>Pétajoules</b>	Unité de mesure d'énergie du SI valant 10 <sup>15</sup> joules et dont le symbole est PJ. Le joule est une unité dérivée du SI pour quantifier l'énergie, le travail et la quantité de chaleur.
<b>Slurry</b>	Fluide hétérogène constitué par une phase liquide (ex. : biocombustibles liquides) dans laquelle une matière solide (ex. : biocharbon) est maintenue en suspension.
<b>Température de flamme adiabatique</b>	En thermodynamique, une transformation est dite adiabatique si elle est effectuée sans qu'aucun transfert thermique n'intervienne entre le système étudié et le milieu extérieur. Lorsque les pertes de chaleur sont réduites à zéro, la température des produits de combustion atteint un sommet. Cette température est désignée sous le nom de température de flamme adiabatique.
<b>Tonne courte</b>	La tonne courte égale 2 000 lb ou 907 kg.
<b>Tma</b>	Tonne métrique anhydre
<b>Tmv</b>	Tonne métrique verte

## AVANT-PROPOS

Dans le contexte actuel de développement durable et de diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES), l'utilisation de la biomasse forestière (sous forme de copeaux, de broyats, de granules et de bûches) comme source d'énergie devient de plus en plus populaire. Le plan d'action pour la valorisation de la biomasse forestière, élaboré en 2009 par le MRNF, et la volonté politique actuelle encouragent l'utilisation du bois comme source d'énergie. Les arguments économiques, environnementaux et sociaux en faveur de ce type d'énergie sont nombreux. Le bois est la source d'énergie renouvelable la plus compétitive pour la production de chaleur et c'est une ressource largement disponible au Québec. De plus, l'utilisation du bois et des résidus forestiers pour la production d'énergie en remplacement des énergies fossiles permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et notre dépendance vis-à-vis des combustibles de l'industrie pétrolière et gazière. Enfin, sur le plan social, l'utilisation de cette ressource locale crée des emplois et permet l'occupation dynamique du territoire. Ces bénéfices constituent des éléments-clés de l'importante transformation à venir du paysage énergétique québécois.

Plusieurs technologies de transformation permettent de produire une gamme étendue de biocombustibles (solides ou liquides) à partir de biomasse forestière, notamment la densification, la gazéification, la carbonisation, la torréfaction et la pyrolyse.

Avant d'être valorisée par ces procédés, la biomasse forestière doit être conditionnée, c'est-à-dire fragmentée et séchée. Pour réduire le coût de ces prétraitements, de nouveaux séchoirs et pulvérisateurs permettant de broyer et de sécher simultanément la biomasse ont été mis au point.

Différentes techniques de densification éprouvées permettent de produire des granules, des bûches et des briquettes de bois densifié. Bien que le marché des granules ait connu une croissance rapide depuis les années 2000, la situation actuelle de l'industrie canadienne, qui exporte une grande partie de sa production en Europe (1,0 sur 1,3 million de tonnes par année), est préoccupante. Cette situation est causée, en bonne partie, par la dévaluation de l'euro par rapport au dollar canadien depuis 2009. Même si le potentiel d'exportation à long terme reste très important, le développement du marché intérieur rendrait cette industrie moins vulnérable aux facteurs externes et permettrait, du même coup, de réduire les émissions québécoises de CO<sub>2</sub>. Concernant les bûches de bois densifié, les données tendent à démontrer que le marché canadien offre un potentiel de vente à combler.

La combustion de la biomasse correspond à son oxydation complète en présence d'air. Cette technique permet de produire de l'énergie, qui est utilisée pour le chauffage, la production d'électricité ou les deux (cogénération). Les systèmes de combustion font appel à différents types de foyers (à grille fixe, volcan, à grilles mobiles ou à lit fluidisé), d'échangeurs de chaleur (à tubes de fumée, à tubes d'eau ou hybrides) et d'équipements pour l'épuration des gaz de combustion (dépollueurs multicyclones, filtre à manches, laveurs de gaz, précipitateur électrostatique). La condensation des gaz de combustion est une méthode de plus en plus utilisée pour augmenter le rendement global de l'installation et réduire les émissions de

particules. À cet égard, le Règlement sur la qualité de l'atmosphère<sup>3</sup> pourrait bientôt être remplacé par le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère<sup>4</sup>. Celui-ci spécifierait des valeurs limites d'émission de particules plus restrictives que le règlement actuel pour les appareils de combustion utilisant le bois comme combustible.

Dans le domaine de la gazéification, différents types de gazogènes ont été conçus (fours verticaux à lit fixe, gazogènes à lit fluidisé, à lit entraîné ou au plasma). Le gaz de synthèse obtenu de la biomasse forestière est un mélange, entre autres, d'hydrogène, de monoxyde de carbone et de goudrons. Les procédés thermocatalytiques permettent de produire de l'énergie, des biocarburants ou des produits à haute valeur ajoutée. Cependant, la présence de goudron dans la biomasse forestière limite les applications. La purification du gaz de synthèse reste un défi pour les promoteurs de la gazéification. Il existe relativement peu d'usines de gazéification de biomasse forestière de taille industrielle. Plusieurs détenteurs de technologies proposent cette voie de valorisation, dont Enerkem inc.<sup>5</sup> et PyroGenesis Canada inc.<sup>6</sup> au Québec.

La carbonisation sert à produire le maximum de biocharbon au détriment de la biohuile. Plusieurs technologies se différenciant, entre autres, par le type de four, le mode de chauffage et la pression maintenue à l'intérieur du four (les fours Missouri, Van Marion Retort, Lambiotte et les procédés Reichert, Lurgi, I.T.B. et Flash Carbonization™) sont commercialisées. La majorité de ces technologies sont éprouvées. Toutefois, le procédé Flash Carbonization™ est récent. Le biocharbon est utilisé dans différents domaines. La substitution, par du charbon de bois, d'une partie du coke métallurgique utilisé par l'industrie sidérurgique canadienne pourrait représenter une occasion intéressante.

Les démarches réalisées durant l'élaboration de ce document ont également permis de constater que plusieurs technologies de torréfaction de la biomasse forestière sont encore à un stade de développement. Les Pays-Bas sont indéniablement au cœur de cette filière. Une fois densifiée, la biomasse torréfiée devient un biocombustible dont la densité énergétique est presque le double de celle des granules de bois et pratiquement équivalente à celle du charbon minéral utilisé dans les centrales électriques. Elle est friable, facile à pulvériser et hydrophobe. Une vingtaine de nouvelles technologies, qui se différencient par les types de réacteurs de torréfaction utilisés (fours rotatifs, réacteurs à lit fixe, à lit fluidisé ou à soles multiples), la forme de la matière première que ceux-ci acceptent et les paramètres de production, émergent actuellement. Malgré cela, les installations de torréfaction de biomasse de taille commerciale sont encore rares. Deux usines sont actuellement en construction (Topell et RWE et 4Energy Invest et Stramproy Green Technology), mais il est prévu d'en bâtir plusieurs autres. La substitution du charbon minéral par des granules torréfiés dans les centrales à charbon pulvérisé est une application très prometteuse, stimulée par les politiques d'énergie renouvelable ou de réduction de CO<sub>2</sub>.

La pyrolyse est une décomposition thermique de la biomasse qui permet de produire plus de biohuile (huile pyrolytique) que de biocharbon et de gaz. L'huile pyrolytique (liquide noir, visqueux et acide) et le biocharbon obtenus peuvent être utilisés de nombreuses façons

- 
3. [www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q\\_2/Q2R38.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R38.htm).
  4. [www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/reg-assain-air.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/reg-assain-air.pdf).
  5. [www.enerkem.com/fr/accueil.html](http://www.enerkem.com/fr/accueil.html).
  6. [www.pyrogenesis.com/site-fr.html](http://www.pyrogenesis.com/site-fr.html).

(biocombustibles, produits chimiques et industriels à haute valeur ajoutée, amendement de sols). Le Canada, leader mondial de cette voie de valorisation de la biomasse, compte plusieurs détenteurs de technologies : Pyrovac (pyrolyse sous vide), Ensyn Technologies Inc. et Dynamotive Energy Systems Corporation (variantes de pyrolyse éclair). La pyrolyse, réalisée dans des unités mobiles, a été proposée comme une étape de concentration intermédiaire entre la source de biomasse (parterres de coupe, par exemple) et une installation de conversion à grande échelle (bioraffinerie) afin d'agrandir le rayon d'approvisionnement économique.

Du côté des technologies de production de bioénergie, la cogénération réalisée par une chaudière à la biomasse, couplée à une turbine à vapeur, reste la voie la plus exploitée en Amérique du Nord et en Europe (bien que les gazogènes soient de plus en plus utilisés). Cependant, l'importante quantité de chaleur produite par une installation de ce type doit être de plus en plus valorisée afin d'augmenter son rendement énergétique, économique et environnemental. À cet égard, les exploitants considèrent maintenant davantage les stratégies de polygénération (par exemple : production d'électricité et de chaleur à laquelle on intègre la fabrication de granules, le séchage de la biomasse ou la production de biocarburants). Ces stratégies permettent d'augmenter la flexibilité et le rendement global de l'installation en plus de réduire le coût unitaire de l'énergie et des produits qui en sont issus. Toutefois, en raison du nombre et de la complexité de certaines options, une méthode rigoureuse et systématique est requise pour évaluer les bénéfices, les coûts inhérents et l'impact environnemental d'une option par rapport à une autre.

Il n'y a pas de normes et de certifications québécoises ou canadiennes pour les copeaux, les broyats et les granules. Il faut souligner que cette filière est nouvelle et qu'elle résisterait mal aux problèmes de qualité qui pourraient avoir des effets dévastateurs sur son image. Elle aurait avantage à tirer profit des nombreux bénéfices que peuvent lui apporter une normalisation et une certification de ses biens et services. Le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) pourrait très bien adapter les normes internationales ou nationales aux besoins provinciaux et élaborer des programmes de certification québécois portant sur les biocombustibles solides.

Les organismes gouvernementaux canadiens et québécois ont mis en œuvre de nombreux programmes d'aide pour favoriser le déploiement de la filière bioénergétique. Du côté fédéral, il y a, entre autres, le programme écoÉNERGIE pour les biocarburants, le programme écoÉNERGIE pour l'électricité renouvelable, le programme de recherche et développement énergétiques (PRDE) et le Fonds de biocarburants ProGen. Du côté provincial, il existe, notamment, le programme d'attribution de biomasse forestière, le programme d'aide à l'utilisation de la biomasse forestière pour le chauffage, le programme de réduction de la consommation de mazout lourd, le programme Technoclimat et le programme d'aide à l'innovation en énergie (PAIE).

Enfin, dès le début 2012, le mécanisme de plafonnement et d'échanges (cap and trade) élaboré dans le cadre de la Western Climate Initiative (WCI) devrait s'activer. Cela pourrait avoir un effet favorable et important sur le développement de la filière énergétique à base de biomasse, à l'image de ce qu'a permis de réaliser l'European Emission Trading Scheme en Europe.



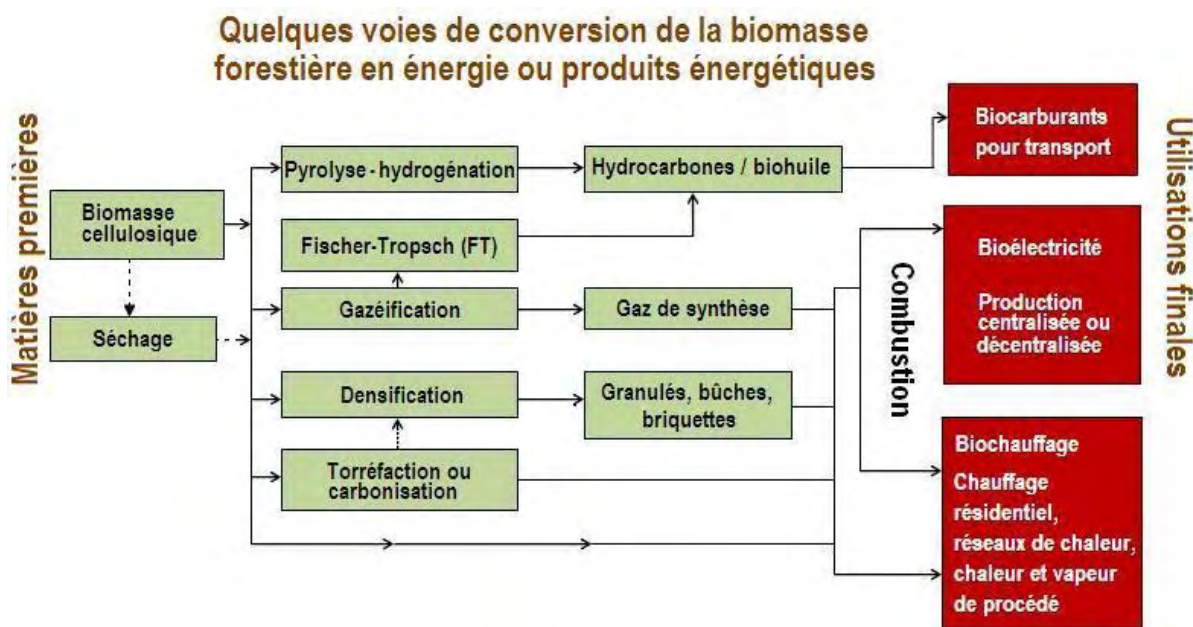
## 1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le plan d'action pour la valorisation de la biomasse forestière<sup>7</sup>, élaboré en 2009 par le MRNF, vise notamment le développement de la filière énergétique forestière. Son application permettra de tirer parti de l'immense potentiel forestier en offrant de nouvelles occasions de diversification économique, créatrices d'emplois durables, partout au Québec.

Le remplacement des carburants fossiles polluants par une énergie propre et renouvelable, issue de la biomasse forestière résiduelle, permet en outre de réduire les émissions de GES et de limiter la dépendance par rapport à ces sources énergétiques dont les prix sont très variables.

De nombreux procédés (figure 1) de transformation peuvent – ou pourront, dans un avenir rapproché – être mis à contribution pour la production d'énergie ou de produits énergétiques à partir de biomasse forestière. L'objectif de ce document est d'en faire l'inventaire.

Figure 1 : Quelques voies de conversion énergétique de la biomasse



Source : Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ).

7. Vers la valorisation de la biomasse forestière : un plan d'action, [www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/plan-action-biomasse.pdf](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/plan-action-biomasse.pdf).

Pour atteindre l'objectif défini précédemment, les travaux ont été effectués en quatre étapes :

1. Revue de la littérature sur l'utilisation de la biomasse forestière à des fins énergétiques, en consultant des répertoires, des études, des banques de données internes et externes ainsi que le réseau Internet.
2. Prise de contact avec quelques experts travaillant au sein d'organisations de la filière de la bioénergie.
3. Analyse et synthèse de l'information recueillie au cours des étapes précédentes.
4. Rédaction du rapport technique.

La validité et la fiabilité de l'information présentée dans ce rapport sont, en partie, fonction de l'exactitude des renseignements fournis par les détenteurs de technologies. Également, la bonne foi des personnes rencontrées et la véracité de l'information qu'elles ont transmise sont présumées être complètes.

Les résultats des travaux effectués sont présentés comme suit : d'abord, nous passons en revue les différentes technologies de transformation et les produits qu'elles permettent d'obtenir. Par la suite, nous décrivons quelques systèmes exploités pour augmenter l'efficacité de ces technologies, puis nous illustrons quelques-uns des procédés de conversion à l'aide d'exemples d'applications en Amérique du Nord et en Europe. Ensuite, nous abordons les normes sur la qualité des biocombustibles solides au Canada, aux États-Unis et en Europe ainsi que des systèmes de certification en Europe. Enfin, nous relevons les mesures d'aide mises en œuvre par les gouvernements canadien et québécois pour favoriser le déploiement de la filière bioénergétique.



## 2. TECHNOLOGIES DE CONDITIONNEMENT DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

### 2.1 Définition de la biomasse forestière

La biomasse est la masse totale de l'ensemble des êtres vivants occupant, à un moment donné, un biotope bien défini. En énergie, la biomasse est la masse vivante, considérée du point de vue de l'énergie que l'on peut obtenir par combustion ou fermentation. Elle regroupe l'ensemble des matières organiques pouvant devenir des sources d'énergie<sup>8</sup>. Pour des raisons administratives, le MRNF considère comme étant de la biomasse forestière résiduelle les arbres, les arbustes, les cimes, les branches et le feuillage ne faisant pas partie de la possibilité forestière et les arbres ou les parties d'arbres inclus dans le calcul de la possibilité forestière, mais qui ne sont pas attribués ou réservés. Une étude non exhaustive a démontré qu'une quantité d'environ 6,5 millions de tonnes métriques anhydres de biomasse forestière par année (essences de résineux et feuillus confondus) est disponible dans les forêts publiques et privées<sup>9</sup> du Québec.

La biomasse forestière doit être préalablement traitée afin de répondre aux besoins des différents acteurs du secteur énergétique, comme les producteurs d'énergie et les fabricants de bioproduits énergétiques, ou de tout autre secteur non lié à l'énergie : les utilisateurs de chaudières à la biomasse, de gazogènes ou d'unités de pyrolyse, les fabricants de granules, de bûches de bois densifié ou de briquettes, les producteurs de biocombustibles liquides ou gazeux, les fabricants de certains panneaux à base de bois, de pâtes et papiers, de litière animale, de matériaux composites bois-plastique, de bois moulé, de produits horticoles, d'isolants thermiques et acoustiques à base de fibres de bois, etc.

Ces utilisations exigent une matière première ligneuse de qualité, qui est décontaminée, calibrée, séchée et dont les propriétés sont constantes. De plus, la fragmentation et le séchage sont nécessaires avant de passer aux autres étapes de transformation de la plupart des procédés analysés dans ce document.

### 2.2 Fragmentation

La fragmentation consiste à réduire et à homogénéiser la granulométrie de la matière ligneuse par déchiquetage ou par broyage (photo 1). Cette activité permet d'obtenir un matériel qui est plus facile à manipuler et à sécher :

↗ Une déchiqueteuse (chipper) munie de couteaux rotatifs montés sur un disque ou un tambour permet la production de copeaux. Elle coupe le bois de façon à obtenir des copeaux dont la granulométrie avoisine les dimensions suivantes : de ½ à 1 po (1,27 à 2,54 cm) de largeur, de 1 à 3 po (2,54 à 7,62 cm) de longueur et ¼ po (0,64 cm)

---

8. Dictionnaire Larousse 2011.

9. MRNF, novembre 2008.

d'épaisseur. Dans le cas d'arbres entiers, les copeaux obtenus sont constitués d'un mélange de bois, d'écorce, de brindilles et de feuillage.

- ↗ Le broyage est effectué à l'aide d'un système muni de marteaux (hammermill) qui défibre la biomasse en la faisant éclater sur ses parois de façon à obtenir des broyats dont la granulométrie maximale correspond à la taille des ouvertures de la grille de tamisage disposée dans l'appareil et par laquelle les particules doivent passer. La granulométrie résultant de l'utilisation d'un broyeur est beaucoup moins homogène que celle obtenue à l'aide d'une déchiqueteuse.

### Photo 1 : Copeaux et broyats

---



Copeaux



Broyats

Sources : [www.arranwoodfuels.co.uk](http://www.arranwoodfuels.co.uk) et [www.woodchips.ie](http://www.woodchips.ie).

Habituellement, la biomasse propre est déchiquetée, tandis que celle qui est contaminée par du sable, de la terre, des roches, etc. est broyée.

Pour tout projet de valorisation de la biomasse forestière, une analyse attentive doit être faite afin de déterminer, de façon optimale, le type et la séquence des équipements de fragmentation à mettre en œuvre. L'analyse devra tenir compte, entre autres, des facteurs suivants : contaminants, essences forestières, taux d'humidité initial, granulométrie initiale et finale, capacité de production souhaitée et équipements stationnaires ou mobiles.

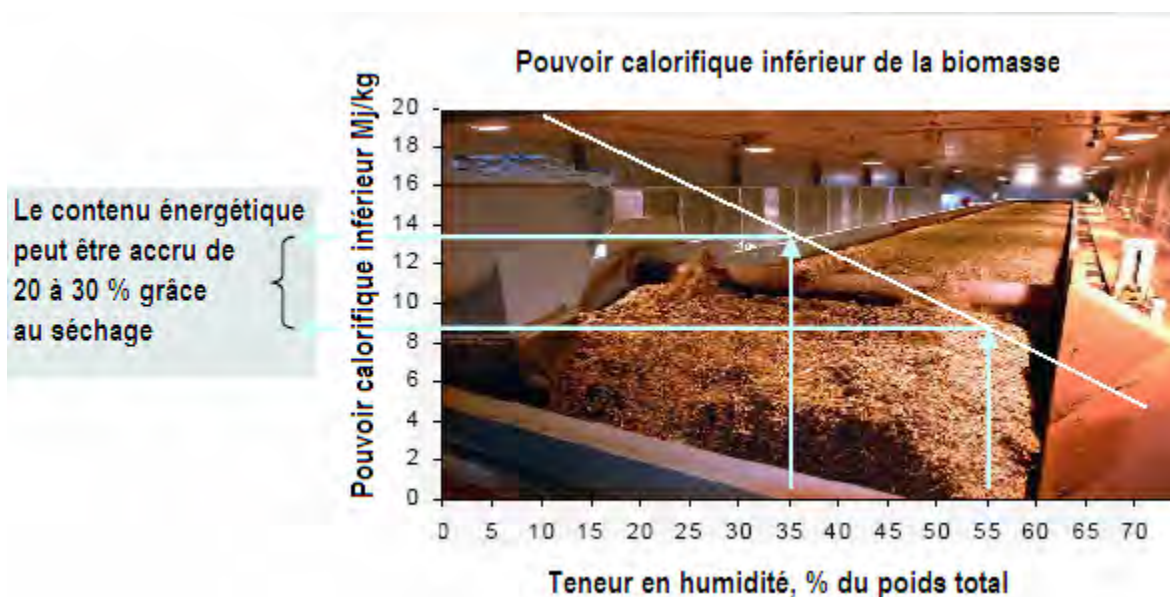
Voici quelques fournisseurs d'équipements de fragmentation (broyeurs [B], déchiqueteuses [D]) :

- ↗ [Banyan Chaînes inc.](#) (Québec) (B);
- ↗ [Équipements Comact inc.](#) (Québec) (D);
- ↗ [Équipements forestiers Cardinal inc.](#) (Québec) (B);
- ↗ [Jecc Mécanique Itée](#) (Québec) (B, D);
- ↗ [Jeffrey Rader](#) (Canada) (D);
- ↗ [Rodrique Métal Itée](#) (Québec) (B, D);
- ↗ [S. Huot inc.](#) (Québec) (B, D);
- ↗ [USNR Kockums Cancar C<sup>ie</sup>](#) (Québec) (D);
- ↗ [Voghel inc.](#) (Québec) (B, D).

## 2.3 Séchage

Pour les producteurs d'énergie et les fabricants de bioproduits énergétiques, la teneur en humidité constitue la propriété la plus importante de leur matière première. En effet, elle influe de façon importante sur le contenu énergétique du combustible et les coûts de production. La figure 2 montre la variation du pouvoir calorifique inférieur (PCI), en MJ/kg, en fonction du taux d'humidité de la biomasse (sur base humide).

**Figure 2 : Influence du taux d'humidité de la biomasse sur son pouvoir calorifique inférieur**



Source : Traduit et adapté du Dr. Markku Karlsson, UPM-Kymmene Corporation, 2008.

Le pouvoir calorifique représente la quantité d'énergie, exprimée en joule (unité SI), contenue dans une unité de masse du combustible, exprimée en gramme. L'unité la plus fréquemment utilisée dans la littérature est le kilogramme-calorie par kilogramme (kcal/kg). Pour le bois énergie, on rencontre souvent l'unité kWh/t.

Les facteurs de conversion entre ces différentes unités sont :

	J/g	kcal/kg	kWh/t
J/g	1	0,24	0,278
kcal/kg	4,18	1	1,161
kWh/t	3,6	0,86	1

On distingue le PCS (pouvoir calorifique supérieur) et le PCI :

### PCS

Le PCS exprime la quantité d'énergie dégagée par la combustion du bois, en récupérant la chaleur latente de la vapeur d'eau produite par la combustion. Toutes les mesures existantes déterminent cette énergie. Elle reste néanmoins une valeur théorique pour le bois énergie dans la mesure où il faudrait récupérer la chaleur latente de l'eau par la condensation de la vapeur d'eau des fumées.

### PCI

Le PCI exprime la quantité d'énergie dégagée par la combustion du bois, sans récupérer la chaleur latente de la vapeur d'eau produite par la combustion. Les mesures existantes ne peuvent déterminer directement cette énergie : il faut la calculer à partir du PCS. Elle est l'énergie théoriquement récupérable par l'utilisateur (dans le cas d'une combustion parfaite). Il s'agit donc de la donnée la plus intéressante à considérer dans le cas du bois énergie. Le PCI est généralement utilisé pour évaluer la dimension des équipements.

Le tableau 1 présente les valeurs calorifiques de différents combustibles renouvelables.

Tableau 1 : Valeur calorifique de quelques combustibles renouvelables

Combustible	Unité	Base anhydre		Base humide			
		PCS (MJ/unité)		Taux d'humidité (%)		PCS (MJ/unité)	
		Min.	Max.	Faible	Fort	Min.	Max.
<b>Résidus forestiers</b>							
Bois rond	kg	19,7	26,7	20,0	40,0	11,8	21,4
Copeaux, plaquettes, sciures	kg	19,7	26,7	5,0	65,0	6,9	25,4
Granules	kg	19,7	26,7	2,7	10,0	17,7	26,0
Résidus de coupe	kg	19,7	26,7	30,0	50,0	9,9	18,7
Écorces d'épinette noire <sup>10</sup>	Kg	ND	ND	ND	ND	19,0	20,3
Écorces d'épinette blanche	kg	ND	ND	ND	ND	19,4	20,1
Écorces de pin gris	kg	ND	ND	ND	ND	20,2	21,3
<b>Culture énergétique</b>							
Copeaux de saule	kg	18,6	19,8	20,0	51,0	9,1	15,8
Granules d'alpiste roseau	kg	18,4	18,8	2,7	10,0	16,6	18,3
Granules de panic érigé	kg	18,2	19,1	2,7	10,0	16,4	18,6
Granules de saule	kg	18,6	19,8	2,7	10,0	16,7	19,2
<b>Huile pyrolytique</b>							
Biohuile	kg	14,1	19,1	20,0	35,0	9,2	15,3
Biohuile	l	15,6	24,8	20,0	35,0	10,1	19,8
<b>Gaz</b>							
Biogaz	m <sup>3</sup>	19,9	29,8	s. o.	s. o.		
Gaz de synthèse	m <sup>3</sup>	3,2	17,8	s. o.	s. o.		

Sources : Adapté d'Agrinova, Groupe AGÉCO, avril 2009 et de RETScreen (2011).

Pour que la biomasse puisse conserver sa qualité lors de l'entreposage et pour que sa valorisation énergétique soit le plus profitable possible, il faut la sécher<sup>11</sup>.

De façon générale, le contenu en humidité de la biomasse forestière fraîchement récoltée varie de 45 à 60 % (base humide)<sup>12</sup>. Selon la saison, les précipitations, l'humidité, la température, le vent, la longueur des jours et les méthodes d'empilement, le séchage à l'air libre peut, dans des

10. Adapté de RETScreen, *Measured Heating Values of Eastern Canadian Bark*, réf. du 2011-03-14, [screen.net/ang/validation.php](http://screen.net/ang/validation.php).

11. La biomasse avec une humidité de 50 % (base humide) a une température de flamme adiabatique d'environ 1 350 à 1 400 °C comparativement à approximativement 1 950 °C pour le gaz naturel et à plus de 2 000 °C pour le mazout. Donc, il peut s'avérer difficile de remplacer complètement le combustible fossile par la biomasse. Or, si elle est séchée à un taux d'humidité de 20 % (base humide), la biomasse présente une température de flamme adiabatique d'environ 1 830 °C, ce qui convient à un plus large éventail d'applications (source : *Vers la carte routière technologique pour les bioraffineries forestières canadiennes*, 2006).

12. Bioenergy from Sustainable Forestry, Richardson, J. et collab., 2002, p. 40 et 108.

conditions favorables, permettre d'abaisser en quelques semaines le taux d'humidité de la biomasse forestière non fragmentée de 20 à 30 %.

Dans le cas d'un séchage actif, différents types de séchoirs peuvent être utilisés, dont le séchoir rotatif à une ou à trois passes (drum dryer), le séchoir tubulaire (flash dryer) et les séchoirs à vapeur surchauffée, à bande (belt dryer, bed dryer) et à basse température.

### Séchoir rotatif

Le séchoir rotatif (drum dryer) (photo 2) est couramment utilisé dans l'industrie de la transformation du bois. Le produit à sécher est introduit dans un cylindre en rotation lente (quelques révolutions par minute), soulevé et projeté dans un flux de gaz chaud parallèle au produit ou à contre-courant de celui-ci.

Il existe des séchoirs rotatifs à chauffage direct et indirect. Dans le premier cas, le fluide caloporteur circule directement dans le cylindre et entre en contact avec la matière à sécher. Dans le cas du séchoir à chauffage indirect, mieux adapté aux matières de faible granulométrie, on fait appel à un échangeur de chaleur pour transmettre l'énergie de la source primaire (gaz de combustion, vapeur, chaleur recyclée du procédé, etc.) au fluide caloporteur qui circule dans le séchoir. Souvent, la température à l'entrée du séchoir varie de 300 °C à 600 °C. À ces températures, il y a émission de composés organiques volatils (COV), responsables de la formation d'ozone, dans les gaz d'échappement du séchoir. Ces gaz nuisibles doivent être éliminés par des systèmes d'épuration tels des épurateurs thermiques régénératifs (regenerative thermal oxidizer).

Pour ce type de séchoir, la demande calorifique avoisine 1 000 kWh par tonne d'eau évaporée<sup>13</sup>.

### **Photo 2 : Séchoir rotatif**

---



Source : M-E-C Company.

---

13. Obernberger, I., Thek, G., *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, EarthScan, 2010, section 4.1.1.2.

### Séchoir tubulaire

Dans un séchoir tubulaire (photo 3), le séchage s'effectue en quelques secondes. La matière humide de faible granulométrie est introduite dans un flux d'air (ou de gaz) chauffé qui l'entraîne dans un long conduit de séchage dont une section – colonne de séchage – est verticale et ascendante. Grâce à la chaleur du flux d'air, la matière sèche à mesure qu'elle est entraînée. À la sortie du séchoir, le produit est séparé au moyen de cyclones ou de sacs filtrants performants. Comme pour les séchoirs rotatifs, les gaz d'échappement peuvent, dans certains cas, être recyclés afin d'augmenter l'efficacité thermique.

La température de l'air à l'entrée varie de 100 °C à 650 °C, tandis que les débits d'air peuvent dépasser 200 000 m<sup>3</sup>/h<sup>14</sup>.

### **Photo 3 : Séchoir tubulaire**

---



Source : Westec America LLC.

### Séchoir à vapeur surchauffée

Le séchoir à vapeur surchauffée (photo 4) utilise de la vapeur sèche (vapeur dont la température est supérieure aux conditions de saturation) pour retirer l'eau de la biomasse dans un système à circuit fermé et pressurisé. Sa conception lui confère d'importants avantages comparativement à d'autres types de séchoirs : aucune émission n'est relâchée dans l'atmosphère (pas de COV, pas de poussières) et l'énergie est récupérée dans une proportion qui varie de 80 à 90 %. De plus, la vapeur dans le système élimine tout risque de feu ou d'explosion.

La vapeur circule dans le système à une pression variant de 2 à 5 bar. Dans le séchoir, la température de la biomasse se situe normalement entre 115 °C et 140 °C. Selon la grosseur des particules, le temps de résidence dans le système peut être de 5 à 60 secondes (de 10 à

---

14. GEA Barr-Rosin, Séchoir « Flash », réf. du 2011-03-15, [www.barr-rosin.com/fr/produits/sechoir-flash.htm](http://www.barr-rosin.com/fr/produits/sechoir-flash.htm).

20 secondes pour la sciure). Une fois séchée, la matière est séparée de la vapeur à l'aide d'un séparateur cyclonique et extraite du système par une valve rotative.

La demande calorifique d'un séchoir de ce type avoisine 750 kWh par tonne d'eau évaporée<sup>15</sup>, à laquelle il faut ajouter de 40 à 60 kWh par tonne d'eau évaporée pour l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du ventilateur, des valves rotatives, etc.

Cependant, parce qu'il s'agit d'un système pressurisé, le coût d'acquisition de ce type de séchoir est élevé, ce qui le rend particulièrement intéressant pour des systèmes de grande capacité où il est possible de tirer avantage de la chaleur récupérée du séchoir (réseau de chauffage urbain, chaleur de procédé, etc.).

#### **Photo 4 : Séchoir à vapeur surchauffée**

---



Source : [GEA Barr-Rosin inc.](http://www.gea-barr-rosin.com)

#### Séchoir à bande

Certains fabricants proposent depuis quelques années des séchoirs à bande, de conception modulaire, pour broyats, copeaux, sciures et écorces. Dans ce type de séchoirs (photo 5), la température du médium caloporteur à l'entrée varie de 90 °C à 110 °C<sup>16</sup>, tandis que sa température à la sortie varie de 60 °C à 70 °C. Grâce à ces températures relativement basses,

---

15. Obernberger, I., Thek, G., *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, EarthScan, 2010, chapitre 4.1.1.2.

16. Les séchoirs à biomasse à basse température constituent une excellente façon de valoriser un excès de chaleur ou de la chaleur secondaire en augmentant la qualité et la valeur énergétique d'une matière humide.



on obtient un séchage moins agressif que dans un séchoir rotatif. On prévient ainsi l'émission de composés organiques (*blue haze emission*) et, conséquemment, l'utilisation de technologies coûteuses pour leur traitement. Le gaz chauffé, poussé sous ou par-dessus la biomasse qui se déplace lentement sur un convoyeur à bande, entraîne l'humidité. Certains de ces séchoirs sont munis de dispositifs qui brassent constamment la matière à sécher de façon à obtenir un taux d'humidité uniforme, à la sortie du séchoir.

Pour ce type d'équipement, la demande calorifique avoisine 1 200 kWh par tonne d'eau évaporée, ce qui est légèrement supérieur à celle des séchoirs rotatifs.

Les séchoirs à bande sont plus volumineux et plus coûteux que les séchoirs rotatifs de même capacité. Cependant, dans certains cas, ces désavantages sont plus que compensés par leur faible température de fonctionnement, qui permet de réduire les coûts d'exploitation, et leur grande capacité à tirer profit de la chaleur résiduelle d'un procédé situé à proximité.

#### **Photo 5 : Séchoir à bande**

---



Source : Riela Karl-Heinz Knoop e.k.

#### Séchoir à basse température

D'autres variantes de séchoirs à biomasse tirant profit de la chaleur résiduelle apparaissent sur le marché depuis quelques années. Ces appareils utilisent de l'air chauffé de 50 °C à 100 °C par des récupérateurs de chaleur pour sécher les sciures, les copeaux, les broyats ou les écorces selon un procédé continu ou discontinu (en *batch*). Le séchoir [Renergi LTT](#) de l'entreprise suédoise Svensk Rökgasenergi AB (SRE) en est un exemple.

## Comparaison des différents types de séchoirs pour la biomasse forestière (source : CRIQ)

Séchoirs	Température entrée degrés C	Demande calorifique kWh/t eau évaporée	Avantages	Désavantages	Coût
Rotatif (chauffage direct ou indirect)	300 à 600	1 000	Bon transfert de chaleur dû au gradient de température élevé	Émissions de composés organiques volatils (COV), équipements de traitement des gaz d'échappement requis, dispendieux.  Risque d'augmentation de la teneur en cendres des granules lorsque la biomasse est séchée dans des séchoirs à chauffage direct.  Danger d'incendie élevé	+
Tubulaire pneumatique de type ouvert	100 à 650	1200	Équipement compact.  Temps de résidence très court.	Requiert de petites particules (faible granulométrie).  Récupération de chaleur difficile	+
À vapeur surchauffée	115 à 140	750 à 810	Récupération facile d'une importante partie de la chaleur de procédé.  Aucune émission de poussière et de substances odorantes (système fermé).  Pas de risque d'explosion (atmosphère de vapeur).	Coûts élevés car système pressurisé. Cette pression pose des défis techniques pour l'entrée et la sortie de la biomasse.	++++
À bande	90 à 110	1200	Pas d'émissions odorantes dû aux faibles températures d'opération.  Le principe de fonctionnement de ce type de séchoir permet, dans certains cas, d'éviter l'usage d'un dépoussiéreur.  Les faibles températures d'opération permettent de réduire les coûts d'exploitation et de tirer plus facilement profit de la chaleur résiduelle d'un procédé situé à proximité.	Dans des séchoirs non munis de dispositifs de brassage, possibilité de formation d'agglomérations de sciures ayant des taux d'humidité non homogène à la sortie du séchoir. Cela peut causer des problèmes à l'étape de la densification.	++
À basse température	50 à 100	1 000	Pas d'émissions odorantes dû aux faibles températures d'opération.  Espace requis moins important qu'un séchoir à bande de même capacité	Préférentiellement construit à l'intérieur.  En raison du fonctionnement en discontinu du séchoir, la chaleur produite pour le séchage doit être dissipée par un refroidisseur ou accumulée lorsque le séchoir n'utilise pas de chaleur	+++

Voici quelques fournisseurs de séchoirs à biomasse (rotatifs [R], tubulaires [T], à vapeur surchauffée [VS] et à bande [B]) :

- ↗ [ABGG Technologies inc.](#) (Québec) (R);
- ↗ [Amandus Kahl GmbH & Co.](#) (Allemagne) (B);
- ↗ [Berlie-Falco Technologies inc.](#) (Québec) (R);
- ↗ [Bruks AB](#) (Suède) (B);
- ↗ [Concept-Air inc.](#) (Québec) (T);
- ↗ [GEA Barr-Rosin inc.](#) (Québec) (R, T, VS);
- ↗ [M-E-C Company](#) (États-Unis) (R);

- ↗ [Riela Karl-Heinz Knoop](#) (Allemagne) (B);
- ↗ [Vandenbroek International](#) (Pays-Bas) (R, B).

## 2.4 Broyage et séchage simultanés

Une nouvelle famille de technologies fait actuellement son apparition dans la filière énergétique à partir de biomasse forestière. Le cœur de ces technologies est constitué d'un pulvérisateur à fléaux qui fait office à la fois d'équipement de fragmentation et de séchoir (photo 6).

À la base de l'enceinte du pulvérisateur (*tordus*), une tête rotative munie de barres ou de chaînes (fléaux) est montée sur un axe vertical. Cet axe, entraîné par un moteur électrique de forte puissance, tourne à très grande vitesse. La biomasse forestière introduite dans l'enceinte, sous forme de copeaux, de broyats ou d'écorces, est pulvérisée par l'action ininterrompue des chaînes qui la frappent à répétition. L'action centrifuge ainsi que la chaleur produite par le transfert de l'énergie cinétique permettent de libérer très rapidement le contenu en eau libre résultant de la fragmentation de la fibre.

### Photo 6 : Base du pulvérisateur à fléaux KDS Micronex

---



Source : Lakson International et Consultants forestiers DGR inc.

Le groupe [Lakson International](#) et [Consultants forestiers DGR inc.](#) commercialisent la technologie brevetée KDS Micronex (*Kinetic Desintegrator System*) qui permet de pulvériser et de sécher « mécaniquement » la biomasse jusqu'à un taux d'humidité avoisinant 10 % (base humide), sans apport de chaleur externe. Le temps de résidence de la biomasse dans l'enceinte du KDS dépend de son taux d'humidité et de la granulométrie finale souhaitée, et peut être ajusté afin d'obtenir une matière première propre à la fabrication de granules, de briquettes ou de bûches densifiées ou encore une poudre ayant une granulométrie aussi fine que 100 microns et pouvant alimenter un brûleur à poudre de biomasse (en remplacement d'un brûleur à combustible fossile).

**Photo 7 : Étapes de valorisation de la biomasse par la technologie KDS Micronex**

---



Source : Consultants forestiers DGR inc.

Le système KDS Micronex est commercialisé en trois versions différentes, S4, S6 et S8, dont les capacités annuelles varient de 8 000 à 15 000 tonnes de poudre à 10 % d'humidité (base humide). À titre indicatif, le coût d'acquisition de la version S8 varie de 300 000 \$ US à 400 000 \$ US selon l'application, les équipements auxiliaires et la version choisie.

Avec ce système, produire une tonne métrique de poudre de biomasse à 10 % d'humidité (base humide) à partir de broyats ayant 40 % d'humidité (base humide) coûterait de 25 à 35 \$ CA (coût d'exploitation incluant les coûts d'acquisition et d'amortissement des équipements, de main-d'œuvre, d'électricité et d'entretien)<sup>17</sup>.

Le brûleur à poudre proposé par Lakson International et Consultants forestiers DGR inc. est muni d'une trémie d'alimentation et d'un dispositif de mesure de poids et de volume permettant le dosage précis de la poudre. Celle-ci est acheminée de façon pneumatique dans la partie centrale du brûleur. L'air de combustion est alimenté de manière circonférentielle afin de créer un vortex qui permet un brassage de la flamme à l'intérieur de la chambre de combustion. Le système réagit promptement afin de répondre rapidement à la charge thermique fluctuante d'une chaudière ou d'un séchoir.

La poudre de biomasse doit avoir un taux d'humidité maximal de 12 % (base humide) et la granulométrie doit être inférieure à 1 mm pour 100 % des particules.

Il est aussi important de mentionner que les brûleurs peuvent être hybrides et utiliser ainsi du gaz naturel ou du mazout lourd ou léger, ce qui permet de maintenir les activités dans des situations de manque temporaire d'approvisionnement en biomasse.

Pour en savoir davantage, consultez :

- [Système de production de granules énergétiques à partir de la biomasse forestière;](#)
- [Biomass Dust Burner.](#)

---

17. Consultants forestiers DGR, André Proulx, [www.dgr.ca](http://www.dgr.ca) et [www.dgr.ca/pdf/KDS par DGR.pdf](http://www.dgr.ca/pdf/KDS_par_DGR.pdf).

De même, ABRI Tech inc. (autrefois Advanced BioRefinery Inc.) travaillerait au développement et à la commercialisation d'un séchoir pulvérisateur dont l'enceinte serait chauffée à 700 °C grâce à l'énergie fournie par un brûleur à la biomasse.

Pour en savoir davantage, consultez :

- [Advanced BioRefinery Inc., section Technology.](#)



### 3. TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION : PROCÉDÉS PHYSIQUES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE PAR DENSIFICATION (GRANULES, BÛCHES ET BRIQUETTES)

#### 3.1 Techniques de densification

La densification de la biomasse forestière permet de préparer différents biocombustibles : les granules, les bûches et les briquettes.

Transformée en granules ou en bûches de bois densifié, la biomasse forestière permet de remplacer le pétrole et contribue à l'atteinte des objectifs de réduction de 20 % des GES au Québec par rapport à l'année 1990. Ces biocombustibles offrent la possibilité de réduire la dépendance par rapport aux carburants fossiles, dont les prévisions de consommation demeurent élevées pour les 10 prochaines années<sup>18</sup>.

##### Granules de bois

Les granules énergétiques sont surtout fabriqués de sous-produits de la première et de la deuxième transformation du bois de même que, à l'occasion, de biomasse forestière résiduelle. Généralement, ils ne contiennent aucun adjuvant synthétique (produit de finition ou de préservation, adhésif) et leur fabrication est soumise à des contrôles permanents.

Les granules de bois constituent le combustible idéal pour les installations de chauffage entièrement automatiques en raison notamment de leur<sup>19</sup> :

- ↻ Forte et constante valeur énergétique (de 4,7 à 4,9 MWh/t);
- ↻ Densité du granulé seul : de 1 100 à 1 300 kg/m<sup>3</sup> (le granule coule dans l'eau);
- ↻ Densité en vrac (ou densité volumique) de 600 à 750 kg/m<sup>3</sup>, soit environ la moitié de la densité du granulé (50 % de volume mort);
- ↻ Densité énergétique (kWh/m<sup>3</sup>) quatre fois supérieure à celle des copeaux et des broyats forestiers;
- ↻ Faible teneur en humidité (de 7 à 10 %);
- ↻ Granulométrie régulière (le diamètre varie de 4 à 10 mm [souvent de 5 à 7 mm] et longueur maximale de 60 mm (souvent de 10 à 30 mm));
- ↻ Faible contenu en cendres (moins de 2 % pour les granules de qualité non industrielle, fabriqués à partir de bois autre que les résidus forestiers).

En somme, ces caractéristiques les rendent faciles à manipuler et à entreposer.

18. Soit 709,2 pétajoules en 2016. Source : *Vers la valorisation de la biomasse forestière : un plan d'action*, MRNF, février 2009.

19. *Econologie.com*, [www.econologie.com/proprietes-des-pellets-de-bois-articles-3623.html](http://www.econologie.com/proprietes-des-pellets-de-bois-articles-3623.html).

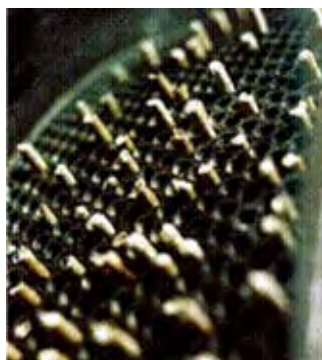
La première étape de fabrication consiste à décontaminer la matière première en retirant les pierres, la terre, le métal, etc., puis à en uniformiser grossièrement la granulométrie<sup>20</sup>. Ensuite, elle doit être séchée pour réduire son taux d'humidité à un niveau inférieur à 15 %. Le séchage se fait le plus souvent dans des séchoirs rotatifs, qui permettent un débit important. C'est de loin l'étape la plus coûteuse du procédé. À noter que les coûts en matière première et en séchage comptent pour près de 80 % des coûts de production de granules<sup>21</sup>.

Une fois séchée, la biomasse est passée au broyeur à marteaux pour ajuster sa granulométrie, puis conditionnée à la vapeur<sup>22</sup> afin de la « lubrifier » et de l'attendrir, juste avant la densification.

Elle est par la suite granulée en forçant son passage à travers une matrice (photo 8) au moyen d'une très haute pression (20 000 lb/po<sup>2</sup> ou 1380 bar). De petits cylindres sortent ainsi par les trous de la matrice et sont coupés à la longueur désirée. Cette densification provoque une forte montée en température, au-delà de 200 °C.

#### Photo 8 : Matrice de densification

---

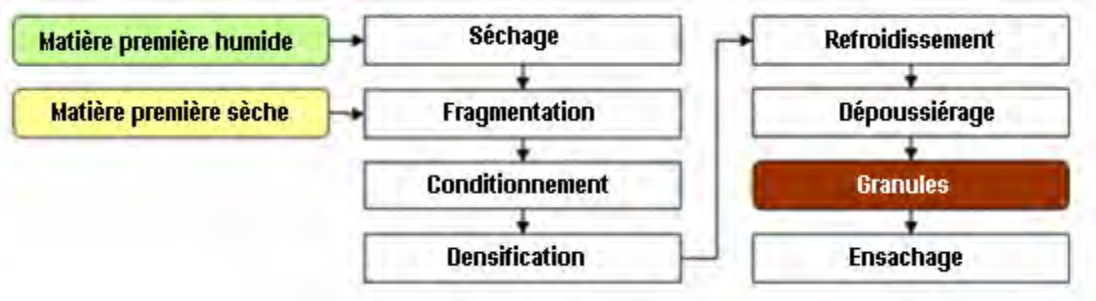


Source : Aktion Holz Pellets.

À cette température, la lignine du bois se liquéfie et assure le rôle de liant. Pour cette raison, il n'est pas nécessaire d'ajouter d'adjuvant synthétique au cours de la fabrication. À la sortie de la presse (photo 9), les granules sont fragiles et doivent être refroidis pour assurer leur intégrité. La figure 3 présente les principales étapes de fabrication des granules énergétiques.

- 
20. Cette étape est relativement simple s'il s'agit de sciures, de rabotures et de pièces grossières venant des usines de première et de deuxième transformation. Mais elle devient beaucoup plus critique lorsque l'intrant provient directement de la forêt (granulométrie irrégulière, présence d'écorces ou de contaminants, taux d'humidité généralement plus élevé et aussi plus variable, etc.).
  21. Oberneberger, I., Thek, G., *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, EarthScan, 2010, chapitre 7.2.10.
  22. Cette étape, lorsque bien réalisée, permet d'améliorer la cohésion des granules après la densification.



**Figure 3 : Étapes de fabrication des granules énergétiques**

Source : Traduit de l'European Biomass Industry Association.

Le refroidissement se fait habituellement dans un refroidisseur où les granules sont acheminés sur une surface grillagée permettant à l'air frais de circuler à travers la matière ligneuse afin de réduire leur température. Il permet aussi de stabiliser l'humidité transportée par les granules. Généralement, moins de 10 minutes sont requises pour refroidir les granules d'un diamètre de 6 mm.

Les granules subissent ensuite une étape de dépoussiérage avant d'être entreposés en vrac, puis ensachés. Généralement, sur le marché local, les granules sont vendus en sac de 18,1 kg (40 lb). La palette de manutention supporte 50 sacs de 18,1 kg, soit une charge totale de 910 kg (2 000 lb). Le tout est mis sous pellicule cellulosique pour stabiliser la charge et la protéger des intempéries. En Europe, ils sont souvent vendus en vrac et livrés par des camions souffleurs ou en gros sacs contenant une tonne métrique.

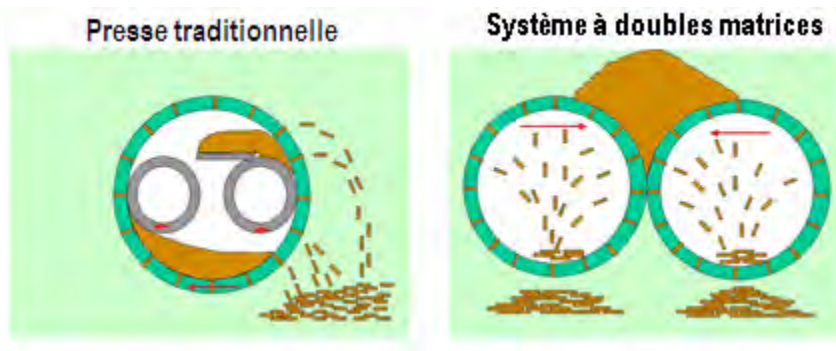
**Photo 9 : Presse à granuler Équipements Comact inc. et PROMILL STOLZ**

Source : Équipements Comact inc.

Une technologie de densification relativement nouvelle fait intervenir deux matrices tournant l'une contre l'autre, en sens inverse (figure 4). Le broyat est pressé de l'extérieur vers l'intérieur des matrices. Selon les promoteurs de cette technologie, ce principe permettrait de réduire la consommation électrique de la densification à 80 kWh par tonne de granules, comparativement à 100 à 120 kWh pour les équipements standards. De plus, la température maximale des

granules à la sortie des filières serait moins élevée, soit de 55 à 60 °C, ce qui permettrait l'ensachage direct, sans phase de refroidissement<sup>23</sup>.

**Figure 4 : Principes de granulation standard et à doubles matrices**



Source : Traduit de EcoTre Systems Ltd.

Un autre avantage de cette technologie est qu'elle accepterait une matière première ayant un taux d'humidité plus élevé que celui nécessaire aux équipements généralement utilisés dans l'industrie<sup>24</sup>. Si ces avantages sont prouvés, cette technologie pourrait diminuer de façon importante les coûts de fabrication. Cependant, elle serait plus sensible à l'usure provoquée par les contaminants comme le sable, la terre, etc.

#### Investissement requis pour la fabrication de granules

À titre indicatif, les paragraphes suivants présentent quelques coûts d'acquisition approximatifs de technologies disponibles sur le marché du Québec<sup>25</sup>.

Pour une capacité de production de 2,27 tonnes métriques (5 000 lb) par heure, ce qui correspond à environ 4 175 tonnes métriques par année (2,5 t/h x 40 h/sem x 46 sem/an), l'investissement total requis est estimé à environ 379 000 \$ CA<sup>26</sup>. Cet investissement inclut un broyeur, une presse à granules, un refroidisseur, un tamiseur BM&M, une balance électronique pour les sacs, de marque Taylor, et un scelleur à air chaud Saxon muni d'un convoyeur.

La compagnie Pellet Systems International Inc. (PSI) du Nouveau-Brunswick propose une ligne de production complète d'une demi-tonne métrique par heure (920 t/an) au montant de 333 882 \$ CA. Une ligne de capacité plus élevée (2 tonnes/heure) coûterait 623 000 \$ CA, en

23. [Pellet Systems International Inc.](#)

24. Pellet Systems International (Nouveau-Brunswick), Ecotre System (Slovaquie).

25. Pour accéder à des données économiques détaillées, consultez l'étude réalisée en 2007 par Roche ingénieurs-conseils pour le compte du QWEB et intitulée [Étude de pré faisabilité : projet de bioénergie forestière](#).

26. Gaston Richard inc. (Sainte-Julie).

excluant les équipements d'ensachage ainsi que tous les contrôles de l'usine et les frais d'installation. Le coût total d'investissement serait approximativement de 1 000 000 \$ CA.

La compagnie California Pellet Mill (CPM) propose l'ensemble des équipements pour la production de granules énergétiques d'une capacité de 1,5 à 2 tonnes métriques par heure (de 2 760 à 3 680 t/année) au coût d'environ 545 000 \$ US, en excluant les équipements d'emballage.

L'entreprise québécoise Premier Tech Systems offre plusieurs types de systèmes d'emballage pour les granules énergétiques. Le système manuel coûte environ 60 000 \$ CA, le type semi-automatique autour de 390 000 \$ CA et le système d'emballage automatique coûte approximativement 537 000 \$ CA.

#### Quelques fournisseurs d'équipements pour la fabrication de granules :

- ↪ [Amandus Kahl GmbH & Co.](#) (Allemagne);
- ↪ [Andritz Itée](#) (div. Sprout-Matador, Québec);
- ↪ [Bepex International LLC](#) (États-Unis);
- ↪ [Bliss Industries LLC](#) (États-Unis);
- ↪ [Buhler Inc.](#) (États-Unis);
- ↪ [Dieffenbacher GmbH & Co. KG](#) (Allemagne);
- ↪ [Équipements Comact inc.](#) (Québec);
- ↪ [Gaston Richard inc.](#) (Québec);
- ↪ [Law-Marot inc.](#) (Québec);
- ↪ [Pellet Systems International Inc. \(PSI\)](#) (Nouveau-Brunswick; technologie à doubles matrices);
- ↪ [Roskamp Champion CPM](#) (États-Unis) et [Strongco Engineered Systems](#) (Québec).

#### Bûches et briquettes de bois densifié

Les bûches et les briquettes de bois densifié sont généralement fabriquées à partir des résidus de la première et de la deuxième transformation du bois (sciures, rabotures et copeaux), mais aussi parfois d'écorces. On trouve deux types de bûches :

- ↪ Les bûches fabriquées à partir de sciures et de copeaux auxquels on ajoute un sous-produit de l'industrie pétrolière comme la paraffine ou l'huile végétale qui agissent comme liants. Certaines variétés renferment aussi des additifs ou des bulles d'air destinés à les faire crépiter ou à rendre leurs flammes plus colorées.
- ↪ Les bûches exclusivement composées de sciures et de copeaux de bois non traités. Compactées à très forte pression sans colle ni autres additifs, elles sont de taille et de forme différentes en fonction de l'outil de densification : cylindrique de longueur et de diamètre variables, parallélépipédique, octogonal, etc. La fabrication de ce type de bûches est décrite sommairement ci-dessous :

Les résidus de transformation du bois sont fragmentés pour avoir une granulométrie variant de 1 à 3 mm, puis séchés jusqu'à ce qu'ils aient moins de 15 % d'humidité. Ils sont soit pressés (photo 10), soit extrudés sous haute pression dans une filière qui peut atteindre de 200 °C à 300 °C.

Comme dans le cas des granules, la haute température créée par la pression élevée de fonctionnement fluidifie la lignine, qui se comporte comme un liant, ce qui donne une bonne consistance au produit, une fois qu'il est refroidi.

**Photo 10 : Presse hydraulique à briqueter**

---



Source : RUF GmbH & Co.

Certaines bûches ont un trou central obtenu grâce à un axe situé au centre de l'orifice d'extrusion. La combustion de ces bûches est améliorée de manière remarquable grâce à la surface supplémentaire du trou exposée aux flammes et à l'air circulant à l'intérieur de celui-ci.



Le produit final montre :

- ↗ une densité volumétrique variant souvent de 950 à 1 400 kg/m<sup>3</sup>;
- ↗ un taux d'humidité de 4 % à 10 %;
- ↗ une valeur énergétique avoisinant 4,5 MWh/t, ce qui permet de diminuer par trois ou quatre le volume de stockage par rapport au bois rond;
- ↗ une teneur en cendres inférieure à 1 % pour les produits ne contenant pas d'écorce et en dessous de 5 % pour ceux contenant de l'écorce.



Les bûches et les briquettes sont emballées sous pellicule cellulosique, en sacs ou en boîtes de carton. Il est également possible de les livrer par palettes de manutention. Elles sont utilisées dans les foyers, les chaudières à bûches, les poêles et les grosses chaudières automatiques.



Le lien suivant permet de visionner un procédé de fabrication de briquettes : [RUF automated briquetting plant](#).

Investissement requis pour la fabrication de bûches

À titre indicatif, les paragraphes suivants présentent quelques coûts d'acquisition approximatifs de technologies disponibles sur le marché du Québec.

La compagnie américaine Sunomi, Ilc propose une ligne de fabrication complète de bûches de bois densifié incluant deux presses mécaniques BRIK MB90 (photo 11), chacune ayant une capacité de production variant de 1,1 à 1,8 tonne métrique par heure, soit de 2 025 à

3 310 tonnes métriques par an (8 heures par jour et 230 jours/an), au coût total de 559 900 \$ US, auquel il faut ajouter un montant de 43 350 \$ US pour un broyeur. Cette ligne n'inclut pas les convoyeurs, le tamis et les autres équipements périphériques qui sont habituellement moins chers lorsqu'achetés localement.

**Photo 11 : Presse BRIK MB90**

---



Source : [Sunomi LLC](#).

Le distributeur québécois Akhurst Machinerie Itée propose quant à lui une machine allemande de marque RUF 1500, dont la capacité de production est de 1,27 tonne métrique par heure (environ 2 335 t/an) au coût de 308 950 \$ CA.

Voici quelques fournisseurs de presses et d'installations complètes pour la production de briquettes et de bûches :

- ↻ [Akhurst Machinerie Itée](#) (Québec) et [RUF GmbH & Co. KG](#) (Allemagne);
- ↻ [NESTRO Lufttechnik GmbH](#) (Allemagne);
- ↻ [C. F. Nielsen A/S](#) (Danemark);
- ↻ [HÖCKER POLYTECHNIK GmbH](#) (Allemagne);
- ↻ [Kanviromental Corp.](#) (Ontario);
- ↻ [SPÄNEX GmbH](#) (Allemagne);
- ↻ [O.M.A. Impianti S.r.l.](#) (Italie);
- ↻ [Pawert-SPM AG](#) (Suisse);
- ↻ [Sunomi LLC](#) (États-Unis).

### 3.2 Données de marché (granules de bois et bûches de bois densifié)

#### Granules de bois<sup>27</sup>

L'industrie qui gravite autour du marché à fort potentiel des granules de bois est en émergence. Elle évolue dans un contexte international où la demande en énergie est grandissante et où le coût des carburants fossiles est élevé. Elle regroupe plusieurs joueurs, entre autres :

- ⇒ les intervenants forestiers (compagnies, entrepreneurs, coopératives);
- ⇒ les transporteurs;
- ⇒ les fabricants de granules et de bûches et de bûchettes;
- ⇒ les fabricants d'équipements de combustion;
  - systèmes de chauffage de forte capacité destinés aux grands consommateurs d'énergie;
  - fournaies et poêles qui répondent aux besoins de bâtiments commerciaux plus modestes ou à ceux du secteur résidentiel;
  - équipements connexes;
- ⇒ les installateurs;
- ⇒ les réparateurs;
- ⇒ les distributeurs;
- ⇒ les détaillants.

Même si aucune donnée n'est publiée sur les emplois actuels et à venir générés par l'utilisation de la biomasse forestière à des fins énergétiques à l'échelle provinciale, les possibilités sont considérables et une part importante de ces emplois est créée en région.

#### Production de l'industrie des granules – Québec, Canada, États-Unis

La capacité de production totale des usines québécoises de granules se situe actuellement à 340 000 tonnes métriques anhydres par année réparties dans sept usines (tableau 2). La production estimée de granules était de 280 000 tonnes métriques anhydres en 2009.

**Tableau 2 : Liste des usines québécoises**

Compagnie	Localisation	Site Web
Granules Combustibles Energex inc.	Lac-Mégantic	<a href="http://www.energex.com">www.energex.com</a>
GRANULES LG inc.	Saint-Félicien	<a href="http://www.granuleslg.com">www.granuleslg.com</a>
Lauzon bois énergétique recyclé inc. (2 usines)	Papineauville et Saint-Paulin	<a href="http://www.lauzonltd.com">www.lauzonltd.com</a>
Granulco	Sacré-Cœur	<a href="http://www.granulco.com">www.granulco.com</a>
Granulés de la Mauricie inc.	Shawinigan	<a href="http://www.valfei.com">www.valfei.com</a>
Granule Boréal	Amos	<a href="http://www.granuleboreal.com">www.granuleboreal.com</a>

Source : [www.icriq.com](http://www.icriq.com) et MRNF.

27. Nous tenons à remercier M. John Arsenault de la Wood Pellet Association of Canada (WPAC) pour sa précieuse collaboration.

Le Canada compte actuellement 31 usines de fabrication de granules, ce qui représente une capacité de production annuelle totale approximative de deux millions de tonnes. En 2008, la production était estimée à 1,3 million de tonnes<sup>28</sup>. La répartition du nombre d'usines par provinces est la suivante :

**Tableau 3 : Répartition des usines de granules actuelles, en construction et projetées (Canada)**

Province	Usines actuelles	Usines en construction		Usines projetées		Total
	Nombre	Nombre	Capacité (t/an)	Nombre	Capacité (t/an)	Nombre
Colombie-Britannique	11	1	29 000	6	710 000 <sup>29</sup>	18
Alberta	3			1	30 000	4
Manitoba				1	10 000	1
Ontario	1	3	597 000	7	346 000 <sup>24</sup>	11
Québec	7	1	35 000	1	ND	9
Nouveau-Brunswick	5	1	55 000	2	52 500 <sup>24</sup>	8
Nouvelle-Écosse	2					2
Terre-Neuve	2	1	50 000			3
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>7</b>		<b>18</b>		<b>56</b>

Source : Canadian Biomass 2010 Pellet Map.

Les États-Unis comptent près d'une centaine d'usines de granules, dont la capacité de production totale était estimée à 2,7 millions de tonnes métriques en 2008<sup>30</sup>. La production réelle se situe en moyenne à 1,8 million de tonnes métriques. Plusieurs projets sont en construction, notamment l'usine de RWE en Géorgie, d'une capacité annuelle de 750 000 tonnes métriques<sup>31</sup>. Le tableau suivant montre la répartition géographique des usines de granules en 2009.

28. Wood Pellet Association of Canada.

29. Données partielles.

30. United States Department of Agriculture (USDA).

31. Deux compagnies européennes investissent 170 millions de dollars américains pour la construction d'une usine de granulés de 750 000 tonnes par an près de la ville de Waycross (Géorgie). Les granules seront expédiés en Europe et brûlés en cocombustion avec du charbon, afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Source : « RWE Builds US Biomass Unit to Fuel European Plant », Reuters, 2010-01-20.

**Tableau 4 : Répartition des usines de granules et capacité de production par régions (États-Unis, 2009)**

Région	Nombre d'usines	Capacité estimée (t)
Nord	23	702 000
Sud	32	1 855 000
Ouest	17	711 000
Nord-Est	25	1 056 000
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>4 324 000</b>

Source : *North America's Wood Pellet Sector*, USDA, September 2009.

La fabrication de granules énergétiques connaît une croissance soutenue. Elle est de plus en plus réalisée dans des installations de grande taille. Les usines nord-américaines actuellement en construction et celles en projet ont souvent des capacités excédant les 400 000 tonnes métriques par an. La consommation de biomasse des usines de granules projetées depuis 2007 en Amérique du Nord serait de 23,3 millions de tonnes métriques vertes par année<sup>32</sup>.

**Photo 12 : Usine de la compagnie GRANULES LG inc.**

Source : [www.granuleslg.com](http://www.granuleslg.com).

32. RISI, September 2010.



## Consommation nord-américaine de granules



Source : [www.granulesdebois.ca](http://www.granulesdebois.ca).

La consommation nord-américaine de granules est estimée à moins de deux millions de tonnes métriques, selon la Wood Pellet Association of Canada, soit 1,8 million de tonnes aux États-Unis et 100 000 tonnes au Canada, dont 60 000 au Québec<sup>33</sup>.

Au Canada, les granules servent essentiellement à alimenter des poêles, souvent utilisés comme appareils de chauffage d'appoint dans les résidences. Ce combustible est vendu en sacs, par l'entremise de quincailleries et de quelques détaillants de poêles. Aux États-Unis, la situation est sensiblement comparable. Le tableau suivant montre les ventes de poêles à granules au Canada et aux États-Unis, de 2005 à 2009.

**Tableau 5 : Ventes de poêles à granules au Canada et aux États-Unis de 2005 à 2009**

Pays	2005	2006	2007	2008	2009
Canada	2 301	5 351	3 314	8 411	6 667
États-Unis	118 746	133 105	54 032	141 208	46 124

Source : Hearth, Patio & Barbecue Association.

Les poêles à granules sont surtout utilisés pour le chauffage d'appoint. On remarque des variations importantes d'année en année dans les ventes de ce produit. La rigueur des hivers et le prix des combustibles fossiles sont notamment des facteurs qui influencent celles-ci. On estimait le parc américain de poêles à granules à environ un million d'unités en 2008. Mentionnons qu'au Québec, plusieurs serres sont chauffées aux granules depuis de nombreuses années<sup>34</sup>. D'autres projets de chaufferies de moyenne envergure, alimentées aux granules, sont en préparation.

En Amérique du Nord, cette industrie a vu le jour au début des années 1980. Toutefois, le prix des autres combustibles et l'absence d'incitatifs gouvernementaux n'ont pas favorisé le développement de ce marché, comme ce fut le cas en Europe.

Dans le secteur résidentiel, 1,2 million de ménages canadiens utilisent le mazout comme principale source d'énergie pour le chauffage<sup>35</sup>. Le Québec à lui seul compte plus de

33. Wood Pellet Association of Canada.

34. Serres Tessier (Saint-Damase), Jardin du Petit Pré (Château-Richer), Primavera (Boucherville) et Flora Parc (Lacolle).

35. Office de l'efficacité énergétique.

335 000 installations résidentielles au mazout et consomme un milliard de litres d'huile à chauffage par année, selon Statistique Canada. Aux États-Unis, 7,7 millions de ménages utilisent ce carburant fossile pour chauffer leur maison et de ce nombre, 70 % sont situés dans les régions du nord-est<sup>36</sup>.

La conversion progressive d'une bonne partie de ces systèmes représente donc un potentiel de croissance notable pour l'industrie des granules, en plus de permettre la réduction des GES et la création d'emplois. L'utilisation de ce combustible dans des systèmes de chauffage primaires, plutôt que dans des systèmes d'appoint, très saisonniers, apporterait une plus grande stabilité à cette industrie.

#### Exportation canadienne de granules de bois

Le Canada exporte la majorité de sa production, soit plus d'un million de tonnes<sup>37</sup> annuellement. Selon la Pellet Fuels Institute, les exportations américaines seraient sensiblement comparables, soit 1,1 million de tonnes par année<sup>38</sup>.

Par le passé, les ventes canadiennes de granules ont majoritairement été réalisées à l'étranger, aux États-Unis et en Europe. Malgré les possibilités que présentent toujours ces marchés, certains éléments font fluctuer la valeur des exportations et les profits à en tirer, dont :

↗ La mise en place d'un programme d'aide du gouvernement américain favorisant les producteurs. En effet, le Biomass Crop Assistance Program (BCAP) offre une aide financière aux propriétaires et aux producteurs du secteur agricole et des forêts privées qui désirent produire et livrer de la biomasse à des fins énergétiques<sup>39</sup>. Ce programme est une menace pour les exportateurs canadiens de granules industriels à base de récolte forestière<sup>40, 41</sup>.

↗ L'augmentation de l'offre à l'échelle internationale :

- les grands pays consommateurs augmentent leur capacité de production; le principal frein à l'implantation de nouvelles installations est souvent la disponibilité de la matière première;
- plusieurs pays, comme le Canada, ont des capacités de production dépassant largement leur consommation. C'est le cas entre autres de la Finlande, de la Pologne et de la Russie.

---

36. US Department of Energy, [www.fossil.energy.gov/programs/reserves/heatingoil/](http://www.fossil.energy.gov/programs/reserves/heatingoil/).

37. Wood Pellet Association of Canada.

38. North America's Wood Pellet Sector, USDA, September 2009.

39. USDA, [www.fsa.usda.gov/FSA/webapp?area=home&subject=ener&topic=bcap](http://www.fsa.usda.gov/FSA/webapp?area=home&subject=ener&topic=bcap).

40. Wood Pellet Association of Canada.

41. [Biomass Crop Assistance Program for FSA](#).

↗ La variation des prix. En Europe, entre février 2009 et juin 2010, le prix des granules a chuté, passant de 223 \$ à 150 \$ la tonne métrique, principalement en raison des fluctuations du taux de change. Les prix sur le marché américain ont subi des variations semblables. À titre indicatif, on trouvera dans le tableau suivant des données sur la rentabilité des exportations en Europe des fabricants canadiens.

**Tableau 6 : Rentabilité des ventes de granules canadiennes sur le marché européen, en février 2009 et en juin 2010**

	Février 2009	Juin 2010
	\$ CA/t	
Prix à Rotterdam	223 \$	150 \$
<b>Coûts</b>		
Fibre	40 \$	40 \$
Conversion (production)	55 \$	55 \$
Transport de l'usine au port	35 \$	35 \$
Transport par navire	55 \$	55 \$
Coût total	185 \$	185 \$
Profit	38 \$	- 35 \$

Source : Wood Pellet Association of Canada.

↗ La force du dollar canadien ou la faiblesse du dollar américain. De l'aveu même du président de la banque centrale américaine (Fed) à l'automne 2010, certaines politiques monétaires visent à réduire la valeur du dollar pour favoriser les exportations.

Le faible coût des autres formes d'énergie, dont le pétrole et le gaz naturel.

#### Production de l'industrie des granules en Europe

En 2008, l'Europe comptait 640 usines de granules (tableau 7) totalisant une capacité de production de 15 millions de tonnes métriques par année. La production annuelle, estimée en moyenne à sept millions de tonnes métriques par l'organisme PELLET@TLAS, se répartit comme suit :

- ↗ Une proportion de 60 % répond aux normes de qualité requises pour la consommation résidentielle. Les principaux pays producteurs sont la Suède, l'Allemagne, l'Autriche et l'Italie;
- ↗ Les 40 % restants concernent les granules de catégorie industrielle. Les principaux pays producteurs sont l'Allemagne, la Suède, la Belgique et les pays d'Europe de l'Est.

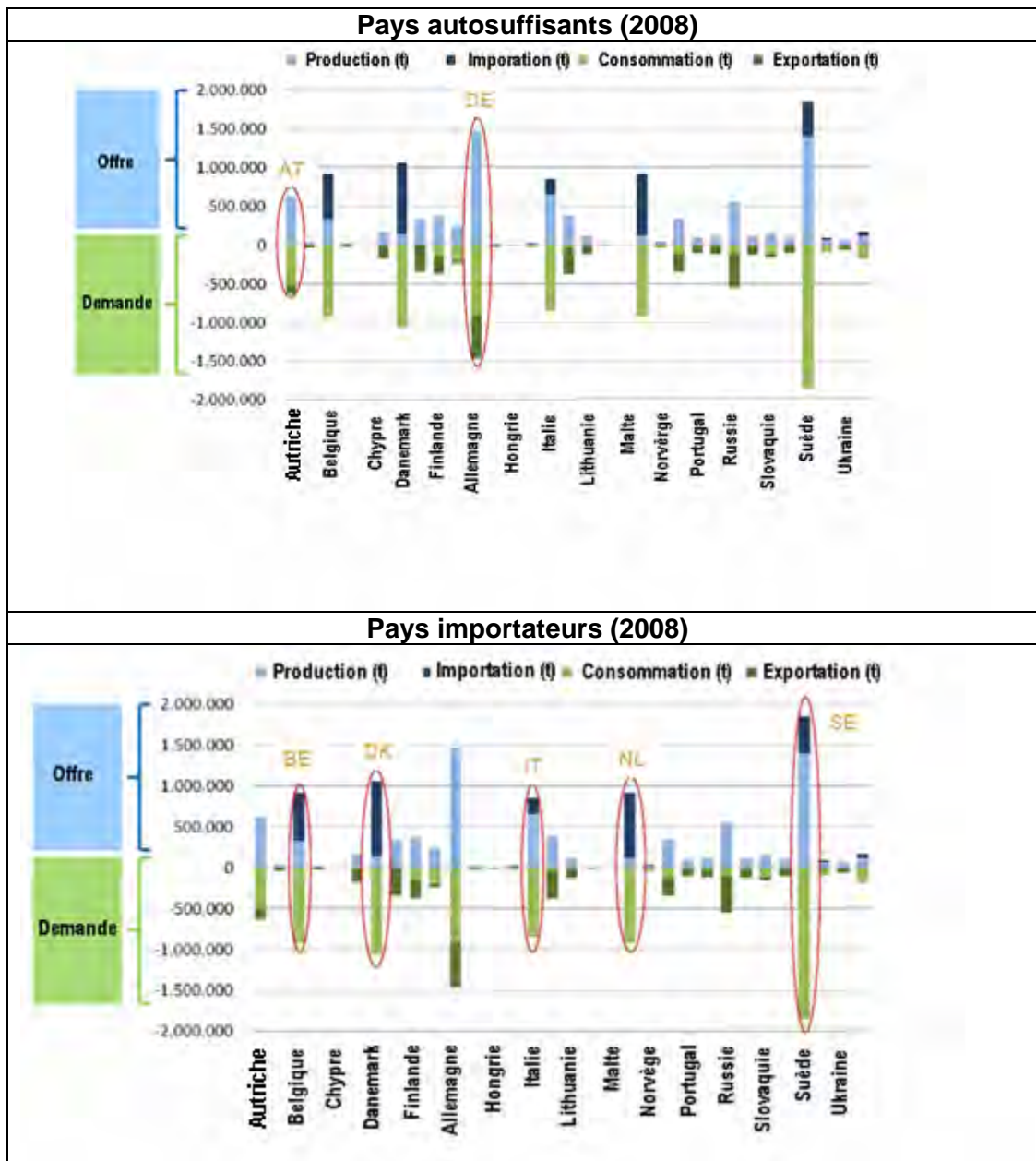
**Tableau 7 : Nombre de producteurs, capacité de production, production et consommation de granules en Europe en 2008**

PAYS	PRODUCTION EN 2008			NORME DES PRODUITS			CONSOMMATION TOTALE EN 2008 (T)
	NOMBRE DE PRODUCTEURS ENREGISTRÉS	CAPACITÉ DE PRODUCTION (T)	PRODUCTION (T)	ÓNORM M 7135	DINPLUS	DIN 51731	
Allemagne	50	2 400 000	1 460 000	x	x		900 000
Autriche	25	1 006 000	626 000	x	x		509 000
Biélorussie	8	60 000	40 000				< 3 000
Belgique	10	450 000	325 000		x		920 000
Bulgarie	17	62 000	27 000				3 000
Danemark	12	313 000	134 000		x		1 060 000
Espagne	17	250 000	100 000		x		10 000
Estonie	6	485 000	338 000				< 3 000
Finlande	19	680 000	373 000				150 000
France	54	350 000	240 000		x		200 000
Grèce	5	87 000	28 000				11 000
Hongrie	7	5 000	5 000				1 000
Irlande	2	78 000	17 000				30 000
Italie	75	750 000	650 000	x			850 000
Lettonie	15	744 000	379 000				39 000
Lituanie	6	153 000	120 000		x		20 000
Luxembourg	0	0	0				5 000
Norvège	8	164 000	35 000				40 000
Pays-Bas	2	130 000	120 000				914 000
Pologne	21	665 000	350 000		x	x	120 000
Portugal	6	400 000	100 000				10 000
République tchèque	14	260 000	170 000	x	x	x	17 000
Roumanie	21	260 000	114 000	x	x		25 000
Royaume-Uni	15	218 000	125 000		x		176 000
Russie	77	1 200 000	550 000				100 000
Slovaquie	14	142 000	117 000				18 000
Slovénie	4	185 000	154 000				112 000
Suède	94	2 200 000	1 405 000				1 850 000
Suisse	14	171 000	70 000	x	x		90 000
Ukraine	15	140 000	60 000	x			10 000

Source : *Final Report on Producers, Traders and Consumers of Wood Pellets, 2008.*

Les tableaux suivants illustrent l'offre et la demande de granules dans les pays européens. L'Autriche et l'Allemagne sont autosuffisantes, alors que la Belgique, le Danemark, l'Italie, les Pays-Bas et la Suède doivent importer une part de leur consommation.

Tableau 8 : Offre et demande de granules en Europe sur les principaux marchés (> 500 000 tonnes métriques)<sup>42</sup>



Source : Traduit de *Overview of Wood Pellet Market in Europe*, Monika Steiner, [Pellets@tlas.info](mailto:Pellets@tlas.info), 2008.

42. Il est à noter que la consommation des Pays-Bas est comparable à celle de la Belgique. Sa dépendance à l'égard des importations est cependant plus grande, puisque sa production ne comble que 13 % de ses besoins, comparativement à 35 % pour la Belgique.

Les grands consommateurs européens de granules<sup>43, 44</sup>



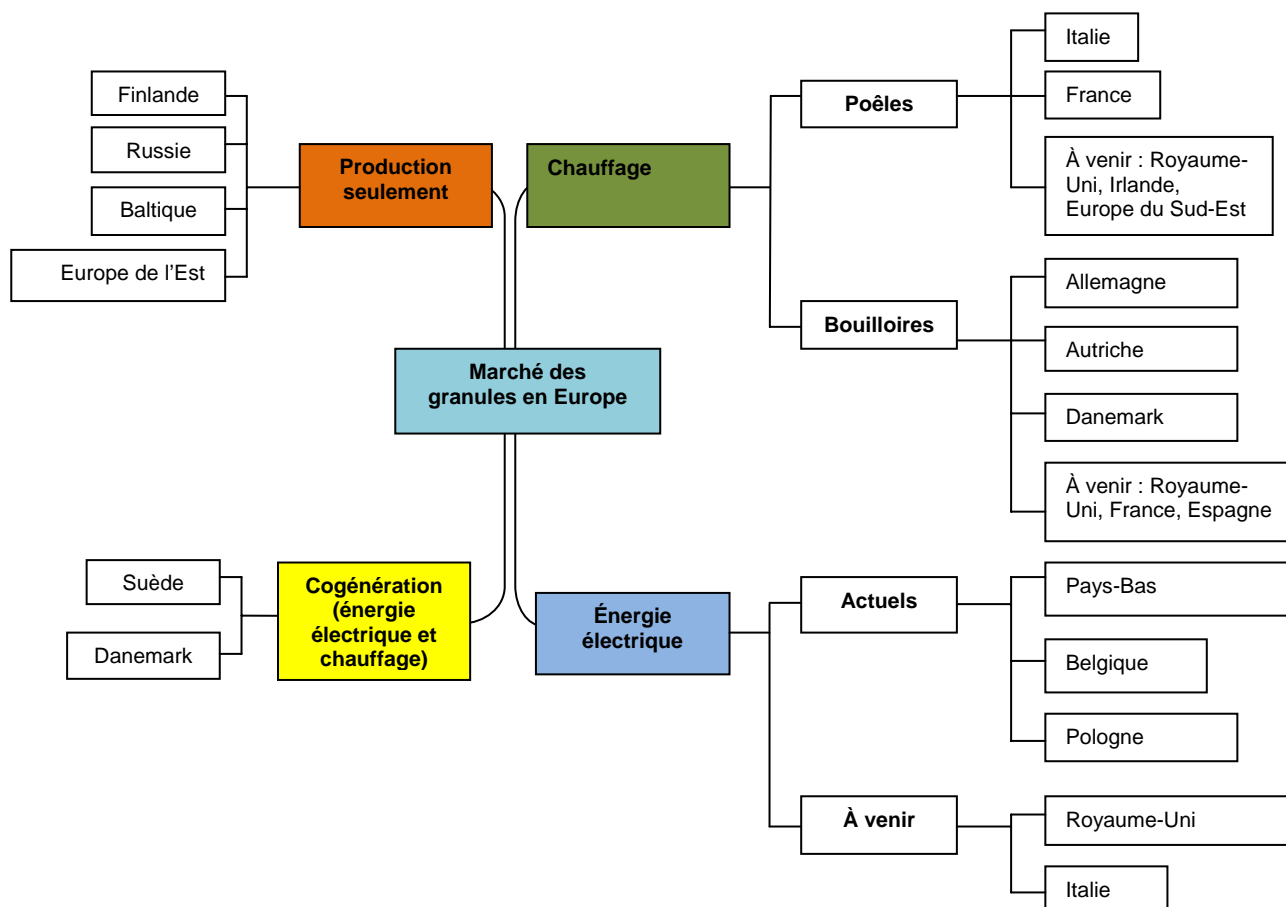
Source : [www.pelletcentre.info](http://www.pelletcentre.info).

Plus de huit millions de tonnes de granules ont été consommées en 2008 en Europe, une quantité répartie de façon à peu près égale entre les granules de qualité résidentielle et industrielle. Ce combustible y est utilisé à diverses fins. Certains pays le valorisent davantage pour la production d'énergie électrique, alors que d'autres s'en servent principalement pour le chauffage dans des poêles et des bouilloires. En Suède et au Danemark, les granules sont également utilisés pour le fonctionnement d'usines de cogénération. La répartition des applications dominantes par pays est montrée dans le tableau à la page suivante.

---

43. Pellet Market Overview Report: Europe, December 2009, [letsatlas.info/pelletsatlas\\_docs/showdoc.asp?id=100211172354&type=doc&pdf=true](http://letsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=100211172354&type=doc&pdf=true).

44. *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Biomass Pellets*, Bios Bioenergiessysteme GmbH, 2010.

**Tableau 9 : Principales utilisations des granules caractérisant certains pays européens (2010)**

Source : Traduit d'*European Pellet Markets*, Christian Rakos, proPellets Austria, July 2010.

La Suède est le plus important pays producteur et consommateur de granules en Europe. Sa consommation a atteint 2,25 millions de tonnes en 2010. Plus de 60 % de ce volume est utilisé dans les centrales de cogénération. C'est avec la collaboration d'une entreprise québécoise que les premiers essais à l'échelle industrielle ont été réalisés par les Suédois durant les années 1990<sup>45</sup>. Parmi les éléments ayant favorisé une telle croissance, on note une volonté du pays à réduire sa dépendance à l'égard des énergies fossiles. Dans le secteur résidentiel, 38 % des maisons, totalisant 660 000 ménages, sont chauffées avec de la biomasse, y compris les bûches ou les granules.

Le Danemark<sup>46</sup> consommait 1,06 million de tonnes de granules en 2008. Ce pays se caractérise par son utilisation des granules dans tous les domaines énergétiques : le chauffage résidentiel

45. « Pellets to Burn », *Canadian Biomass Magazine*, Scott Jamieson, September-October 2010.

46. Population de 5,5 millions d'habitants en 2008.

(44,4 %), les chaufferies « régionales » et CHP (*combined heat and power*) (45,5 %), l'industrie (5,1 %) et les services publics (5 %).

Près d'un million de tonnes de granules sont utilisées dans les Pays-Bas, principalement pour la production d'électricité. Selon les prévisions pour 2020, un total de cinq millions de tonnes de granules sera nécessaire pour répondre aux besoins en énergie de ce pays.



Source : [www.propellets.at](http://www.propellets.at).

Avec une consommation de 900 000 tonnes en 2008, l'Allemagne est le pays s'étant le plus démarqué par la croissance de sa demande, estimée à 45 % entre 2003 et 2008.

Les Allemands sont autosuffisants. En 2009, ils ont produit 1,6 million de tonnes de granules, dans 75 usines. Environ 560 000 tonnes ont été exportées d'Allemagne vers la Scandinavie, la Belgique et les Pays-Bas en 2008. Les granules sont utilisés pour le chauffage résidentiel.

Plus de 590 000 tonnes de granules ont été consommées en Autriche<sup>47</sup> en 2009. Depuis 1996, les ventes ont connu une croissance variant de 16 % à 100 % par année. L'évolution de cette industrie est particulièrement remarquable, à la fois par sa structure et son dynamisme. D'une part, l'association Pelletsverband Austria (PVA) a établi, entre autres, des normes relatives au transport et à l'entreposage des granules. Elle recrute ses membres parmi les propriétaires de systèmes, les installateurs et les techniciens. Elle s'est donné comme mission de transmettre de l'information de façon régulière, afin de soutenir le travail des installateurs, et de diffuser des statistiques comparatives sur les prix de l'énergie. D'autre part, l'association proPellets Austria regroupe non seulement les fabricants de granules, mais également tous les intervenants, y compris les fabricants de fournaies, de bouilloires, de systèmes d'entreposage, etc.

En Belgique, 800 000 tonnes de granules servent à la production d'électricité et 120 000 au chauffage résidentiel.

L'Italie a connu une croissance de 42 % de sa demande entre 2003 et 2008. On estime que sa consommation variait de 850 000 à 1,2 million de tonnes en 2008.

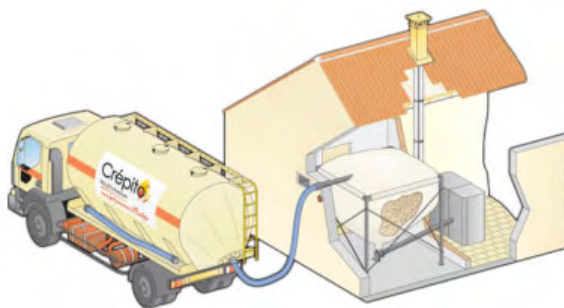
Pour conclure cette section, rappelons les points suivants :

---

47. Population de 8,4 millions d'habitants en 2009.



↪ Le marché des granules a connu une croissance rapide depuis les années 2000, particulièrement en Europe, mais également en Amérique du Nord et dans d'autres pays du monde. Plusieurs éléments ont joué un rôle crucial dans ce développement, dont l'avènement de systèmes de chauffage conçus pour ce combustible et permettant d'offrir la flexibilité et le confort que procuraient uniquement le mazout, le gaz ou l'électricité auparavant.



Source : [www.crepito.fr](http://www.crepito.fr).

- ↪ De plus, des incitatifs nationaux, les prix de l'huile et du gaz et des campagnes de marketing et d'information diffusées par les organismes en place ont contribué au succès du marché des granules.
- ↪ La diversité des applications, mise en valeur jusqu'à maintenant dans certains pays européens, et la facilité de distribution à grande échelle confirment la polyvalence des granules et leur capacité à répondre à des besoins de chauffage de bâtiments de différentes dimensions. Elles peuvent également assurer la production d'énergie de façon efficace. L'implantation de nouvelles usines ayant une capacité de production de plus en plus importante est représentative d'une industrie en plein essor.
- ↪ Au Québec, où les besoins en chauffage sont grands et où la ressource est abondante, une meilleure diffusion de l'information pourrait permettre à l'industrie des granules de se tailler une place de choix dans le paysage énergétique. Parmi les bénéfices à en retirer :
  - le développement d'un marché interne réduirait la dépendance du Québec à l'égard des exportations et l'influence de la variation des taux de change sur les ventes;
  - une solution additionnelle serait ainsi accessible aux consommateurs soucieux de leur environnement. Notons que l'industrie du bâtiment vert et intelligent est en très forte croissance en Amérique du Nord, affichant, entre 2000 et 2004, une croissance de 985 % de la valeur des projets<sup>48</sup>;
  - la conversion aux granules des systèmes de chauffage central primaires, pour des clientèles résidentielles, commerciales et industrielles, permettrait d'alléger la demande saisonnière d'énergie et de réduire les problèmes liés à la période de pointe hivernale pour ce qui est de l'électricité. Actuellement, aucun système de chauffage aux granules ne bénéficie du programme biénergie d'Hydro-Québec.

48. Créneau d'excellence de la Capitale-Nationale, [www.mdeie.gouv.qc.ca](http://www.mdeie.gouv.qc.ca).

## Bûches de bois densifié

### Marché québécois



Source : Bioflamme.

La bûche de bois densifié, parfois qualifiée d'énergétique, d'écologique ou de synthétique, se compare à la bûche de bois de chauffage traditionnel, puisqu'elle fait appel aux mêmes équipements de combustion. Elle jouit d'un taux d'humidité plus faible (inférieur à 10 % par rapport à 20 à 30 % [base humide], et même davantage, pour la bûche de bois de chauffage traditionnel) et d'une propreté d'utilisation plus grande, particulièrement lorsqu'elle est vendue en boîte (pas d'insectes, de poussière ou de saletés diverses). De plus, elle nécessite passablement moins d'espace pour son entreposage.

Cependant, bien que la bûche de bois densifié ait plusieurs avantages, notamment un meilleur pouvoir calorifique, des émissions polluantes moins abondantes et une faible production de cendres, la corde de bois de 16 pouces de feuillus durs demeure le choix le plus économique. Effectivement, une corde de bois de chauffage coûte autour de 50 % à 60 % de l'équivalent énergétique en bûches de bois densifié.

Le Québec compte actuellement six fabricants de bûches de bois densifié (tableau 10). La capacité totale de production de l'industrie québécoise est estimée à 85 000 tonnes métriques anhydres annuellement.

Les bûches sont vendues dans les centres de rénovation, les quincailleries, les grandes surfaces, dans quelques chaînes d'alimentation, par les fabricants eux-mêmes ou par les détenteurs de marques. Quelques entreprises exportent leurs produits. L'approvisionnement en matière première représente un enjeu important. Les bûches sont généralement fabriquées à partir des résidus issus de la première et de la deuxième transformation du bois (sciures, rabotures et copeaux). Les entreprises doivent donc concurrencer d'autres secteurs industriels qui utilisent ces formes de matière ligneuse, comme l'industrie des pâtes et papiers et celle des panneaux. Le tableau 10 présente la liste des fabricants québécois.

**Tableau 10 : Liste des fabricants québécois de bûches de bois densifié**

Compagnie	Localisation	Marque de commerce	Site Web
Bois d'œuvre Cedrico inc.	Lac-au-Saumon	Mise en marché par Bioflamme	<a href="http://www.cedrico.com">www.cedrico.com</a> <a href="http://www.bioflamme.net">www.bioflamme.net</a>
Bois BSL inc.	Mont-Joli et Matane	Smartlog Écolog Qualiflamme	<a href="http://www.smartlog.ca">www.smartlog.ca</a> <a href="http://ecologcanada.com">http://ecologcanada.com</a> <a href="http://www.boisbsl.com">www.boisbsl.com</a>
Industries P.W.I. inc.	Saint-Hyacinthe	Logik-ê	<a href="http://www.pwi-industries.com">www.pwi-industries.com</a>
Produits Forestiers St-Armand inc.	Saint-Armand	Bûches écologiques	<a href="http://www.buchespfs.com">www.buchespfs.com</a>
Rosario Poirier inc.	Saint-Alphonse		<a href="http://www.rosariopoirier.com">www.rosariopoirier.com</a>
Mirabûches inc.	Mirabel	Mirabûches	<a href="http://mirabuches.com">http://mirabuches.com</a>

Source : CRIQ et MRNF.

On trouve également sur le marché québécois les marques Eco-Logic ([www.eco-logic.ca](http://www.eco-logic.ca)) et Magädo ([www.firelogsamerica.com](http://www.firelogsamerica.com)), toutes deux fabriquées en sous-traitance en Gaspésie, Ecoflamme et, finalement, Novaflamme, du Groupe Savoie au Nouveau-Brunswick.

Les exportations canadiennes de bûches de sciures agglomérées<sup>49</sup> se chiffraient à 722 000 \$ en 2009, une diminution importante par rapport à l'année précédente, alors que la valeur des ventes à l'étranger avait totalisé 2,9 millions de dollars. L'Alberta est responsable de la moitié de la valeur des produits exportés. Le Québec arrive au deuxième rang, générant un peu plus du tiers de la valeur des exportations.

Les importations ont connu une croissance constante au cours des dernières années, totalisant 8,7 millions de dollars en 2009. L'Ontario et la Colombie-Britannique ont été les principaux points de livraison, responsables respectivement de 63 % et de 35 % des achats à l'étranger. Au Québec, les importations ont totalisé 192 000 \$. Le déficit de 5,8 millions de dollars (importations moins exportations) tend à démontrer que le marché canadien offre un potentiel de vente à combler.

### Marché américain

Le marché américain consomme davantage des bûches d'ambiance qui contiennent des cires ou des additifs, traditionnellement à base de pétrole. Avec la hausse des prix des produits pétroliers, le prix des cires et des huiles de palme ou de soya est devenu plus compétitif et les matières végétales remplacent peu à peu la paraffine.

Le géant américain Duraflame, qui détient la plus grande part des 130,3 millions de dollars de ventes de bûches synthétiques aux États-Unis, offre une nouvelle génération de bûches plus écologiques. Son produit de marque Stax est la première bûche Duraflame sans adjuvants pouvant être utilisée dans un poêle à bois. L'entreprise a réalisé en 2008 des ventes se chiffrant à 50,3 millions de dollars, soit une croissance de 11,8 % sur l'année précédente.

49. SCIAN 4401300020 : Bûches de sciures agglomérées.



Source : [www.bucheenergie.com](http://www.bucheenergie.com).

Au deuxième rang des ventes de bûches synthétiques aux États-Unis, on trouve la compagnie Jarden Home Brands, qui fabrique les marques Pine Mountain et Java Log. Ses ventes sont évaluées à 38,7 millions de dollars.

Parmi les bûches plus écologiques, il y a celles de marque Java, qui valorisent les restes de café, et celles de Wax Box FireLog Corp., faites à partir de boîtes de carton ciré utilisées pour le transport des fruits et des légumes.

**Tableau 11 : Principaux vendeurs de bûches aux États-Unis**

Compagnie	Ventes en 2008 (M\$ US)	Marque de commerce	Ventes en 2008 (M\$ US)
Duraflame	50,3		
		Duraflame	38,5
		Duraflame Crackleflame	8,1
		Duraflame Colorlog	3,6
Jarden Home Brands	38,7		
		Pine Mountain Superlog	13,2
		Pine Mountain	12,4
		Pine Mountain Color Crackle	8,2
		Javalog Crackling	3,0
		Northland	1,2
Marques privées	37,8		
		Marques privées	37,8
Joseph Enterprises	2,6		
		The Chimney Sweeping Log	2,6
Environmental Engineering Corp.	0,4		
Essay Group	0,1		
Seasoned Gourmet Firewood	0,1		
Hermanos Vazques	0,1		
Log Jam	0,1		
Wax Box FireLog Corp.	0,1		
<b>Total</b>	<b>130,3</b>		

Source : Information Resources Inc., janvier 2009.

## Marché européen



Les bûches synthétiques, souvent appelées briquettes ou bûchettes reconstituées en Europe, sont incluses dans la grande catégorie des biocarburants et, par conséquent, leur utilisation permet de réduire l'usage des carburants fossiles.

Source : [www.grosjean-concept-bois.com](http://www.grosjean-concept-bois.com).

Comme les granules, elles servent au chauffage résidentiel, dans les bouilloires industrielles et pour la cogénération.

Les briquettes peuvent être fabriquées à partir d'une variété de produits, dont le bois, les résidus agricoles, le papier, un mélange de matières ainsi que le bois torréfié. Bien que le marché des briquettes soit présent sur ce continent, il est moins structuré et de moindre importance que celui des granules. À titre indicatif, en 2007, la capacité de production de briquettes en Suède était de 650 000 tonnes<sup>50</sup>.

On peut conclure cette section en rappelant les points suivants :

- ↪ Les avantages liés à la bûche de bois densifié sont indéniables. Que l'on considère sa valeur énergétique, son caractère écologique ou son aspect pratique, ses atouts dépassent ceux de son plus proche concurrent, la bûche de bois de chauffage traditionnel. Sans compter qu'elle permet de valoriser certains résidus issus de la transformation du bois.
- ↪ Présente sur le marché depuis plusieurs années, elle constitue maintenant une option pour le consommateur qui désire réduire sa consommation d'autres types de carburants, tout en profitant de l'ambiance et du confort que procure le bois.
- ↪ La bûche de bois densifié subit les variations de marché des autres combustibles d'appoint, celles-ci étant liées à la température et au prix des combustibles utilisés pour le chauffage principal.
- ↪ Les fabricants québécois sont généralement soucieux d'offrir un produit de qualité, mais la mise en place d'une norme assurerait la constance de la qualité du produit, un atout pour augmenter le degré de fidélisation des acheteurs.

---

50. [www.svebio.se/attachments/33/880.pdf](http://www.svebio.se/attachments/33/880.pdf).

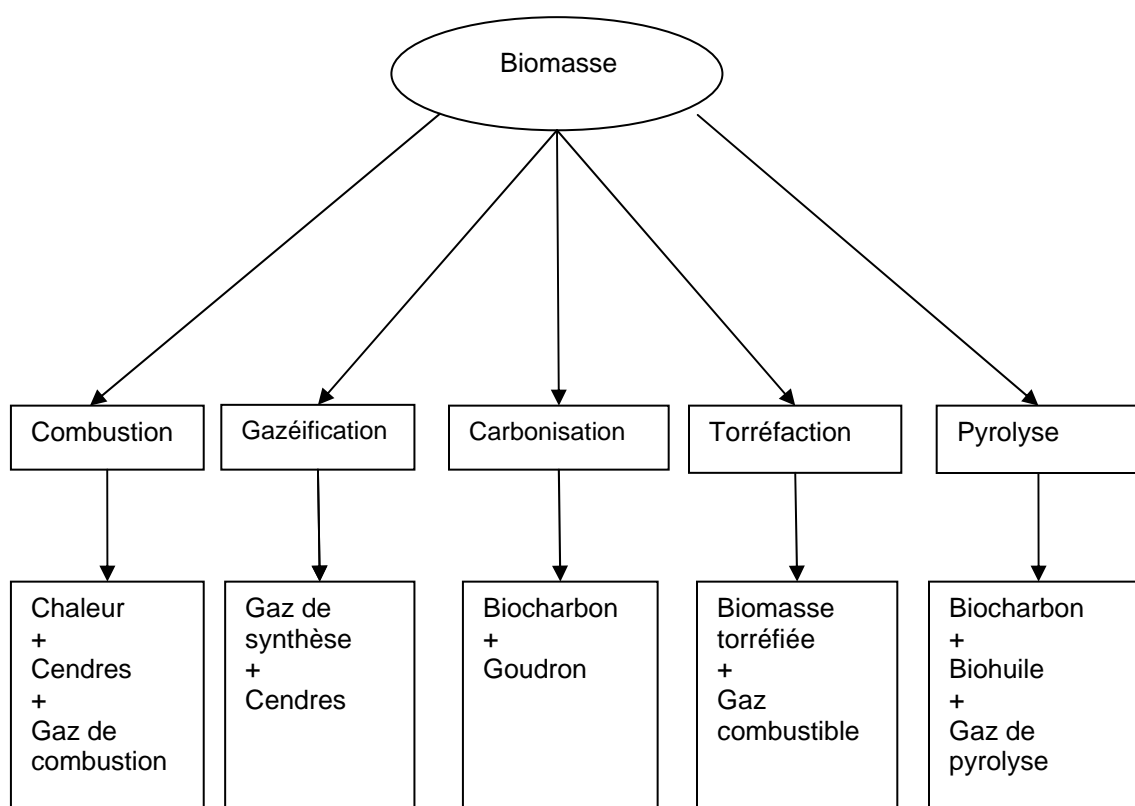
↗ Enfin, la bûche de bois densifié représente une solution accessible pour contribuer à la réduction de la dépendance aux carburants fossiles et des émissions de GES, et à la diminution de l'impact du chauffage au bois sur la qualité de l'air.

Certains des documents consultés pour la section 3 se trouvent à l'annexe B.

#### 4. TECHNOLOGIES DE TRANSFORMATION : PROCÉDÉS THERMOCHIMIQUES

Les principales technologies de conversion thermochimique de la biomasse en énergie sont la combustion, la gazéification, la carbonisation, la torréfaction et la pyrolyse. La figure 5 présente ces technologies et les produits qu'elles permettent d'obtenir à partir de la biomasse.

**Figure 5 : Les voies de conversion thermochimique de la biomasse**



Source : Olga Solomatnikova, CRIQ.

La **combustion** de la biomasse correspond à son oxydation complète en présence d'air. Cette technique permet de générer de l'énergie utilisée pour le chauffage, la production d'électricité ou les deux.

Dans le cas de la **gazéification**, la biomasse est transformée en gaz de synthèse sous l'effet de hautes températures. L'opération peut se dérouler en présence d'oxygène, de vapeur d'eau et d'autres gaz. La pyrolyse constitue une étape incontournable dans le processus de gazéification. En effet, la biomasse est d'abord pyrolysée, puis partiellement oxydée.

La **carbonisation** est une combustion lente de la biomasse qui se déroule avec un déficit d'air et une pression supérieure ou égale à la pression atmosphérique. Contrairement à la pyrolyse, cette technique sert à produire le maximum de biocharbon au détriment de la biohuile.

La **torréfaction** est un processus de décontamination thermique de la biomasse. C'est une étape intermédiaire entre le séchage et la carbonisation. La torréfaction est définie comme un procédé pyrolytique peu exigeant et doux à réaliser à basse température (de 200 à 320 °C) en absence d'oxygène et sous atmosphère contrôlée, qui ralentit les réactions thermochimiques et favorise le contrôle du cycle.

La **pyrolyse** est une décomposition thermique de la biomasse sous l'action de la chaleur, en absence d'oxygène. Cette technologie qui fonctionne à pression atmosphérique ou sous vide permet de produire plus de biohuile que de biocharbon et de gaz.

Chaque technologie de conversion de la biomasse est caractérisée par son rendement énergétique propre. Le choix entre ces technologies dépend des besoins énergétiques, de la disponibilité et de la qualité de la biomasse, de la proximité de celle-ci, des coûts des infrastructures de transformation et de distribution, du contexte environnemental et de la disponibilité des techniques capables d'utiliser les produits générés. Par exemple, l'huile produite par la pyrolyse a des propriétés très particulières qui ne lui permettent pas d'être utilisée telle quelle dans des moteurs diesels, des turbines et des chaufferies standards.

Pour la production de chaleur, la combustion directe du bois semble être, du point de vue de l'économie et de la facilité d'usage, la meilleure solution. Toutefois, l'énergie produite doit être consommée localement. Pour la production d'électricité, la gazéification a presque atteint son plein développement. La pyrolyse, qui permet de densifier la capacité calorifique du bois dans un liquide (biohuile) pouvant être transporté, stocké et utilisé pour le transport, se heurte aux difficultés d'utilisation de ce liquide dans des équipements standards conçus pour les produits pétroliers. La carbonisation densifie aussi les calories du bois, mais dans une matière solide (biocharbon), transportable, stockable et pouvant être utilisée comme combustible, seule ou en mélange avec des combustibles pétroliers (ex. : mazout de chauffage) sous forme de *slurry* (particules en suspension).

#### 4.1 Combustion directe

La combustion correspond à l'utilisation de la biomasse pour produire uniquement de la chaleur utilisable localement. La majorité des technologies de combustion exploitées aujourd'hui sont éprouvées et bien établies commercialement à l'échelle mondiale, et ce, pour de nombreuses applications. Les travaux de recherche et développement actuels visent essentiellement à améliorer leur rendement énergétique et à réduire leur impact sur l'environnement.

Les systèmes de combustion à la biomasse forestière sont plus complexes que ceux fonctionnant avec des combustibles fossiles. Ceux-ci utilisent un combustible aux propriétés constantes et connues, établies par des normes, tandis que les systèmes à la biomasse forestière emploient un combustible qui, dans bien des cas, peut avoir un taux d'humidité et une granulométrie variables et contenir un certain pourcentage de contaminants. Pour ces raisons, les systèmes de combustion à la biomasse forestière requièrent une intégration soignée des différents composants afin d'obtenir une performance maximale. La puissance de l'installation à



la biomasse, ainsi que celle du système d'appoint, devrait être déterminée par des experts en fonction de l'utilisation visée. L'objectif est d'obtenir le coût de production d'énergie le plus bas possible en optimisant le temps de fonctionnement de l'installation dans ses conditions d'utilisation optimale.

Le tableau 12 compare les coûts de l'énergie pour le chauffage de différents combustibles.

**Tableau 12 : Comparaison des coûts de l'énergie pour le chauffage de différents combustibles**

Type de combustible	Coût (\$/unité)	Coût brut (\$/kWh)	Efficacité de conversion (%)	Coût net (\$/kWh)
Mazout n° 2	0,77 \$/litre <sup>(1)</sup>	0,072	70-80	0,096
Gaz naturel	0,60 \$/m <sup>3</sup> <sup>(2)</sup>	0,060	70-85	0,080
Électricité	0,08 \$/kWh <sup>(3)</sup>	0,080	100	0,080
Copeaux	75 \$/tmv <sup>(4)</sup>	0,025	70-80	0,033
Granules	200 \$/tma <sup>(5)</sup>	0,040	70-80	0,053

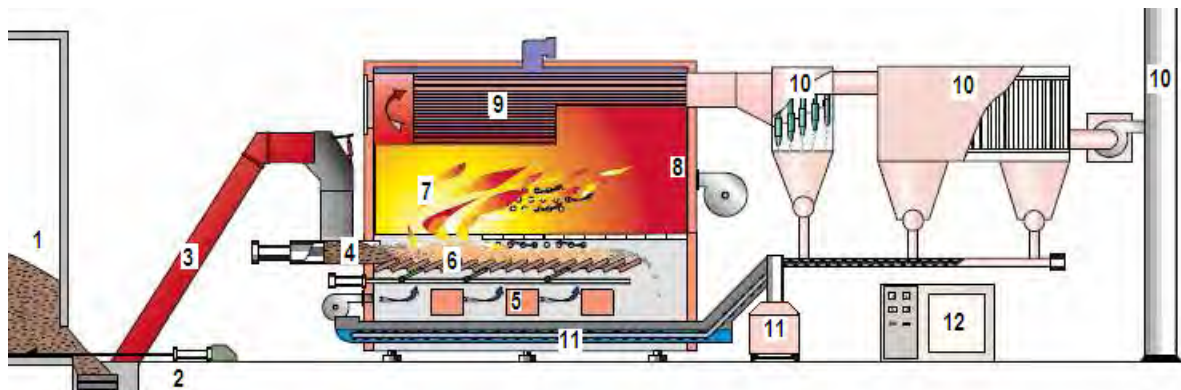
1. Source : Régie de l'énergie. Moyenne pondérée des trois derniers mois d'hiver pour le Québec en entier.
2. Le coût moyen dépend de la consommation.
3. Basé sur le coût moyen au tarif M pour une école.
4. Comprend la récolte, le transport et le conditionnement.
5. Comprend l'achat et le transport.

Source : *Chaudières à biomasse et technologies de combustion*, Écosens énergie inc., Jean Baribeault, Jocelyn Millette, janvier 2010.

Les appareils utilisés pour la combustion directe de la biomasse solide vont des petits poêles résidentiels (de 1 à 20 kW<sup>51</sup>) aux immenses chaudières en activité dans les grandes centrales de cogénération, qui peuvent produire plusieurs centaines de MW.

À titre indicatif, la figure 6 montre les principaux éléments qui composent un système de combustion industriel, commercial ou institutionnel consommant de la biomasse forestière.

51. Des poêles et des fournaies sont fabriqués au Québec par les entreprises SBI – Fabricant de poêles international inc., à Saint-Augustin-de-Desmaures, et Paromax inc., à Blainville.

**Figure 6 : Composants typiques d'un système de chauffage à la biomasse**

1 et 2	Réserve de biocombustible avec système d'extraction (ici, à fond mouvant)	8	Air secondaire
3	Système de transfert du combustible de la réserve vers la chambre de combustion	9	Échangeur de chaleur
4	Trémie doseuse et distributeur de combustible	10	Système d'épuration et d'évacuation des gaz (cheminée)
5	Air primaire	11	Système d'extraction (convoyeur immergé) et d'entreposage des cendres
6	Grille	12	Système d'automatisation et de contrôle
7	Chambre de combustion	13	Unité d'appoint et de secours à combustible fossile (non illustrée)

Source : Traduit et adapté d'ITEBE et de Weiss, CRIQ.

Il sera maintenant question des différents types de foyers, d'échangeurs de chaleur et de systèmes de dépoussiérage qui composent les chaudières institutionnelles, commerciales et industrielles.

Pour plus de détails sur chacun des composants d'un système de chauffage à la biomasse, comme les réserves de biomasse et les systèmes d'alimentation ou d'épuration des gaz de combustion, consultez la section 5 du *Profil des produits forestiers. Biomasse forestière résiduelle : inventaire des méthodes et équipements de récupération ainsi que des systèmes de combustion les plus courants*<sup>52</sup>.

#### 4.1.1 Types de foyers

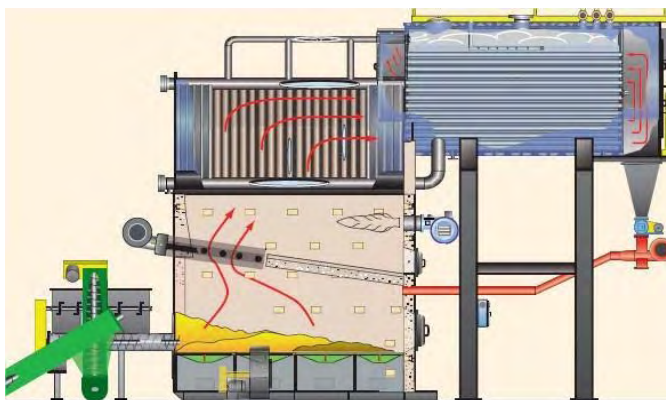
Le foyer de la chaudière est le lieu de la première phase de la combustion. Il est alimenté en combustible et en air primaire. Plusieurs configurations de foyer sont possibles et utilisées en fonction, entre autres, de l'humidité et de la granulométrie du combustible et de la puissance de l'installation. La conception et le fonctionnement du foyer constituent des éléments importants de la performance et du rendement du système de combustion. Les principaux types de foyers sont les foyers à grille fixe, volcan, à grilles mobiles et à lit fluidisé.

52. *Profil des produits forestiers. Biomasse forestière résiduelle : inventaire des méthodes et équipements de récupération ainsi que des systèmes de combustion les plus courants*, MRNF, 2006.

### Foyer à grille fixe

Ce type de foyer (figure 7) est constitué d'une grille sur laquelle le combustible est introduit et à travers laquelle l'air primaire est injecté. Les différences entre les fabricants ont principalement trait à la géométrie du foyer, à l'utilisation de matériaux réfractaires ainsi qu'au mode et au type d'injection de l'air secondaire. Cette technologie simple offre une grande robustesse.

**Figure 7 : Chaudière hybride à foyer à grille fixe**



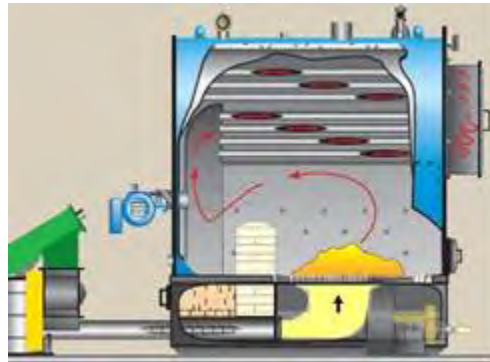
Source : Adapté de Hurst Boiler & Welding Co. Inc.

Cependant, le manque de mouvement du combustible restreint son étalement optimal sur la grille et ne permet pas de maintenir un lit homogène en combustion. Dans certaines conditions, des zones de combustion de différentes intensités apparaissent et peuvent conduire à une combustion incomplète. Cela constitue la principale limite de ce type de foyer, fréquemment utilisé pour des installations de petite et de moyenne puissance (de 0,015 à 5 MW). Il donne de bons résultats avec des combustibles plutôt secs (de 5 à 40 % d'humidité [base humide]).

### Foyer volcan

Pour le foyer volcan, aussi appelé foyer à creuset (figure 8), une vis sans fin située sous la chambre de combustion force la biomasse forestière à pénétrer dans un espace évasé, provoquant la montée de celle-ci vers le sommet du brûleur. La flamme se crée au-dessus de celui-ci grâce à l'air primaire injecté qui traverse le lit solide. L'air secondaire est injecté dans la flamme afin d'apporter l'oxygène nécessaire à la combustion complète des gaz issus de la dégradation thermique de la biomasse.

**Figure 8 : Chaudière à foyer volcan**

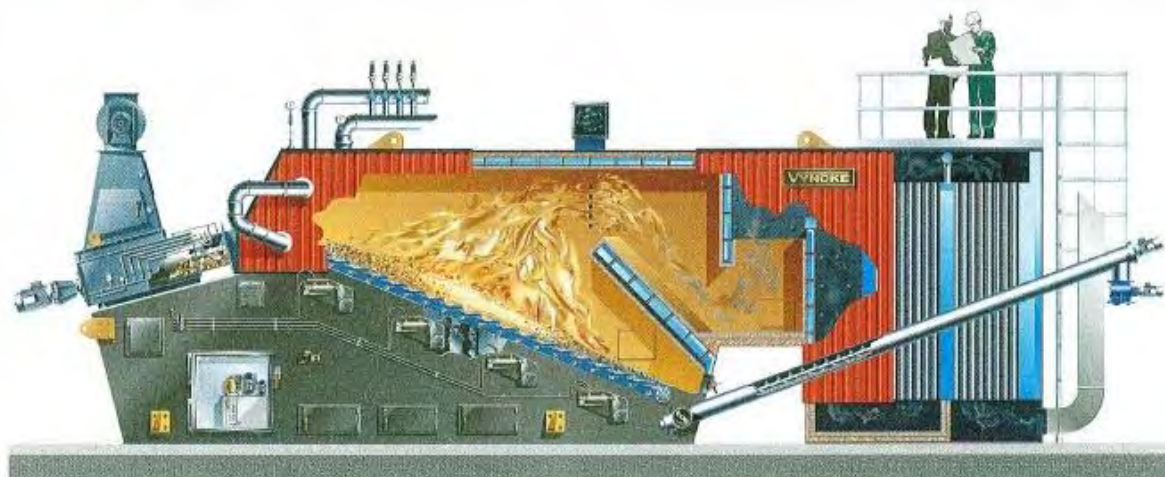


Source : Adapté de Hurst Boiler & Welding Co. Inc.

### Foyer à grilles mobiles

Le foyer à grilles mobiles (figure 9) est muni de sections animées d'un mouvement de va-et-vient, ce qui permet de pousser le biocombustible vers le bout de la fournaise au fur et à mesure qu'il est consommé. La combustion est mieux contrôlée grâce aux mouvements qui provoquent l'étalement du lit de combustible et qui optimisent son temps de séjour dans la chambre. Les grilles sont munies d'ouvertures qui permettent le passage de l'air à travers le feu afin de l'attiser (air de combustion primaire). L'air secondaire est injecté au-dessus du lit solide, dans la flamme, pour apporter l'oxygène nécessaire à la combustion complète des gaz issus de la dégradation thermique de la biomasse.

**Figure 9 : Chaudière à grilles mobiles**



Source : Vyncke Energietechnik NV.

Les foyers à grilles mobiles sont couramment utilisés dans des installations de puissance moyenne à importante (de 0,400 à 25 MW). Pour des installations plus petites, le coût se révèle trop élevé et des systèmes plus simples sont alors privilégiés. Les chaudières équipées de ce type de grilles peuvent consommer une large gamme de combustibles avec des taux d'humidité très variables, de 10 à 50 %, voire de 60 % (base humide).

Le foyer à grilles mobiles Biograte, de MW Power (figure 10), est une variante à grilles coniques rotatives dont le principe d'alimentation en combustible de la chambre à combustion est emprunté au foyer volcan.

**Figure 10 : Foyer Biograte à grilles coniques rotatives**

---



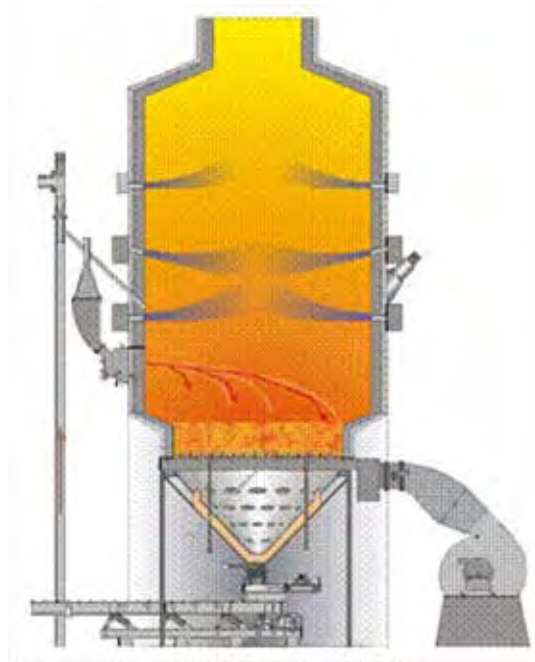
Source : MW Power.

### Foyer à lit fluidisé

Un foyer à lit fluidisé (figure 11) est généralement constitué d'une enceinte cylindrique dont l'air de combustion primaire est poussé à haute vitesse vers le fond, à travers un lit de particules (couramment du sable de silice). La biomasse fragmentée (introduite au-dessus du lit fluidisé ou directement dans celui-ci) et les particules de sable sont maintenues en suspension dans le foyer par ce courant d'air, ce qui favorise grandement l'homogénéisation du milieu réactif et l'amélioration des échanges thermiques. C'est ce qui explique que les chaudières à foyer à lit fluidisé ont une flexibilité supérieure à celles ayant d'autres types de foyers en ce qui a trait à la qualité des combustibles acceptés.

**Figure 11 : Chaudière à foyer à lit fluidisé à bulles**

---

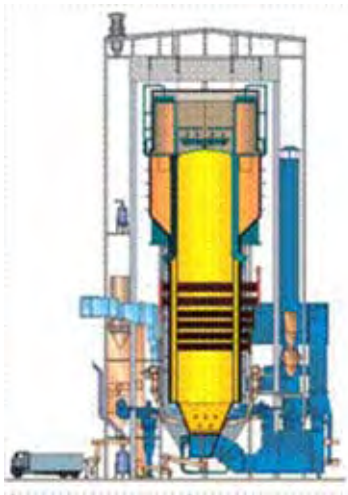


Source : Energy Products of Idaho (EPI).

Conséquemment, les chaudières à foyer à lit fluidisé sont surtout utilisées pour valoriser des combustibles très humides (avec des taux d'humidité allant jusqu'à 60 %, voire 65 %) et qui ont une haute teneur en cendres, comme des écorces humides de résineux, des broyats forestiers verts et des boues papetières. Elles peuvent également brûler un mélange de combustibles (par exemple un mélange de biomasse forestière, de tourbe et de charbon). Il faut cependant bien ajuster la granulométrie et éliminer les contaminants du combustible avant son introduction dans la chambre de combustion.

Dans ce type d'installation, la température de combustion est maintenue entre 650 °C et 900 °C, comparativement à entre 750 °C et 1 100 °C pour les foyers à grille fixe, ce qui est favorable à de faibles rejets en oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>).

Il existe deux types de foyers à lit fluidisé, ceux à lit fluidisé à bulles (ou lit fluidisé dense) et ceux à lit fluidisé circulant. Bien que leur principe de fonctionnement soit similaire, certaines caractéristiques les distinguent, dont la vitesse de fluidisation, la température de fonctionnement, la granulométrie de la matière constituant le lit et celle du combustible. Le tableau 13 présente sommairement ces différences.

**Figure 12 : Chaudière à foyer à lit fluidisé circulant**

Source : Foster Wheeler.

**Tableau 13 : Principales caractéristiques distinguant les foyers à lit fluidisé à bulles (LFB) de ceux à lit fluidisé circulant (LFC)**

Caractéristique	LFB	LFC
Vitesse de fluidisation (m/s)	1,0-2,0	5,0-10,0
Température de la chambre de combustion (°C)	650-850	750-900
Granulométrie de la matière du lit fluidisé (mm)	0,5-1,0	0,2-0,4
Granulométrie du combustible (mm)	< 80	< 40

Source : Adapté de *The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, 2008.

En raison de leur complexité et de leurs coûts d'acquisition et d'exploitation élevés, les chaudières à foyer à lit fluidisé sont réservées à de grandes puissances, souvent au-delà de 30 MW, bien que des modèles de plus petite puissance soient maintenant offerts.

Le tableau suivant présente, de façon sommaire, les principales caractéristiques des types de foyers des bouilloires à la biomasse institutionnelles, commerciales et industrielles.

**Tableau 14 : Principales caractéristiques des types de foyers des bouilloires à la biomasse**

Type	Gamme de puissance	Combustible (granulométrie, teneur en cendres)	Humidité du combustible (base humide)	Coût	Remarque
Grille fixe	De 15 kW à 5 MW	Petits copeaux ou broyats plutôt secs. Faible teneur en cendres.	De 5 à 35 %	+	Design simple. Aucune pièce mobile à l'intérieur de la chaudière.
Volcan	De 20 kW à 2,5 MW	Copeaux forestiers, copeaux de sous-produits de transformation du bois, granules. Faible teneur en cendres. Peu flexible en ce qui a trait à la granulométrie du combustible.	De 5 à 45 %	+	Design simple. Aucune pièce mobile à l'intérieur de la chaudière.
Grilles mobiles	De 150 kW à 25 MW	Large gamme de combustibles avec haute teneur en cendres.	De 25 à 50 %	++	Système mécanique à l'intérieur de la chaudière.
Lit fluidisé à bulles	De 5 MW à plus de 50 MW	Large gamme de combustibles très humides (écorces humides de résineux, broyats forestiers verts, boues papetières). Mélange de combustibles possible.	De 5 à 60 %	+++	Aucune pièce mobile à l'intérieur de la chaudière. Haute efficacité (faibles émissions) avec des combustibles de faible qualité. Température de fonctionnement relativement basse et homogène, favorable à de faibles rejets de NO <sub>x</sub> .
Lit fluidisé circulant	De 25 MW à plus de 500 MW			++++	

Sources : ADEME, *État de l'art de la technologie : générateur d'air chaud à partir de biomasse*, 2010; Roche ingénieurs-conseils, *Étude de pré faisabilité : chaufferies institutionnelles à la biomasse forestière*, 2008; *The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, 2008; ITEBE, *La chaudière* (consulté en octobre 2010).

#### 4.1.2 Types d'échangeurs de chaleur

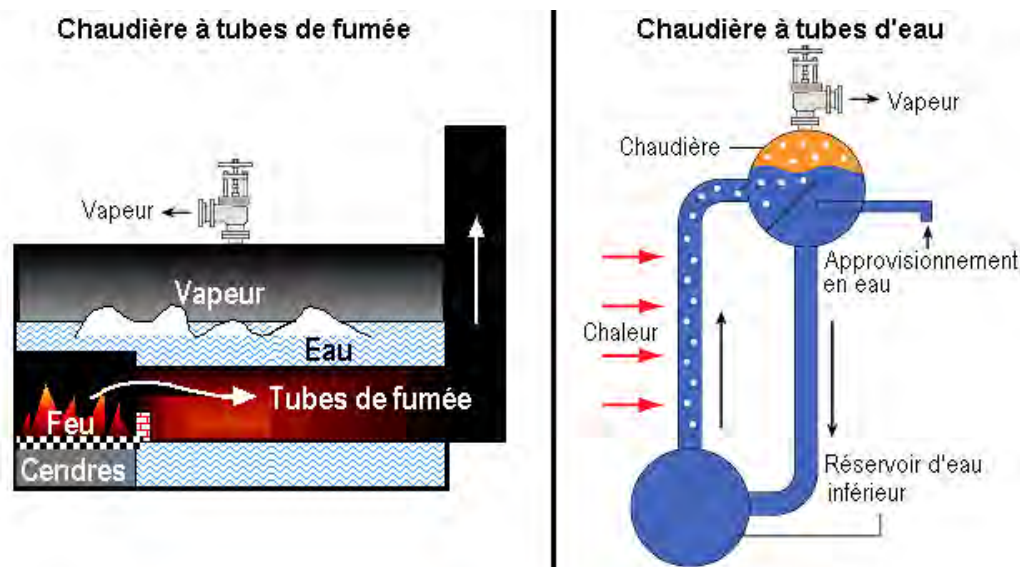
La chaleur est transférée selon deux modes, par rayonnement et par convection. Dans le premier cas, la chaleur est transférée par **rayonnement**, dans la zone de combustion, de la flamme au fluide caloporteur (eau, vapeur ou air) qui la distribue là où elle est utilisée (client). Dans le second cas, après la zone de combustion, la chaleur est transférée à partir des fumées, par **convection**. C'est l'échangeur de chaleur qui absorbe l'énergie à partir de la flamme et des fumées.



Le type d'échangeur de chaleur utilisé dépend du fluide caloporteur et de la configuration de la fournaise. Sa capacité doit être déterminée avec soin afin d'extraire le maximum d'énergie possible. On désigne l'échangeur de chaleur par le terme *chaudière*.

Les échangeurs de chaleur sont soit de type à tubes de fumée, soit à tubes d'eau, soit hybrides. Dans le premier cas, les gaz de combustion passent par des tubes traversant une chaudière remplie d'eau (figure 13) et dans le deuxième, les tubes dans lesquels circule l'eau sont entourés par les gaz de combustion, très chauds. Enfin, les chaudières hybrides exploitent les deux configurations précédentes de façon successive (figure 7).

**Figure 13 : Représentation schématique de chaudières à tubes de fumée et à tubes d'eau**



Sources : Spirax-Sarco Limited et CRIQ.

L'échangeur de chaleur capte l'énergie des gaz de combustion pour ramener leur température, de 650 à 1 200 °C, à celle de la cheminée, soit de 150 à 230 °C. Ce faisant, il élève la température de l'eau de la chaudière entre 65 et 150 °C.

Le tableau suivant présente, de façon sommaire, les principales caractéristiques des échangeurs de chaleur des bouilloires à la biomasse institutionnelles, commerciales et industrielles.

**Tableau 15 : Caractéristiques des échangeurs de chaleur des bouilloires à la biomasse**

<b>Échangeurs de chaleur</b>	
<b>À tubes d'eau</b>	Circulation de l'eau dans des tubes entourés par les gaz de combustion, très chauds.
	Production de pressions de vapeur élevées (> 150 psi ou 1 000 kPa).
	Transfert de chaleur plus efficace.
	Plus faible inertie thermique que la bouilloire à tubes de fumée.
	Plus coûteux que les tubes de fumée.
	Généralement utilisé pour les chaudières de moyenne et de grande puissance (de 10 à 900 MW).
<b>À tubes de fumée</b>	Passage des gaz de combustion dans des tubes placés dans l'eau de la chaudière.
	Approprié pour des systèmes de chauffage à l'eau chaude et des pressions de vapeur faibles (< 150 psi ou 1 000 kPa).
	Volume d'eau plus important, donc plus grande réserve thermique.
	Généralement utilisé pour des chaudières de petite et de moyenne puissance, jusqu'à 30 MW.
	Moins cher que les tubes d'eau.
<b>Hybride</b>	Combine les avantages des deux systèmes précédents.
	Installations plus importantes en matière d'équipements et de coût.

Source : Adapté de Roche ingénieurs-conseils, Jacquelin Goyette, *Établissement de chaufferies centrales à la biomasse forestière : matières premières, technologies, coûts et conditions de rentabilité*, 2008.

Voici quelques fournisseurs de bouilloires à biomasse forestière :

- ↗ [ABGG Technologies inc.](#) (Québec);
- ↗ [Bouilloire Falmecc inc.](#) (Québec);
- ↗ [Combustion Expert inc.](#) (Québec);
- ↗ [Compte-Fournier inc.](#) (Québec);
- ↗ [Ducova inc.](#) (Québec);
- ↗ [Écosens Énergie inc.](#) (Québec);
- ↗ [Emispec](#) (Québec);
- ↗ [Groupe Simoneau inc.](#) (Québec);
- ↗ [Ideal Combustion](#) (Québec);
- ↗ [KMW Energy Inc.](#) (Ontario);
- ↗ [Transfab Énergie inc.](#) (Québec);
- ↗ [Wellons FEI Corp.](#) (Québec).

#### 4.1.3 Technologies utilisées pour l'épuration des gaz de combustion<sup>53</sup>

À l'instar de ce qui se passe dans plusieurs pays européens et aux États-Unis, le Québec s'oriente vers un recours accru à la biomasse forestière à des fins énergétiques. Le déploiement de cette filière, dont l'un des objectifs est la réduction des émissions de GES, doit

53. Cette section est tirée de l'étude *Portrait des normes et exigences environnementales encadrant l'utilisation de la biomasse forestière à des fins énergétiques* réalisée pour le MDEIE par Michel Bouchard et collab., CRIQ, mars 2010.

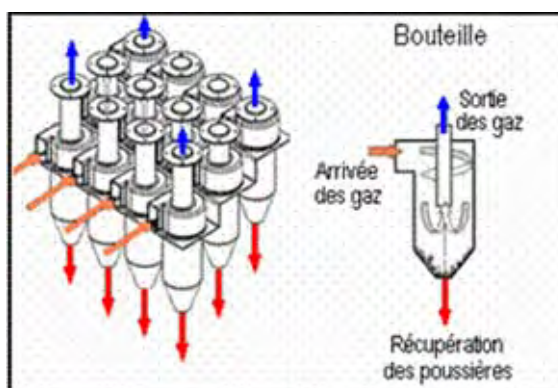
être encadré afin de profiter pleinement des gains escomptés au chapitre de la substitution des carburants fossiles, notamment en ce qui a trait à la protection de la qualité de l'air.

Les gaz de combustion, refroidis par l'échangeur de chaleur dans des installations d'une certaine envergure, doivent être épurés avant d'être évacués dans l'atmosphère. Ils sont pris en charge par le système d'épuration et d'évacuation des gaz. Pour les débarrasser de la majeure partie des particules en suspension, plusieurs types d'équipements peuvent être utilisés, seuls ou en combinaison, par exemple le dépoussiéreur multicyclone, le laveur de gaz (*wet scrubber*) et le précipitateur électrostatique. Leur sélection dépendra du type de combustible et de la puissance de la centrale thermique et devra permettre à l'exploitant de répondre aux normes d'émission fixées par le Règlement sur la qualité de l'atmosphère<sup>54</sup>, qui sera remplacé sous peu par le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère.

### Dépoussiéreur multicyclone

Le dépoussiéreur multicyclone (figure 14) est une caisse étanche dans laquelle sont disposés des cyclones de petit diamètre, soit de 150 à 250 mm. Le dépoussiéreur multicyclone se sert de la masse volumique des poussières, qui est environ 1 000 fois supérieure à celle des gaz, afin de les faire migrer hors du flux gazeux et ainsi assurer la séparation des plus grosses particules en suspension.

**Figure 14 : Dépoussiéreur multicyclone**



Sources : Compte R. et CRIQ.

La cendre interceptée par ce type d'appareil est évacuée par le fond, en passant par une vanne rotative, puis acheminée vers le convoyeur d'extraction des cendres ou envoyée directement dans un bac. Ce système présente l'avantage d'être simple, fiable (aucune pièce mécanique en mouvement) et d'un coût d'exploitation relativement bas (aucune intervention n'est nécessaire hormis un nettoyage périodique des cyclones). Ce type d'équipement est efficace pour les grosses particules et permet, lorsque des écorces sont brûlées, de garantir des rejets de particules de 400 à 500 mg/Nm<sup>3</sup> de gaz. Son efficacité est d'environ 85 à 95 % pour les plus

54. Voir la section XIV, « Combustion du bois », du *Règlement sur la qualité de l'atmosphère* (chapitre Q-2, r. 20) à l'adresse suivante : [publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q\\_2/Q2R38.htm](http://publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R38.htm).

grosses particules (plus de 10 microns). Par contre, il laisse passer la très grande majorité des particules de taille inférieure, qui ont l'effet le plus important sur le système respiratoire.

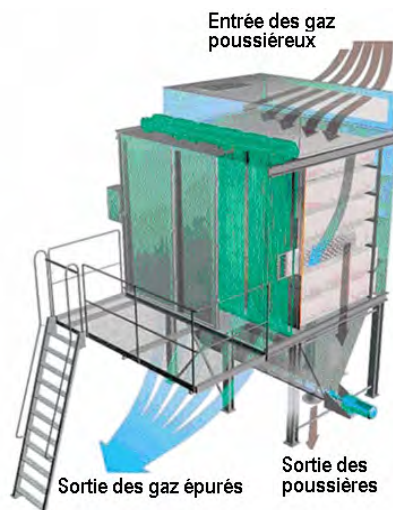
Il existe d'autres dispositifs apparentés au dépoussiéreur multicyclone. Ils sont cependant peu populaires et leur efficacité est moins bien documentée.

### Filtre à manches

Le filtre à manches (figure 15) est un élément complémentaire du dépoussiéreur multicyclone qui existe en plusieurs configurations. La plus répandue est munie de manches horizontales montées sur un treillis métallique dans une caisse étanche. De façon régulière, des chasses d'air comprimé sont dirigées sur les manches pour les décolmater (sans perturbation de la qualité de filtration), les poussières fines étant récupérées dans une trémie. En fonction du type de combustible et d'éventuels traitements complémentaires des fumées, les matériaux constitutifs des manches peuvent varier.

**Figure 15 : Filtre à manches**

---



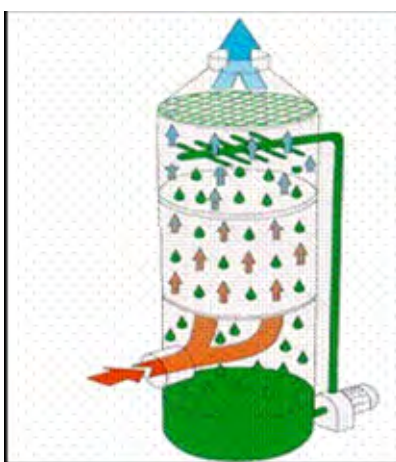
Source : Adapté de Weiss France.

Le filtre à manches permet de façon constante d'abaisser le taux de poussières à 20 mg/Nm<sup>3</sup> à 11 % d'oxygène (quelles que soient la granulométrie et la concentration des poussières), voire moins pour des dispositifs plus évolués. Les métaux lourds éventuellement présents dans les particules fines sont donc captés. Les manches doivent être changés environ toutes les 25 000 heures (à prendre en compte dans le coût d'exploitation) et, comme ils peuvent être inflammables, il faut prévoir un système actif ou passif de blocage des particules incandescentes qui s'échappent de la chaudière.

### Laveur de gaz

Le laveur de gaz (figure 16), qu'on appelle aussi épurateur ou séparateur humide, utilise le principe suivant pour épurer les gaz de combustion : le courant gazeux, dans lequel des particules solides sont en suspension, passe dans une enceinte où celles-ci entrent en contact avec un liquide de lavage qui les retient. La construction interne du laveur de gaz fournit une grande superficie mouillée qui favorise le contact entre les gaz et le liquide de lavage, et ce, en offrant le minimum d'obstruction au passage du flux gazeux. Les particules sont séparées du liquide par décantation, puis évacuées vers le convoyeur d'extraction des cendres.

**Figure 16 : Laveur de gaz**

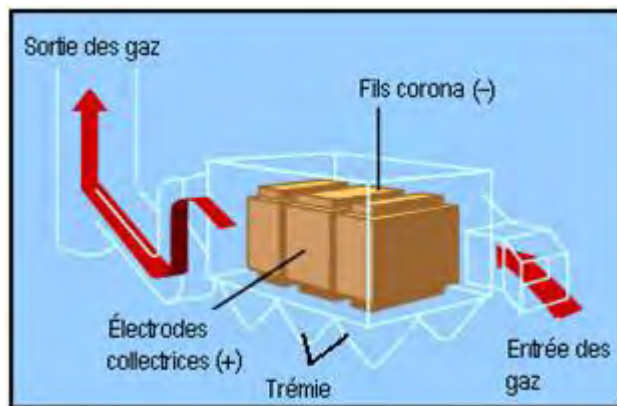


Sources : [www.forbesgroup.co.uk](http://www.forbesgroup.co.uk) et CRIQ.

Ce type d'équipement, installé en série après le dépoussiéreur multicyclone, permet de garantir des rejets en deçà de  $340 \text{ mg/Nm}^3$  de gaz.

### Précipitateur électrostatique

Le précipitateur électrostatique (ou l'électrofiltre) (figure 17) intervient lui aussi en complément à un dépoussiéreur multicyclone. Dans un précipitateur électrostatique, les poussières présentes dans les gaz de combustion sont ionisées par une série d'électrodes émettrices de charge négative (fils corona), puis captées par des électrodes collectrices de charge positive.

**Figure 17 : Précipitateur électrostatique**

Source : Traduit et adapté de [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

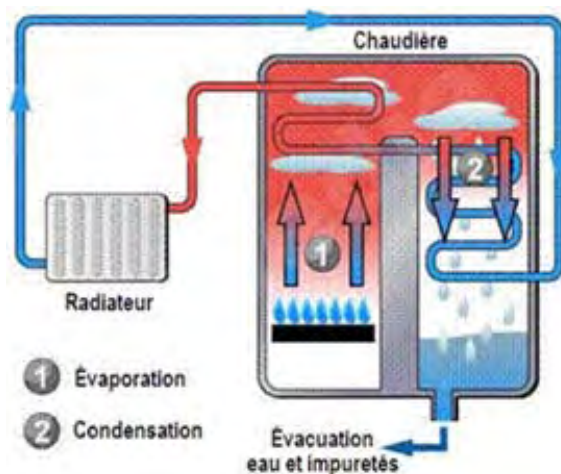
Les électrodes collectrices vibrent de façon périodique, précipitant ainsi les poussières accumulées dans une trémie. Le précipitateur électrostatique offre une très bonne performance pour toutes les grosseurs de particules et permet d'abaisser de façon constante le taux de poussières à  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . Certains appareils particuliers permettent d'atteindre  $30 \text{ mg/Nm}^3$  à 11 % d'oxygène. Le précipitateur électrostatique est insensible aux particules incandescentes et consomme peu d'électricité (puissance de 10 à 15 kW). Il présente toutefois un encombrement important et, parce qu'un générateur haute tension équipe ce matériel, le personnel d'exploitation doit détenir les compétences nécessaires à son utilisation sécuritaire. Des travaux de maintenance sont à prévoir à moyen et à long terme, comme le changement des isolateurs et des marteaux.

Le précipitateur électrostatique est régulièrement utilisé dans les installations de grande et de très grande puissance (papeteries, incinérateurs municipaux), mais son coût d'acquisition est important.

### Condensation des fumées

Aujourd'hui, pour respecter les normes, les installations doivent systématiquement être équipées d'un dépoussiéreur multicyclone auquel on ajoute, en fonction des contraintes réglementaires, un filtre à manches ou un précipitateur électrostatique.

Utilisée depuis la fin des années 1980 dans plusieurs pays européens, dont le Danemark et la Finlande, la condensation des fumées (figure 18) permet d'augmenter la performance énergétique de l'installation en récupérant la chaleur latente de la vapeur d'eau contenue dans les gaz d'échappement, en condensant cette vapeur avant de rejeter l'eau sous forme liquide. De plus, l'effet filtrant de cette opération permet de réduire considérablement les émissions de particules.

**Figure 18 : Principe de fonctionnement d'une chaudière à condensation**

Source : Adapté de [Fine Media](#).

Installé en aval du dépoussiéreur multicyclone, le dispositif de condensation pourrait donc remplacer avantageusement un filtre à manches ou un précipitateur électrostatique. Il est toutefois nécessaire de refroidir les fumées à moins de 50 °C, ce qui implique de disposer d'une source froide, comme le retour d'un réseau de chaleur à basse température, ce qui n'est pas toujours possible. De plus, compte tenu de l'acidité des condensats, les échangeurs de chaleur doivent être prévus pour résister aux attaques corrosives et donc fabriqués à partir de matériaux spéciaux, plus coûteux que ceux d'un échangeur classique. Les condensats requièrent généralement une neutralisation par addition d'une base. Enfin, le coût de cette solution est élevé, rendant difficile son installation sur des unités de moins de 3 ou 4 MW.

#### 4.1.4 Émissions liées à chacun des combustibles et des systèmes de combustion

Le tableau 16 porte sur les émissions liées plus précisément à chacun des combustibles (bois, bûches ou granules de bois densifié, charbon, mazout, gaz naturel, etc.) en fonction du type de système de combustion utilisé. Ces émissions sont exprimées en mg/MJ d'énergie produite. Ainsi, on constate qu'une chaudière produit 104 000 mg de CO<sub>2</sub>/MJ si elle fonctionne au charbon, 51 000 mg si elle brûle du gaz naturel et 78 000 mg si elle est alimentée au mazout. Il est bon de rappeler que la combustion du bois est carboneutre. Ainsi, un bon moyen de réduire les émissions de GES est sans aucun doute le remplacement d'un combustible fossile (huile, mazout, gaz naturel, charbon, houille, etc.) par le bois, peu importe sa forme (copeaux, sciures, bûches naturelles ou de bois densifié, granules, etc.).

**Tableau 16 : Émissions au cours de la combustion**

Type de système et de combustible	Effic. (%)	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV et HAP	CO	CO <sub>2</sub>	Particules
Chaudière au mazout	75	220	55	10	50	78 000	5
Chaudière au gaz naturel	75	0,25	40	5	50	51 000	0,8
Chaudière au charbon	-	340	70	10	4 500	104 000	60
Chaudière à copeaux ou à granules	75	10	45	2	16	0	4
Chaudière moderne à bûches ou poêle certifié EPA	75	10	70	700	366	0	32
Poêle non certifié EPA	40	10	70	2 100	6 000	0	520

Sources : *Utilisation de la biomasse forestière pour le chauffage des bâtiments*, Jean Baribeault, LTE, mars 2007; *Les émissions liées au bois-énergie*, [www.itebe.org](http://www.itebe.org).  
Certaines données ont été fournies par M. Carol Gagné, ing. M. Sc., ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP).

SO<sub>2</sub> : Dioxyde de soufre  
NO<sub>x</sub> : Oxydes d'azote  
COV : Composés organiques volatils  
HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques  
CO : Monoxyde de carbone  
CO<sub>2</sub> : Dioxyde de carbone

Lorsqu'on considère l'ensemble des émissions et matières particulaires [poussières]), ce sont certainement les chaudières à copeaux et à granules, de même que les poêles à granules, qui ont le moins d'impacts néfastes sur la qualité de l'environnement en général et sur celle de l'atmosphère en particulier.

#### 4.1.5 Règlements québécois relatifs aux émissions particulières des fournaies, des chaudières et des séchoirs à la biomasse forestière

Selon l'article 45 du Règlement sur la qualité de l'atmosphère<sup>55</sup> qui est actuellement en vigueur au Québec, une fournaise ou une chaudière dans laquelle on brûle du bois ou un résidu de bois, seul ou combiné avec un combustible fossile, ne peut émettre dans l'atmosphère des matières particulaires au-delà des concentrations établies au tableau suivant.

55. [Publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q\\_2/Q2R20.htm](http://publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R20.htm).



**Tableau 17 : Concentration maximale d'émissions particulières permise par le Règlement sur la qualité de l'atmosphère selon la puissance de l'appareil de combustion**

Puissance utile de la fournaise ou de la chaudière	Concentration maximale (en mg/Nm <sup>3</sup> de gaz sec corrigé à 12 % CO <sub>2</sub> )	
	Fournaise ou chaudière existante	Nouvelle fournaise ou chaudière
≤ 3 MW	600	600
≥ 3 MW	450	340

Source : *Règlement sur la qualité de l'atmosphère*.

Le projet de règlement sur l'assainissement de l'atmosphère<sup>56</sup> a été élaboré afin de remplacer l'actuel Règlement sur la qualité de l'atmosphère. Il est actuellement entre les mains de la haute direction du MDDEP et une décision quant à son avenir devrait être prise au cours des prochains mois<sup>57</sup>.

L'article 72 de ce projet de règlement spécifie qu'un appareil de combustion utilisant le bois, les résidus de bois ou les déchets de fabrication de pâtes et papiers, seuls ou combinés avec un combustible fossile, ne doit pas émettre dans l'atmosphère des particules au-delà des valeurs limites prescrites au tableau 18.

**Tableau 18 : Valeur limite d'émission de particules prescrite par le projet de règlement sur l'assainissement de l'atmosphère selon la puissance de l'appareil de combustion**

Puissance nominale (MW)	Combustible utilisé	Valeur limite d'émission de particules (mg/Nm <sup>3</sup> de gaz sec aux conditions de référence <sup>58</sup> )	
		Appareil existant	Nouvel appareil
≥ 3 et ≤ 10	Bois ou résidus de bois, utilisés seuls ou avec un combustible fossile	340	340
≥ 10		100	70
< 3	Déchets de fabrication de pâtes et papiers, utilisés seuls ou avec un combustible fossile	100	70

Source : « Projet de Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère », *Gazette officielle du Québec*, 16 novembre 2005.

La concentration des contaminants émis est exprimée sur une base sèche et corrigée à 7 % d'oxygène, selon la formule détaillée à l'article 76 du projet de règlement.

56. [www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/reg-assain-air.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/reg-assain-air.pdf).

57. MDDEP, novembre 2010.

58. Les conditions de référence se rapportent à une température de 25 °C et à une pression de 101,3 kPa.

Dans ce règlement, on prévoit aussi :

Article 73, chapitre 7, section IV

☞ qu'un nouvel appareil de combustion, dont la puissance nominale est supérieure à 15 MW, qui utilise pour au moins 50 % de l'apport calorifique des combustibles visés à l'article 62 (c.-à-d. (1) gaz (2) mazout léger (3) mazout lourd avec contenu en azote < 0,35 % et (4) mazout lourd avec contenu en azote > 0,35 %), ne doit pas émettre dans l'atmosphère des oxydes d'azote (NO<sub>2</sub>) au-delà des valeurs limites prescrites au premier alinéa de cet article au regard de la capacité calorifique nominale supérieure à 30 MW, c'est-à-dire :

Combustible	Valeur limite d'émission (grammes NO <sub>2</sub> /GJ fournis par le combustible)
1	40
2	50
3	90
4	125

Article 79, chapitre 7, section IV

☞ que dans le cas où les gaz de combustion d'un appareil visé à l'article 72 sont utilisés pour le séchage de bois ou de résidus de bois destinés à servir de combustibles (voir la section précédente), les émissions de particules du séchoir sont réputées faire partie de celles de l'appareil de combustion qui y est relié et elles sont régies par les dispositions de la présente section.

Article 154, chapitre 10, section IV

☞ qu'un four à charbon de bois ou une autre installation de pyrolyse de bois ou de résidus de bois ne doit pas émettre dans l'atmosphère des particules au-delà de la valeur limite de 225 mg/Nm<sup>3</sup> de gaz sec non dilué, aux conditions de référence.

En ce qui a trait aux cendres de combustion et aux poussières captées par les systèmes d'épuration des gaz de combustion, elles sont considérées comme des matières résiduelles non dangereuses au sens du Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles<sup>59</sup>. Elles peuvent donc être jetées dans un lieu d'enfouissement régional autorisé par le MDDEP ou valorisées autrement.

En mai 2009, le MDDEP adoptait le Règlement sur les appareils de chauffage au bois<sup>60</sup>, qui vise à interdire la fabrication, la vente et la distribution au Québec d'appareils non conformes à au moins l'une des normes suivantes :

1. la norme CAN/CSA-B415.1, intitulée Essais et rendement des appareils de chauffage à combustibles solides et publiée par l'Association canadienne de normalisation (ACNOR);
2. la norme intitulée Standards of Performance for New Residential Wood Heaters, 40 CFR 60, subpart AAA, publiée par la United States Environmental Protection Agency (EPA).

59. [www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q\\_2/Q2R19.htm](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R19.htm).

60. [www.mddep.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/reglement.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/reglement.pdf).

Ce règlement s'applique aux poêles, aux fournaies, aux chaudières et aux foyers encastrables ou préfabriqués conçus pour ne brûler que du bois sous toutes ses formes. Il ne s'applique toutefois pas aux appareils suivants :

- ↗ un foyer destiné à être utilisé exclusivement à l'extérieur d'un bâtiment;
- ↗ une chaudière ou une fournaie d'une puissance nominale de plus de 2 MW (voir le décret pour mettre 150 kW);
- ↗ un évaporateur acéricole;
- ↗ un appareil de chauffage au bois destiné exclusivement à l'exportation hors du Québec.

Les dispositions du présent règlement sont entrées en vigueur le 1<sup>er</sup> septembre 2009. Toutefois, en raison des retards dans la publication de la norme révisée CSA-B415.1, elles n'ont été appliquées aux fournaies et aux chaudières qu'à partir du 1<sup>er</sup> avril 2011<sup>61</sup>.

Certains documents consultés pour la section 4.1 se trouvent à l'annexe C.

## 4.2 Gazéification

Le procédé de gazéification des matières solides, entre autres du charbon minéral, a été conçu par les Allemands pendant la Seconde Guerre mondiale. Pour maintenir leur flotte guerrière en mouvement, ces derniers ont comblé le manque de pétrole par des gaz générés grâce à la gazéification du charbon. Aussi, plusieurs millions de véhicules ont été équipés de gazogènes. La gazéification a également été utilisée sur le plan industriel pour la production de méthanol à partir du charbon.

La gazéification du charbon minéral est encore largement utilisée à l'échelle industrielle pour produire de l'électricité. Aujourd'hui, cette technique de valorisation constitue une voie privilégiée pour la production d'énergies renouvelables, en particulier la gazéification de la biomasse, qui a l'avantage de présenter un bilan carboneutre.

Malgré cela, il existe, à l'heure actuelle, relativement peu d'usines de gazéification de la biomasse forestière de taille industrielle. Les promoteurs de cette voie de valorisation travaillent actuellement à améliorer les performances techniques et économiques de leur procédé. L'avenir de cette filière semble extrêmement prometteur, car elle est très convoitée par des recycleurs de différents déchets solides, comme les déchets municipaux, les bois de construction et de démolition, et les résidus industriels.

La gazéification est un procédé qui permet de convertir, sous l'effet de la chaleur (température à plus de 700 °C) et en présence d'une quantité contrôlée d'oxygène, toute la matière organique en gaz riche en monoxyde de carbone (CO) et en hydrogène (H<sub>2</sub>). Il s'agit d'une oxydation

---

61. Règlement sur les appareils de chauffage au bois : les fabricants de fournaies et de chaudières au bois auront un an de plus pour se conformer au règlement ([www.mddep.gouv.qc.ca/infuseur/imprimer\\_communique.asp?no=1633](http://www.mddep.gouv.qc.ca/infuseur/imprimer_communique.asp?no=1633)).

partielle si on la compare à la combustion, qui, elle, est une oxydation totale. La gazéification a lieu dans un gazogène (réacteur qui a la forme d'un silo).

Le mélange de gaz obtenu, appelé gaz de synthèse (ou syngaz, gaz pauvre), contient environ 20 % d'hydrogène et de monoxyde de carbone et, dans une moindre mesure, du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>), du méthane (CH<sub>4</sub>) ainsi que divers contaminants, comme des particules de charbon, des cendres et du goudron<sup>62</sup>. Les réactions de gazéification doivent se produire à haute température afin de minimiser la formation de goudron dans les gaz de synthèse. Une fois purifiés, selon le rapport CO/H<sub>2</sub> et le catalyseur employé, les gaz de synthèse peuvent être utilisés comme matière première pour la fabrication d'alcool, d'éthers et d'hydrocarbures.

La gazéification peut être effectuée en injectant de l'air, de l'oxygène, de la vapeur d'eau ou encore un mélange de ces derniers. Lorsque c'est l'air qui est utilisé, le gaz de synthèse produit donne une faible valeur calorifique (PCS de 4 à 7 MJ/Nm<sup>3</sup>). Il peut cependant être employé dans des chaudières, des moteurs à combustion internes (MCI) et des turbines. Lorsque la gazéification se déroule en présence d'oxygène ou d'air enrichi d'oxygène, le gaz de synthèse produit offre une valeur calorifique moyenne (PCS de 10 à 18 MJ/Nm<sup>3</sup>). La gazéification à l'aide de l'air est la technologie la plus utilisée, car elle est plus simple et n'implique pas des coûts liés à la production et à l'usage d'oxygène.

Il existe différents types de gazogènes (ou réacteurs de gazéification) : fours tournants, à lit fixe, à lit fluidisé, à lit entraîné, à plasma, etc. Ces réacteurs se différencient par les dispositifs utilisés pour supporter le combustible solide dans l'enceinte réactionnelle, le sens de l'écoulement de la charge et de l'oxydant, et la source de chaleur utilisée.

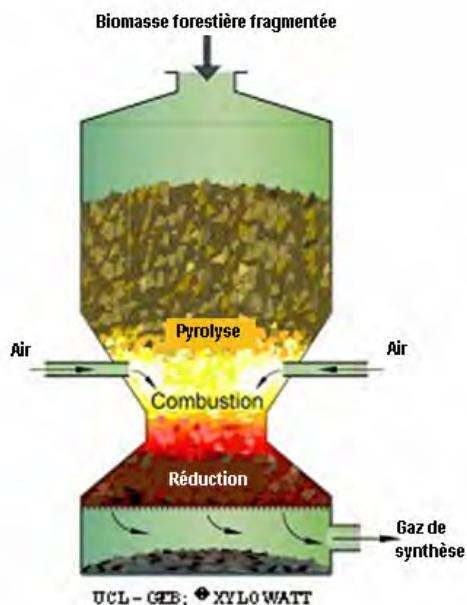
Les technologies de gazéification présentes sur le marché sont :

- ↻ Les gazogènes verticaux à lit fixe, de types à contre-courant ou à cocourant, avec extraction de cendres sèches ou fondues. Ils ont généralement des capacités inférieures à 10 MW et produisent un gaz de synthèse contenant une concentration de goudrons relativement élevée;
- ↻ Les gazogènes à lit fluidisé (lit dense, lit fluidisé circulant atmosphérique (CFB), ou pressurisé, lit rotatif). Ils ont généralement des capacités supérieures à 10 MW et produisent un gaz de synthèse contenant une faible concentration de goudrons;
- ↻ Les gazogènes à lit entraîné, qui fonctionnent à des températures extrêmes (1 200 à 2 000 °C) et produisent des gaz de synthèse exempts de goudron;
- ↻ La pyrogazéification à deux étages;
- ↻ La gazéification au plasma.

Les gazogènes à lit fixe de type à cocourant sont les plus populaires (figure 19).

---

62. Il ne faut pas confondre gaz de synthèse et biogaz. Les gaz de synthèse obtenus par gazéification (H<sub>2</sub> et CO) ont une composition très différente de celle du biogaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et autres), produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène.

**Figure 19 : Schéma d'un gazogène vertical à lit fixe de type à cocourant**

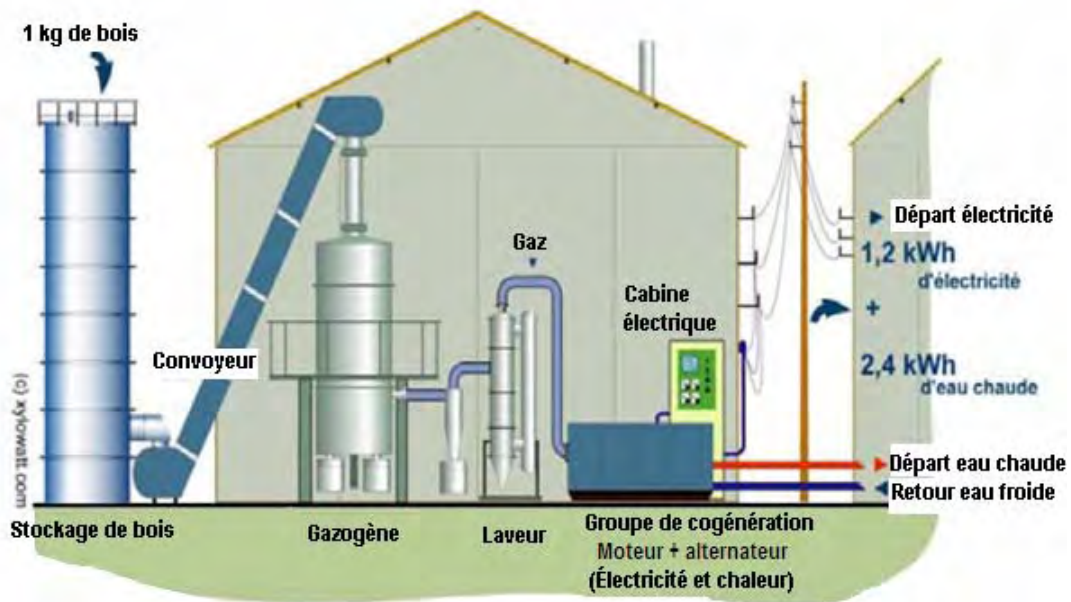
Source : Adapté de XYLOWATT SA.

La figure 20 présente une installation de gazéification de taille modeste proposée par la compagnie belge XYLOWATT SA ([www.xylowatt.com](http://www.xylowatt.com)). La biomasse forestière est tout d'abord réduite en broyats ou en copeaux, à la granulométrie nécessaire au procédé (de façon générale, plus la granulométrie de la biomasse est petite, plus la transformation est facile). Au besoin, elle est séchée, pour abaisser son taux d'humidité à environ 20 %, puis stockée dans une réserve afin d'assurer l'autonomie de l'installation.

Le bois fragmenté alimente le gazogène, dans lequel on provoque une combustion incomplète du bois en contrôlant l'alimentation en air du foyer.

De la masse initiale de bois, il ne reste que 1 à 3 % de cendres. Tout le reste est transformé en gaz de synthèse. Celui-ci contient cependant de fines particules et des goudrons, non compatibles avec le fonctionnement optimal du MCI servant à faire tourner l'alternateur et à produire de la chaleur. Le gaz de synthèse doit donc être dégoudronné, dépoussiéré et lavé avant d'être utilisé. Des laveurs humides peuvent être utilisés à cette fin; en faisant barboter le gaz de synthèse dans l'eau, on arrive à retirer une bonne partie de ses impuretés. Par la suite, un système de filtration retient l'humidité et les impuretés résiduelles.

Figure 20 : Installation de gazéification de la biomasse forestière



Source : Adapté de XYLOWATT SA.

Dans l'installation illustrée à la figure 20, le moteur (ici, il s'agit d'un moteur à combustion interne<sup>63</sup>, mais cela pourrait aussi être une turbine à gaz [figure 21]), alimenté en gaz de synthèse « lavé et refroidi », actionne un alternateur. L'électricité produite peut être consommée localement ou acheminée vers un réseau. La chaleur provenant du refroidissement du gaz de synthèse et du MCI et de ses gaz d'échappement peut alimenter un procédé industriel.

63. Caterpillar ([www.cat.com/power-generation/generator-sets/gas-generator-sets](http://www.cat.com/power-generation/generator-sets/gas-generator-sets)) et Jenbacher GE ([www.gepower.com/prod\\_ser/products/reciep\\_engines/en/index.htm](http://www.gepower.com/prod_ser/products/reciep_engines/en/index.htm)) sont deux importants fournisseurs de MCI pouvant fonctionner avec du gaz de synthèse. Les moteurs diesel ont besoin d'au moins 10 à 20 % de carburant diesel pour parvenir à l'allumage du gaz de synthèse. La cote de puissance d'un moteur diesel consommant du gaz de synthèse doit être diminuée d'environ 30 %.

**Figure 21 : Moteur à gaz**

Source : Jenbacher GE.

### Défis technologiques

L'élimination efficace des goudrons contenus dans le gaz de synthèse reste encore un défi important pour les promoteurs de la gazéification. Différentes approches physiques, thermiques (dont le procédé plasma), catalytiques et biologiques (dont des filtres biologiques) sont actuellement en développement ou en raffinement pour réduire la teneur en goudrons du gaz de synthèse. Il faut non seulement déployer beaucoup d'effort, de temps et d'argent, mais aussi faire appel au génie pour innover dans la configuration des gazogènes et optimiser leurs paramètres d'exploitation afin de diminuer la formation de ces substances.

### Applications

Le gaz de synthèse est principalement destiné à une utilisation immédiate sur les lieux, le gazogène faisant partie intégrante de l'installation de production de chaleur ou de cogénération (comme on vient de le voir dans l'installation de XYLOWATT SA). Il est soit directement brûlé dans une chaudière, soit utilisé pour alimenter un MCI, dans de petites unités stationnaires, ou des turbines à gaz, dans de plus grandes centrales<sup>64</sup>.

La combustion du gaz de synthèse dans une chaudière à gaz est l'application la plus simple, car le gaz n'a pas à être refroidi, ni débarrassé des goudrons et des poussières. L'utilisation d'un MCI ou d'une turbine à gaz stationnaires requiert cependant que ces impuretés soient retirées afin d'éviter toute détérioration des composants internes, notamment des ailettes de la turbine.

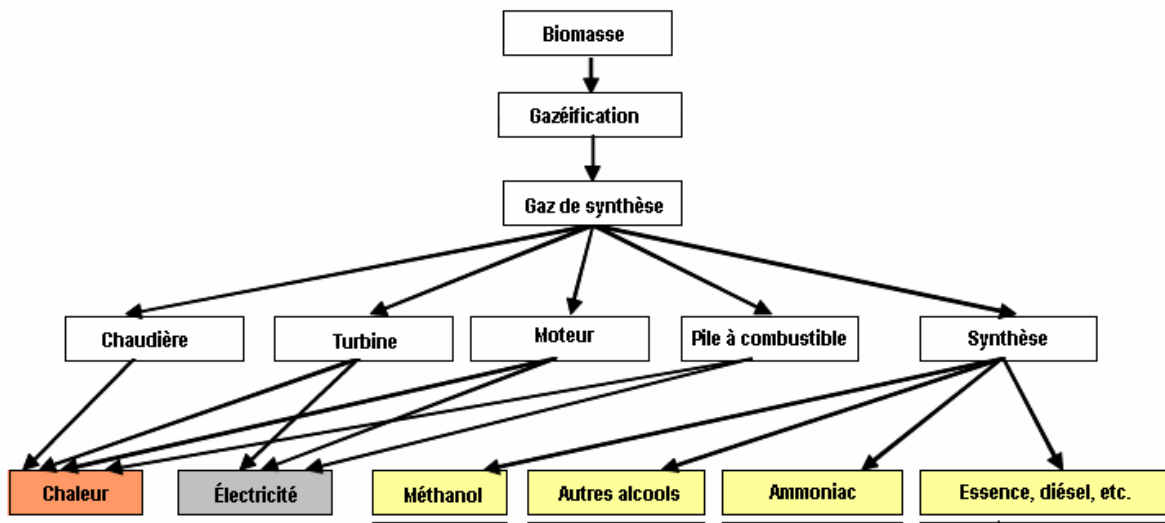
Mis à part son utilisation pour la production de chaleur ou d'électricité, le gaz de synthèse peut être valorisé par l'extraction de nombreux produits chimiques et biocarburants, utiles dans le secteur des transports. Cette valorisation est possible grâce à des procédés de transformation thermocatalytiques, dont le procédé Fischer-Tropsch (FT) (photo 13).

---

64. Dans certaines installations de plus grande taille, l'énergie résiduelle contenue dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz peut être captée par un récupérateur de chaleur et utilisée dans une turbine à vapeur (centrales à cycle combiné avec un rendement électrique proche de 40 %).

La figure 22 illustre différentes voies de valorisation énergétique de la biomasse à partir de la gazéification. Différents produits ou familles de produits obtenus par procédés thermocatalytiques apparaissent dans les cases jaunes soulignées au bas de la figure.

**Figure 22 : Différentes voies de valorisation énergétique de la biomasse au moyen de la gazéification**



Source : Traduit et adapté de *Polygeneration in Europe*, 2008.

Avant d'être acheminé vers les procédés de transformation, le gaz de synthèse doit passer par les étapes de traitement suivantes :

- ↪ Séchage;
- ↪ Purification, afin d'enlever les contaminants qui peuvent nuire aux catalyseurs;
- ↪ Compression à 20 à 30 bar.

Le procédé FT est l'un des procédés de transformation thermocatalytiques couramment utilisés dans l'industrie. Il a été conçu en 1920 en Allemagne et a été largement utilisé en Afrique du Sud pendant le blocus contre le régime d'apartheid, afin de subvenir aux besoins en carburant des automobiles. Plusieurs usines de gazéification fonctionnent encore aujourd'hui en transformant le charbon minéral en combustible.



---

**Photo 13 : Réacteur Fischer-Tropsch**

---



Source : Statoil, [www.statoil.com/en/ouoperations/pages/default.aspx](http://www.statoil.com/en/ouoperations/pages/default.aspx).

Dans le procédé FT, les gaz réactifs CO et H<sub>2</sub> réagissent entre eux en présence d'un catalyseur en formant des hydrocarbures majoritairement paraffiniques. Ceux-ci sont craqués en présence d'un catalyseur et d'hydrogène (hydrocraquage) pour former des hydrocarbures ayant une masse moléculaire relativement faible. Ces composés constituent les fractions d'essence et de diesel. La séparation de ces fractions se déroule dans une colonne de distillation.

L'intérêt de ce procédé est de produire, à partir du gaz de synthèse provenant de la biomasse, du carburant liquide synthétique (*synfuel*) (carburacteur [*jet fuel*], diesel, DME<sup>65</sup>, etc.). C'est un procédé extrêmement performant sur le plan du rendement, mais qui nécessite des

---

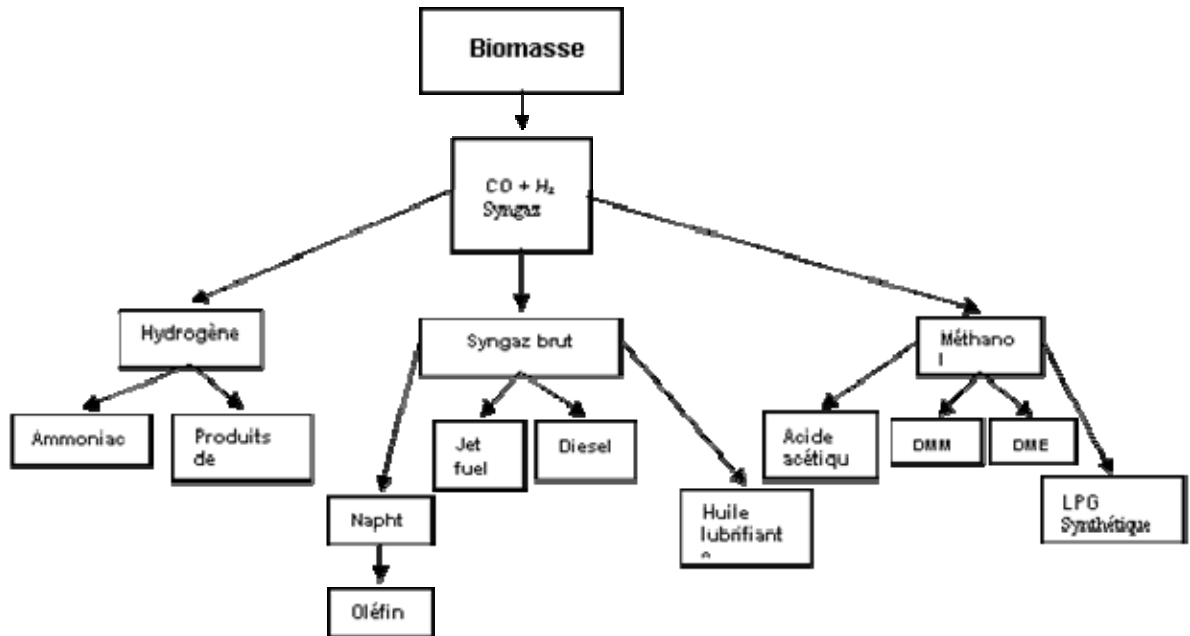
65. Le DME (éther diméthylque ou *dimethyl ether*) est un gaz propre, incolore, facile à liquéfier et à transporter. Il présente un potentiel remarquable comme combustible à usage industriel, comme carburant pour les véhicules diesels et dans la génération d'électricité. Grâce, notamment, à sa combustion sans suie, il permet aux moteurs de réduire très fortement leurs émissions de polluants pour répondre aux nouvelles normes mondiales. Sa production à partir de la biomasse permet de réduire encore plus son impact sur le climat. La pétrolière Total et le groupe Volvo participent au projet européen BioDME (2008-2012), qui vise à démontrer la faisabilité technique de la fabrication et de l'approvisionnement de ce biocombustible gazeux. Dans ce projet, la production du DME est réalisée par gazéification de la liqueur noire (sous-produit de l'industrie de la pâte à papier). Mais le DME peut également être synthétisé à partir du gaz de synthèse produit par la biomasse forestière.

Source : Total poursuit activement la promotion du DME en participant à un projet européen à partir de la biomasse, [www.infos-industrielles.com/dossiers/1689.asp](http://www.infos-industrielles.com/dossiers/1689.asp).

investissements très élevés, ce qui le rend économiquement vulnérable aux fluctuations à la baisse du cours du pétrole.

La figure 23 présente plusieurs possibilités de transformation du syngaz.

**Figure 23 : Production de carburants et de produits chimiques à partir du syngaz**



Source : Traduit et adapté de *1<sup>st</sup> to 2<sup>nd</sup> Generation Biofuel Technologies*, IEA Bioenergy, November 2008.

DMM = Diméthoxyméthane

Il existe deux approches basées sur les conditions d'exploitation du procédé FT (température et pression) :

#### ↗ High Temperature Fischer-Tropsch Synthesis (HTFT)

Généralement, ce procédé se déroule à des températures de 300 à 350 °C et à une pression de 20 à 40 bar. Ces paramètres permettent d'obtenir des produits légers comme l'éthylène et le propylène.

#### ↗ Low Temperature Fischer-Tropsch Synthesis (LTFT)

Les températures utilisées dans ce procédé varient de 200 à 220 °C et la pression est inférieure à 20 bar. Cette technologie permet de produire des fractions d'hydrocarbures relativement plus lourdes, comme celles constituant le diesel pétrolier.

Les catalyseurs qui sont utilisés dans le procédé FT sont à base de fer, de cobalt, de nickel et de ruthénium. Pour des raisons purement économiques, ceux à base de fer (HTFT) et à base de cobalt (HTFT et LTFT) sont les plus couramment utilisés.

En Europe, plusieurs usines pilotes pour la production de carburants synthétiques ont récemment été construites, la première étant une unité de production de diesel de synthèse, bâtie en 2005, en Allemagne. Une autre, d'une capacité de 30 l/jour, a suivi en Autriche. Depuis, plusieurs usines, pilotes ou non, pour la production de ce biocarburant ont été mises en service<sup>66</sup>.

Le procédé Carbo-V, inventé par l'entreprise allemande [CHOREN Industries GmbH](#) pour la production du SunDiesel® (biodiesel) à partir de biomasse, est un exemple de ce qui peut être réalisé grâce à la synthèse des gaz obtenus au cours de la gazéification (FT-diesel). L'usine de production commerciale de [CHOREN Fuel Freiberg GmbH & Co. KG](#) devait commencer ses activités à la fin 2010. Elle est en mesure de produire 14 000 t/an de FT-liquide (soit 18 millions de litres de FT-liquide par an) en consommant 65 000 tonnes de biomasse (sous-produits de scieries et biomasse forestière résiduelle). La consommation de cette quantité de biocarburant (en substitution des carburants fossiles) permettra de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 40 000 tonnes par année.

Aux États-Unis, la technologie de la gazéification est de plus en plus exploitée, soutenue par des subventions de plusieurs millions de dollars allouées par le Department of Energy (DOE). Cette aide permettra aux chercheurs de trouver des solutions quant à l'élimination des goudrons contenus dans le gaz de synthèse.

Voici quelques détenteurs de technologies de gazéification :

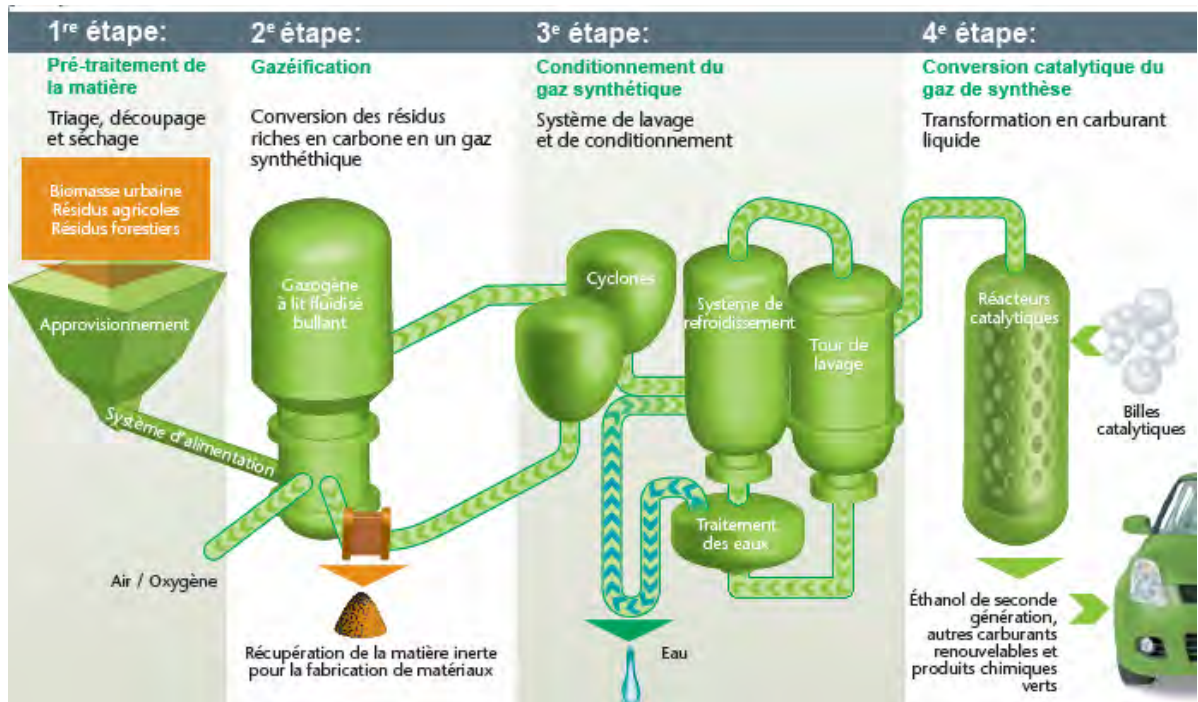
↗ [Enerkem inc.](#) (Québec)

Enerkem inc. a conçu une méthode de gazéification et de conversion catalytique du gaz de synthèse et elle exploite depuis 2003 une usine pilote, à Sherbrooke, produisant des biocarburants de transport de deuxième génération (méthanol, éthanol cellulosique).

---

66. Bacovsky, Dallos, Wörgetter, *Status of 2<sup>nd</sup> Generation Biofuels Demonstration Facilities*, T39-P1b, 27 July, 2010.

Figure 24 : Schéma du procédé d'Enerkem



Source : Adapté d'Enerkem inc., [Procédé](#).

Une première usine de démonstration commerciale d'une capacité annuelle de cinq millions de litres d'éthanol cellulosique a commencé ses activités en mai 2009, à Westbury (Québec). L'usine est située près d'une scierie qui recycle des poteaux électriques usagés. Enerkem utilise la portion non réutilisable de ces poteaux pour créer des produits utiles tels que le biométhane et l'éthanol (pour voir une présentation vidéo sur cette usine, [cliquez ici](#)).

Enerkem Alberta Biofuels (EAB) a signé une entente de 25 ans avec la Ville d'Edmonton pour la construction et l'exploitation d'une usine qui produira annuellement 36 millions de litres de méthanol et d'éthanol de nouvelle génération faits à partir de 100 000 tonnes de matières résiduelles non recyclables et non compostables. Sa mise en service est prévue pour la fin 2011<sup>67</sup>.

À noter également que :

- Enerkem travaille avec FPInnovations à intégrer son procédé de gazéification à une usine de pâte.
- En décembre 2009, le projet d'Enerkem Corporation, filiale américaine d'Enerkem, se voyait accorder 50 M\$ US par le gouvernement américain pour la construction et l'exploitation d'une usine d'éthanol située dans l'État du Mississippi pouvant produire 36 millions de litres

67. Site Web d'Enerkem.

par an à partir de 300 t/jour de résidus de bois et de déchets urbains. La construction de l'usine devrait débuter en 2011.

↗ [PyroGenesis Canada inc.](#) (Québec)

L'entreprise PyroGenesis Canada inc. a conçu un procédé qui utilise l'énergie du plasma pour transformer la fraction organique des résidus en gaz de synthèse (syngaz) et la fraction inorganique en « vitrifiat » qui peut être utilisé comme matériau de charge inerte pour certains produits de la construction (béton, asphalte, etc.). Cette technologie comprend les étapes suivantes : prétraitement de la matière première, gazéification primaire, purification du gaz de synthèse obtenu de la gazéification primaire, gazéification secondaire, purification du gaz obtenu de la gazéification secondaire et vitrification.

La technologie PyroGenesis se distingue par rapport aux autres technologies qui fonctionnent au plasma par l'utilisation d'une gazéification secondaire qui se déroule dans une tuyère à plasma éducteur spécialement conçue pour convertir les goudrons et les produits de décomposition condensables provenant de la gazéification primaire en CO et en H<sub>2</sub>.

Selon les représentants de la compagnie PyroGenesis Canada inc., cette technologie pourrait être appliquée à tous les types de déchets. L'entreprise exploite actuellement une usine de traitement des déchets de 10,5 t/jour, située sur une base militaire de la US Air Force, en Floride. Une usine pilote de traitement des déchets d'une capacité de 2 t/jour est en exploitation à Montréal.

↗ [Nexterra Systems Corp.](#) (Colombie-Britannique)

Le système de gazéification de la compagnie Nexterra Systems Corp. est constitué de quatre parties principales : un système d'alimentation en biomasse (1), un gazogène (2), un système automatique d'évacuation des cendres (3) et un système d'évacuation de syngaz (4) (figure 25).

La compagnie travaille à l'amélioration de sa technologie et à la diversification de ses applications. Ses activités de recherche et développement visent l'élargissement de la gamme de combustibles utilisables, l'amélioration des performances du gazogène et l'utilisation directe du syngaz pour la production de chaleur ou d'énergie. Ses projets de développement sont effectués dans une usine qui est en service depuis 2004, à Kamloops, en Colombie-Britannique.

Plusieurs usines de gazéification utilisant la technologie Nexterra sont en cours de construction, tandis que d'autres sont déjà en activité. L'unité de gazéification de la compagnie Kruger Products LP, à New Westminster, en Colombie-Britannique, est l'une d'elles. Cette usine utilise de la biomasse forestière résiduelle et des résidus de construction préalablement triés pour produire environ 18 150 kg/h (40 000 lb/h) de vapeur à basse pression pour des besoins de chauffage.

**Figure 25 : Schéma d'un gazogène Nexterra**

---

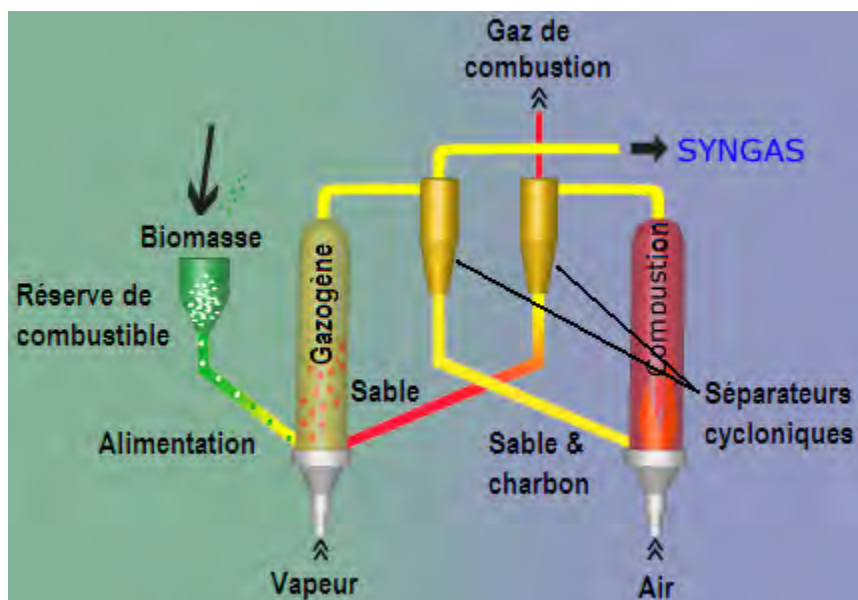


Source : [Nexterra Systems Corp.](http://www.nexterra.com)

↗ [Rentech Inc.](http://www.rentech.com) (Californie)

Le procédé de l'entreprise Rentech Inc. (figure 26) regroupe la gazéification de la biomasse et la technologie de transformation du syngaz en hydrocarbures basée sur la chimie du procédé FT. L'originalité de cette technologie, fruit d'une trentaine d'années de perfectionnement, se trouve dans la composition du catalyseur, dans la conception du réacteur et dans le choix des paramètres de synthèse des carburants.

Figure 26 : Schéma du procédé SilvaGas de Rentech Inc.



Source : Traduit et adapté de Rentech Inc.

Le procédé de gazéification SilvaGas, testé à échelle pilote durant plus de 22 000 heures, est très polyvalent quant à la nature des intrants qu'il permet de valoriser (bois, résidus agricoles, déchets municipaux, restes animaux). La chaleur des gaz de combustion peut être récupérée pour le séchage de la biomasse, le chauffage urbain ou la production de vapeur.

🔗 [ThermoChem Recovery International Inc.](#) (Maryland)

La technologie de ThermoChem Recovery International Inc. (TRI) est également très polyvalente quant à la nature des intrants qu'elle permet de valoriser. Le syngaz produit est de bonne qualité et possède une valeur calorifique élevée. Le système de gazéification est énergétiquement autosuffisant et les différentes versions offertes permettent de traiter de 500 à 2 000 tonnes de biomasse par jour.

Une unité commerciale de gazéification de la liqueur noire (photo 14) a été installée à l'usine de la compagnie Norampac, située à Trenton, en Ontario. Elle fonctionne à plein régime depuis octobre 2006. Cette technologie sera utilisée à l'usine de Flambeau River Biofuels, au Wisconsin.

**Photo 14 : Unité de gazéification de Norampac (Trenton, Ontario)**

---



Source : ThermoChem Recovery International Inc.

↗ [Ebara Corporation](#) (Japon)

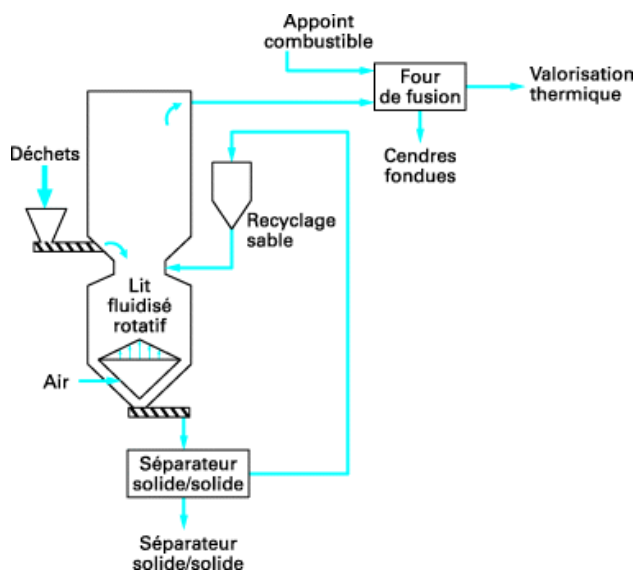
Les principaux composants du procédé Ebara TwinRec (figure 27) sont :

- ↗ Un gazogène à lit fluidisé rotatif avec une grille inclinée permettant la séparation des solides non combustibles des fractions métalliques à recycler. Les températures de fonctionnement varient de 600 à 800 °C et les pressions, de 0,5 à 1,6 MPa;
- ↗ Une chambre séparée de postcombustion cyclonique à haute température. Les températures de fonctionnement varient de 1 300 à 1 500 °C et les pressions, de 0,5 à 1,6 MPa;
- ↗ Une cellule de vitrification des cendres.

Ce procédé permet de traiter des résidus organiques solides, comme les déchets municipaux solides, les rebuts de broyage d'automobiles et les résidus forestiers.



Figure 27 : Schéma du procédé Ebara RFB (Japon)



Source : Techniques de l'ingénieur.

↗ [Lurgi Energie und Umwelt GmbH et Lurgi CFB](#) (Allemagne) (Lurgi est membre du groupe Air Liquide.)

Le procédé Lurgi British Gas Lurgi (BGL) utilise le processus de gazéification à courant ascendant, c'est-à-dire que la matière première est introduite par le haut du réacteur à lit fixe. En descendant, elle entre en contact avec le flux d'air qui remonte à contre-courant.

Une autre technologie conçue par Lurgi CFB utilise un réacteur à lit fluidisé. Dans ce cas, la biomasse est introduite par le bas du réacteur et est maintenue en suspension par les agents de gazéification (mélange d'oxygène et de vapeur d'eau ou d'oxygène et de CO<sub>2</sub>). Les températures de réaction varient de 800 à 1 050 °C et la pression doit être supérieure à 1,15 bar. Les gaz produits sont entraînés avec les gaz de fluidisation. Il y a peu de craquage des fractions lourdes.

Plusieurs usines exploitent les procédés Lurgi :

↗ Procédé Lurgi BGL : une usine en Hollande, une en Autriche, deux en Allemagne et une en Italie;

↗ Procédé Lurgi CFB : une usine en Allemagne et une en Australie.

Certains des documents consultés pour la section 4.2 se trouvent à l'annexe D.

### 4.3 Carbonisation

Il faut distinguer le charbon de bois (biochar, biocharbon, *biocoal*, charcoal) du charbon minéral (charbon, *coal*) et de la houille (*pitch*, *coal tar*). Le charbon de bois est une matière riche en carbone, obtenue par décomposition thermique (carbonisation) des composants du bois, comme la cellulose. Le charbon minéral est une matière fossile, également riche en carbone. Cependant, contrairement au charbon de bois, il contient une quantité importante de soufre et de mercure. Sa combustion est donc très polluante par rapport à celle du charbon de bois, qui est considérée comme carboneutre.

La carbonisation du bois génère aussi une quantité importante de vapeurs constituées de gaz incondensables riches en CO<sub>2</sub>, en CO, en H<sub>2</sub> et en CH<sub>4</sub> et contenant du goudron. Celui-ci entraîne une perte de rendement du charbon et est une source de pollution pour l'air et l'eau.

Pour chaque application, le charbon de bois doit avoir des caractéristiques précises, atteintes grâce au contrôle que les différents procédés de production permettent d'obtenir. Les principales caractéristiques sont :

- ↻ la teneur en composés volatils, la plus faible possible;
- ↻ la teneur en carbone fixe, la plus grande possible;
- ↻ la granulométrie, selon l'usage (ex : fine pour la fabrication de charbon actif, moyenne pour la métallurgie et grosse pour le barbecue);
- ↻ la teneur en cendres, la plus faible possible;
- ↻ la teneur limitée en certains métaux comme le potassium, le calcium et le sodium, selon l'usage du charbon.

#### Procédés de production du charbon de bois

Il existe plusieurs technologies de production de biocharbon à partir de la biomasse. Les éléments suivants permettent de les distinguer :

- ↻ la conception du four;
- ↻ le mode de chauffage (chauffage interne, externe ou avec recirculation des gaz de combustion de vapeurs pyrolytiques);
- ↻ la pression maintenue dans le four (atmosphérique, pression partielle des vapeurs formées, haute pression, etc.);
- ↻ la matière première utilisée (granulométrie, essences de bois, bois recyclé, etc.);
- ↻ l'application visée du charbon fabriqué (industrie métallurgique, usage domestique, fabrication de carbures, etc.).

De nombreuses technologies sont commercialisées et plusieurs autres sont en développement. La plupart des procédés industriels sont brevetés.

### Procédés avec chauffage interne

Dans ce type de procédés, une partie du bois chargé dans le four sert à fournir la chaleur nécessaire à la carbonisation du reste de la charge. La quantité de bois consommée dépend de la quantité d'air admise dans le four par les trous d'admission d'air, de la charge de bois et de la cornue<sup>68</sup>. C'est le système le plus utilisé dans le monde. Il offre un bon rendement si les conditions d'utilisation sont bien respectées.

Les fours sont généralement fabriqués en béton ou en briques. Leur conception est simple et les coûts d'investissement sont très faibles<sup>69, 70</sup>. Les fours Missouri (photo 15), utilisés par les Américains, sont un exemple d'équipements mis en œuvre dans le procédé avec chauffage interne. Ils peuvent être alimentés en bois rond ou en pièces de bois provenant des scieries. Leur rendement varie de 20 % à 30 %, en fonction des conditions d'exploitation et de la matière première utilisée. Le cycle de production, qui est fonction de la période de refroidissement, varie de 25 à 30 jours.

### **Photo 15 : Four Missouri**

---



Source : « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221.

### Procédés avec chauffage externe

La technologie de carbonisation avec chauffage indirect ou externe est bien illustrée par le procédé VMR (Van Marion Retort) qui fait appel à deux réacteurs et à une chambre de combustion centrale (photo 16). Un contenant d'une capacité d'environ 4,5 m<sup>3</sup>, chargé de billes de bois, est placé dans le réacteur 1, puis chauffé grâce à une source d'énergie externe (gaz ou huile).

---

68. Cornue : enceinte en matériaux réfractaires dans laquelle on décompose le bois par chauffage.

69. « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221.

70. « Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal », *Renewable and Appropriate Energy Laboratory Report*, 2005, p. 19.

**Photo 16 : Fours de carbonisation VMR (Van Marion Retort)**

---



Source : « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221.

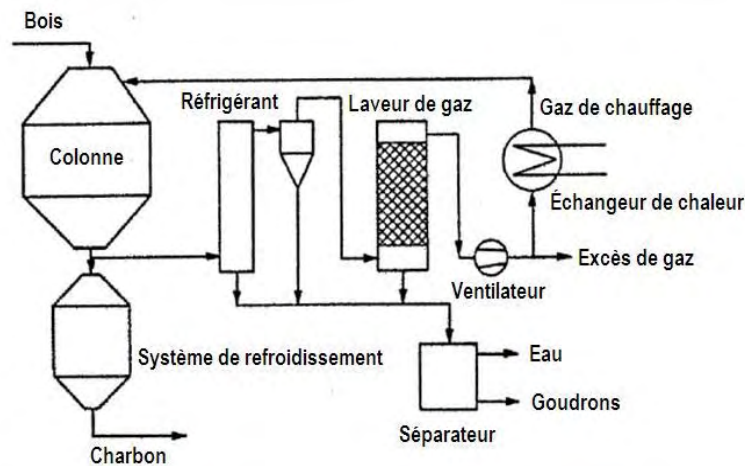
Quand la pyrolyse commence, les vapeurs pyrolyseuses sont envoyées vers la chambre de combustion, où elles sont brûlées pour générer de la chaleur qui servira à chauffer le second contenant, placé dans le réacteur 2. À ce moment, le brûleur (à gaz ou à l'huile) est arrêté. Quand la carbonisation est terminée dans le réacteur 1, son contenant avec le charbon est retiré et mis dans un endroit pour le laisser refroidir. Comme le procédé VMR fonctionne d'une façon alternative, les vapeurs formées dans un réacteur serviront de source de chaleur pour l'autre.

La durée totale de la carbonisation d'un contenant varie de 8 à 12 heures et le rendement du charbon, qui est fonction de la matière première utilisée et de son humidité, peut atteindre de 30 % à 32 %. Une unité de 12 réacteurs, fonctionnant 24 heures sur 24, a une capacité de production de 6 000 à 7 000 t/an et requiert trois travailleurs par quart de travail. En France, en Belgique et aux États-Unis, plusieurs usines utilisent cette technologie.

Procédés avec recirculation de gaz

Dans ce type de procédés, le transfert de chaleur est très élevé. En effet, le bois est chauffé par contact direct avec les gaz inertes chauds recirculés à l'aide de ventilateurs. Comme les gaz ne contiennent pas d'oxygène, il n'y a pas de combustion dans le réacteur. Durant le refroidissement, la chaleur peut être récupérée pour être utilisée dans le système.

Les procédés Reichert et Lambiotte sont les principaux procédés qui utilisent ce principe de carbonisation. Dans le réacteur du procédé Reichert (figure 28), les vapeurs de décomposition se déplacent à contre-courant de la matière première, entraînant avec elles l'humidité. Les gaz incondensables passent à travers les échangeurs de chaleur pour être réchauffés à la température de carbonisation (de 450 à 550 °C). L'excédent de gaz est utilisé pour chauffer les échangeurs de chaleur et pour présécher la matière première. La matière première est introduite dans la colonne sous forme de pièces ayant une longueur maximale de 30 cm et une épaisseur de 10 cm. Ce procédé est utilisé en Allemagne pour produire 24 000 tonnes de charbon à partir de 70 000 tonnes de hêtre.

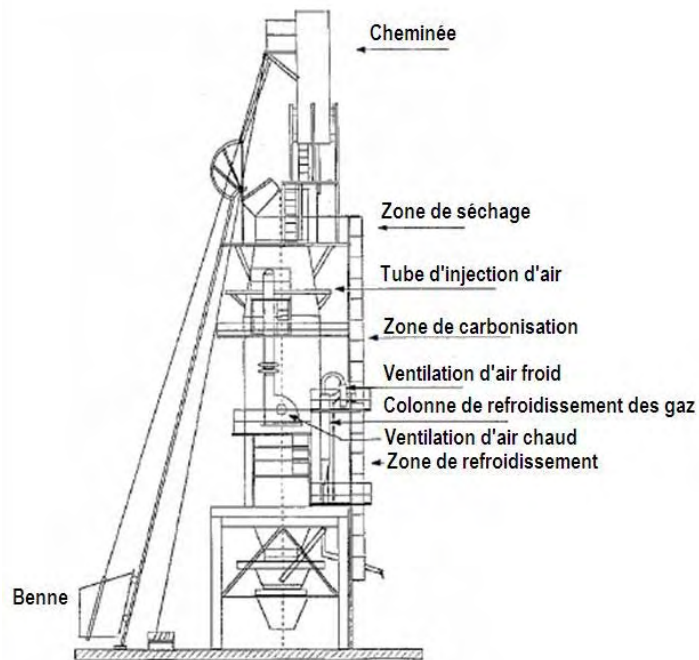
**Figure 28 : Schéma du procédé Reichert**

Source : Traduit de « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221.

Le procédé Lambiotte CISR (figure 29) convertit 7 000 tonnes de bois sec en 2 500 tonnes de charbon. Le fonctionnement de la colonne nécessite 25 kW d'électricité, de l'eau pour refroidir et laver les gaz et du gaz naturel pour amorcer le chauffage et maintenir le flux thermique en cas de déficit de gaz de décomposition. Il existe plusieurs usines qui utilisent cette technologie en Europe, notamment en France et en Belgique.

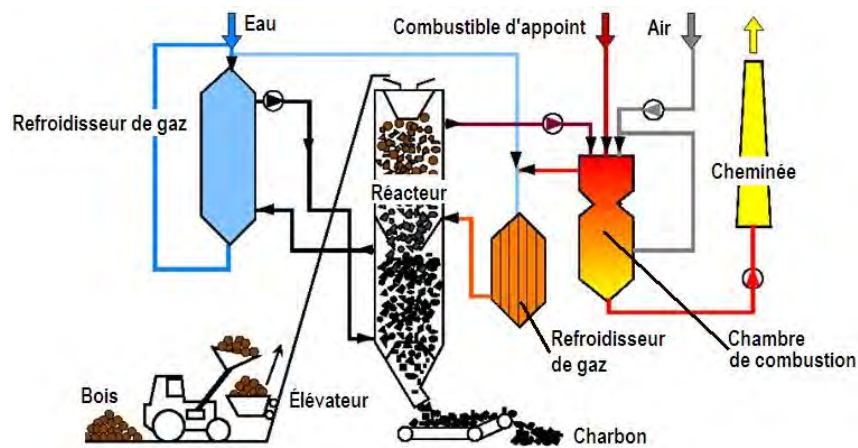
**Figure 29 : Four Lambiotte CISR**

---



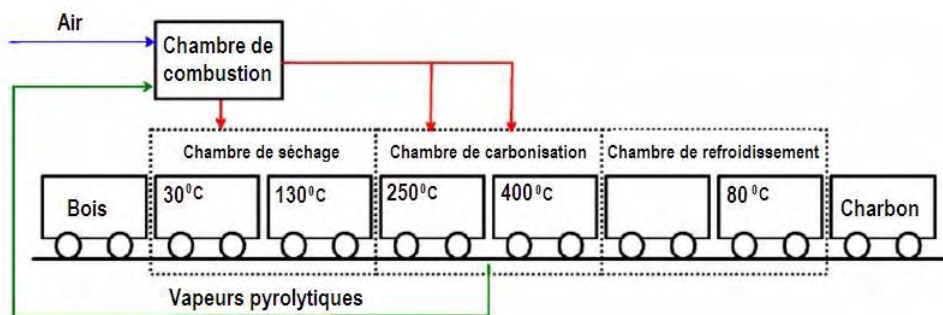
Source : « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221.

Un concept similaire a été utilisé par [Lurgi GmbH](#) en Australie (figure 30). Grâce à ce procédé, environ 27 000 tonnes de charbon sont produites annuellement dans deux réacteurs superposés.

**Figure 30 : Schéma du procédé Lurgi GmbH**

Source : Traduit et adapté de « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221.

La compagnie italienne Impianti Trattamento Biomasse (I.T.B. s.r.l.), exploite, en Italie, deux usines de production de charbon de bois ayant chacune une capacité de 6 000 t/an. Ces usines utilisent la technologie de carbonisation qui avait été conçue par O.E.T. Calusco s.r.l. (figure 31). Cette technologie utilise des wagons de capacité de 12 m<sup>3</sup> placés en série. Les wagons chargés de bois entrent dans un tunnel de 45 m de long et sortent chargés de charbon, de 25 à 35 heures plus tard.

**Figure 31 : Schéma du procédé I.T.B. s.r.l.**

Source : Traduit et adapté de « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221 et d'I.T.B.

### Procédé Flash Carbonization™

Un procédé relativement nouveau appelé Flash Carbonization™ a été conçu par l'Université d'Hawaï (UH)<sup>71, 72</sup>. Ce procédé utilise de hautes pressions pour produire du charbon à partir de la biomasse. Un réacteur de démonstration à l'échelle commerciale a été installé au campus de l'UH. Le rendement en carbone fixe, c'est-à-dire la quantité de carbone maximale que peut donner une matière première, peut atteindre la limite d'équilibre thermochimique après 20 à 30 minutes. Ce n'est pas tout le carbone qui se trouve dans la matière première qui se transforme en biocharbon. Il y a des pertes sous forme de composés volatils, de CO<sub>2</sub>, etc.

La capacité de production de ce réacteur peut atteindre 4 t/jour (pour une journée de 8 heures). Le coût de fabrication d'une telle installation avoisine 100 000 \$ US. La figure 32 illustre les principales étapes de conversion du procédé Flash Carbonization™.

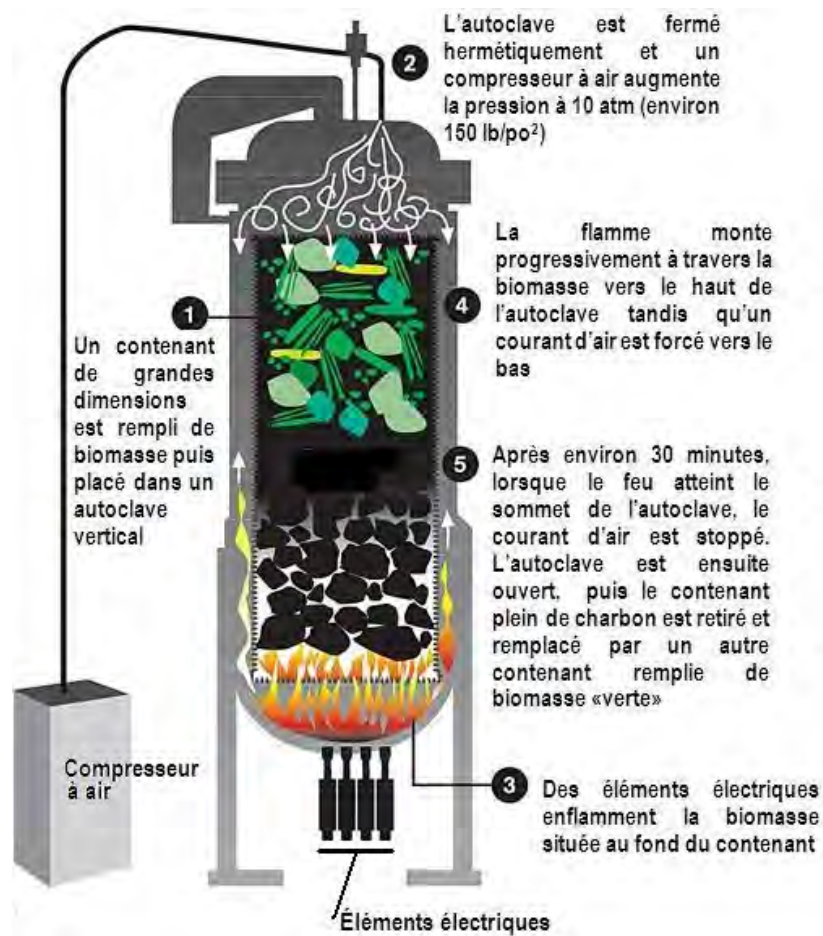
---

71. « Studies of the Flash Carbonization Process. 2. Violent Ignition Behaviour of Pressurized Packed Beds of Biomass: A Factorial Study », *Ind. Eng. Chem. Res*, 45, 2006, p. 3512-3519.

72. [Hawaii Natural Energy Institute, Renewable Resources Research Laboratory \(R3Lab\)](#).



Figure 32 : Schéma du procédé Flash Carbonization™



Source : Traduit et adapté de [Honolulu Advertiser.com](http://Honolulu Advertiser.com).

Le procédé Flash Carbonization™ est protégé par le brevet US 6790317. La première licence, délivrée en 2003, a donné à l'acquéreur les droits exclusifs de vendre le charbon produit par Flash Carbonization™ à l'industrie métallurgique aux États-Unis. Depuis, d'autres licences ont été délivrées pour différentes applications (Kingsford Products Co., Pacific Carbon and Graphite LLC, Carbon Diversion Inc.).

### Données de marché (charbon de bois)



Les applications du charbon de bois sont multiples, dans les secteurs comme la métallurgie, l'agriculture, la filtration ou comme combustible.

Source : [fr.wikipedia.org/wiki/charbon\\_de\\_bois](http://fr.wikipedia.org/wiki/charbon_de_bois).

### Métallurgie

Le charbon fournit de la chaleur (combustible) pour le haut fourneau et agit à la fois à titre de réducteur dans la production de fer à partir du minerai. La découverte de la possibilité d'utiliser du coke dans les hauts fourneaux a mis fin à l'usage intensif du charbon de bois par l'industrie sidérurgique<sup>73</sup>.

Or le charbon de bois pourrait à nouveau être utilisé par l'industrie sidérurgique. Au Canada, celle-ci utilise en moyenne 3,7 mégatonnes (Mt) de coke métallurgique par année dans ses hauts fourneaux. Des chercheurs du CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada ont démontré que le charbon de bois pourrait remplacer une partie de ce coke pour permettre à l'industrie de réduire de façon importante ses émissions de GES. Dans le meilleur des scénarios, 20 % du coke métallurgique serait remplacé par un carbone renouvelable, réduisant ainsi de 2,8 Mt les émissions de CO<sub>2</sub><sup>74</sup>.

Outre son utilisation comme agent réducteur, le charbon est employé en métallurgie pour la production d'alliages fer-silicium et du silicium pur, comme agent de purification des métaux non ferreux (cuivre, étain), pour la fabrication d'électrodes et pour l'enrichissement des minerais.

### Combustible

Le charbon de bois est utilisé dans plusieurs villes d'Afrique, d'Asie et d'Amérique du Sud pour la cuisson des repas et pour chauffer l'eau. Plus près de nous, il sert de combustible pour les barbecues.

---

73. Source : Wikipédia.

74. Source : CanmetÉNERGIE, *Systèmes énergétiques industriels. Technologies du charbon et du coke. Bio-Coke*, [canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/procedes\\_industriels/systemes\\_energetiques\\_-\\_indus/technologies\\_charbon\\_coke/biocoke.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/procedes_industriels/systemes_energetiques_-_indus/technologies_charbon_coke/biocoke.html).

Diverses autres applications, et non les moindres, du charbon de bois comprennent la fabrication de différents gaz pour des véhicules, pour des moteurs stationnaires et pour la carbonatation des liqueurs.

Voici d'autres utilisations, non énergétiques cette fois, du charbon de bois :

### Chimie

L'industrie chimique utilise le charbon de bois pour la fabrication de bisulfures de carbone, de cyanures de sodium et de carbures. Il peut également être utilisé comme additif dans la nourriture des animaux.

### Matériau réfractaire

Finement broyé et mélangé à volumes égaux avec de l'argile en poudre ainsi qu'avec un peu de sable, il donne un produit isolant et réfractaire (appelé brasque) permettant de faire des enduits de grande résistance thermique, en particulier dans la construction de petites forges individuelles.

### Amendement des sols

L'apport de charbon de bois permet d'accroître la fertilité des sols et les rendements agricoles en attirant les microorganismes utiles et en favorisant leur croissance, en conservant l'humidité (surtout efficace dans les sols macroporeux) et en préservant les éléments nutritifs du sol.

### Élément de filtration

La structure microporeuse du charbon de bois (renforcée dans le charbon activé) lui permet de retenir et de fixer de nombreuses molécules toxiques (des métaux lourds, notamment) issues de fumées ou présentes dans l'eau. Il peut aussi abriter une vie microbienne capable de contribuer à la dépollution de l'eau; c'est pourquoi de nombreux filtres de masque à gaz et à air ou à eau (ex. : filtres d'aquarium) contiennent du charbon de bois activé.



Source : <http://en.wikipedia.org/wiki/charcoal>.

Le charbon activé est aussi utilisé pour la récupération des solvants, dans les industries pharmaceutique et alimentaire, dans l'industrie du sucre et pour la carbonatation des liqueurs.

Au Québec, deux entreprises, soit Charbon de bois feuille d'érable inc. et Produits forestiers Basques inc., sont spécialisées dans la fabrication de charbon de bois. La production québécoise de charbon de bois était estimée à près de 5 000 tonnes métriques anhydres en 2008 (tableau 19).

**Tableau 19 : Production de charbon de bois au Québec, de 2005 à 2008**

Année	Production en tonnes métriques
2005	6 339
2006	7 217
2007	5 272
2008	4 937

Source : *Ressources et industries forestières : portrait statistique*, Édition 2010, MRNF.

Les tableaux 20 et 21 présentent quelques statistiques faisant état de la production et de la consommation de charbon de bois à l'échelle internationale. Des volumes importants sont produits au Brésil, en Éthiopie, en Inde, en Chine et en Thaïlande. L'Afrique et l'Amérique du Sud en sont les plus grands consommateurs.

**Tableau 20 : Production de charbon de bois dans certains pays sélectionnés<sup>75</sup>**

Pays	2006	2007	2008
	Milliers de tonnes métriques		
Brésil	8 794	9 194	8 364
Éthiopie	3 396	3 470	3 556
Inde	1 740	1 753	1 765
Chine	1 764	1 749	1 741
Thaïlande	1 294	1 310	1 326
États-Unis	902	902	917
Philippines	326	608	610
Afrique du Sud	189	189	702
Mexique	80	65	151
France	51	51	55
Japon	33	30	30
Australie	24	24	24
Italie	10	10	10
Pays-Bas	10	10	2
Royaume-Uni	5	5	5
Suisse	5	5	5
Suède	1	1	1
Finlande	0	0	0
Allemagne	ND	ND	2
Canada	ND	ND	ND

Source : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), [www.fao.org/forestry/country/en/](http://www.fao.org/forestry/country/en/).

75. Du charbon de bois est également produit dans de nombreux autres pays du monde.

**Tableau 21 : Consommation annuelle moyenne du charbon de bois dans les grandes régions du monde**

Région	2004 à 2008	
	Volume (en millions de tonnes métriques)	Pourcentage de la consommation mondiale
Afrique	24,3	53
Amérique du Sud	12,8	28
Asie	7,1	15
Amérique du Nord	0,9	2
Europe	0,6	1
Océanie	0,0	0
<b>Total</b>	<b>46,1</b>	<b>100</b>

Source : *Forest resources and Woody Biomass*, FAO.



Aux États-Unis, près de 921 800 tonnes de charbon de bois sont principalement utilisées pour les barbecues.

Source : [www.briquette-charbon-bois.com](http://www.briquette-charbon-bois.com).

**Tableau 22 : Consommation de charbon de bois de 2005 à 2010 (États-Unis)**

Année	Briquettes			Charbon de bois en morceaux
	Standards	Allumage rapide	Total	
	Tonnes métriques			
2005	616 886	233 146	850 032	89 993
2006	581 324	229 745	811 069	90 718
2007	580 598	221 353	801 951	99 881
2008	600 103	214 096	814 198	102 512
2009	601 282	222 623	823 905	99 790
2010	608 449	226 887	836 243	103 600

Source : Hearth, Patio & Barbecue Association (HPBA).

Certains des documents consultés pour la section 4.3 se trouvent à l'annexe E.

#### 4.4 Torrification

La torrification (photo 17) est un processus de pyrolyse « inachevé » qui est généralement caractérisé par<sup>76</sup> :

- ↪ une température de réaction variant de 200 à 320 °C;
- ↪ une pression atmosphérique, en absence d'oxygène;
- ↪ un temps de séjour inférieur à 30 min, à une température au-delà de 200 °C.

#### Photo 17 : Étapes de transformation de la biomasse forestière par torrification

---



Source : North Carolina State University, Agri-Tech Producers LLC, 2008.

La transformation de la biomasse forestière séchée par torrification permet<sup>77</sup> :

- ↪ De réduire la masse de 20 à 30 % (principalement par la libération de l'eau, des oxydes de carbone et des substances volatiles);
- ↪ De conserver plus de 90 % du contenu énergétique initial du bois;
- ↪ D'obtenir un taux d'humidité stable, d'environ 1 à 3 % (la biomasse torrifiée est un matériau partiellement hydrophobe, donc il n'y a pratiquement pas de reprise d'humidité, comparativement au bois);
- ↪ D'augmenter le PCI de 17 à 19 MJ/kg à 18 à 23 MJ/kg;
- ↪ D'obtenir un matériau friable (qui requiert de 70 à 90 % moins d'énergie pour être finement broyé [figure 33]).

Durant la torrification, la biomasse perd de sa résistance mécanique en raison de la dégradation partielle des celluloses et des hémicelluloses. La lignine, cependant, demeure presque intacte et sa proportion par rapport aux deux autres composants augmente. C'est ce qui expliquerait, d'une part, que la biomasse devient un matériau très friable, facile à pulvériser

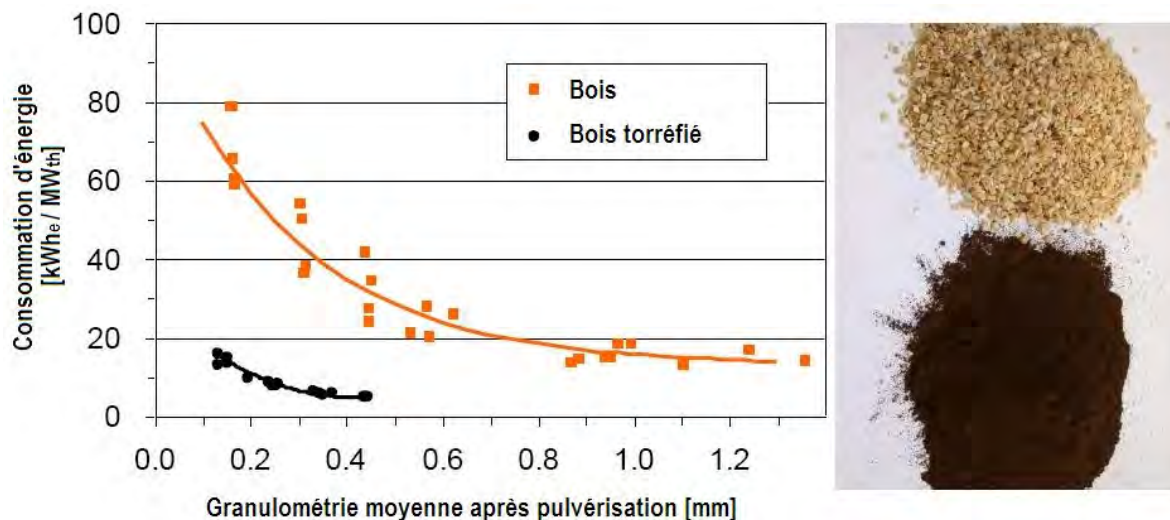
---

76. La torrification permet d'obtenir de la biomasse torrifiée, tandis que la carbonisation permet d'obtenir du biocharbon.

77. James R. Arcate, « Marchés et technologies pour le bois torrifié en 2002 », Bois énergie, n° 6, juillet 2002.

une fois torréfié et, d'autre part, que les granules torréfiés obtenus sont sensiblement plus robustes que les granules non torréfiés<sup>78</sup>.

**Figure 33 : Énergie électrique requise pour la fragmentation du bois et du bois torréfié en particules fines en fonction de la granulométrie**



Source : Traduit du Energy Research Center (ECN) (Pays-Bas), Rapports ECN-C05-013, 05-067 et 05-073.

Une fois compressée et mise sous forme de granules, la biomasse torréfiée devient un biocombustible solide et renforcé sur le plan de la densité énergétique. En effet, sa densité énergétique atteint presque le double de celle des granules de bois et est pratiquement équivalente à celle du charbon minéral utilisé dans les centrales électriques (excepté le fait que celui-ci est neutre du point de vue du CO<sub>2</sub>)<sup>79, 80</sup>.



Source : [4EnergyInvest](#).

Les granules torréfiés présentent l'atout d'une réduction importante des émissions de COV et d'une absence d'eau qui permet un stockage de longue durée sans dégradation. Plus

78. Obernberger, I., Thek, G., *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, EarthScan, 2010, section 4.1.4.2.

79. Topell, *Torrefied Biomass: Advantages Over Untreated Biomass*, [www.topellenergy.com/product/torrefied-biomass/](http://www.topellenergy.com/product/torrefied-biomass/).

80. [4energy Invest: Biocoal the Game Changer](#), KBC Securities, January 15, 2010.

énergétiques, ils permettent de faire jusqu'à 25 % d'économie<sup>81, 82</sup> sur le transport et le stockage, par rapport aux granules ordinaires. Le tableau 23 compare les propriétés des copeaux et des granules de bois avec celles des briquettes de biocharbon et des granules de bois torréfié.

**Tableau 23 : Comparaison des propriétés des copeaux et des granules de bois, des briquettes de biocharbon et des granules de bois torréfié**

	Copeaux de bois	Granules de bois	Briquettes de biocharbon	Granules de bois torréfié
Contenu en humidité (%)	35	< 10	< 1	3
Valeur calorifique (MJ/kg)	10,5	17 à 18	20 à 21	21
Densité (kg/m <sup>3</sup> )	550	600	900	800
Densité énergétique (GJ/m <sup>3</sup> )	5,8	9	18,3	16,7
Nature hygroscopique	Risque de reprise d'humidité	Risque de reprise d'humidité	Hydrophobe	Partiellement hydrophobe
Aptitude au stockage	Dégradation biologique Risque de moisissures	Intégrité physique réduite Risque de moisissures	Stable Risque d'auto-inflammation	Stable Risque d'auto-inflammation
Prix en Europe FOB Rotterdam, €/t	s. o.	119	> 180*	175 à 180**
Prix USA, \$ US/t		114 à 121	> 175*	150 à 175***

Source : Traduit et adapté de *Torrefied Biomass: A Foresighting Study into the Business Case for Pellets from Torrefied Biomass as a New Solid Fuel*, University Of Aberdeen, ECN, 2007. « Pyrovac ».

\* Prix pour le biocharbon thermique (pyrolytique). Données fournies par Pyrovac.

\*\* Subventionné à 0,06 €/kWh (en vigueur jusqu'à 2012) (bois torréfié).

\*\*\* Prix demandé (bois torréfié).

### Les technologies de torréfaction

Surtout depuis le début des années 2000, de nombreux travaux de recherche, menés dans plusieurs pays (Pays-Bas, Royaume-Uni, Norvège, Belgique, États-Unis, Suède, France, Canada, etc.), visent la valorisation de la biomasse cellulosique par l'intermédiaire de la torréfaction. Ces travaux ont mené au développement de multiples technologies, dont la majorité est encore à l'étape de l'expérimentation en laboratoire ou à échelle pilote.

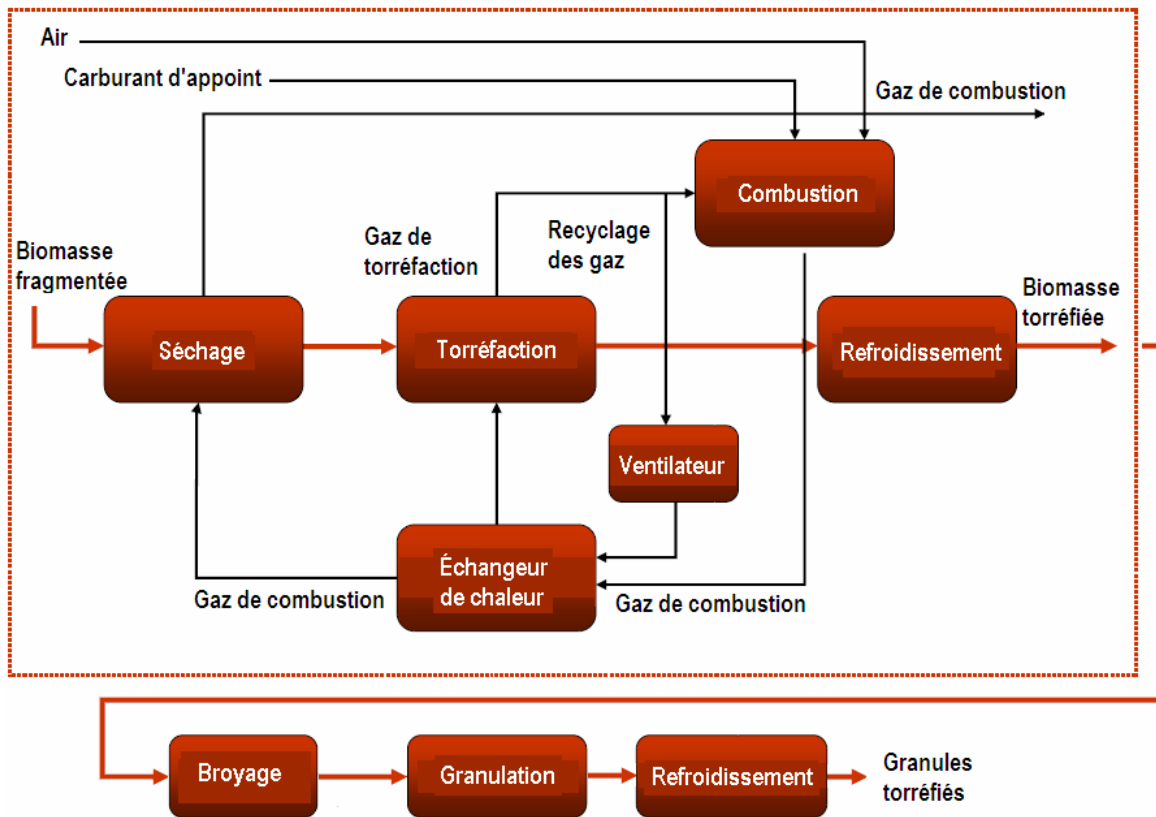
81. L'entreprise Topell, qui a conçu le procédé BioCoal<sup>TM</sup>, indique même une diminution des coûts de transport par GJ de 40 à 50 % par rapport aux granules standards ([www.topell.nl](http://www.topell.nl)).

82. *Torrefaction: A new option for bioenergy conversion*, P. Basu, A. Dhungana, Dalhousie University, Nova Scotia, 2010. [http://eco-efficiency.management.dal.ca/files/bioenergy\\_conference/torrefaction\\_P\\_basu\\_022610.pdf](http://eco-efficiency.management.dal.ca/files/bioenergy_conference/torrefaction_P_basu_022610.pdf).



Voici une représentation schématique du procédé  $BO_2$  conçu par l'Energy Research Centre of the Netherlands (ECN). Ce procédé intègre les étapes de torréfaction et de densification.

**Figure 34 : Schéma du procédé  $BO_2$  pour la préparation de granules torréfiés**



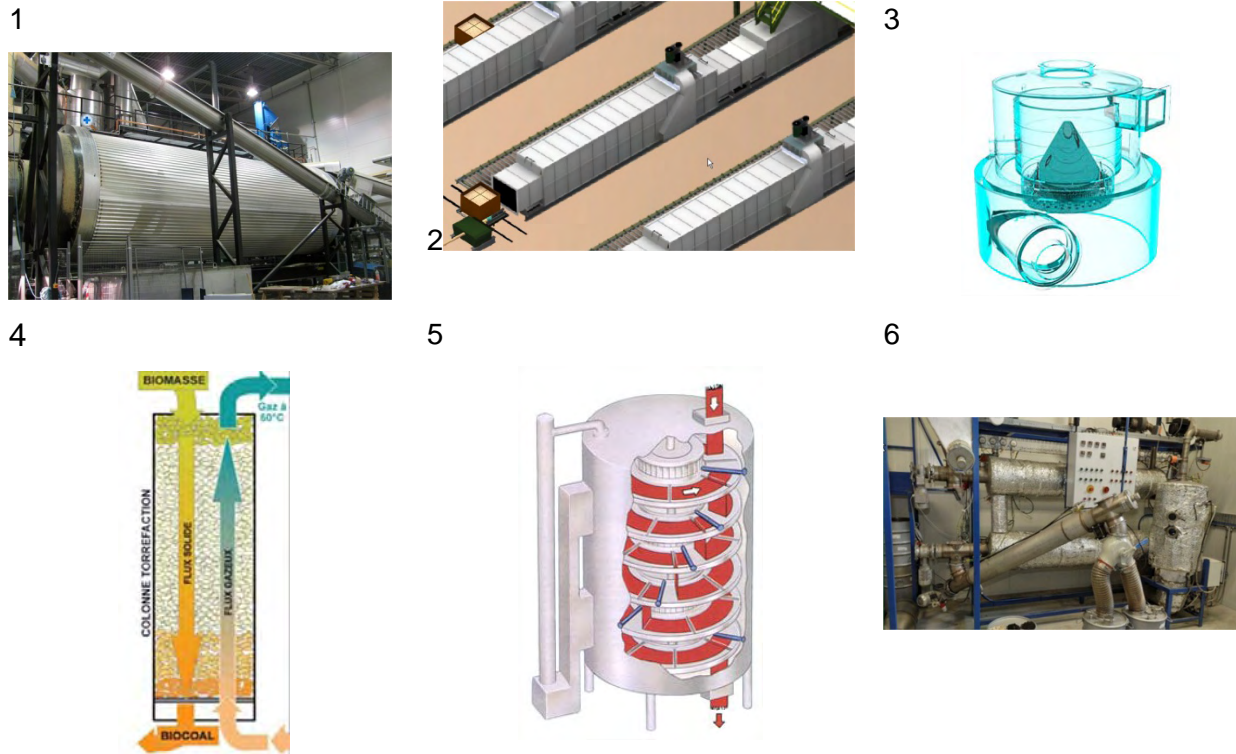
Source : Traduit et adapté de [Torrefaction-Based  \$BO\_2\$ -Technology, an Enabling Technology for Entrained-Flow Gasification of Biomass](#), ECN, 2008.

On peut regrouper les technologies de torréfaction en deux familles principales, basées sur la forme de la matière première à valoriser :

- ↗ Les technologies qui utilisent de la biomasse fragmentée (copeaux, broyats, etc.) comme intrant;
- ↗ Celles qui emploient des granules (biomasse déjà densifiée).

Le type de réacteur de torréfaction (tableau 24) utilisé est une autre caractéristique importante permettant de distinguer ces technologies : four rotatif (FR), lit fixe (LF), lit fluidisé de forme toroïdale (TO), réacteur à colonnes (RC), réacteur à soles multiples (SM), réacteur à vis chauffée (VC), convoyeur à bande (CB) et réacteur à micro-ondes (MO).

**Tableau 24 : Photos ou illustrations représentant certains types de réacteurs de torréfaction pour la biomasse**



1. Four rotatif de torréfaction (AB Torkapparater)
2. Réacteur de torréfaction à lit fixe (Alterna Biocarbon)
3. Modèle de réacteur à lit fluidisé de forme toroïdale (Topell Energy BV)
4. Colonne de torréfaction (Thermya)
5. Réacteur à soles multiples (Wyssmont Inc.)
6. Réacteur à vis chauffée (BTG Biomass Technology Group BV)

Voici quelques détenteurs de technologies de torréfaction pour la biomasse fragmentée<sup>83, 84</sup> :

- ↗ [AB Torkapparater](#) (Suède) (FR);
- ↗ [Airex Industries Inc.](#) (Québec);
- ↗ [Alterna Biocarbon](#) (Colombie-Britannique) (LF);
- ↗ [Agri-Tech Producers LLC](#) (États-Unis) (VC);
- ↗ [Andritz AG](#) (Autriche) (FR);
- ↗ [Bio3D Applications](#) (France) (FR);
- ↗ [Biolake](#) (Pays-Bas) (VC);
- ↗ [BTG Biomass Technology Group BV](#) (Pays-Bas) (VC);
- ↗ [CMI NESA](#) (Belgique) (SM);

83. *Torrefaction Update: Wood Pellet*, Wood Pellet Association of Canada (WPCA), Staffan Melin, 2010-11-19, [let.org/linked/melin%20torrefaction.pdf](http://let.org/linked/melin%20torrefaction.pdf).

84. *4energy Invest- Biocoal the Game Changer*, KBC Securities, January 15, 2010.

- ↪ [Energy Research Centre of the Netherlands \(ECN\)](#) (Pays-Bas) (RC);
- ↪ [Umeå University – ETPC](#) (Suède) (VC);
- ↪ [FoxCoal BV](#) (Pays-Bas) (VC);
- ↪ [NewEarth Renewable Energy Inc.](#) (États-Unis) (CB);
- ↪ [Rotawave Ltd.](#) (Royaume-Uni) (MO);
- ↪ [Stramproy Group](#) (Pays-Bas) (CB);
- ↪ [Thermya](#) (France) (RC);
- ↪ [Topell Energy BV](#) (Pays-Bas) (TO)<sup>85</sup>;
- ↪ [Torr-Coal Groep](#) (Pays-Bas) (FR);
- ↪ [Wyssmont Inc.](#) (États-Unis) (SM).

Voici quelques détenteurs de technologies de torréfaction de granules :

- ↪ [Energex inc.](#)<sup>86</sup> (Québec);
- ↪ University of Georgia ([prof. Sudhagar Mani](#)) (États-Unis).

#### Applications de la biomasse forestière torréfiée

Une des applications les plus documentées de la biomasse torréfiée densifiée est sans aucun doute son utilisation future comme cocombustible « renouvelable » dans les immenses centrales de production d'électricité à charbon pulvérisé (photo 18). Voici certaines raisons qui expliquent ce formidable potentiel<sup>87</sup> :

- ↪ Les bénéfices environnementaux considérables. La substitution d'une tonne de charbon minéral par de la biomasse torréfiée permet de réduire les émissions nettes de CO<sub>2</sub> de près de trois tonnes<sup>88</sup>. De plus, les émissions de NO<sub>x</sub> et de SO<sub>x</sub> sont réduites de façon importante par rapport à celles du charbon minéral.

---

85. L'entreprise néerlandaise Topell, copropriété du géant allemand de la production d'électricité RWE depuis 2008, a conçu le procédé BioCoalTM. Pour contrer la hausse des coûts d'achat de quotas d'émission de CO<sub>2</sub>, RWE investit annuellement un milliard d'euros (env. 1,5 milliard de dollars canadiens) dans les énergies renouvelables. C'est cette entreprise qui annonçait, le 20 janvier 2010, la construction d'une mégausine de granules de 750 000 t/an à Waycross, en Géorgie, au coût de 170 M\$ US.

86. « Pellets to burn », *Canadian Biomass*, Sept.-Oct. 2010, p.18, et M. John Arseneault de la WPAC.

87. *Biomass: A question of Scale*, Industrial Fuels and Power, April 20, 2010 ([ndp.com/article/003558.html](http://ndp.com/article/003558.html)).

88. Chaque tonne de bois torréfié consommée réduit les émissions de CO<sub>2</sub> des centrales de 2,8 tonnes, leur rapportant de 36 à 72 \$ en crédits carbone (*Torrefied Biomass: An Ideal Co-Firing Solution*, Integro Earthfuels, Walt Dickinson, 2009).

- ↪ Le faible coût de conversion d'une centrale à charbon minéral pour qu'elle puisse utiliser des granules torréfiés comme cocombustible. Le fait que le charbon soit friable et que les granules soient aisément pulvérisables permet d'ajouter facilement une certaine proportion (techniquement jusqu'à 20 %) de granules torréfiés à l'approvisionnement normal de charbon minéral pulvérisé sans avoir à modifier de façon importante les procédés en place. Certaines sources estiment le coût de cette conversion à 137 à 300 \$ CA/kW(e)<sup>89, 90</sup>.
- ↪ Les caractéristiques énergétiques de la biomasse torréfiée sont analogues à celles du charbon minéral<sup>91</sup>.
- ↪ Les pressions réglementaires visant à protéger l'environnement augmentent, forçant ainsi de plus en plus les grands producteurs d'énergie à accroître leur contenu en énergie renouvelable (dont la biomasse forestière). À cet égard, près de 35 États américains ont adopté des politiques relatives à des normes d'énergie renouvelable (Renewable Portfolio Standards [RPS]) qui exigent que de 10 à 33 % de toute l'énergie générée dans ces États provienne de sources renouvelables, entre 2015 et 2025<sup>92, 93</sup>.

#### Photo 18 : Centrale de production d'électricité à charbon pulvérisé

---



Source : Integro Earthfuels.

La conversion du charbon minéral consommé par les grandes centrales énergétiques à l'échelle nord-américaine, même d'un faible pourcentage, représentera pour les granules torréfiés des

---

89. *Torrefaction: A New Option for Bioenergy Conversion*, P. Basu, A. Dhungana, Dalhousie University, Nova Scotia, 2010, [http://eco-efficiency.management.dal.ca/Files/Bioenergy\\_Conference/Torrefaction\\_P\\_Basu\\_022610.pdf](http://eco-efficiency.management.dal.ca/Files/Bioenergy_Conference/Torrefaction_P_Basu_022610.pdf).

90. *Using Torrefied Wood for Electricity and Pellet Production in South Carolina*, North Carolina State University, Agri-Tech Producers LCC, 2008.

91. *Torrefied Biomass: An Ideal Co-Firing Solution*, Integro Earthfuels, Walt Dickinson, 2009.

92. *Biomass Co-Firing With Coal as an Emissions Reduction Strategy*, Jason Hayes, American Coal Council, Sept. 2010, [www.americancoalonline.com/spotlights/biomass-co-firing-with-coal](http://www.americancoalonline.com/spotlights/biomass-co-firing-with-coal).

93. *Renewable Portfolio Standards*, [www.epa.gov/chp/state-policy/renewable.html](http://www.epa.gov/chp/state-policy/renewable.html).

volumes très importants. À titre indicatif, le Canada possède actuellement 51 centrales thermiques alimentées au charbon minéral<sup>94</sup> dont la consommation est estimée à 58 millions de tonnes par année. Aux États-Unis, 907,5 millions de tonnes métriques de ce combustible étaient consommées en 2009, dont 94 % pour la production d'électricité<sup>95</sup>.

Pour ces raisons, une évaluation de la demande potentielle de biomasse forestière torréfiée pour le remplacement partiel du charbon minéral dans les grandes centrales thermiques à charbon pulvérisé des États-Unis a été réalisée (tableau 25).

**Tableau 25 : Demande potentielle de biomasse forestière torréfiée aux États-Unis en remplacement du charbon minéral**

<b>Demande annuelle</b>	<b>2012</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>
Tonnes courtes (x 10 <sup>6</sup> )	33	183	238
Ventes potentielles (x 10 <sup>9</sup> \$ US)	3,5	12	25,7

Source : Traduit et adapté de *Torrefied Biomass: An Ideal Co-Firing Solution*, [Integro Earthfuels](#), Walt Dickinson, 2009.

D'autres applications énergétiques possibles de la biomasse torréfiée sont<sup>96</sup> :

- ↪ Combustible principal pour le chauffage à grande et à petite échelle;
- ↪ Intrans pour les procédés de gazéification en remplacement de la biomasse non torréfiée, afin d'obtenir des rendements supérieurs et des produits de plus grande qualité<sup>97</sup>;
- ↪ Combustible pour la cuisson (barbecue).

Un autre usage à fort potentiel pour la biomasse forestière torréfiée non compressée, non énergétique cette fois, est son utilisation comme amendement pour enrichir les sols, dans le secteur agricole (voir la section « pyrolyse »).

94. Environnement Canada, [www.ec.gc.ca/envirozine/default.asp?lang=Fr&n=5AE042C9-1](http://www.ec.gc.ca/envirozine/default.asp?lang=Fr&n=5AE042C9-1).

95. US Energy Information Administration, [www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/special/consumption.html](http://www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/special/consumption.html).

96. Topell Markets.

97. Prins Mark J., Ptasinski K., Lanssen F., « More Efficient Biomass Gasification via Torrefaction », *Energy*, no. 31, 2006, p. 3458-3470.



Vu les avantages et les possibilités de la biomasse torréfiée, plusieurs projets sont sur la table à dessin. Celui mené conjointement en 2010 par [BC Bioenergy Network](#) et la [Wood Pellet Association of Canada \(WPAC\)](#), en Colombie-Britannique, visant à découvrir la meilleure technologie de torréfaction et à construire une usine pilote, en est un exemple<sup>98,99</sup>. Au Québec, la compagnie Energex a conçu un procédé de torréfaction compatible avec la fabrication de granules standards sans y apporter d'importantes modifications<sup>100</sup>.

Source : [www.opinion250.com](http://www.opinion250.com).

En Europe, à la fin de 2010, l'entreprise belge 4Energy Invest (par l'intermédiaire de sa filiale Renogen) annonçait le démarrage de son usine de torréfaction d'une capacité de 40 000 t/année<sup>101</sup>. Cette usine utilise la technologie Stramproy. De plus, 4Energy Invest élabore actuellement un plan de développement de la technologie de torréfaction et prévoit l'établissement d'autres usines de torréfaction en Europe<sup>102</sup>. Enfin, Topell et RWE Innogy construisent actuellement une usine ayant une capacité de 60 000 t/année à Duiven, aux Pays-Bas<sup>103</sup>.

Certains des documents consultés pour la section 4.4 se trouvent à l'annexe F.

#### 4.5 Pyrolyse

Dans un réacteur de pyrolyse, la biomasse est chauffée à environ 500 °C en absence d'oxygène. Selon la technologie de pyrolyse utilisée et les caractéristiques de la matière première à transformer, la réaction génère :

- ↗ une fraction gazeuse (de 15 à 20 % de la biomasse initiale);
- ↗ une fraction solide carbonée (biocharbon, biochar), sans soufre (de 15 à 20 % de la biomasse initiale);

98. Ce projet a vu le jour grâce à des subventions fédérales et provinciales.

99. *Torrefaction Next Step in Bio Energy*, Sept. 2010, [www.opinion250.com/blog/view/17736/1/-torrefaction+next+step+in+bio+energy](http://www.opinion250.com/blog/view/17736/1/-torrefaction+next+step+in+bio+energy).

100. [www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2024/132/](http://www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2024/132/).

101. [4Energy Invest, Communiqué de presse, 4 novembre 2010](#).

102. [4Energy Invest, Communiqué de presse, 10 novembre 2010](#).

103. *First Factory for Energy from Biomass in Duiven*, Topell Energy, 2010-06-28, et [Topell Energy and RWE Innogy Build Plant for the Production of Biocoal Pellets](#), June 28, 2010.

↗ un liquide appelé huile de pyrolyse, huile pyrolytique ou biohuile (de 60 à 70 % de la biomasse initiale).

L'énergie contenue dans les deux premières fractions sert généralement à fournir une partie de la chaleur nécessaire au fonctionnement du réacteur.

L'huile de pyrolyse de la biomasse lignocellulosique est un condensat liquide noir et visqueux, constitué d'un mélange complexe de composés phénoliques et d'autres composés chimiques oxygénés contenant jusqu'à 30 % d'eau. Elle est acide et potentiellement corrosive. Sa composition exacte dépend de la matière première employée et des conditions de fabrication.

### Photo 19 : Huile de pyrolyse

---



Source : [Biopact 3](#).

Le Canada est le leader mondial de cette voie de valorisation de la biomasse. Il compte plusieurs détenteurs de technologies : Pyrovac, qui propose la pyrolyse de biomasse sous vide, de même que Ensyn Technologies Inc. et Dynamotive Energy Systems Corporation, qui commercialisent des unités de production utilisant des variantes de la pyrolyse éclair (*flash pyrolysis*).

↗ Pyrovac (Québec)

Pyrovac (pyrolyse sous vide), qui a vu le jour à Québec, est arrivée à un stade de développement très avancé. Comme aboutissement d'une longue période consacrée à la recherche et développement (depuis 1984), une usine de démonstration d'une capacité de traitement de 3,5 t/h d'écorces de bois a été construite à Saguenay, en 1998.

**Figure 35 : Usine de démonstration de Pyrovac, Saguenay**

---



Source : Pyrovac.

En gros, le procédé de pyrolyse sous vide a bien fonctionné. Il nécessitait des ajustements dans le système de condensation des vapeurs et le redimensionnement de certains équipements. Des négociations entre le concepteur du procédé Pyrovac et des investisseurs nationaux et internationaux pour démarrer l'entreprise sont en cours.

Description du procédé (figure 36) :

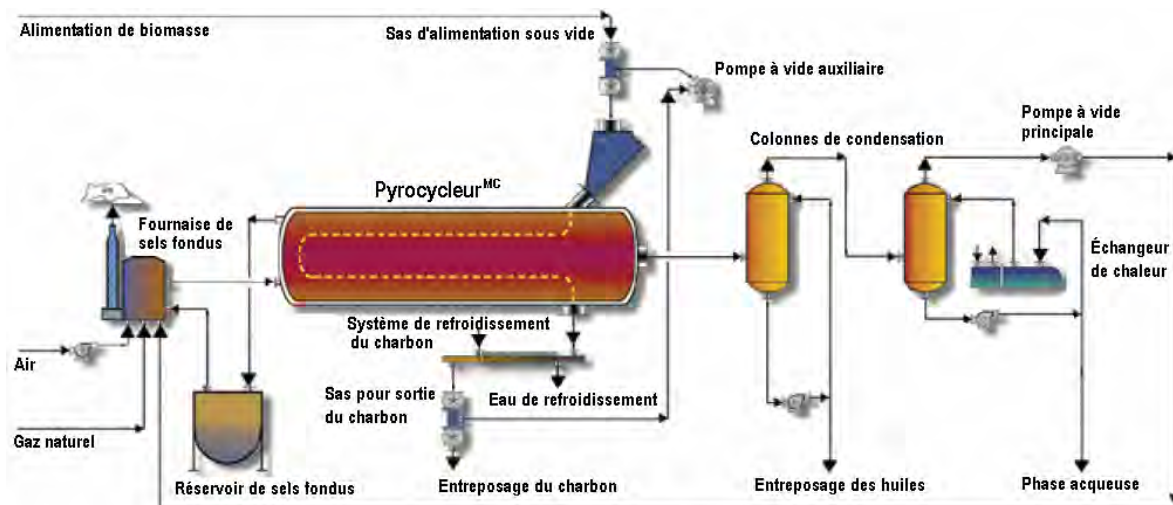
La matière première (écorces de bois) broyée grossièrement (particules de 2 à 3 cm) entre dans le réacteur après avoir été tamisée pour enlever les fines particules. Un sas<sup>104</sup> est placé à l'entrée du réacteur. La matière première chute sur le plateau supérieur du réacteur qui est chauffé à l'aide de sels fondus à une température variant de 500 °C à 520 °C. Un mécanisme déplace les particules de bois sur le plateau tout en les mélangeant. Arrivée à l'extrémité du plateau supérieur, la matière première à moitié carbonisée chute sur le plateau inférieur et se déplace de la même façon vers la sortie. Rendue à l'extrémité de ce plateau, elle sort du réacteur sous forme de charbon. Un autre sas est placé à la sortie pour assurer le vide dans le réacteur.

---

104. Un sas est une petite chambre située entre le réservoir d'alimentation et le réacteur et munie de deux valves étanches permettant de mettre en communication les deux enceintes dans lesquelles les pressions sont différentes. Ce type de dispositif est indispensable au système d'alimentation en contenu d'un réacteur pyrolytique sous vide.



Figure 36 : Schéma du procédé Pyrovac de pyrolyse sous vide de la biomasse



Source : Adapté de Pyrovac.

Le charbon est refroidi au début dans un réfrigérant, puis avec de l'eau tout le long de son transport vers la section de stockage. Les vapeurs qui se sont formées pendant la décomposition de la matière première sont aspirées par une pompe à vide et acheminées vers la colonne de condensation n° 1. Cette dernière est remplie d'un garnissage (selle et anneaux de Raschig) qui sert à mettre en contact les vapeurs avec le liquide d'arrosage. Les produits lourds (huile pyrolytique) se condensent et sortent du fond de la colonne. Une partie est refroidie pour être utilisée comme fluide d'arrosage et l'autre partie est refroidie à son tour, puis envoyée vers le stockage. Les gaz incondensables qui sortent du sommet de la première colonne se dirigent vers la seconde colonne, qui est remplie elle aussi du même garnissage. Le fond de celle-ci, qui est constitué d'eau et d'huile légère, est envoyé vers le stockage après refroidissement. Une partie de ce mélange est recyclée comme fluide d'arrosage pour la deuxième colonne. Les incondensables sortant de cette colonne sont aspirés par la pompe à vide et envoyés vers l'unité des sels fondus pour être brûlés. L'unité des sels fondus sert à réchauffer les sels à la température de consigne et à les pomper dans le circuit de chauffage constitué de serpentins et de faisceaux de tubes placés sous les plateaux du réacteur. Le tableau 26 présente le bilan de masse de la pyrolyse selon ce procédé.

**Tableau 26 : Bilan de masse de la pyrolyse sous vide Pyrovac (base sèche) pour une unité de 2,2 tonnes par heure**

Produit	Pourcentage massique
Biohuile à 15 % d'eau	30,7 %
Phase aqueuse	19,6 %
Biochar	29,2 %
Gaz pyrolytique	20,5 %

Source : C. Roy et collab. *Industrial Scale Demonstration of the Pyrocycling™ Process for the Conversion of Biomass to Biofuels and Chemicals*, Séville, Espagne, 2000.

La qualité de la biohuile obtenue par pyrolyse sous vide est présentée au tableau 27.

**Tableau 27 : Propriétés typiques de la biohuile filtrée de Pyrovac**

Propriété	Valeur
Teneur en eau (pourcentage massique)	15,7
PCS (MJ/kg, tel que reçu)	23
Densité à 25 °C et à 40 °C (g/ml)	1,25 et 1,23
Viscosité cinématique à 50 °C et à 80 °C (cSt)	100 et 20
Insolubles dans le méthanol (pourcentage massique)	0,34
Point de congélation (°C)	< 5
Point de flash (°C)	> 59
pH	4,2
Teneur en Na, en K et en Ca (ppm)	16; 8,5 et 578

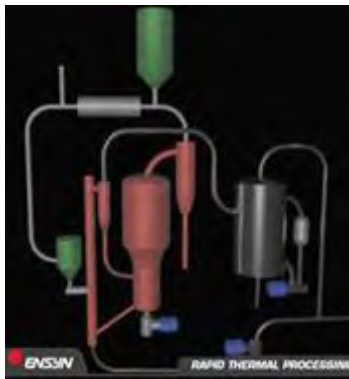
Source : Pyrovac.

↗ [Ensyn Technologies Inc.](#) (Ontario)

Ensyn Technologies Inc. produit de la biohuile depuis 1989. En 2004, elle a construit, à Renfrew, en Ontario, une usine qui consomme annuellement 33 000 tonnes (100 t/j) de sciures pour la production de biohuile destinée à la préparation de composés alimentaires et chimiques. La tendance haussière des prix des produits énergétiques a motivé l'entreprise à entrer dans ce marché. À ce propos, Ensyn Technologies Inc. et UOP (une filiale d'Honeywell) ont formé, en 2008, une coentreprise, [Envergent Technologies](#), qui a pour mission de déployer la technologie RTP d'Ensyn.

Le procédé Rapid Thermal Processing (RTP) Technology™ (figure 37), exclusif à Ensyn Technologies Inc., a été conçu à l'Université Western Ontario. Il intervient à température modérée et à pression atmosphérique et consomme de la biomasse humide fragmentée. Celle-ci est séchée par une partie de l'énergie générée durant la pyrolyse éclair. Actuellement, sept usines de production commerciale utilisent ce procédé, aux États-Unis et au Canada.

**Figure 37 : Procédé Rapid Thermal Processing d'Ensyn Technologies Inc.**



**Cliquez sur l'image** pour voir une animation présentant le procédé RTP d'Ensyn Technologies Inc.

Source : Ensyn Technologies Inc.

En juin 2010, [Tolko Industries Ltd.](#) et Ensyn Technologies Inc. ont formé un partenariat pour la construction d'une usine pouvant produire 85 000 000 l/an d'huile pyrolytique à partir de 400 tonnes métriques anhydres par jour de biomasse. L'huile sera utilisée, entre autres, pour produire de l'électricité et de la chaleur de procédé pour la scierie de Tolko située à High Level, en Alberta<sup>105</sup>.

➤ [Dynamotive Energy Systems Corporation](#) (Colombie-Britannique)

Dynamotive Energy Systems Corporation a été fondée en 1990 et est devenue publique en 1996 ([DYMTF.PK](#)). Elle possède des installations pilotes à Guelph (ON) et une usine de pyrolyse à West Lorne (ON) qui a la capacité de consommer 130 t/j de sous-produits d'une usine de parquet en bois massif et où une turbine de 2,5 MW génère de l'électricité vendue sur le réseau. Depuis 2007, elle est aussi copropriétaire d'une autre usine, d'une capacité de 200 t/j de résidus de bois, située à Guelph. Celle-ci a cessé ses activités un certain temps, mais Dynamotive annonçait, le 28 septembre 2010, son redémarrage<sup>106</sup>.

105. [Formation of Partnership to Build World's Largest Commercial Fast Pyrolysis Plant](#), June 7, 2010.

106 [Dynamotive to Restart Operations at its BioOil Plant in Guelph, Ontario, Canada](#), Dynamotive Energy Systems Corporation, 2010-09-28.

Au début 2009, l'entreprise a produit de la bioessence et du biodiesel pour le secteur du transport<sup>107</sup> à l'aide d'un procédé d'hydrotraitement. Il est possible que ce nouveau marché (le secteur du transport) supplante celui des chaudières et des moteurs stationnaires. Dynamotive explore aussi la possibilité d'utiliser le biochar<sup>108</sup> comme amendement des sols agricoles. Une étude récente a pu prouver que l'utilisation de biochar permet une augmentation de la récolte de 6 % à 17 %<sup>109</sup>.

Dynamotive a également conçu un procédé de pyrolyse éclair et est en cours de développement de son procédé de raffinage BINGO (Biomass INto GasOil). Ces deux technologies se complètent : la première produit du BioOil™ (huile pyrolytique) et la deuxième l'affine en biocombustible pour le transport<sup>110</sup>.

Pour des renseignements additionnels sur ces procédés, consultez les pages [Fast Pyrolysis](#) et [BINGO Upgrading](#) du site Web de Dynamotive.

### Pyrolyseurs mobiles (figure 38)

La pyrolyse a été proposée comme une étape de concentration intermédiaire entre la source de biomasse (parterres de coupe, par exemple) et une installation de conversion à grande échelle afin d'agrandir le rayon d'approvisionnement « économique »<sup>111</sup>. Les unités de pyrolyse mobiles, comme celles proposées par [Agri-Therm Inc.](#) (société issue de l'[Institute for Chemicals and Fuels from Alternative Resources \(ICFAR\)](#) de l'Université Western Ontario) et [ABRI Tech inc.](#) (autrefois Advanced BioRefinery Inc.) (photo 20), pourraient produire de la biohuile avec une densité d'énergie de six à huit fois supérieure à celle de la biomasse brute.

---

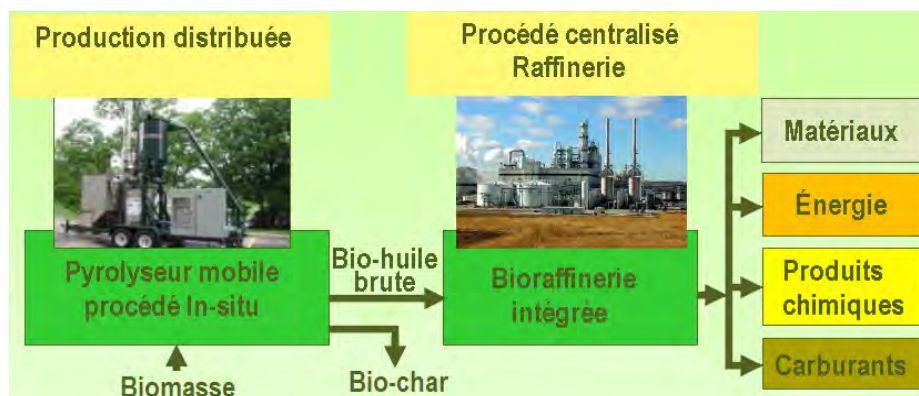
107. Dynamotive estime pouvoir produire des biocarburants de deuxième génération à partir d'une usine ayant la capacité de transformer moins de 70 000 tonnes de biomasse par an à un coût inférieur à 2 \$ CA/gal (0,44 \$ CA/l). (Source : [Production of Advanced Fuels from Biomass](#)).

108. La fraction solide de la pyrolyse est analogue à du charbon, en particules de moins de 1 mm, et a une valeur thermique de 28 à 30 GJ/t.

109. [BlueLeaf Inc. and Dynamotive Announce Biochar Test Results](#).

110. BINGO Upgrading.

111. La rentabilité du transport de la biomasse vers une unité de conversion est limitée. La distance maximale de transport par camion serait d'environ 100 km avant que le coût du transport égale la valeur de l'énergie de la biomasse transportée. Source : Peter Fransham, Advanced Biorefinery Inc., Energy from Biomass, Québec, septembre 2007. En septembre 2007, le prix du brut, à Montréal, était de 504,83 \$ CA/m<sup>3</sup> ou 80,26 \$/baril. Source : Prix du pétrole brut quotidien, septembre 2007, Ressources naturelles Canada.

**Figure 38 : Approvisionnement d'huile pyrolytique à partir de pyrolyseurs mobiles**

Source : Traduit et adapté d'Agri-Therm Inc.

La biohuile serait ensuite transportée par camion vers une installation de transformation principale. Des études sont en cours afin d'évaluer la possibilité technique et la rentabilité de cette approche dans le secteur agricole et forestier, au Canada et aux États-Unis<sup>112</sup>.

**Photo 20 : Usine de pyrolyse mobile (50 tonnes par jour)**

Source : Advanced BioRefinery Inc., 2007.

112. *Distributed-Scale Pyrolysis of Agricultural Biomass for Production of Refinable Crude Bio-Oil and Valuable Coproducts*, [www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn\\_no=418523](http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn_no=418523).

### Applications des produits de la pyrolyse de la biomasse forestière

L'huile de pyrolyse brute est principalement utilisée comme huile à chauffage et représente une solution de rechange au mazout lourd ou à l'huile à moteur usée afin d'alimenter des fournaies industrielles. Il faut cependant rappeler que les dispositifs de combustion installés dans les fournaies industrielles classiques ne conviennent pas à l'utilisation de l'huile pyrolytique. Ayant une grande réactivité, les composés oxygénés contenus dans l'huile sont très sensibles à la carbonisation. À haute température, ils se polycondensent sur les injecteurs, à l'entrée de la chambre de combustion, et provoquent l'arrêt de l'alimentation. Il faut donc adapter ces dispositifs pour pouvoir utiliser l'huile pyrolytique.

Un autre problème qui se manifeste pendant la combustion de l'huile pyrolytique est la corrosion. En effet, la teneur élevée en métaux alcalins de cette huile conduit à un phénomène de corrosion chaude, rencontré surtout dans les turbines à gaz. Les métaux alcalins forment avec les constituants métalliques des ailettes de la turbine un mélange eutectique très friable. Au fur et à mesure que la turbine fonctionne, le mélange s'effrite en laissant des trous sur les ailettes.

La biohuile peut remplacer les différentes huiles à chauffage, de la n° 2 à la n° 6, de même que le charbon. Son pouvoir calorifique n'équivaut cependant qu'à la moitié de celui de l'huile lourde. Actuellement, l'huile de pyrolyse ne représente qu'une infime part du marché des biocombustibles, mais on entrevoit une croissance par la mise en service de petites unités de production peu coûteuses.

Outre son utilisation pour le chauffage direct, l'huile pyrolytique peut recevoir un traitement et devenir un biocombustible utilisé dans l'industrie du transport<sup>113</sup>. Elle peut également alimenter des turbines<sup>114</sup> à gaz pour produire de l'électricité. Enfin, son fractionnement peut mener à l'élaboration d'une large gamme de produits chimiques et industriels à haute valeur ajoutée (formaldéhyde, résines, arômes alimentaires, etc.). À noter que l'huile de pyrolyse peut constituer une matière première potentielle pour les processus de gazéification.

La fraction solide de l'huile de pyrolyse, appelée aussi biochar ou biocharbon, est considérée carboneutre et théoriquement sans soufre. Le biochar peut être brûlé seul ou en mélange avec les combustibles liquides sous forme de *slurry*. Dans ce cas, le mélange devient un biocombustible intéressant pour les systèmes comme les chaudières, les centrales thermiques au charbon et les cimenteries, afin de réduire leurs émissions de SO<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub>.

Le biocharbon peut également être densifié, sous forme de briquettes pour les barbecues ou encore sous forme de granules, pour alimenter les équipements de chauffage résidentiels et industriels. Comme on l'a vu précédemment, le biochar peut en outre servir d'amendement pour les sols agricoles.

---

113. Le Sandia National Labs publiait, en septembre 2010, l'étude [Next Generation Biofuels and Advanced Engines for Tomorrow's Transportation Needs](#).

114. Orenda, une division de Magellan Aerospace, a conçu une série de turbines spécialement pour la biohuile. Elles sont offertes dans une gamme de puissance variant de 1 à 25 MW avec un rendement de 29 % à 41 %, selon la configuration ([ellanroi.com/AMES/AMES\\_BioFuel/ames\\_biofuel.html](http://ellanroi.com/AMES/AMES_BioFuel/ames_biofuel.html)).

Les marchés futurs et les perspectives d'exportation de l'huile de pyrolyse dépendront bien sûr de son prix. Mais il est prévu que la demande pour les produits énergétiques de ce type connaîtra une forte croissance en Europe. Celle-ci importe déjà du Canada au-delà d'un million de tonnes de granules énergétiques annuellement, d'aussi loin que la Colombie-Britannique. Puisque l'huile de pyrolyse a une densité énergétique deux fois plus élevée que celle des granules, ce marché pourrait représenter une occasion intéressante.

Certains documents consultés pour la section 4.5 se trouvent à l'annexe G.





## 5. INTÉGRATION DES TECHNOLOGIES DE BIOÉNERGIE

Le jumelage et l'intégration des technologies citées précédemment détermineront le caractère unique et la capacité d'une installation particulière. Les combinaisons possibles sont nombreuses et augmenteront sans doute à mesure que les concepts de fabrication et d'intégration seront validés par l'expérience.

### 5.1 Production de chaleur

Bien que la production d'énergie électrique et l'élaboration de combustibles à partir de la biomasse connaissent maintenant une forte croissance, la production de chaleur par combustion a traditionnellement été le principal marché de la biomasse énergétique. En fait, cette dernière connaît un essor remarquable, plus particulièrement en Europe, mais aussi, dans une moindre mesure, dans certains États américains. Le tableau suivant mentionne quelques pays et États qui sont à l'avant-garde.

Europe	Autriche, Allemagne, Danemark, Finlande, Suède
États-Unis	Vermont, Maine, New Jersey, New Hampshire, Minnesota, Massachusetts, Rhode Island et Illinois

La façon la plus simple et, dans bien des cas, la plus économique d'exploiter l'énergie de la biomasse est l'utilisation de la chaleur, que ce soit pour le chauffage de maisons individuelles isolées, à l'aide d'appareils (poêles ou fournaies) de petite puissance (de 2 à 70 kW), ou encore pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire dans de grands bâtiments, à l'aide de chaudières ayant une puissance de quelques centaines de kilowatts.

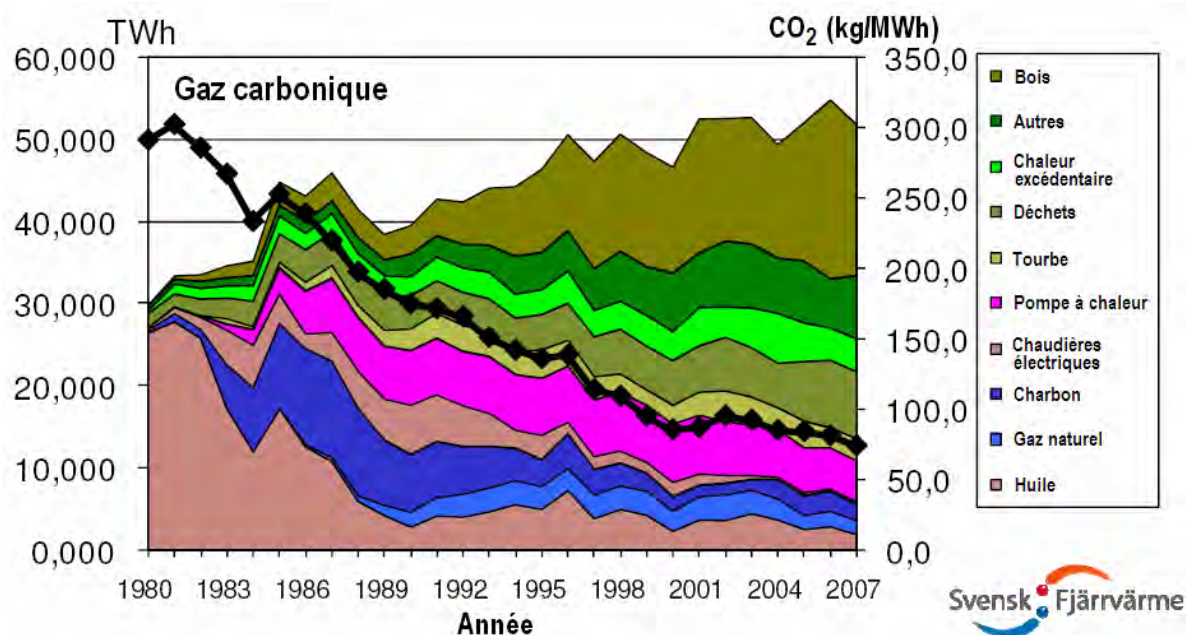
Mais l'énergie de la biomasse permet aussi la production d'eau chaude ou de vapeur pour des procédés industriels ou agricoles (séchoirs à bois d'œuvre, séchage de biomasse, serres de production) et, de plus en plus, elle approvisionne des réseaux de chaleur qui alimentent en énergie des centaines de bâtiments et des clients industriels pour répondre à leurs besoins en chauffage et en eau chaude.

#### Réseaux de chaleur

Les réseaux de chauffage urbains sont très développés dans certains pays européens. La Suède est sans doute l'un des pays où la stratégie de déploiement de ces réseaux a été couronnée de succès. En 2004, plus de la moitié des résidences et des bâtiments suédois étaient branchés à un réseau de chauffage de ce type et, en 2009, 650 réseaux de chauffage étaient en activité.

En Suède, l'utilisation des combustibles ligneux pour le chauffage urbain a quintuplé depuis 1990 et devrait continuer à croître dans un avenir prévisible (graphique 1).

**Graphique 1 : Évolution de l'utilisation des différents combustibles pour le chauffage urbain en Suède**



Source : Traduit de *Biomass and District Heating in Sweden*, Swedish District Heating Association, Erik Larsson, June 2009.

Un réseau de chaleur est une installation comprenant une ou des centrales thermiques fournissant de la chaleur (ou du froid) à plusieurs utilisateurs par l'intermédiaire de canalisations de transport. On appelle aussi un réseau de chaleur « installation de chauffage urbain », « chauffage collectif » ou « *district heating* ».

Dans un réseau de chaleur, une ou plusieurs unités de production alimentent un réseau primaire de canalisations aboutissant à des sous-stations à partir desquelles des réseaux secondaires distribuent la chaleur aux usagers. Trois points clés sont à considérer au moment de la conception et de l'implantation d'un réseau : le dimensionnement de la chaudière, la densité thermique du réseau ainsi que l'échéancier de la fourniture d'énergie.

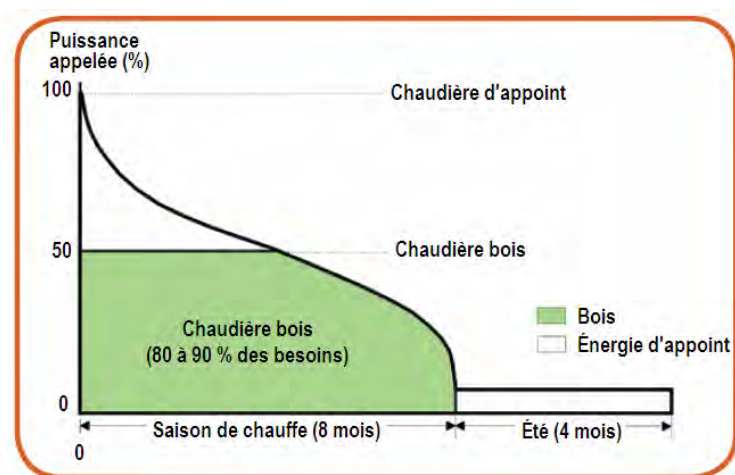
Les centrales thermiques à la biomasse sont conçues sur un mode biénergie : la biomasse sert de combustible de base et une source d'énergie fossile est régulièrement utilisée en appoint. Cette option répond à deux préoccupations principales :

- ⇒ Faire fonctionner la chaudière à sa puissance nominale avec le meilleur rendement possible;
- ⇒ Minimiser les coûts d'investissement, particulièrement importants pour la bouilloire et les équipements de traitement de gaz de combustion.

On cherche donc à maximiser la production de chaleur à partir de la chaudière à la biomasse tout en optimisant la puissance de celle-ci. On est amené le plus souvent à prévoir une

chaudière dont la puissance est de l'ordre de 40 à 60 % de la puissance maximale demandée par grand froid. Cette dernière est déterminée à partir de la courbe monotone de chauffage des usagers du réseau (graphique 2).

**Graphique 2 : Courbe monotone de chauffage des usagers du réseau (chaleur et eau chaude sanitaire)**



Source : Adapté de « Chaufferie bois et réseau de chaleur en zone urbaine : cibles prioritaires et optimisation des projets », *Le Bois international*, 27 septembre 2008.

Dans ces conditions, on constate qu'en milieu urbain, la chaudière à biomasse, utilisée en priorité, couvre plus de 80 % (voire 90 %) des besoins thermiques sur l'ensemble de l'année<sup>115</sup>.

L'optimisation du coût de production de la chaleur s'obtient aussi en maximisant la quantité d'énergie distribuée tout en minimisant les coûts d'investissement et d'exploitation du réseau. Ainsi, lorsqu'on envisage l'établissement d'une centrale et d'un réseau de chaleur, il est primordial de connaître les gros consommateurs d'énergie thermique, qui ont, autant que possible, une demande en énergie constante pendant toute l'année. Par contre, certains usagers ayant une demande énergétique à très forte intermittence se prêtent mal au raccordement à un réseau de chaleur, sauf lorsqu'ils sont situés le long du tracé de canalisations conçues pour desservir des usagers plus importants.

Avec une densité thermique inférieure à 3 MWh distribués par mètre linéaire et par an (en France)<sup>116</sup>, le coût d'amortissement du réseau a de lourdes conséquences sur le prix final de l'énergie. Au moment de la définition du réseau, les concepteurs sont quelquefois amenés à écarter certains utilisateurs dont la localisation éloignée, par rapport au tronçon principal du réseau, influencerait à la baisse, de façon importante, cette densité.

115. « Chaufferie bois et réseau de chaleur en zone urbaine : cibles prioritaires et optimisation des projets », *Le Bois International*, 27 septembre 2008.

116. *Idem*.

**Photo 21 : Canalisations d'un réseau de chaleur**

---



Source : [Urecon ltée.](#)

Le raccordement d'un usager ayant une demande énergétique à très forte intermittence pose également un problème de pertes thermiques : les branches du réseau les desservant sont en permanence irriguées en eau chaude, alors que les besoins peuvent être faibles, voire nuls. Cela occasionne des pertes d'autant plus importantes que la distance est longue et la puissance délivrée faible. La photo 21 montre un exemple de canalisations d'un réseau de chaleur.

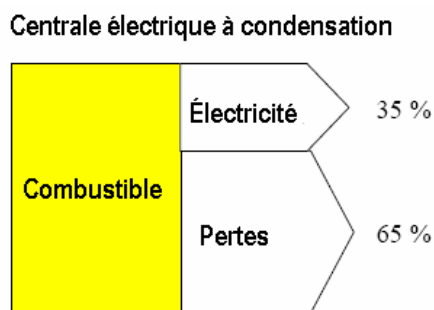
Dans le cas d'une nouvelle installation, il est important de faire attention à l'échéancier d'implantation : le décalage entre l'engagement des investissements (pour la construction de la centrale thermique et du réseau) et la livraison effective de chaleur aux usagers se révèle critique pour l'équilibre économique du projet.

En résumé, l'optimisation technicoéconomique d'un réseau de chaleur à la biomasse tient compte de nombreux paramètres : taille et profil de consommation des usagers à raccorder, puissance de la chaudière à la biomasse et des chaudières d'appoint à installer, longueur du réseau à prévoir, etc.

## **5.2 Production d'énergie électrique**

La production d'électricité à partir de la biomasse génère beaucoup de chaleur, quelle que soit la technologie utilisée. Les rendements de systèmes de production électrique varient généralement de 15 à 25 % pour des installations de petite puissance (de 1 à 5 MW<sub>e</sub>) et atteignent près de 35 % pour des installations de grande puissance, celles-ci pouvant bénéficier de technologies plus performantes. Le reste (de 65 à 85 %) est dissipé en chaleur, en pure perte. La production d'électricité est donc très peu efficace par rapport à une valorisation thermique pure, dont le rendement énergétique peut dépasser 80 %.

**Figure 39 : Bilan thermique d'une centrale électrique à condensation pour la production d'électricité seulement**



Source : Traduit et adapté de [Report on Wood Biomass Combined Heat and Power for the Irish Wood Processing Industry](#), Irish Energy Centre, 1999.

### 5.3 Cogénération

La cogénération (*combined heat and power* [CHP]) permet, à partir d'un seul combustible et dans une seule installation, la production simultanée d'électricité et de chaleur. Il ne s'agit pas d'une technologie unique, mais plutôt d'un système énergétique intégré pouvant être modifié en fonction des besoins des utilisateurs.

Toutes les industries et les organisations qui consomment régulièrement de la chaleur sont susceptibles d'utiliser des technologies de cogénération. Les institutions importantes, comme les hôpitaux, les grands établissements d'enseignement ou les complexes hôteliers, de même que l'industrie manufacturière, l'agroalimentaire, les produits pharmaceutiques, le séchage du bois, les papetières, etc. offrent un potentiel d'implantation de cette technologie.

Il existe différentes technologies de cogénération et le choix entre celles-ci dépend des besoins particuliers de chaque établissement.

Le tableau 28 regroupe les différentes technologies de base offertes sur le marché.

**Tableau 28 : Différentes technologies de cogénération**

Technologie	Puissance (MW)	Ratio E/Q (électricité/chaleur)	Rendement (en %)	Applications appropriées
Turbine à vapeur	Biomasse : jusqu'à 5 Fossiles : jusqu'à des centaines	> 0	> 85	Besoin élevé en vapeur de procédé (agroalimentaire, papeteries)
Turbine à combustion	0,50-300 0,02 -1 en développement	0,5-0,8 0,3-0,45	60-80 50-70	Industries et secteur tertiaire
Moteurs à combustion interne (gaz, diesel)	0,025-6,1 (gaz) 0,005-1,7 (diesel)	0,4-0,9	80-90	Besoins en chaleur à basse température (hôpitaux, commerces, certaines industries)
Moteurs à combustion externe (par ex. moteur Stirling)	0,001-0,015 0,050 en développement	0,3-0,4	50-70	Résidentiel, commercial, petites industries

Source : Agence de l'efficacité énergétique, « [La cogénération-trigénération](#) », Fiche technique Prisme n° 4, 2004.

Les installations sont classées selon leur puissance. Le tableau 29 donne une idée de classification qui peut être sensiblement différente d'un pays à l'autre.

**Tableau 29 : Classification par la taille (kW) des installations de cogénération**

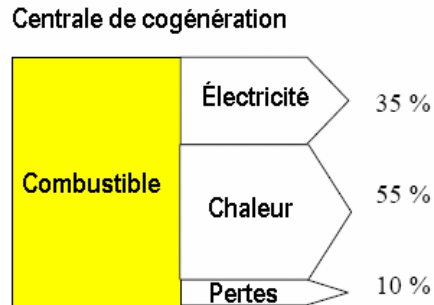
Pays	Micro	Mini	Petite	Moyenne	Grande
Autriche	< 50	-	50-200	200-700	> 700
Belgique	1-10	10-100	100-500	-	> 500
France	< 36	36-215	215-1000	-	> 1000

Source : Agence de l'efficacité énergétique, « [La cogénération-trigénération](#) », Fiche technique Prisme n° 4, 2004.

Pour bien dimensionner les installations, il est nécessaire d'évaluer les besoins en chaleur et en électricité de l'établissement et d'établir les variations journalière, hebdomadaire et mensuelle à partir d'une année complète de référence. Le prix de l'électricité influence aussi le choix du groupe de cogénération. La revente de surplus d'électricité peut générer des revenus supplémentaires et l'autoconsommation peut permettre des économies réalisées sur l'achat d'électricité.

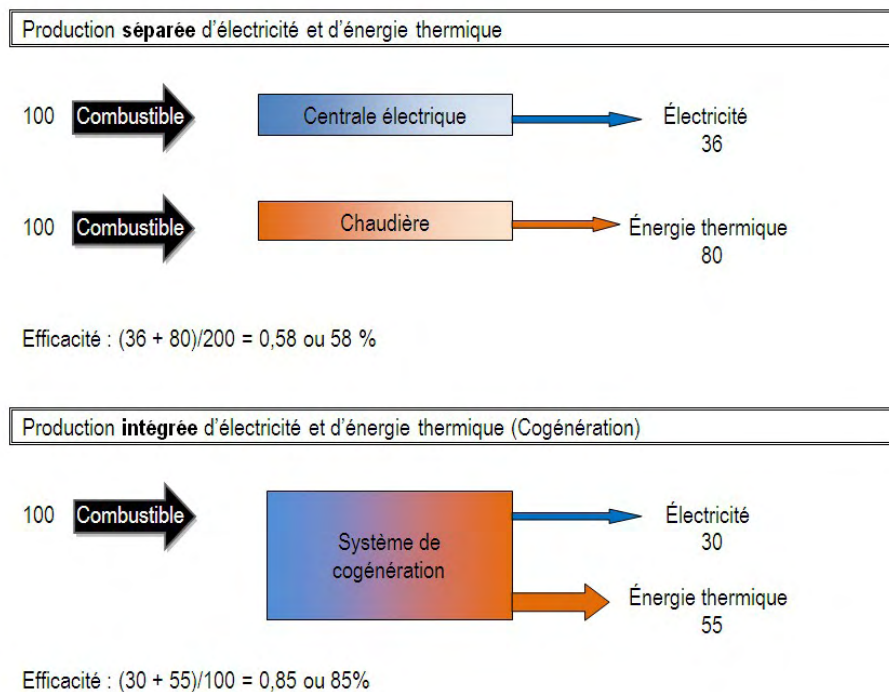
La marque distinctive de tous les systèmes de cogénération bien conçus est une augmentation de l'efficacité globale de l'utilisation du carburant. En récupérant et en utilisant efficacement la chaleur résiduelle dégagée au cours de la production d'électricité (énergie thermique perdue normalement), le système de cogénération obtient généralement un rendement énergétique global de 50 à 90 % pour la production simultanée d'électricité et d'énergie thermique (figures 40 et 41). Ces gains d'efficacité représentent en outre un avantage pour l'environnement et améliorent la rentabilité liée à l'utilisation de la biomasse énergétique, par rapport à la production séparée des mêmes quantités d'énergies électrique et thermique.

**Figure 40 : Bilan thermique typique d'une centrale de cogénération pour la production simultanée d'électricité et de chaleur**



Source : Traduit et adapté de *Report on Wood Biomass Combined Heat and Power for the Irish Wood Processing Industry*, Irish Energy Centre, 1999.

**Figure 41 : Principe de la cogénération**



Source : Traduit et adapté de l'European Biomass Industry Association, [Cogeneration](#).

Sur le plan du rendement énergétique, les avantages de la cogénération par rapport à la production séparée d'énergies électrique et thermique sont indéniables. Toutefois, justement parce que ces avantages dérivent d'une production combinée, il est important, dans un contexte de développement durable, que l'énergie thermique produite puisse être valorisée :

- ↗ De préférence dans le procédé de l'usine dans laquelle elle se trouve, car il n'est pas nécessaire dans ce cas d'investir pour réaliser un réseau de chaleur.
- ↗ Sinon, par un ou des consommateurs<sup>117</sup> avec des besoins en énergie thermique suffisants et stables dans le temps (variations saisonnières à éviter), unis par un réseau de chaleur dont la densité thermique peut garantir un rendement économique intéressant.

Pour contribuer à satisfaire aux objectifs de production d'électricité verte, la valorisation thermique doit permettre d'obtenir un rendement global supérieur à celui qu'il est possible d'avoir au moyen d'une production séparée d'électricité et de chaleur.

Un nombre grandissant de gouvernements (en Europe et dans certains États américains) élaborent des directives<sup>118</sup> qui encouragent des projets de cogénération sur la base de la demande de chaleur utile. Plusieurs experts s'entendent pour dire que l'établissement d'usines de cogénération à condensation, dont une importante partie de l'énergie thermique n'est pas valorisée, va à l'encontre du développement durable.

*“... Technical potential for CHP is based on the  
coincident demand of power and thermal energy at a facility...”*

Source : [CHP Project Development Process](#), EPA.

Il faut donc rechercher une valorisation maximale de la chaleur connexe à la production d'électricité. Ce sont les besoins en énergie thermique qui déterminent la puissance du système de cogénération.

À cet égard, la fourniture d'énergie thermique aux installations potentielles suivantes est suggérée :

- ↗ Grandes serres agricoles pour la culture de tomates et de divers légumes;
- ↗ Industrie minière;
- ↗ Usines de pâtes et papiers;
- ↗ Cimenteries;
- ↗ Étangs pour la croissance d'algues<sup>119</sup>;

---

117. Consommateurs possibles d'énergie thermique : séchoirs à bois d'œuvre, séchoirs à biomasse, étangs de dégivrage des billes, procédés de densification, de pyrolyse ou de torréfaction, etc.

118. Directive 2004/8/CE du Parlement européen et du Conseil du 11 février 2004.

119. Des projets visent à faire croître des algues (ou des microalgues) pour capter le CO<sub>2</sub>. Les algues sont ensuite utilisées pour produire du biodiesel. Pour en savoir davantage, consultez [Innoventures Canada \(I-CAN\) projet CARS](#).

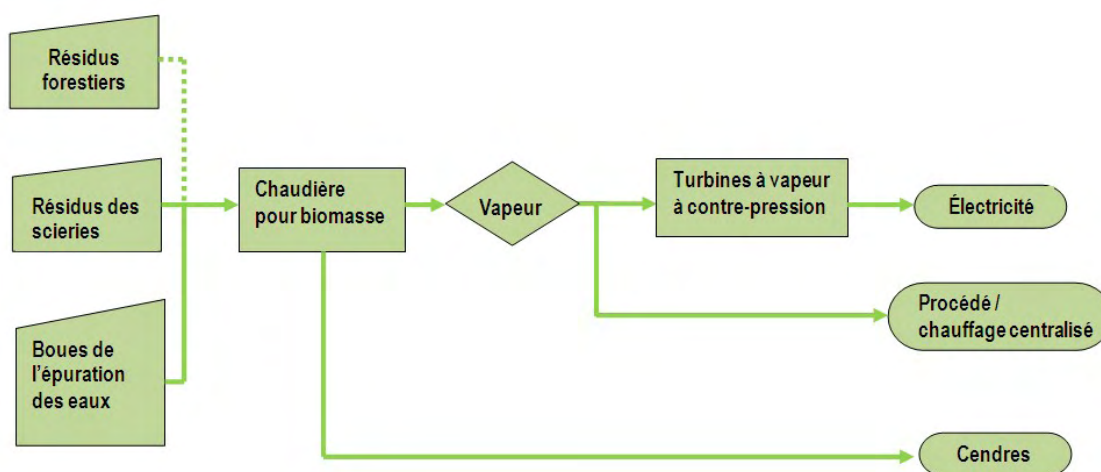


↗ Piscicultures;

↗ Parcs industriels.

Dans les installations canadiennes de cogénération à la biomasse, l'électricité est produite presque exclusivement au moyen de turbines à vapeur. Environ 80 % de la capacité de cogénération installée se trouve dans les usines de pâtes et papiers. La plupart de ces usines utilisent des turbines à soutirage de vapeur à contrepression pour mettre en détente une partie de la vapeur en vue de son utilisation dans le procédé ou pour du chauffage (figure 42).

**Figure 42 : Combustion et cogénération**



Source : [Vers la carte routière technologique pour les bioraffineries forestières canadiennes](#), 2006.

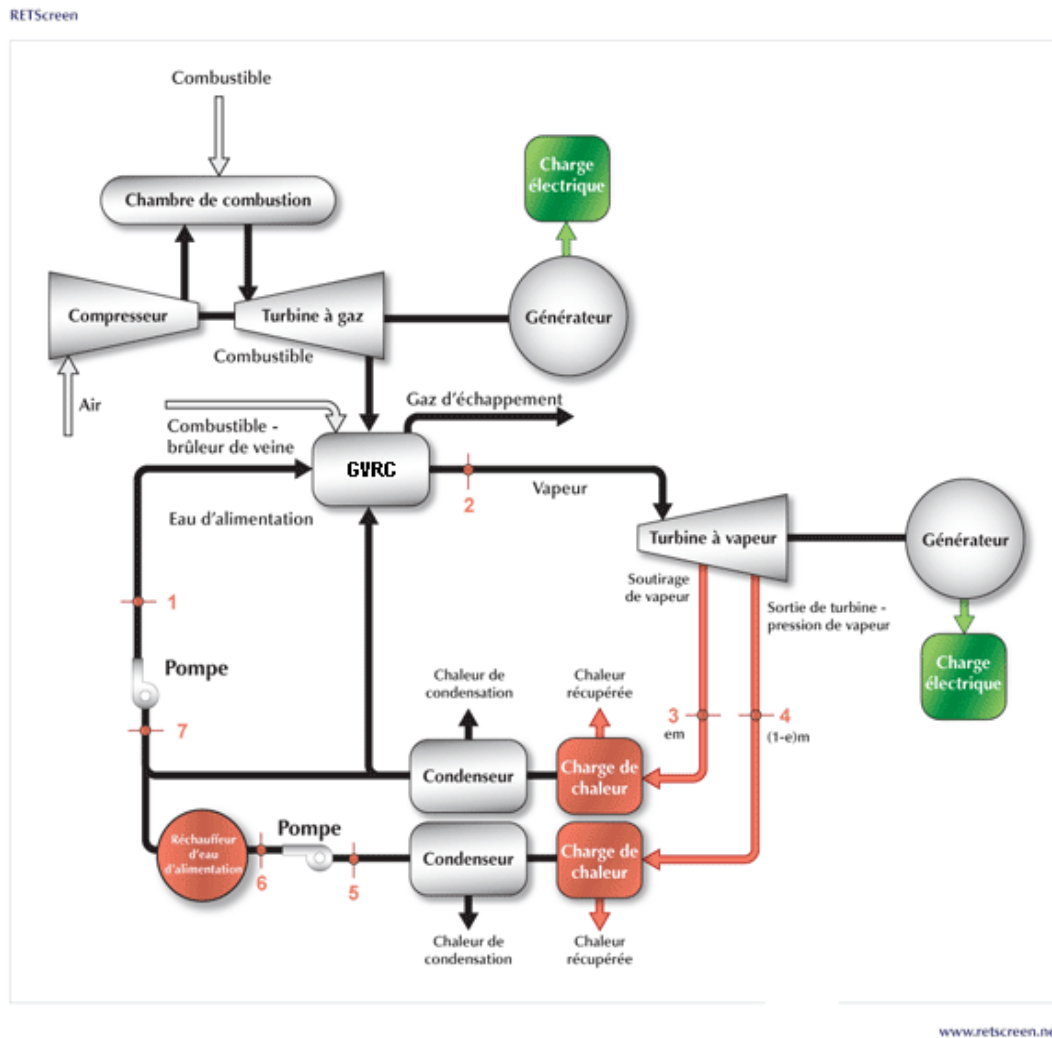
Quelques usines produisent de l'énergie de condensation à partir d'un excédent de vapeur dérivée de la biomasse. La grande partie de la capacité de cogénération restante au Canada se trouve chez les producteurs autonomes d'énergie qui utilisent des turbines à condensation de vapeur.

À noter qu'au Québec, la production d'énergie (industrielle, résidentielle) à partir de la biomasse représente 9,6 % de la production énergétique québécoise<sup>120</sup>. Outre la configuration traditionnelle « chaudières à biomasse et turbine à vapeur », plusieurs autres technologies utilisant la biomasse peuvent être mises en œuvre pour la cogénération, par exemple la gazéification ou la pyrolyse. Les gaz produits par ces processus actionnent un MCI (ou une turbine à gaz). Cet équipement fait fonctionner un alternateur (production d'électricité) et produit en même temps de la chaleur utilisable dans un procédé industriel ou pour un réseau de chaleur (voir « Installation de gazéification de la biomasse forestière », à la section 4.2, figure 20).

120. MRNF et *Biocarburants produits à partir de biomasse forestière : types, usages, matière première, technologie de production*, Michel Lachance (CQVB), 2008.

Dans certaines installations de plus grande taille, l'énergie résiduelle contenue dans les gaz d'échappement de la turbine à gaz est récupérée dans un générateur de vapeur à récupération de chaleur (GVRC) pour produire de la vapeur, laquelle est utilisée pour actionner une turbine à vapeur (qui produit à son tour de l'électricité et de la chaleur). La figure 43 illustre le schéma de fonctionnement d'une centrale de gazéification à la biomasse à cycle combiné (*biomass integrated gasification combined cycle* [BIGCC]).

**Figure 43 : Schéma d'une centrale de gazéification à la biomasse à cycle combiné**



Source : Adapté de RETScreen.

Le coût d'une centrale de cogénération à la biomasse dépend de la technologie et des équipements utilisés, des systèmes de traitement des émissions, etc. Le tableau 30 donne des

exemples d'investissements requis pour différentes technologies de conversion énergétique de la biomasse.

**Tableau 30 : Investissements requis pour différentes technologies de conversion énergétique**

Technologie	Coût en capital, (M\$/MW <sub>e</sub> )	Efficacité électrique (%)	Échelle
Combustion directe (vapeur)	2,5	25-30 ou 20-25	Grande ou petite
Cycle de vapeur	4*	20-25	Grande
Cycle entropique	2,8*	14	Petite
Gazéification-combustion	3	20-25	Grande
Pyrolyse à turbine	3-5,6	12	Grande

\* Estimation présentée sans le système de distribution de la chaleur.

Source : Traduit de BIOCAP, 2008. [An Information Guide on Pursuing Biomass Energy Opportunities and Technologies in British Columbia](#), BC Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, BC Ministry of Forests and Range.

Le tableau 31 présente les centrales de cogénération qui utilisent de la biomasse forestière au Québec.

**Tableau 31 : Production d'électricité à partir de la biomasse forestière au Québec**

Région	Centrale	Puissance installée (MW)
Abitibi-Témiscamingue	Boralex Senneterre	31
	Tembec Témiscamingue	10
Estrie	Domtar Windsor	26
Nord-du-Québec	Chapais Énergie	31
Saguenay-Lac-Saint-Jean	Gestion Fibrek Saint-Félicien	29
	Société de cogénération Saint-Félicien	23
	Boralex Dolbeau-Mistassini	28,8
Estrie	Kruger Bromptonville-Sherbrooke	29
	Marcel Lauzon	0,3
<b>Total</b>		<b>208,1</b>

Source : Adapté de [Liste des centrales privées raccordées au réseau d'Hydro-Québec](#), Hydro-Québec TransÉnergie, novembre 2010.

## 5.4 Polygénération

Compte tenu des nombreux défis liés aux changements climatiques et de la demande croissante pour les produits énergétiques renouvelables, la recherche s'oriente de plus en plus vers des installations de production plus efficaces, tant sur le plan du rendement énergétique que de la rentabilité économique. Alors que la plupart des voies de valorisation énergétique

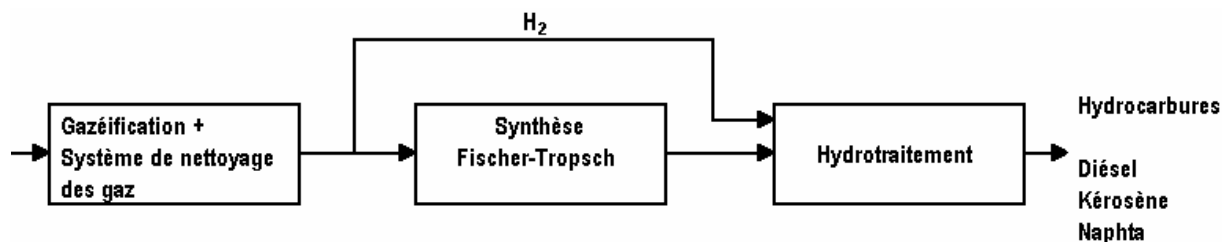
traditionnelles sont fortement axées sur la production d'énergie ou la synthèse de biocarburants (un ou l'autre), les stratégies de polygénération optent pour une approche plus globale, car elles favorisent la mise en place de « centres d'énergie » qui fournissent une gamme de produits énergétiques (et chimiques) optimisée.

La polygénération (*polygeneration* ou *bioenergy combine*) est l'extension des principes de cogénération et de trigénération, qui sont respectivement la production simultanée de deux et de trois types d'énergie.

La polygénération consiste en la génération intégrée de trois produits ou plus, qu'ils soient sous une forme tangible (combustibles liquides, solides et produits chimiques) ou intangible (énergie électrique, chaleur)<sup>121</sup>. En plus de produire de l'électricité et de la chaleur (traditionnellement la partie « cogénération »), les installations de polygénération produisent également un ou deux produits énergétiques supplémentaires, comme le méthanol ou l'éther diméthylique.

Les figures 44, 45 et 46 présentent schématiquement des exemples de monogénération et de polygénération de la conversion de la biomasse.

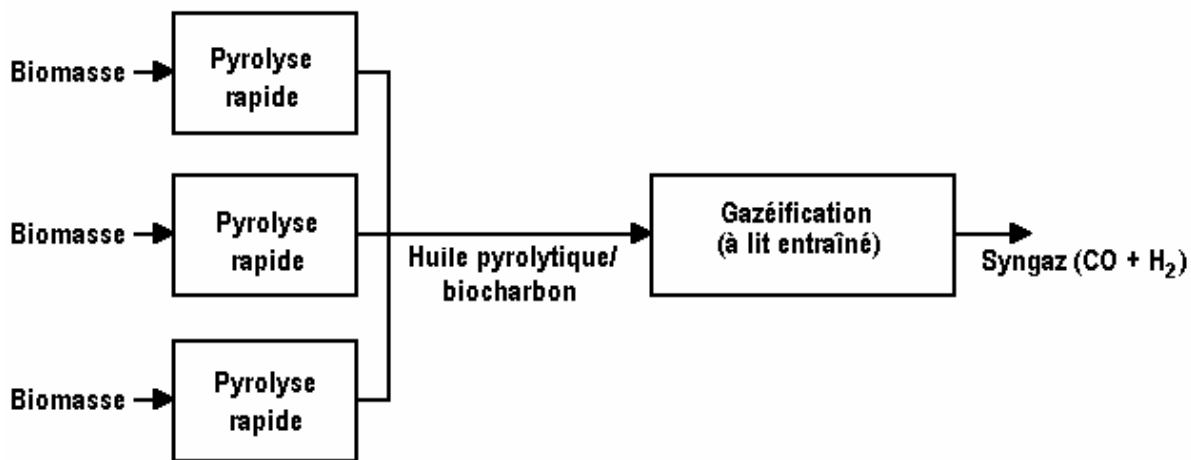
**Figure 44 : Schéma d'une centrale de gazéification (conversion BTL) de type monogénération (grande échelle) (15 000 t/an, CHOREN Fuel Freiberg, Allemagne)**



Source : Adapté de Blades T. 2<sup>nd</sup> BtL Congress, Berlin, October 2006.

Dans l'exemple présenté à la figure 44, la biomasse est transformée par l'intermédiaire de la gazéification en gaz de synthèse, lequel est converti en hydrocarbures par synthèse en utilisant le procédé FT. Un autre exemple de monogénération est présenté à la figure 45. Cet exemple montre que la biomasse est transformée en premier en huile pyrolytique et en charbon à l'aide de la pyrolyse, puis le mélange des deux produits passe dans l'unité de gazéification pour produire du syngaz (pilote, 1t/an, FZK Karlsruhe, Allemagne).

121. [Wikipédia](#) et [Polygeneration in Europe: A Technical Report](#), Polysmart, 2008.

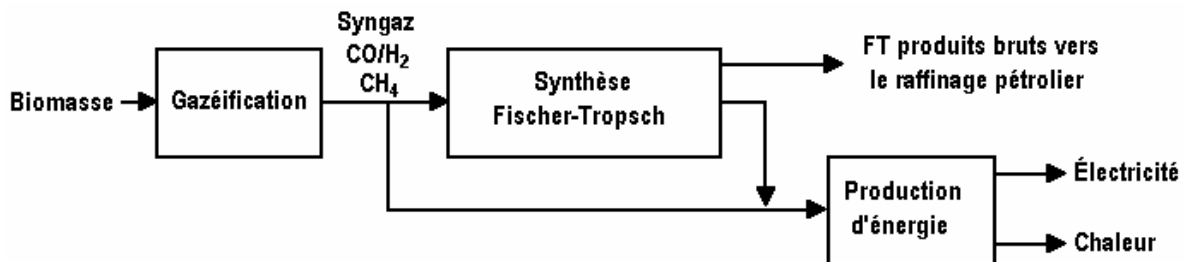
**Figure 45 : Exemple de conversion de la biomasse (monogénération)**

Source : Adapté de Henrich, Dahmen, Dinjus. « Biofuels », *Bioprod. Bioref.*, 3:28-41, 2009).

À titre d'exemple, une stratégie de polygénération, déjà mise en œuvre dans plusieurs pays européens, consiste à produire à partir d'une centrale constituée d'une chaudière à biomasse et d'une turbine à vapeur :

- ↗ de l'énergie électrique, grâce à la turbine;
- ↗ de la chaleur, grâce à une partie de la vapeur turbinée;
- ↗ du froid, en fournissant de la chaleur à un refroidisseur à absorption<sup>122</sup>.

La gazéification offre même plus de possibilités de polygénération, par la production de chaleur, de froid et d'électricité tout en permettant la synthèse de biocarburants.

**Figure 46 : Exemple de polygénération à petite échelle à partir de gazéification (usine pilote de démonstration à Güssing, en Autriche)**

Source : Adapté de Potetz A. *3rd BtL-Congress*, Berlin, October 2008.

122. « Faire du froid avec du chaud : du froid pour rentabiliser les projets bois-énergie », *Bois International*, Cahiers du bois-énergie n° 43, 2009, p. 25-27.

L'élaboration de stratégies de polygénération est une approche relativement nouvelle, sauf au chapitre de la cogénération, car les technologies de cogénération sont bien connues. La nouveauté (et l'incertitude technologique) tient plutôt à l'intégration de la synthèse de biocarburants à la production d'électricité et de chaleur.

Les expériences, les simulations et les évaluations réalisées à ce jour ont pu démontrer que les stratégies de polygénération offrent plusieurs avantages par rapport aux autres systèmes non intégrés de production d'énergie et de produits issus de la biomasse, entre autres une flexibilité accrue grâce à la possibilité d'optimiser le procédé en fonction de la demande du marché. Cela dépend des avantages relatifs de la production d'électricité, de chaleur et de gaz de synthèse (incitatifs financiers liés à la production d'énergie renouvelable, dans certains pays).

À titre d'exemple, des chercheurs suédois ont récemment démontré<sup>123</sup>, par des simulations, que la production d'éthanol cellulosique est plus efficace lorsqu'elle est intégrée à une installation de cogénération que lorsqu'elle est produite dans une usine non intégrée. La consommation totale de biomasse a été réduite de 13,9 % tout en produisant les mêmes quantités de chaleur, d'électricité et d'éthanol. De plus, les résultats ont mis en évidence un autre bénéfice de la polygénération, soit une plus longue période de fonctionnement annuel par rapport à la cogénération existante. Ainsi, la production d'électricité renouvelable est augmentée de 2,7 % par an.

D'autres recherches, toujours menées en Suède, ont porté sur les gains possibles de l'intégration d'une usine de fabrication de granules à une scierie, à une papetière<sup>124</sup> ou encore à une usine de cogénération<sup>125</sup> avec turbine à vapeur. Les bénéfices observés sont la récupération de chaleur, la flexibilité globale accrue – en raison d'un système qui reste efficace même lorsque la charge thermique du réseau de chaleur décroît –, des heures d'exploitation plus longues et une efficacité globale de l'ordre de 86 à 87 %.

Dans le même ordre d'idées, les résultats des recherches publiés par l'[Association des produits forestiers du Canada \(APFC\)](#) ont démontré que les possibilités en matière de bioénergie et de bioproduits sont plus solides, en ce qui a trait aux aspects économiques et sociaux, lorsqu'elles sont intégrées aux activités traditionnelles de l'industrie sur une base autonome. Les activités entourant les produits traditionnels (pâtes, papiers, sciages, etc.), la bioénergie et les bioproduits génèrent en effet des rendements économiques supérieurs et fonctionnent mieux quand elles sont regroupées. Le graphique 3 met en évidence les retombées bénéfiques de la combinaison de l'industrie traditionnelle et des nouvelles technologies<sup>126</sup>.

---

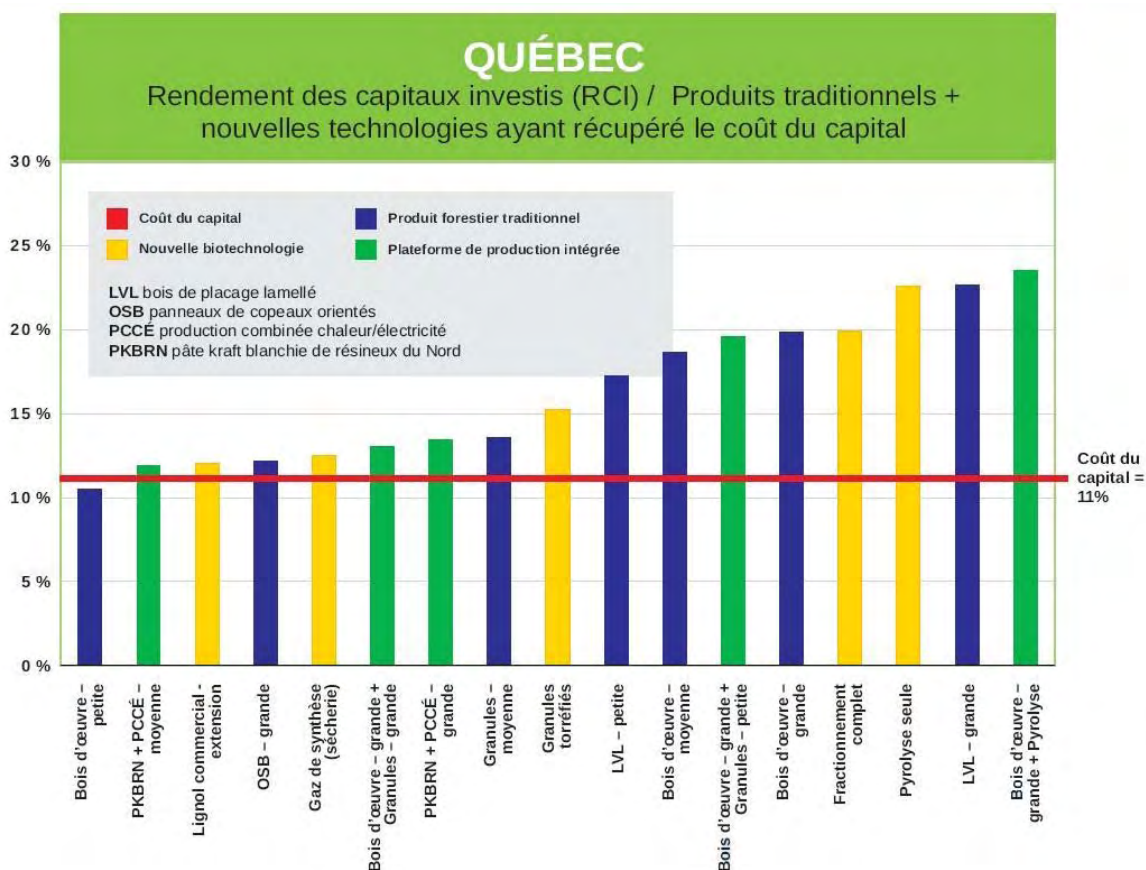
123. « Performance Evaluation of Adding Ethanol Production into an Existing Combined Heat and Power Plant », *Bioresource Technology*, January 2010, Vol. 101, Issue 2, p. 613-618.

124. « Energy-Efficient Pellet Production in the Forest Industry: A Study of Obstacles and Success Factors », *Biomass and Bioenergy*, Volume 30, Issue 1, January 2006, p. 38-45.

125. « A Total Energy System of Fuel Upgrading by Drying Biomass Feedstock for Cogeneration: A Case Study of Skellefteå Bioenergy Combine », *Biomass and Bioenergy*, Volume 23, Issue 4, October 2002, p. 271-281.

126. [Transformer l'industrie canadienne des produits forestiers](#), Association des produits forestiers du Canada (APFC), février 2010, p. 4-5.

**Graphique 3 : Rendement des capitaux investis (RCI) pour le Québec : produits traditionnels et nouvelles technologies ayant récupéré le coût du capital**



Source : *Transformer l'industrie canadienne des produits forestiers : sommaire des résultats du Projet de la voie biotechnologique*, Association des produits forestiers du Canada (APFC), février 2010.

L'adoption d'une stratégie de polygénération permet donc d'optimiser l'utilisation de la ressource et, conséquemment, d'abaisser les coûts unitaires d'investissement et de fabrication de produits et d'énergie, si on les compare à ceux obtenus lorsqu'il y a productions séparées. Cependant, vu le nombre potentiellement important d'options possibles et la complexité de certaines d'entre elles, une méthode rigoureuse et systématique est requise pour évaluer les bénéfices, les coûts inhérents et l'impact environnemental d'une option par rapport à une autre<sup>127</sup>.

Certains documents consultés pour ce chapitre se trouvent à l'annexe H.

127. Méthode rigoureuse et systématique proposée par Norman Edward Sammons dans *A Framework for Optimal Biomass-Based Polygeneration Facility Product Allocation*, Dissertation, December 2009, <http://etd.auburn.edu/etd/bitstream/handle/10415/2002/Sammons%20Thesis.pdf?sequence=1>.





---

## 6. EXEMPLES D'APPLICATIONS

---

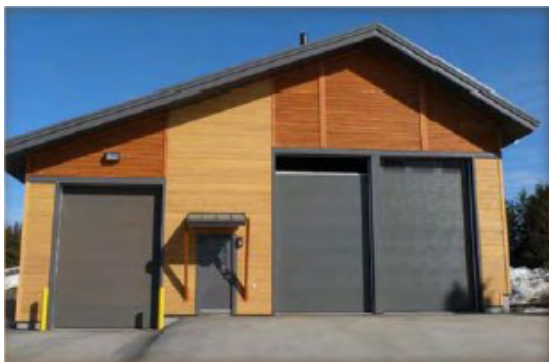
Nous présentons, dans cette section, des réalisations mais aussi des projets canadiens, américains et européens qui utilisent certains des procédés de conversion vus précédemment. Ils sont présentés ici sans ordre, pour démontrer la diversité des installations.

### Centre de santé et de services sociaux de la Matapédia (Amqui, Québec)

Le Centre de santé et de services sociaux de la Matapédia s'est associé à la Coopérative forestière de la Matapédia pour réaliser un projet de chauffage à la biomasse ligneuse à l'hôpital d'Amqui, la première initiative du genre au Québec. La chaufferie est munie de deux chaudières de **combustion** et d'une réserve souterraine assurant quatre jours d'autonomie au système. Elle doit permettre de réaliser environ 100 000 \$ par année d'économie en chauffage. L'approvisionnement est assuré par de la biomasse forestière résiduelle.

### Photo 22 : Chaufferie à la biomasse forestière de l'hôpital d'Amqui

---



Source : Martine Soucy, Société d'aide au développement des collectivités (SADC) de La Matapédia.

### Kruger Products Ltd. (New Westminster, Colombie-Britannique)

Kruger, FPInnovations et Nexterra Systems Corp. ont formé un consortium pour la conception de la première unité commerciale de **gazéification** à feu direct de Nexterra (figure 47). L'unité, équipée de deux gazogènes, est entrée en service en décembre 2009, à l'usine de papier hygiénique de Kruger de New Westminster, en Colombie-Britannique. Elle permet de convertir 78 000 tonnes métriques humides par an de biomasse forestière résiduelle, ayant un taux d'humidité allant jusqu'à 60 %, en gaz de synthèse qui est brûlé directement dans la fournaise de la chaudière pour la production de 40 000 lb/h de vapeur à basse pression. Le projet de Kruger est la première installation de Nexterra qui brûle directement le syngaz obtenu à partir de la biomasse dans les bouilloires industrielles. Le syngaz est un bon substitut du mazout ou du gaz naturel. Cette unité de production d'énergie permet de réduire les émissions de GES de 22 000 t/an.

**Figure 47 : Représentation graphique du système Nexterra utilisé par Kruger**

---



Source : Nexterra Systems Corp.

Pour en savoir davantage :

- [Nexterra – Kruger project.](#)

### **Eastern Illinois University (Charleston, Illinois)**

L'Eastern Illinois University remplace sa centrale thermique vieillissante alimentée au charbon par une **centrale de cogénération** dont le cœur est constitué de deux grands **gazogènes** alimentés par de la biomasse forestière locale. Le projet de 79 M\$ US piloté par Honeywell permettra de réduire la facture énergétique d'environ 7 M\$ US par année et de réduire les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de 20 000 tonnes. La vapeur produite servira au chauffage des nombreux pavillons de l'université et actionnera une turbine à la vapeur qui générera 2,9 millions de kilowattheures d'électricité par année.

Pour en savoir davantage :

- « [Eastern Illinois University to Use Wood Biomass Gasification Technology in New Steam Plant](#) », *RISI's Wood Biomass Market Report*, November 23, 2009;
- HONEYWELL. « [Honeywell and EIU Bring the Heat with Biomass-Fueled Plant](#) », November 20, 2009.

### **4Energy Invest Ham (Belgique)**

4Energy Invest, société active dans le secteur des énergies renouvelables et de la valorisation de la biomasse en énergie, annonçait en janvier 2010 le lancement d'un projet de **centrale de cogénération** d'une capacité de 9,5 MW<sub>e</sub> et de 14 MW<sub>th</sub> à Ham, en Belgique. La centrale, située sur un terrain adjacent à celui d'un important producteur industriel d'écorces pour l'horticulture, fournira la chaleur nécessaire au procédé de ce dernier et l'électricité verte produite sera vendue au réseau de distribution local. En contrepartie, le producteur d'écorces

fournira environ 50 % de la biomasse requise par la centrale de cogénération. La chaudière sera de type à lit fluidisé. L'investissement requis pour ce projet est de 37,7 millions d'euros.

Pour en savoir davantage :

- « [4Energy Invest annonce le lancement de son projet de cogénération biomasse à Ham](#) »;
- « [Metso to Supply Biomass Power Plant to Belgium](#) »;
- Site Web de [4Energy Invest](#);
- [Producteur d'écorces horticoles Agricon](#).

### Centrale à la biomasse d'Assens (Assens, Danemark)

La centrale de **cogénération** d'Assens, d'une puissance installée de 17,3 MW (chaudière), produit annuellement 27 000 MWh d'électricité et 226 000 GJ d'énergie thermique aux 5 400 habitants de cette ville. Elle consomme 45 000 t/an de broyats forestiers, de copeaux et de sciures, dont le taux d'humidité moyen varie de 40 à 50 %.

Pour en savoir davantage :

- [Assens Fjernvarme Amba Biomass-Fired Combined Heat and Power Plant](#);
- [Assens : Cogénération avec turbine à vapeur](#);
- [Babcock & Wilcox Vølund A/S](#);
- [Techno-Economic Evaluation of Selected Decentralised CHP Applications Based on Biomass Combustion in IEA Partner Countries](#), p. 4-10.

### Centrale de cogénération de Lienz (Lienz, Autriche)

La centrale de **cogénération** de Lienz alimente un **réseau de chauffage** urbain d'une longueur de plus de 30 kilomètres dans la ville de Lienz, en Autriche. Elle est principalement constituée de deux chaudières à la biomasse, d'un module utilisant le procédé Organic Rankine Cycle (ORC), de panneaux solaires et également de deux chaudières au mazout pour les périodes de pointe et comme système de secours. Sa capacité électrique est de 1,1 MW<sub>e</sub> et sa capacité thermique, de 4,9 MW<sub>th</sub>.

Pour en savoir davantage :

- [Techno-Economic Evaluation of Selected Decentralised CHP Applications Based on Biomass Combustion in IEA Partner Countries](#), p.15-22;
- [BIOMASSE - BOIS. Centrale thermique. LIENZ](#).

### Repotec (Güssing, Autriche)

L'installation de **polygénération** de Repotec utilise la **gazéification** pour produire de l'électricité et de la chaleur de même que, depuis 2005, du biodiesel et de la cire.

Pour en savoir davantage :

- [Gasification Plant with Methanol Production in Güssing](#);
- [Démonstration de la production de 1 MW de gaz naturel de synthèse à partir du bois, à l'usine de biomasse de Güssing \(2009\)](#).

### **Stamford Water Pollution Control Authority (Stamford, Connecticut)**

Nexterra Systems Corp. a été sélectionnée par la ville de Stamford (CT) pour concevoir un système de **gazéification** qui consommera près de 15 000 tonnes vertes de biomasse forestière locale afin de produire du gaz de synthèse en remplacement du gaz naturel alimentant la chaudière de son usine de traitement des eaux. La chaleur générée servira à sécher les boues biologiques. L'installation permettra à la Ville de réduire sa facture d'énergie fossile d'environ 1 M\$ US/an et de réduire ses émissions de GES d'environ 4 000 tonnes par an.

Dans une phase ultérieure, Stamford souhaite utiliser les boues séchées comme biocombustibles dans un autre gazogène afin de produire de l'électricité avec un MCI.

Pour en savoir davantage :

- « [Wood Biomass Gasification System Will Power Waste Water Processing](#) », *RISI's Wood Biomass Market Report*, [Sept. 10, 2009](#);
- Site Web de [Nexterra Energy Corp.](#);
- [Nexterra – SWPCA Biomass Gasification Project Information Sheet](#).

### **Ville de Växjö (Suède)**

Plus de la moitié de l'énergie (chauffage, électricité, transport) consommée dans la ville de Växjö provient d'énergies renouvelables. Växjö Energi fournit toute l'énergie de chauffage et de 25 à 30 % de l'électricité consommée par ses clients. La biomasse (forestière et tourbe) constitue 95 % des combustibles utilisés et son **réseau de chaleur**, d'une longueur de 365 km, dessert plus de 7 000 clients. Depuis 2009, l'usine de Växjö Energi produit du froid pour la climatisation, devenant ainsi une usine de **polygénération**.

Pour en savoir davantage :

- [Trigeneration Increasing The Electricity Production](#);
- Site Web de [Växjö Energi](#);
- [Biomass CHP – Växjö](#).

### **Flambeau River Biofuels LLC (Park Falls, Wisconsin)**

Cette centrale de **polygénération** utilisera la **gazéification** suivie d'une conversion catalytique FT afin de produire 18 millions de gallons de biodiesel et de cire. Ce sont 350 000 tonnes courtes sèches (ou environ 320 tonnes métriques anhydres) de biomasse forestière qui seront

nécessaires à cette production. L'usine fournira également de la vapeur à l'usine de papier adjacente pour une valeur de 10 M\$ US par année. Le démarrage est prévu au cours de 2011.

Pour en savoir davantage :

- [Advanced Biofuel Project Picks Up Steam in Wisconsin](#), *Biodiesel magazine*, [October 2009](#);
- [Flambeau River Biofuels LLC Fact Sheet](#);
- Site Web de [ThermoChem Recovery International Inc.](#) (TRI).

### Ville de Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard)

Charlottetown est la ville où est exploité, depuis 1986, le plus important réseau de chauffage urbain alimenté au bois au Canada. Le **réseau de chaleur** utilise de l'eau chaude pour chauffer plusieurs bâtiments d'envergure, notamment les bureaux du gouvernement provincial, l'hôpital Queen Elizabeth, l'Université de l'Île-du-Prince-Édouard, le centre municipal de 8 000 m<sup>2</sup>, deux centres commerciaux et plusieurs autres bâtiments commerciaux et résidentiels (en tout, 125 bâtiments). Le réseau s'étend aujourd'hui sur quelque 16 km.

L'énergie générée par la centrale à **cogénération** est fournie par des résidus de bois, mais aussi par des chaudières au mazout ainsi que par un incinérateur à ordures (sources d'énergie délocalisées). La puissance maximale du système est d'environ 35 MW<sub>th</sub>, auxquels s'ajoute une capacité d'électricité de 1,2 MW<sub>e</sub>. Environ 85 % des besoins totaux du système sont assurés par 62 000 tonnes de bois et l'incinération des ordures, le complément étant garanti par du mazout.

Pour en savoir davantage :

- [The Charlottetown District Energy System](#).

### Ville de Vienne (Autriche)

La compagnie de services publics Wien Energie inaugurerait, en octobre 2006, la plus grande centrale de **cogénération** à la biomasse d'Europe. Exclusivement alimentée en résidus forestiers, la centrale est située en milieu urbain, dans un quartier sud de Vienne, et est contiguë à une centrale à combustibles fossiles. Sa capacité totale est d'environ 65 MW (de 15 à 23 MW<sub>e</sub> et 37 MW<sub>th</sub>). Un investissement de l'ordre de 75 M\$ CA a été nécessaire.

L'usine, qui fonctionne plus de 8 000 heures par an, consomme environ 190 000 tonnes de bois sous forme de billes non commercialisables et réduites en copeaux (600 000 m<sup>3</sup> de copeaux) dans un centre spécialement aménagé. Sa production d'électricité répond aux besoins d'environ 48 000 ménages, tandis que l'énergie thermique qu'elle génère alimente 12 000 résidences (chauffage d'espaces et eau chaude sanitaire). La clientèle est alimentée par un **réseau de chaleur** (déjà existant) comptant 510 km de conduites primaires et 475 km de conduites secondaires. En 2003, ce réseau de chaleur approvisionnait au total près de 234 000 résidences.

Pour en savoir davantage :

- [Socio-Economics of Large Urban Wood-Fuelled Cogeneration: Sustainable Energy Supply for Austria's Capital City of Vienna;](#)
- [Wien Energie – Europe's Largest Forest Biomass Power Station.](#)

### **Parc industriel de Kaiserbaracke (Belgique)**

Trois entreprises du secteur de la transformation du bois, la scierie Belwood, le centre de tri de Holz Nielsen (capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/an) et Delhez Bois (usine de rabotage commercialisant un million de sacs de rabotures par an pour l'industrie équestre et fabricant 25 000 t/an de granules) sont alimentées en énergie à partir de la **centrale de cogénération** à la biomasse de Renogen (capacité de 4 MW<sub>e</sub> et de 8,5 MW<sub>th</sub>), implantée à cette fin. Renogen est une filiale de 4Energy Invest, très active dans le développement des bioénergies. La centrale est alimentée entre autres par du bois résiduel issu des entreprises du parc industriel (écorces, billes non commercialisables). Elle fournit :

- ↗ l'énergie thermique au séchoir de la scierie (5 MW<sub>th</sub>) et au séchoir basse température de Delhez Bois (10 MW<sub>th</sub>);
- ↗ l'énergie électrique aux industriels du parc et au réseau de distribution (certificats verts).

Pour en savoir davantage :

- [Centrale de cogénération biomasse «RENOGEN».](#)

## 7. NORMALISATION ET CERTIFICATION DES BIOCOMBUSTIBLES SOLIDES<sup>128</sup>

La qualité d'un biocombustible solide forestier (granules, briquettes, copeaux, bois de chauffage, etc.) non certifié peut varier considérablement. Dans de telles circonstances, les consommateurs tentent d'acquérir un produit aussi homogène que possible, en matière de pouvoir calorifique, de taux d'humidité, de granulométrie et de teneur en cendres, afin de garantir une performance optimale de leurs systèmes de combustion à la biomasse.

Traditionnellement, les grands consommateurs de biocombustibles solides (papetières, gestionnaires de grands bâtiments publics, etc.) ont fixé leurs propres normes (normes « maison »), indiquant à leurs fournisseurs les qualités de combustibles exigées.

Or, la filière bioénergétique se déploie actuellement à grande vitesse. Il est raisonnable de prévoir que :

- ↪ de nombreux appareils de combustion de différents types, ayant chacun des spécificités en regard du combustible, seront mis en service;
- ↪ de nouveaux consommateurs des secteurs industriel, commercial et résidentiel seront séduits par cette forme d'énergie;
- ↪ des entreprises se spécialiseront dans la préparation et la livraison des biocombustibles.

Cette filière naissante est fragile. Elle résisterait mal aux problèmes de qualité qui pourraient avoir des effets dévastateurs sur son image. Pour qu'elle puisse connaître une croissance harmonieuse, les intervenants doivent être vigilants et auraient avantage à tirer profit des nombreux bénéfices que peuvent lui apporter une normalisation et une certification de ses biens et services. En voici quelques-uns<sup>129</sup>:

### De nature commerciale

- ↪ L'affermissement de la confiance des consommateurs, grâce à :
  - une gamme de biocombustibles de qualité vérifiable, dont les propriétés sont constantes, connues et certifiées;
  - des services (stockage, transport, livraison) de qualité établie permettant de conserver l'intégrité des produits;
- ↪ Le développement de marchés facilité grâce à la réduction des entraves techniques au commerce;

128. Nous tenons à remercier M<sup>me</sup> Geneviève Drouin et M. Jean Rousseau du BNQ pour leur précieuse collaboration.

129. *La valorisation thermique de la biomasse forestière : paramètres-clés au développement harmonieux de cette filière énergétique au Québec*, Agence de l'efficacité énergétique, Nicolas Laflamme, octobre 2010.

- ↗ L'établissement d'un modèle d'affaires stable, fiable et concurrentiel dans un environnement de services énergétiques intégrés.

De nature technique

- ↗ La diminution des répercussions environnementales en matière d'émission de particules fines et de polluants atmosphériques (COV, HAP, etc.);
- ↗ L'amélioration globale de l'efficacité énergétique par une conception optimisée des équipements de combustion en fonction des propriétés des biocombustibles utilisés;
- ↗ La simplification du transfert de technologies.

Dans cette section, il sera question des normes régissant la qualité des biocombustibles solides au Canada, aux États-Unis et en Europe, et de systèmes de certification garantissant l'atteinte des exigences des normes, en Europe.

---

**CANADA**

---

Il n'y a actuellement aucune norme nationale régissant la qualité des granules ou des copeaux.

En ce qui a trait aux bûches de bois densifié, le comité ULC sur les foyers, les cheminées et les conduits d'évacuation préfabriqués procède actuellement à l'examen de la proposition d'un nouveau projet de norme, ULC-S672, Les bûches en matériaux composites. ULC prévoit publier la nouvelle norme en 2012<sup>130</sup>.

---

**ÉTATS-UNIS**

---

Il existe plusieurs normes de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) liées à la qualité des combustibles à base de bois :

Numéro	Titre
ASTM E870-82 (2006)	Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels
ASTM E871-82 (2006)	Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels
ASTM E872-82 (2006)	Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels
ASTM E1358-97 (2006)	Standard Test Method for Determination of Moisture Content of Particulate Wood Fuels Using a Microwave Oven
ASTM E1534-93 (2006)	Standard Test Method for Determination of Ash Content of Particulate Wood Fuels

En ce qui a trait aux granules, en octobre 2010, après plusieurs mois de travail intense et de sensibilisation auprès de l'industrie, la Pellet Fuels Institute (PFI) adoptait à l'unanimité la dernière version du programme de normes Standard Specification for Residential / Commercial Densified Fuel. La PFI espère que l'EPA sélectionnera ces normes pour l'établissement de la

---

130. Underwriters Laboratories Inc., <http://ul.com/canada/fra-ca/pages/ulcstandards/standardsactivities/newprojects/>, Mark Ramlochan (613 755-2729).



nouvelle réglementation sur les combustibles densifiés, incluse dans les New Source Performance Standards (NSPS) for Residential Wood Heaters de l'EPA, qui devrait être adoptée en 2012<sup>131</sup>.

Malgré le fait que ces normes ne seront pas obligatoires au Canada, les producteurs canadiens pourront être certifiés<sup>132</sup>.

Le tableau 32 présente les exigences de la nouvelle norme de la PFI<sup>133</sup>.

**Tableau 32 : Spécifications des différentes catégories de granules définies par la Pellet Fuels Institute**

<b>Combustible densifié (granules) à usage résidentiel ou commercial</b>			
Propriété du combustible	PFI Premium	PFI Standard	PFI Utility
<b>Information normative (obligatoire)</b>			
Densité en vrac (lb/pi <sup>3</sup> )	40,0-46,0	38,0-46,0	38,0-46,0
Diamètre (pouce)	0,230-0,285	0,230-0,285	0,230-0,285
Diamètre (mm)	5,84-7,25	5,84-7,25	5,84-7,25
Index de durabilité	≥ 96,5	≥ 95,0	≥ 95,0
Particules fines (%)	≤ 0,50	≤ 1,0	≤ 1,0
Contenu en cendre (%)	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 6,0
Longueur (% plus long que 1,50 pouce)	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Teneur en humidité (%) (base humide)	≤ 8,0	≤ 10,0	≤ 10,0
Chlorures (ppm)	≤ 300	≤ 300	≤ 300
<b>Déclaration informative (non obligatoire)</b>			
Fusion de cendres	ND	ND	ND
Valeur calorifique	ND	ND	ND

Source : Traduit de Pellet Fuels Institute, November 2010.

Les plus importantes différences entre l'ancien programme normatif (2009) de la PFI et celui proposé en octobre 2010 sont des inspections indépendantes par une tierce partie, l'échantillonnage, les essais et la surveillance générale du programme.

131. <http://pelletheat.org/pfi-standards/what-are-the-pfi-standards>.

132. « Making the Grade », *Canadian Biomass Magazine*, Heather Hager, November-December 2010.

133. <http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/01/PFI-Standard-Specification-for-Residential-Commercial-Densified-Fuel-10-25-10.pdf>.

Les méthodes d'essai normalisées suivantes sont nécessaires à l'application de la norme PFI :

Numéro	Titre
ASTM E 873	Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels
ASTM E 871	Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels
ASTM D 1102-84	Standard Test Method for Ash in Wood
ASTM E 791	Standard Test Method for Calculating Refuse-Derived Fuel Analysis Data from As-Determined to Different Bases
ASTM E 776	Standard Test Method for Forms of Chlorine in Refuse-Derived Fuel
ASTM D 4208	Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion / Ion Selective Electrode Method
ASTM D 6721	Standard Test Method for Determination of Chlorine in Coal by Oxidative Hydrolysis Microcoulometry
ASTM E 711	Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter
ASTM E 29	Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications
ASTM C 702	Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size
ASTM D 1857	Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash
Autres	
	Kansas State University, Mechanical Durability of Feed Pellets, Call Number: LD2668.T4 1962 Y68

Contrairement aux granules de bois, les bûches synthétiques offertes sur le marché diffèrent quant à leur forme, leur dimension, leur poids et leur densité.

## **EUROPE**

Mis à part les normes nationales (autrichienne, allemande, française, etc.), il existe, en Europe (EN), toute une série de normes sur les biocombustibles solides préparées par le Comité européen de normalisation (CEN) TC 335. Ces normes et projets de norme portent sur la terminologie, les principales caractéristiques du granule, les méthodes d'essai et d'échantillonnage et les dispositions d'assurance qualité. Certaines de ces normes sont déjà publiées, d'autres sont à l'étape de l'approbation ou de l'élaboration.

Les tableaux 33 et 34 présentent l'ensemble de ces normes ou projets de norme.

**Tableau 33 : Normes européennes (EN) déjà publiées sur les biocombustibles solides**

Numéro	Nom
CEN/TS 15234 : 2006	Biocombustibles solides – Assurance qualité du combustible
CEN/TS 14778-1 : 2005	Biocombustibles solides – Échantillonnage – Partie 1 : Méthodes d'échantillonnage
CEN/TS 14779 : 2005	Biocombustibles solides – Échantillonnage – Méthodes de préparation des plans d'échantillonnage et des certificats d'échantillonnage
CEN/TS 14780 : 2005	Biocombustibles solides – Méthodes de préparation des échantillons
CEN/TS 15370-1 : 2006	Biocombustibles solides – Méthode de détermination de la fusibilité des cendres – Partie 1 : Méthode des températures caractéristiques
CEN/TS 15149-3 : 2006	Biocombustibles solides – Méthode de détermination de la distribution granulométrique – Partie 3 : Méthode au tamis rotatif
CEN/TS 15150 : 2005	Biocombustibles solides – Méthode de détermination de la masse volumique des particules
CEN/TS 15104 : 2005	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur totale en carbone, hydrogène et azote – Méthodes instrumentales
CEN/TS 15289 : 2006	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur en chlore et en soufre
CEN/TS 15105 : 2005	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur en chlorure, sodium et potassium solubles dans l'eau
CEN/TS 15290 : 2006	Biocombustibles solides – Détermination des éléments mineurs
CEN/TS 15297 : 2006	Biocombustibles solides – Détermination des éléments mineurs
CEN/TS 15296 : 2006	Biocombustibles solides – Calcul des analyses selon différentes bases
CEN/TR 15569 : 2009	Biocombustibles solides – Guide du système d'assurance qualité
EN 14961-1 : 2010	Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles – Partie 1 : Exigences générales
EN 14918 : 2009	Biocombustibles solides – Détermination du pouvoir calorifique
EN 15103 : 2009	Biocombustibles solides – Détermination de la masse volumique apparente
EN 14774-1 : 2009	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur en humidité – Méthode par séchage à l'étuve – Partie 1 : Humidité totale – Méthode de référence
EN 14774-2 : 2009	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur en humidité – Méthode par séchage à l'étuve – Partie 2 : Humidité totale – Méthode simplifiée
EN 14774-3 : 2009	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur en humidité – Méthode par séchage à l'étuve – Partie 3 : Humidité de l'échantillon pour analyse générale
EN 15148 : 2009	Biocombustibles solides – Méthode de détermination de la teneur en matières volatiles
EN 14775 : 2009	Biocombustibles solides – Méthode de détermination de la teneur en cendres
EN 15210-1 : 2009	Biocombustibles solides – Détermination de la résistance mécanique des granules et des briquettes – Partie 1 : Granules
EN 14588 : 2010	Biocombustibles solides – Terminologie, définitions et descriptions
EN 15149-1 : 2010	Biocombustibles solides – Détermination de la distribution granulométrique – Partie 1 : Méthode au tamis oscillant d'ouverture de maille égale ou supérieure à 1 mm
EN 15149-2 : 2010	Biocombustibles solides – Détermination de la distribution granulométrique – Partie 2 : Méthode au tamis vibrant d'ouverture de maille inférieure ou égale à 3,15 mm
EN 15210-2 : 2010	Biocombustibles solides – Détermination de la durabilité mécanique des granules et des briquettes – Partie 2 : Briquettes

Source : Adapté du Comité européen de normalisation (2010-12-01) et d'AFNOR Biocombustibles solides (2010-12-01).

**Tableau 34 : Projets de norme EN (prEN) en cours sur les biocombustibles solides**

Numéro de référence	Nom	État actuel	Publication prévue en
pr <sup>134</sup> EN 16126	Biocombustibles solides – Détermination de la distribution granulométrique des granules désintégrés	En attente d'approbation	Avril 2012
prEN 16127	Biocombustibles solides – Détermination de la longueur et du diamètre des granules	En attente d'approbation	Avril 2012
FprEN 14961-2	Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles – Partie 2 : Granules de bois densifié à usage non industriel	En attente d'approbation	Mars 2011
FprEN 14961-3	Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles – Partie 3 : Briquettes de bois à usage non industriel	En attente d'approbation	Mars 2011
FprEN 14961-4	Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles – Partie 4 : Plaquettes de bois à usage non industriel	En attente d'approbation	Mars 2011
FprEN 14961-5	Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles – Partie 5 : Bois de chauffage à usage non industriel	En attente d'approbation	Mars 2011
prEN 14961-6	Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles – Partie 6 : Granules non lignifiés à usage non industriel	En élaboration	Janvier 2012
FprEN 15234-1	Biocombustibles solides – Assurance de la qualité des combustibles – Partie 1 : Exigences générales	En attente d'approbation	Mars 2011
prEN 15234-2	Biocombustibles solides – Assurance qualité relative aux combustibles – Partie 2 : Granules de bois à usage non industriel	En élaboration	Janvier 2012
prEN 15234-3	Biocombustibles solides – Assurance qualité relative aux combustibles – Partie 3 : Briquettes de bois à usage non industriel	En élaboration	Janvier 2012
prEN 15234-4	Biocombustibles solides – Assurance qualité relative aux combustibles – Partie 4 : Copeaux de bois à usage non industriel	En élaboration	Janvier 2012
prEN 15234-5	Biocombustibles solides – Assurance qualité relative aux combustibles – Partie 5 : Bois à brûler à usage non industriel	En élaboration	Janvier 2012
prEN 15234-6	Biocombustibles solides – Assurance qualité relative aux combustibles – Partie 6 : Granules en matériaux autres que le bois à usage non industriel	En élaboration	Janvier 2012
FprEN 14778	Biocombustibles solides – Méthodes d'échantillonnage	En attente d'approbation	Juillet 2011
FprEN 14780	Biocombustibles solides – Préparation des échantillons	En attente d'approbation	Juillet 2011
prEN 15370	Biocombustibles solides – Détermination du comportement des cendres à la fusion	En élaboration	Oct. 2011
prCEN/TR 15149-3	Combustibles solides – Détermination de la distribution granulométrique – Partie 3 : Méthode au tamis rotatif	En élaboration	Août 2011
prEN 15150	Combustibles solides – Détermination de la masse volumique des particules	En élaboration	Oct. 2011
FprEN 15104	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur totale en carbone, hydrogène et azote – Méthodes instrumentales	En attente d'approbation	Février 2011
FprEN 15289	Biocombustibles solides – Détermination de la teneur totale en soufre et en chlore	En attente d'approbation	Février 2011
FprEN 15105	Biocombustibles solides – Méthodes de détermination de la teneur en chlorure, sodium et potassium solubles dans l'eau	En attente d'approbation	Février 2011
FprEN 15290	Biocombustibles solides – Dosage des éléments majeurs – Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si, Na et Ti	En attente d'approbation	Février 2011
FprEN 15297	Biocombustibles solides – Détermination des éléments mineurs – As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V et Zn	En attente d'approbation	Février 2011
FprEN 15296	Biocombustibles solides – Conversion de résultats analytiques d'une base en une autre base	En attente d'approbation	Février 2011

Source : Adapté du Comité européen de normalisation (2010-12-01) et d'AFNOR Biocombustibles solides (2010-12-01).

134. Les lettres « pr » signifient que la norme n'a pas encore été publiée.

En ce qui a trait plus précisément aux granules, quelques pays européens ont défini, ces dernières années, des normes qui régissent la qualité de ce type de biocombustibles, dont la ÖNORM M 7135 (Autriche), la DIN 51731 (Allemagne) et la SS 187120 (Suède). Cependant, ces normes nationales diffèrent passablement les unes des autres.

Par souci d'uniformisation, étant donné qu'il existe plusieurs normes nationales sur les granules, le CEN TC 335 travaille déjà depuis quelques années sur les nombreuses normes européennes citées dans les tableaux ci-dessus. D'ici la fin de 2012, ces travaux aboutiront à une publication de normes européennes, ce qui permettra une harmonisation des exigences et une meilleure comparabilité des granules sur tout le territoire des 27 pays membres. Aussitôt qu'une norme européenne est publiée, les normes nationales sont soit retirées, soit adaptées à celle-ci.

La série de normes EN 14961, publiée sous le titre général *Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles*, est constituée des différentes normes suivantes :

- ↪ Norme 1 : Exigences générales (publiée en janvier 2010);
- ↪ Norme 2 : Granules de bois non industriels<sup>135</sup>;
- ↪ Norme 3 : Briquettes de bois non industrielles;
- ↪ Norme 4 : Plaquettes (copeaux) de bois non industrielles;
- ↪ Norme 5 : Bois de chauffage non industriel;
- ↪ Norme 6 : Granules non à base de bois et non industriels.

#### La norme EN 14961-1

En vigueur depuis janvier 2010, cette norme européenne concernant les exigences générales détermine les classes de qualité des combustibles et les spécifications des biocombustibles solides. Son domaine d'application se limite aux biocombustibles solides provenant des sources suivantes :

- A. Produits de l'agriculture et de la sylviculture;
- B. Déchets végétaux agricoles et forestiers;
- C. Déchets végétaux provenant du secteur de la transformation alimentaire;
- D. Déchets de bois, à l'exception de ceux susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement, y compris, en particulier, les déchets de bois de ce type provenant de déchets de construction ou de démolition;

---

135. « Non industriel » signifie destiné à des appareils de combustion utilisés dans des résidences, des commerces et des bâtiments publics.

- E. Déchets végétaux fibreux provenant de la production de pâte vierge et de papier issu de pâte, à condition d'être co-incinérés sur le lieu de production et que la chaleur générée soit récupérée;
- F. Déchets de liège.

À noter qu'en France, la norme EN 14961-1 est en vigueur depuis le 8 octobre 2010.

#### Le projet de norme prEN 14961-2

Le projet de norme prEN 14961-2, Granules de bois non industriels fournit toutes les références des normes d'essai et de mesure se référant aux caractéristiques des granules de bois. Il précise trois catégories de granules (A1, A2 et B) et leurs caractéristiques<sup>136</sup> – origine du bois, diamètre, longueur, humidité, taux de fines, taux de cendres, durabilité mécanique, additifs, pouvoir calorifique, masse volumique, température de déformation des cendres et concentration permise des éléments chimiques suivants : N, S, Cl, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni et Zn.

Le tableau 35 compare les spécifications du projet de norme prEN 14961-2 avec celles de la norme autrichienne ÖNORM M 7135 et de la norme allemande DIN 51731.

---

136. *Les spécifications techniques et classifications : la norme européenne EN 14 961*, Gilles Negrie (FCBA) et Frédéric Douart (Bioénergie promotion), [www.boisenergie.com/IMG/pdf/Les\\_specifications\\_techniques\\_classifications\\_la\\_norme\\_europeenne\\_EN\\_14\\_961-DOUARD\\_.pdf](http://www.boisenergie.com/IMG/pdf/Les_specifications_techniques_classifications_la_norme_europeenne_EN_14_961-DOUARD_.pdf).

**Tableau 35 : Comparaison des exigences des normes prEN 14961-2, ÖNORM M 7135, DIN 51731 et DINplus**

Paramètre	Unité	Projet de norme prEN 14961-2			ÖNORM M 7135	DIN 51731	DINplus
		Classe A1	Classe A2	Classe B			
Diamètre (D)	mm	6 ou 8 ±1	6 ou 8±1	6 ou 8±1	4-10	4-10	4-10
Longueur (L)	mm	3,15- 40	3,15- 40	3,15- 40	≤ 5 X D <sup>1)</sup>	≤ 50	≤ 5 X D <sup>1)</sup>
Masse volumique apparente	kg/m <sup>3</sup>	≥ 600	≥ 600	≥ 600			
Densité du granulé	kg/dm <sup>3</sup>				≥ 1-12	1-1,4	≥ 1,12
Humidité	% poids (bh) <sup>12)</sup>	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 12	≤ 10
Taux de cendres	% poids (bs) <sup>12)</sup>	≤ 0,72 <sup>2)</sup>	≤ 1,5 <sup>2)</sup>	≤ 3,5 <sup>2)</sup>	≤ 0,5 <sup>3)</sup>	≤ 1,5 <sup>3)</sup>	≤ 0,5 <sup>3)</sup>
PCI	MJ/kg (bh)	16,5-19,0	16,3- 19,0	16,0- 19,0	≥18,0 <sup>4)</sup>	17,5- 19,5 <sup>5)</sup>	≥ 18,0 <sup>4)</sup>
Soufre (Sr)	% poids (bs)	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,04
Azote (N)	% poids (bs)	≤ 0,30	≤ 0,50	≤ 1,0	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
Chlore (Cl)	% poids (bs)	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,02
Résistance mécanique	% poids (bh)	≥ 97,5	≥ 97,5	≥ 96,5	≥ 97,7 <sup>6)</sup>		≥ 97,7 <sup>6)</sup>
Quantité de fines	% poids (bh)	≤ 1,0 <sup>7)</sup>	≤ 1,0 <sup>7)</sup>	≤ 1,0 <sup>7)</sup>	≤ 1 <sup>8)</sup>		
Additifs	%	≤ 2,0 <sup>9)</sup>	≤ 2,0 <sup>9)</sup>	≤ 2,0 <sup>9)</sup>	≤ 2 <sup>10)</sup>		
Température de fusion des cendres	°C	<sup>11)</sup>	<sup>11)</sup>	<sup>11)</sup>			
Métaux lourds							
Arsenic (As)	mg/kg (bs)	≤ 1	≤ 1	≤ 1		≤ 0,8	
Cadmium (Cd)	mg/kg (b)	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5		≤ 0,5	
Chrome (Cr)	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10		≤ 8	
Cuivre (Cu)	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10		≤ 5	
Mercure (Hg)	mg/kg (bs)	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1		≤ 0,05	
Nickel (Ni)	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10			
Plomb (Pb)	mg/kg (bs)	≤ 10	≤ 10	≤ 10		≤ 10	
Zinc (Zn)	mg/kg (bs)	≤ 100	≤ 100	≤ 100		≤ 100	
Composés organiques halogénés extractibles (EOX)	mg/kg (bs)					≤ 3	

- 1) Un maximum de 20 % des granules peuvent avoir une longueur atteignant 7,5 D.
- 2) Déterminé à 550 °C.
- 3) Déterminé à 815 °C.
- 4) Relativement à la matière sèche.
- 5) Sans eau ni cendres.
- 6) Défini comme abrasion (c'est-à-dire 100-durabilité mécanique).
- 7) Déterminé au dernier point de chargement, avant la livraison chez le client.
- 8) Durant le chargement, selon ÖNORM M 7136, 2000.
- 9) Indiquer le type et la concentration.
- 10) Uniquement des produits modifiés non chimiquement, biomasse d'origine forestière ou agricole.
- 11) À mentionner par le fabricant de granules.
- 12) Bh = base humide; bs = base sèche.

Source : Traduit et adapté de *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*.

Les granules de classe A1, fabriqués selon les critères les plus stricts, seront destinés à une application non industrielle, particulièrement au marché résidentiel et aux petites chaudières commerciales, qui sont sensibles à la qualité du combustible. Ils présentent de faibles teneurs en cendres, en azote et en chlore. Les granules de la classe A2 ont des teneurs en cendres et en azote légèrement supérieures. Ils seront également destinés à ce créneau de marché, mais pour n'être utilisés que par des appareils adaptés à un biocombustible ayant un contenu en cendres supérieur à la classe A1. Les granules de classe B peuvent être fabriqués de

sous-produits de bois traité chimiquement provenant de la transformation du bois tant qu'ils ne contiennent pas de métaux lourds ni de composés organiques halogénés à la suite d'un traitement du bois à l'aide de produits de préservation ou de l'application d'un revêtement.

#### Le projet de norme prEN 14961-3

Le projet de norme prEN 14961-3, Briquettes de bois non industrielles fournit toutes les références des normes d'essai et de mesure se référant aux caractéristiques des briquettes de bois. Il précise trois catégories de briquettes de bois (A1, A2 et B) et leurs caractéristiques – l'origine du bois, le diamètre, la longueur, l'humidité, le taux de cendres, les additifs, le pouvoir calorifique, la densité et la concentration permise des éléments chimiques suivants : N, S, Cl, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni et Zn.

#### Le projet de norme prEN 14961-4

Le projet de norme prEN 14961-4, Plaquettes<sup>137</sup> de bois non industrielles fournit toutes les références des normes d'essai et de mesure se référant aux caractéristiques des copeaux de bois. Il précise trois catégories de copeaux de bois (A1, A2 et B) et leurs caractéristiques – l'origine du bois, la longueur, le taux de fines, l'humidité, le taux de cendres, le pouvoir calorifique, la masse volumique et la concentration permise des éléments chimiques suivants : N, S, Cl, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni et Zn.

#### Le projet de norme prEN 14961-5

Le projet de norme prEN 14961-5, Bois de chauffage fournit toutes les références des normes d'essai et de mesure se référant aux caractéristiques du bois de chauffage. Il précise trois catégories de bois de chauffage (A1, A2 et B) et leurs caractéristiques – l'essence du bois, le diamètre, la longueur, l'humidité, la quantité (unité), la proportion de fendu, la surface de coupe, la pourriture, le pouvoir calorifique, la masse volumique et la concentration permise des éléments chimiques suivants : N, S, Cl, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni et Zn.

#### Normes ISO<sup>138</sup> sur les biocombustibles solides

Depuis décembre 2007, le comité technique ISO 238 (ISO 238/TC) sur les biocombustibles solides travaille à la mise à niveau de toutes les normes européennes préparées par le comité CEN TC 335 concernant ces produits. Ces deux comités (CEN TC 335 et ISO 238/TC) sont chapeautés par le même secrétariat qui tente d'achever le programme dans les meilleurs délais afin d'avoir un consensus européen appuyé par des normes publiées, et ce, pour faciliter les négociations et l'avancement du programme international. D'ici deux ans, les nouvelles normes ISO 238 pourraient être en vigueur<sup>139</sup>. Contrairement à la norme EN 14961, les normes ISO incluront les spécifications relatives aux granules torréfiés<sup>140</sup>.

---

137. « Plaquettes » est le terme européen pour « copeaux ».

138. ISO : [International Organization for Standardization](http://www.iso.org) ou Organisation internationale de normalisation.

139. Obernberger, I., Thek, G., *The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, EarthScan, 2010.

140. *New European Pellets Standards*, Alakangas, November 2010, [www.eubionet.net/GetItem.asp?-item=digistorefile:232567:1540&params=open:gallery](http://www.eubionet.net/GetItem.asp?-item=digistorefile:232567:1540&params=open:gallery).



À noter que le Canada (représenté par le Conseil canadien des normes [CCN]<sup>141</sup> et des experts<sup>142</sup>) et les États-Unis sont parmi les 21 pays qui participent au comité ISO 238<sup>143</sup>.

### Systèmes de certification

En général, il n'y a pas d'obligation légale forçant les producteurs de biocombustibles solides ou les intervenants de la chaîne d'approvisionnement à respecter les normes; il s'agit donc de normes volontaires. Cependant, elles peuvent être imposées par un législateur (dans le cas où elles sont incluses dans une loi) ou encore lorsque des clients exigent des garanties en matière de qualité.

Pour garantir qu'un produit respecte une norme, on fait appel à un système de certification géré par un organisme certificateur indépendant (tierce partie). Celui-ci garantit, grâce à des mesures de contrôle bien définies (système d'audits et de contrôles internes et externes), que le produit ou le service en question (stockage, transport, livraison, etc.) respecte bien la norme.

*La certification est une activité par laquelle un **organisme reconnu, indépendant** des parties en cause, donne une **assurance écrite** qu'une organisation, un processus, un service, un produit ou des compétences professionnelles sont **conformes** à des **exigences spécifiées** dans un référentiel<sup>144</sup>. La certification est une démarche **volontaire**.*

Source : AFNOR.

Pour qu'une entreprise puisse indiquer légalement que son produit est certifié, celui-ci et sa production doivent avoir été vérifiés par une tierce partie indépendante et obtenir une assurance écrite garantissant l'atteinte des exigences de la norme.

En Europe, il existe plusieurs systèmes de certification concernant les granules. Voici une courte description de certains d'entre eux.

---

141. Le Conseil canadien des normes (CCN) (Standards Council of Canada [SCC]) est une société d'État créée par décret du Parlement en 1970 afin d'encourager et de promouvoir la normalisation volontaire au Canada ([www.scc.ca](http://www.scc.ca)).

142. Dr. Maurice Douek, FPIInnovations ([ca/en/get\\_involved/awards/jpc/2010](http://ca/en/get_involved/awards/jpc/2010)), Staffan Melin, directeur de recherche à la Wood Pellet Association of Canada (WPAC) ([let.org](http://let.org)).

143. ISO, Comité technique 238, [www.iso.org/iso/fr/standards\\_development/technical\\_committees/ist\\_of\\_iso\\_-\\_technical\\_committees/iso\\_technical\\_committee.htm?commid=554401](http://www.iso.org/iso/fr/standards_development/technical_committees/ist_of_iso_-_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=554401).

144. Un référentiel est une norme, en France.

### ENplus :



La nouvelle certification ENplus, entrée en vigueur à la fin mai 2010<sup>145</sup>, est gérée par le Conseil européen des granules de bois (European Pellet Council [EPC]). Celui-ci a été mandaté par l'institut des granules allemand, le Deutsches Pelletinstitut (DEPI), qui a déposé la marque. Déjà en vigueur en Allemagne et en Autriche, cette certification a l'ambition d'harmoniser, à l'échelle de tous les pays européens, la qualité des produits et du service tout le long de la chaîne logistique, depuis le producteur jusqu'à la livraison au consommateur. Chaque association nationale des granules est mandatée pour en faire la promotion dans son pays.

Pour en savoir davantage : Certification of Wood Pellets for the End Consumer Market.

### NF Biocombustibles solides :



Marque française détenue par l'AFAQ AFNOR Certification, qui a mandaté le FCBA (Institut technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement) pour sa gestion.

Concerne le bois de chauffage, les granules et les briquettes.

Pour en savoir davantage : référentiel de certification NF Biocombustibles solides.

### DINplus :



Marque détenue par l'institut allemand DIN CERTCO.

Pour en savoir davantage : DINplus Certification Scheme / Wood Pellets for Use in Small Furnaces.

### AFAQ Service Confiance Chaleur Bois Qualité + (CBQ +) :



Certification également détenue par l'AFAQ AFNOR Certification. Portant initialement sur les copeaux de bois, elle a été élargie aux granules. Elle certifie la qualité de fourniture du combustible, tant le service que le produit.

Pour en savoir davantage : certification Chaleur Bois Qualité +.

### Possibilités pour le Québec : projet de normes et de certification, en matière de biocombustibles solides, adaptées aux besoins particuliers du Québec

Le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) est une direction du CRIQ qui a pour mandat de réaliser toutes les activités liées aux domaines de la normalisation et de la certification. Il est

---

145. Start of ENplus Pellet Certification in Germany, IHB, May 31, 2010.

aussi le seul organisme désigné par le gouvernement du Québec pour le représenter auprès du Conseil canadien des normes (CCN) et pour participer de façon active aux travaux de celui-ci.

Le BNQ est le seul organisme de normalisation canadien créé par un gouvernement provincial, ce qui présente plusieurs avantages pour le Québec. Un des principaux est sans doute le fait qu'il représente, en Amérique du Nord, la principale masse critique d'expertise en normalisation de langue française fondée sur les règles internationales de l'ISO.

Par ses accréditations du CCN, le BNQ est habilité à travailler également à l'élaboration de normes internationales et canadiennes. Au Québec, et particulièrement dans des champs de compétence provinciaux, l'expertise du BNQ permet d'adapter aux besoins des provinces les normes internationales ou nationales. Ainsi, le BNQ pourrait très bien élaborer des programmes de certification québécois portant sur les biocombustibles solides en se basant sur les normes et les travaux réalisés à l'international, mais en adaptant ces normes, au besoin, aux particularités du Québec.

De plus, depuis plusieurs années déjà, le BNQ collabore étroitement avec l'Association française de normalisation (AFNOR) dans le cadre de missions de coopération franco-québécoise. Le BNQ est donc bien positionné pour importer au Québec l'expertise acquise par l'AFNOR relativement aux programmes de certification NF Biocombustibles solides ou AFAQ Service Confiance Chaleur Bois Qualité +.

Certains des documents consultés pour ce chapitre se trouvent à l'annexe I.



## 8. MESURES D'AIDE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE BIOÉNERGÉTIQUE AU CANADA ET AU QUÉBEC

De nouveaux projets de la filière bioénergétique font la manchette presque quotidiennement. Ce déploiement rapide s'explique en grande partie par la vision des gouvernements concernés qui veulent :

- ↗ réduire les émissions de GES;
- ↗ augmenter leur autonomie énergétique.

Ces projets sont souvent appuyés par des politiques gouvernementales et des incitatifs sous forme de taxes, d'exonération de taxes, d'aide financière, d'allègements fiscaux, etc.

Cette section présente, de façon sommaire, les programmes d'aide et les autres initiatives mis en place au Canada et au Québec pour stimuler le développement des bioénergies.

### **Canada – Québec**

L'annexe 1 du [Canadian Report on Bioenergy 2010](#) dresse une liste des différents programmes gouvernementaux (fédéraux et provinciaux) favorisant le déploiement des bioénergies. En voici quelques-uns :

#### **Programmes fédéraux**

Il existe plusieurs programmes mis en œuvre par le gouvernement du Canada pour stimuler la production et l'utilisation des biocarburants. Parmi ces programmes, on peut citer :

#### **Le programme écoÉNERGIE pour les biocarburants**

L'objectif de ce programme est d'encourager la production de carburants renouvelables dans le but de remplacer l'essence et le diesel et de favoriser le développement de l'industrie canadienne des carburants renouvelables. Ce programme offre des incitatifs à l'implantation et à l'exploitation des installations qui fabriquent des biocarburants au Canada. L'enveloppe budgétaire allouée à ce programme, qui se termine le 31 mars 2017, est de 1,5 G\$.

Pour en savoir davantage :

- <http://oee.nrcan.gc.ca/transports/carburants-remplacement/programmes/ecoenergie-biocarburants/biocarburants-intro.cfm>.

#### **Le programme écoÉNERGIE pour l'électricité renouvelable**

L'initiative écoÉnergie, dotée d'une enveloppe budgétaire de 1,48 G\$, vise à favoriser la production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable. Les entreprises, les municipalités, les institutions et les organisations y sont admissibles. Le programme

écoÉNERGIE pour l'électricité renouvelable versera, pendant une période maximale de 10 ans, 1 ¢/kWh obtenu dans le cadre d'un projet admissible. La fin du programme est prévue au 31 mars 2011.

Pour en savoir davantage :

- [www.ecoaction.gc.ca/ecoenergy-ecoenergie/power-electricite/index-fra.cfm](http://www.ecoaction.gc.ca/ecoenergy-ecoenergie/power-electricite/index-fra.cfm).

### **Le programme de recherche et développement énergétiques (PRDE)**

Ce programme apporte une aide financière à la recherche et au développement dans le domaine des énergies renouvelables, et ce, pour tous les aspects de la production et de la consommation de l'énergie. Il contribue aux efforts déployés par le gouvernement fédéral pour assurer un avenir énergétique durable au Canada. Environnement Canada gère le fonds de ce programme financé par Ressources naturelles Canada.

Pour en savoir davantage :

- [www.ec.gc.ca/scitech/default.asp?lang=Fr&n=8D8835E9-1](http://www.ec.gc.ca/scitech/default.asp?lang=Fr&n=8D8835E9-1).

### **Le Fonds de biocarburants ProGen**

Un autre programme fédéral lié aux technologies de développement durable du Canada porte le nom de Fonds de biocarburants ProGen. Ce programme fournit une aide financière aux entreprises qui désirent fabriquer à l'échelle commerciale des installations de démonstration. L'objectif principal de ce programme, qui prend fin en 2017, est d'augmenter le taux de réussite des projets de transfert technologique.

Pour en savoir davantage :

- [www.sdtc.ca/index.php?page=nextgen-funding-niche&hl=fr\\_CA](http://www.sdtc.ca/index.php?page=nextgen-funding-niche&hl=fr_CA).

### **Le crédit d'impôt fédéral à la recherche**

**Recherche scientifique et développement expérimental (RS&DE) : programme d'encouragements fiscaux**

Le programme de la RS&DE est un programme fiscal fédéral destiné à encourager par des incitatifs les entreprises canadiennes de toutes tailles et de tous secteurs à effectuer de la recherche et du développement (R-D) au Canada. Administré par l'Agence du revenu du Canada, ce programme est la plus importante source d'appui du gouvernement fédéral pour la R-D effectuée au Canada.

Pour en savoir davantage :

- [www.cra-arc.gc.ca/txcrdt/sred-rsde/menu-fra.html](http://www.cra-arc.gc.ca/txcrdt/sred-rsde/menu-fra.html).

### **Programmes québécois**

Au Québec, plusieurs programmes d'aide sont en place pour favoriser le développement de la filière bioénergétique. En voici quelques-uns :

### **Le programme d'attribution de biomasse forestière**

Ce programme vise à permettre la récolte de volumes de biomasse forestière résiduelle dans les forêts du domaine de l'État. Les objectifs du programme sont de :

- créer et de soutenir de nouvelles possibilités de développement économique;
- réduire la dépendance du Québec par rapport aux matières fossiles;
- faciliter la réalisation des stratégies d'aménagement forestier;
- favoriser la réhabilitation des forêts feuillues.

Le programme est entré en vigueur le 25 juin 2008 et il se termine le 31 mars 2011 pour les appels de propositions et le 31 mars 2016 pour les permis annuels d'intervention.

Pour en savoir davantage :

- [www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-transformation-biomasse.jsp](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-transformation-biomasse.jsp).

### **Le programme d'aide à l'utilisation de la biomasse forestière pour le chauffage**

Ce programme d'aide est réservé à l'utilisation de la biomasse forestière pour le chauffage dans les bâtiments institutionnels, commerciaux et religieux. Il a pour objectif de favoriser le développement d'une filière énergétique propre à la biomasse forestière et de remplacer de façon durable les combustibles fossiles (à l'exception du mazout lourd), afin de diminuer les émissions de GES. Le budget du programme, qui prend fin le 31 mars 2012, est de 10 M\$.

Pour en savoir davantage :

- [www.aee.gouv.qc.ca/clientele-affaires/institutions/programme-daide-a-lutilisation-de-la-biomasse-forestiere-pour-le-chauffage-pilote/](http://www.aee.gouv.qc.ca/clientele-affaires/institutions/programme-daide-a-lutilisation-de-la-biomasse-forestiere-pour-le-chauffage-pilote/).
- Pour tous les programmes d'aide de l'Agence de l'efficacité énergétique (AEE), contactez M. Nicolas Laflamme, chargé de programme en matière de bioénergies, au 1 877 727-6655.

### **Le programme de réduction de la consommation de mazout lourd de l'AEE**

Depuis avril 2010, outre le mazout lourd, les combustibles admissibles au programme incluent les huiles usées ainsi que le mazout léger, le propane et le butane lorsque leur niveau de consommation respectif est supérieur à un million de litres annuellement.

Ce programme permet aux consommateurs de combustibles admissibles de prendre le virage du développement durable et d'améliorer leur position concurrentielle en réduisant leur consommation. Une aide financière est offerte pour la réalisation d'analyses ainsi que pour l'implantation de mesures d'efficacité énergétique visant ces combustibles ou pour la conversion à des formes d'énergie moins polluantes telles que le gaz naturel, la biomasse forestière et l'électricité.

La composante B de ce programme (conversion vers la biomasse forestière) vise la conversion d'installations utilisant un combustible admissible à la biomasse forestière résiduelle comme forme d'énergie (excluant ainsi les sciures, les rabotures et les écorces). Elle propose un volet d'analyse et un volet d'aide à l'implantation.

Ce fonds est financé par le Fonds vert dans le cadre de l'action n° 1 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques (PACC).

Pour en savoir davantage :

- [www.aee.gouv.qc.ca/clientele-affaires/industries/programmes-et-aide-financiere-destines-aux-industries/programme-de-reduction-de-consommation-de-mazout-lourd/](http://www.aee.gouv.qc.ca/clientele-affaires/industries/programmes-et-aide-financiere-destines-aux-industries/programme-de-reduction-de-consommation-de-mazout-lourd/).

### **Le programme Technoclimat**

Ce programme de démonstration des technologies vertes vise la réduction des émissions de GES. Dans les cas de dépenses admissibles inférieures ou égales à 500 000 \$, l'aide financière offerte par le programme est non remboursable. Elle peut couvrir jusqu'à 50 % des dépenses admissibles. Par contre, si les dépenses sont supérieures à 500 000 \$, l'aide financière peut être remboursable ou non et elle ne peut excéder 40 % des dépenses admissibles. Le maximum d'aide financière offert par ce programme est de 3 M\$ par projet.

Pour en savoir davantage :

- [www.aee.gouv.qc.ca/innovation-technologique/technoclimat/](http://www.aee.gouv.qc.ca/innovation-technologique/technoclimat/).

### **Le Programme d'aide à l'innovation en énergie (PAIE)**

Le PAIE vise à encourager le développement de nouvelles technologies ou de procédés innovateurs, en efficacité énergétique ou pour des énergies émergentes, en offrant un soutien financier aux promoteurs de projets qui s'inscrivent dans la chaîne d'innovation, à diverses étapes. Ce programme fait partie des objectifs de la [Stratégie énergétique du Québec 2006-2015](#), *L'énergie pour construire le Québec de demain*.

Pour en savoir davantage :

- [www.aee.gouv.qc.ca/innovation-technologique/programme-daide-a-linnovation-en-energie-paie/](http://www.aee.gouv.qc.ca/innovation-technologique/programme-daide-a-linnovation-en-energie-paie/).

### **Mesures fiscales**

Plusieurs mesures fiscales ont été adoptées au Québec pour aider les entreprises à progresser et à se tenir à jour en matière de développement technologique.

### **Crédits d'impôt pour la recherche scientifique et le développement expérimental**

L'entreprise qui fait des travaux de R-D dans le domaine des énergies renouvelables peut bénéficier d'un crédit d'impôt remboursable allant de 17,5 à 37,5 % sur la totalité des salaires versés et de 50 % sur les honoraires de sous-traitance. Dans le cas où les travaux de R-D sont effectués par un centre de recherche, 80 % des coûts des contrats de recherche sont admissibles à un crédit d'impôt de 35 %.



Pour en savoir davantage :

- [www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/reperage.pdf](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/reperage.pdf).

### **Crédits d'impôt remboursables pour un projet de recherche précompétitive en partenariat privé**

La présente mesure fiscale vise à accroître les connaissances scientifiques et technologiques des entreprises. Cette mesure incite les entreprises à se regrouper afin de réaliser des projets de R-D. Dans ce cas, le crédit d'impôt représente 35 % des dépenses de R-D admissibles.

Pour en savoir davantage :

- [www.mdeie.gouv.qc.ca/index.php?id=1978](http://www.mdeie.gouv.qc.ca/index.php?id=1978).

### **Crédit d'impôt à l'investissement**

Ce crédit est applicable à l'achat de matériel de fabrication et de transformation. En 2010, ce crédit d'impôt a été de 20 % pour les régions ressources éloignées et les MRC en difficulté, et de 10 % pour les autres régions. Pour 2011, il sera établi à 10 % pour toutes les régions.

Pour en savoir davantage :

- [www.communiqués.gouv.qc.ca/gouvqc/communiqués/GPQF/Decembre/10/c2104.html](http://www.communiqués.gouv.qc.ca/gouvqc/communiqués/GPQF/Decembre/10/c2104.html).

### **Amortissement accéléré**

Cette mesure permet la prolongation de l'amortissement accéléré selon la méthode linéaire au taux de 50 % pour le matériel de fabrication et de transformation acquis avant 2012. En outre, la méthode d'amortissement n'est plus dégressive, mais linéaire, ce qui permet d'amortir les investissements en moyenne sur deux ans, comparativement à plus de sept ans selon les règles usuelles.

Pour en savoir davantage :

- [www.budget.finances.gouv.qc.ca/Budget/2009-2010/fr/documents/pdf/PlanBuddetaire.pdf](http://www.budget.finances.gouv.qc.ca/Budget/2009-2010/fr/documents/pdf/PlanBuddetaire.pdf) (page F. 62).

Pour rester à l'affût des programmes offerts, consultez la page [La filière énergétique : une énergie verte](#) du site Web du MRNF.

### **Autre incitatif**

Par ailleurs, la Western Climate Initiative (WCI) est une initiative qui pourra éventuellement avoir un effet majeur et favorable sur le développement de la filière énergétique à base de biomasse. La WCI est une collaboration d'États américains et de provinces canadiennes créée en février 2007 qui a pour objectif de réduire les émissions de GES.

L'initiative de la WCI vise à créer un marché du carbone nord-américain afin de réduire les émissions de GES dans l'atmosphère. Le but est de faire chuter ces émissions au cours des 10 prochaines années à des niveaux se situant à 15 % sous ceux de 2005<sup>146</sup>.

Le plus grand partenariat vert d'Amérique du Nord regroupe sept États américains et quatre provinces canadiennes, dont le Québec, qui s'y est joint en avril 2008<sup>147</sup> (figure 48).

**Figure 48 : États américains et provinces canadiennes partenaires et observateurs de la WCI (décembre 2010)**



Source : Page Web [WCI Partners and Observers](#).

Selon un plan publié le 23 juillet 2008, la coalition devrait commencer ses échanges dans le cadre d'un mécanisme de **plafonnement et d'échanges** (*cap and trade*) en janvier 2012. Ce mécanisme sera composé des systèmes de chaque instance et mis en œuvre par l'intermédiaire des lois et des règlements des instances<sup>148</sup>. Le Québec rendra publique sa politique au cours de 2011<sup>149</sup>.

La phase initiale prévoit s'attaquer aux émissions industrielles, alors que les secteurs du transport et des combustibles seraient ajoutés en 2015<sup>150</sup>.

146. [Site Web de la Western Climate Initiative \(WCI\)](#).

147. [Le Québec se joint au Club d'Arnold, Radio-Canada, 19 avril 2008](#).

148. [Western Climate Initiative](#), présentation de Myriam Blais, MDEIE, septembre 2010.

149. [www.mddep.gouv.qc.ca](http://www.mddep.gouv.qc.ca).

150. Wikipedia, [Western Climate Initiative](#).

---

Actuellement (fin 2010), seules la Californie et trois provinces – le Québec, l'Ontario et la Colombie-Britannique – ont commencé à élaborer des réglementations pour pouvoir participer aux enchères de la WCI dès qu'elles seront lancées, à partir de 2012.<sup>151</sup>

À ce moment, les grands émetteurs de GES devront limiter leurs émissions. Ces mesures concernent toutes les entreprises qui émettent plus de 25 000 tonnes de CO<sub>2</sub>/an, dont les alumineries, les cimenteries, les entreprises de pâtes et papiers et de métallurgie et les grandes brasseries. Les entreprises qui dépassent leurs quotas devront diminuer leurs émissions ou acheter des crédits de carbone pour les compenser.

Or, plusieurs de ces grandes entreprises exploitent des chaudières fonctionnant aux carburants fossiles. Dans le cadre de la WCI, la substitution des carburants fossiles, entre autres, par des biocombustibles forestiers leur permettra de respecter leurs quotas d'émission ou même de les abaisser en deçà des quotas fixés et d'obtenir des crédits qu'elles pourront vendre sur le marché.

### Fonctionnement du marché du carbone

Le marché du carbone est comme celui des actions : il y a des acheteurs, des vendeurs et des intermédiaires (les courtiers). Sauf qu'au lieu d'y négocier des actions, on y négocie des droits ou des crédits d'émissions de CO<sub>2</sub>. L'élément de base d'un marché de carbone est l'imposition de quotas d'émissions que les entreprises doivent respecter. Celles qui ne réussissent pas à les respecter doivent acheter des droits pour émettre du CO<sub>2</sub>. À l'opposé, une entreprise qui réussit à abaisser ses émissions en deçà des quotas fixés obtiendra des crédits qu'elle pourra vendre sur le marché.

Le but est donc de récompenser les entreprises qui investissent dans des technologies propres en leur permettant de profiter de la vente de leurs crédits et de pénaliser celles qui dépassent leurs quotas en les obligeant à payer pour acquérir des droits de polluer.

À noter que le marché du carbone est en pleine expansion. Sa valeur globale est passée de 10 G\$ en 2005 à 144 G\$ en 2010<sup>152</sup>, grâce notamment au Système communautaire d'échange de quotas d'émission (SCEQE), plus communément appelé l'European Union Emission Trading Scheme (ou System) (EU ETS). C'est le plus grand système d'échange de crédits d'émissions de GES dans le monde. Il couvrait en 2009 plus de 10 000 installations des secteurs énergétique et industriel, collectivement responsables de près de la moitié des émissions de CO<sub>2</sub> de l'Union européenne et de 40 % du total des émissions de GES<sup>153</sup>.

Pour en savoir davantage :

- [www.westernclimateinitiative.org/](http://www.westernclimateinitiative.org/);
- [www.mdeie.gouv.qc.ca/carbone](http://www.mdeie.gouv.qc.ca/carbone).

Certains des documents consultés pour ce chapitre se trouvent à l'annexe J.

---

151. « [Western Climate Initiative Moves Forward, Smaller than Imagined](#) », *High Country News*, December 6, 2010.

152. [Les entreprises canadiennes profitent du marché du carbone](#), Radio-Canada, 24 novembre 2010.

153. Wikipédia, [Système communautaire d'échange de quotas d'émission](#) (SCEQE).



## 9. OUTILS D'ÉVALUATION DE PROJETS BIOÉNERGÉTIQUES

Voici des renseignements sommaires sur trois outils qui permettent d'assister les concepteurs dans l'évaluation de projets de centrales énergétiques :

### **RETScreen**

Le Centre d'aide à la décision sur les énergies propres RETScreen International est administré par le Centre de la technologie de l'énergie de Canmet à Varennes (CTEC-Varennes) de Ressources naturelles Canada (RNC), dont il reçoit une aide financière continue, en partenariat avec, entre autres, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et la National Aeronautics & Space Administration (NASA).

Ce centre a pour but de renforcer les compétences des planificateurs, des décideurs et de l'industrie pour implanter des projets en énergie renouvelable, comme les centrales à la biomasse, et des projets en efficacité énergétique. Cet objectif est atteint en :

- ✦ Élaborant des outils clés qui réduisent les coûts des études de pré faisabilité;
- ✦ Diffusant des connaissances qui aident les personnes concernées à prendre de meilleures décisions;
- ✦ Formant les personnes à mieux analyser la viabilité technique et financière de projets potentiels.

RETScreen International a élaboré plusieurs modèles d'analyse technique et financière, dont celui sur le chauffage à la biomasse. Ce modèle peut être utilisé pour évaluer facilement la production énergétique, le coût du cycle de vie et la réduction des émissions de GES. On peut y recourir pour des applications à grande échelle, comme des regroupements de bâtiments, et pour d'autres plus modestes, comme des bâtiments individuels.

La quatrième version du modèle d'analyse de projets de chauffage à la biomasse est un outil de référence important qui peut être téléchargé gratuitement à partir du site de RETScreen.

Pour en savoir davantage :

- [www.retscreen.net/fr/home.php](http://www.retscreen.net/fr/home.php).

### **Combined Heat and Power (CHP) Partnership**

La mission du Combined Heat and Power (CHP) Partnership de l'EPA est d'accroître l'utilisation de la cogénération aux États-Unis. Cette organisation a mis au point différents outils pour aider les utilisateurs à concevoir, à évaluer, à installer et à faire fonctionner des installations de cogénération.

Pour en savoir davantage :

- [www.epa.gov/chp/project-development/index.html](http://www.epa.gov/chp/project-development/index.html).

### **COGENcalc.xls (outil européen)**

L'outil de calcul de l'Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement (IBGE), COGENcalc.xls (version janvier 2010), permet d'établir rapidement la taille d'une cogénération adaptée aux besoins électriques et thermiques. Il calcule aussi la rentabilité et la pertinence du projet. La méthode de COGENcalc.xls est en fait la transcription informatique de la méthodologie exposée dans le guide de pertinence *Avec la cogénération, tirez le maximum de l'énergie*.

Pour en savoir davantage :

- <http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/cogencalc-21-01-10---fr.xls?ID=10924&saveFile=true>.

## 10. CONCLUSIONS

Cette étude a permis de constater l'existence de plusieurs technologies, certaines éprouvées et d'autres encore en élaboration, qui pourront contribuer au développement de la filière bioénergétique québécoise.

Afin que la biomasse soit utilisée efficacement par ces technologies, elle doit être préalablement conditionnée (broyée et séchée). Ces prétraitements augmentent la consommation énergétique et le coût. Cependant, il existe de nouveaux équipements permettant de réduire ces coûts, comme des séchoirs à basse température et des pulvérisateurs permettant de broyer et de sécher la biomasse simultanément. Dans certaines conditions, ces équipements permettent donc d'obtenir des coûts d'exploitation moins élevés comparativement aux équipements traditionnels.

Du côté des technologies de production de bioénergie, la cogénération réalisée par une chaudière à la biomasse couplée à une turbine à vapeur reste la voie la plus exploitée, ici, en Amérique du Nord, et en Europe (bien que les gazogènes soient de plus en plus utilisés). Cependant, l'importante quantité de chaleur produite par une installation de ce type doit être de plus en plus valorisée afin d'augmenter son rendement énergétique, économique et environnemental. À cet égard, les exploitants considèrent maintenant davantage les stratégies de polygénération (par exemple, une production d'électricité et de chaleur à laquelle on intègre la fabrication de granules ou le séchage de la biomasse) ou encore l'intégration de la production de bioénergie à la fabrication de produits traditionnels (sciages, pâtes, papiers). Ces stratégies permettent d'augmenter la flexibilité et le rendement global de l'installation en plus de réduire le coût unitaire de l'énergie et des produits qui en sont issus. Toutefois, vu le nombre d'options possibles et la complexité de certaines d'entre elles, une méthode rigoureuse et systématique est requise pour évaluer les bénéfices, les coûts inhérents et l'impact environnemental d'une option par rapport à une autre.

Il existe plusieurs technologies qui permettent de produire une gamme étendue de biocombustibles (solides ou liquides) à partir de la biomasse forestière. La densification, qui permet d'obtenir des granules, des bûches et des briquettes, est l'une d'elles. Comme on l'a vu, malgré le fait que le marché des granules soit en croissance soutenue, particulièrement en Europe, la situation de l'industrie canadienne, qui exporte la majeure partie de sa production vers ce continent, est préoccupante en raison, entre autres, des mouvements de la valeur de l'euro par rapport au dollar et de la fluctuation de la demande sur le marché international.

Les technologies de gazéification sont, pour leur part, de plus en plus exploitées commercialement et leur avenir semble prometteur. Aux États-Unis, soutenus par d'importantes subventions du DOE, les chercheurs déploient beaucoup d'efforts pour trouver des solutions qui permettront d'éliminer efficacement les goudrons contenus dans le syngaz. Cela ouvrira la porte à de nombreuses applications pour la production d'énergie, d'une part, mais aussi et surtout pour la synthèse de biocarburants et de produits à haute valeur ajoutée, d'autre part, grâce à des procédés thermocatalytiques.

La plupart des méthodes de carbonisation sont plus anciennes et éprouvées. Cependant, le procédé Flash Carbonization™ est récent. Il permet de raccourcir de façon sensible le temps nécessaire à la production de biocharbon tout en augmentant son rendement grâce aux hautes pressions de fonctionnement. La substitution d'une partie du coke métallurgique utilisé par l'industrie sidérurgique canadienne par du charbon de bois pourrait représenter pour celle-ci une occasion intéressante de réduire de façon importante ses émissions de GES et d'améliorer ainsi son image environnementale.

Les démarches réalisées durant ce projet ont également permis de constater que plusieurs technologies de torréfaction sont encore au stade de développement et que les Pays-Bas sont au cœur de cette filière. Le type de réacteur utilisé, la forme de la matière première acceptée et les paramètres de production sont des caractéristiques qui les distinguent. L'application énergétique la plus documentée de la biomasse torréfiée densifiée est sans doute son utilisation future comme cocombustible « renouvelable » dans les immenses centrales de production d'électricité à charbon pulvérisé, stimulée en Europe par l'EU ETS, depuis 2005. D'ailleurs, les détenteurs des technologies Topell et Stramproy, toutes deux des Pays-Bas, terminent actuellement la construction d'importantes unités de production commerciales, soutenus par de grandes entreprises énergétiques européennes. Du côté américain, les politiques relatives aux normes d'énergie renouvelable (RPS), déjà adoptées par 35 États, pourraient amener les producteurs d'énergie à consommer de la biomasse torréfiée densifiée en remplacement d'une partie du charbon minéral. Le cas échéant, d'énormes volumes de ce biocombustible seront nécessaires pour combler leurs besoins, ce qui pourrait éventuellement se traduire par des occasions d'affaires pour des producteurs locaux.

Plusieurs technologies de pyrolyse (pyrolyse sous vide, pyrolyse éclair) ont été conçues au Canada, leader mondial de cette voie de valorisation de la biomasse. On a vu que l'huile pyrolytique (brute et raffinée) et le biocharbon qu'elles permettent d'obtenir peuvent être utilisés de nombreuses façons (biocombustibles, produits chimiques et industriels à haute valeur ajoutée, amendement de sols). La pyrolyse réalisée dans des unités mobiles a été proposée comme une étape de concentration intermédiaire entre la source de biomasse (parterres de coupe, par exemple) et une installation de conversion à grande échelle (bioraffinerie) afin d'agrandir le rayon d'approvisionnement économique. Des essais devront valider la rentabilité de ce modèle. Les marchés futurs et les perspectives d'exportation de l'huile de pyrolyse dépendront bien sûr de son prix et de sa qualité. Mais la demande pour les produits énergétiques de ce genre devrait connaître une forte croissance, notamment du côté de l'Europe, qui importe déjà du Canada au-delà d'un million de tonnes de granules énergétiques annuellement, d'aussi loin que la Colombie-Britannique (en passant par le canal de Panama). Puisque l'huile de pyrolyse a une densité énergétique sensiblement plus élevée que celle des granules et vu la relative proximité entre l'Europe et le Canada, ce marché pourrait un jour représenter une occasion intéressante.

Il n'y a actuellement aucune norme canadienne ni québécoise régissant la qualité des copeaux, des broyats et des granules. Les producteurs canadiens de cette filière utilisent les normes européennes et américaines pour le contrôle de la qualité en vue de l'exportation. La filière bioénergétique québécoise est nouvelle et résisterait mal aux problèmes de qualité qui pourraient avoir des effets dévastateurs sur son image. Pour qu'elle puisse connaître une croissance harmonieuse, les intervenants auraient avantage à tirer profit des bénéfices que peuvent lui apporter une normalisation et une certification de ses biens et services. À cet égard, fort de son expérience, le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) pourrait très bien adapter



les normes internationales ou nationales aux besoins provinciaux et élaborer des programmes de certification québécois portant sur les biocombustibles solides.

Les gouvernements du Québec et du Canada ont mis en œuvre de nombreux programmes d'aide et des incitatifs de toutes sortes afin de créer un contexte favorable à la création et au déploiement de la filière bioénergétique. De plus, dès le début 2012, le mécanisme de plafonnement et d'échanges (*cap and trade*) élaboré dans le cadre de la WCI devrait s'activer. Cela devrait avoir un effet favorable et important sur le développement de la filière énergétique à base de biomasse, à l'image de l'EU ETS en Europe.

Au Québec, l'industrie de la bioénergie à partir de la biomasse forestière est au stade du démarrage. Comme c'est souvent le cas au cours du développement d'une nouvelle industrie ou filière, les marchés connaissent certaines difficultés.

Ainsi, plusieurs entreprises et organismes des secteurs privé et public, dont le MRNF et l'AEE, se sont regroupés afin de mettre sur pied une structure de concertation en matière de bioénergie. Ce regroupement vise notamment à concevoir et à mettre en pratique un plan de commercialisation québécois favorisant l'utilisation des bioénergies renouvelables et, plus particulièrement, en ce moment, des granules de bois.



## BIBLIOGRAPHIE

### **Ouvrages généraux**

*Canada Report on Bioenergy 2010*, September 2010, CanBio, Natural Resources Canada et Wood Pellet Association of Canada.

[www.bioenergytrade.org/downloads/canadareportonbioenergy2010sept152010.pdf](http://www.bioenergytrade.org/downloads/canadareportonbioenergy2010sept152010.pdf)

*History and Future Challenges of Forest Biomass Utilization for Bioenergy in Europe*, Dominik Roser, METLA, Les Colloques du SCF-CFL, 15 février 2010. En annexe.

*Vers la valorisation de la biomasse forestière : un plan d'action*, MRNF, février 2009.

[www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/plan-action-biomasse.pdf](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/plan-action-biomasse.pdf)

*Guide de développement. Le bioraffinage forestier : possibilité pour les entreprises québécoises de pâtes et papiers*, MRNF et FPInnovations-Paprican, mars 2009.

[www.biorefinery.ws/doc/outils/Bioraffinage-forestier.pdf](http://www.biorefinery.ws/doc/outils/Bioraffinage-forestier.pdf)

*Bioénergie et biocarburants produits à partir de biomasse forestière*, Michel Lachance, CQVB, 2008.

[www.quebecwoodexport.com/biomasse/documents/Lachance.pdf](http://www.quebecwoodexport.com/biomasse/documents/Lachance.pdf)

*Vers la carte routière technologique pour les bioraffineries forestières canadiennes*, 2006.

[www.ic.gc.ca/eic/site/lsg-pdsv.nsf/vwapi/Bioraffineries-fra.pdf/\\$FILE/Bioraffineries-fra.pdf](http://www.ic.gc.ca/eic/site/lsg-pdsv.nsf/vwapi/Bioraffineries-fra.pdf/$FILE/Bioraffineries-fra.pdf)

*Les bioénergies dans les pays nordiques : situation en 2009 et perspectives*, rapport d'ambassade, pays nordiques, République française, novembre 2009. En annexe.

[www.bulletins-electroniques.com/rapports/smm09\\_067.htm](http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/smm09_067.htm)

*European Perspective of Forest Based Bioenergy Development*, Markku Karlsson, UPM-Kymmene, 2008.

[www.forestsandranglands.gov/Woody\\_Biomass/news\\_events/documents/aaas2008/european\\_perspective\\_karlsson.pdf](http://www.forestsandranglands.gov/Woody_Biomass/news_events/documents/aaas2008/european_perspective_karlsson.pdf)

*Portrait of Forest Biomass Systems in Eastern North America*, Christopher Rees, Suthey Holler Associates, 2008.

[www.quebecwoodexport.com/biomasse/documents/Rees.pdf](http://www.quebecwoodexport.com/biomasse/documents/Rees.pdf)

*La production de biocarburants dans les milieux ruraux du Québec*, Centre d'expertise sur les produits agroforestiers (CEPAF), mai 2007.

[www.biopterre.com/medias/public/ldv\\_4a40c776e923a\\_biocarbur.pdf](http://www.biopterre.com/medias/public/ldv_4a40c776e923a_biocarbur.pdf)

*Feuille de route d'innovation sur les matières premières, les carburants et les produits industriels issus de la biomasse*, Industrie Canada, 2004.

[http://strategis.ic.gc.ca/eic/site/trm-crt.nsf/vwapi/biobased-biomasse\\_fra.pdf/\\$FILE/biobased-biomasse\\_fra.pdf](http://strategis.ic.gc.ca/eic/site/trm-crt.nsf/vwapi/biobased-biomasse_fra.pdf/$FILE/biobased-biomasse_fra.pdf)

## **Biocombustibles densifiés**

*The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, Obernberger, I., Thek, G., EarthScan, 2010. Extrait en annexe.

*Profil des produits forestiers. Première transformation. Granules et bûches de bois densifié*, Michel Bouchard et collab. CRIQ, mars 2008.

[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/granules-buches.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/granules-buches.pdf)

*Étude de pré faisabilité : projet de bioénergie forestière*, Roche ingénieurs-conseils et QWEB, juillet 2007.

[www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/QWEB-Granules et buches-Rapport final-22-07-20071.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/QWEB-Granules_et_buches-Rapport_final-22-07-20071.pdf)

*The Pelleting Process*, Richard H. Leaver, Andritz Sprout, version 2008.

[www.andritzsproutbauer.com/pdf/The-Pelleting-Process-v2008.pdf](http://www.andritzsproutbauer.com/pdf/The-Pelleting-Process-v2008.pdf)

*Le marché du granule : quelques statistiques*, John Arseneault, Wood Pellet Association of Canada, mai 2010. En annexe.

[www.apcas.qc.ca/2010MaiGranules%20Combustibles%20Energex.pdf](http://www.apcas.qc.ca/2010MaiGranules%20Combustibles%20Energex.pdf)

*BC Wood Pellet Industry and Global Markets*, Gordon Murray, Wood Pellet Association of Canada, December 6, 2010. En annexe.

[www.pellet.org/linked/2010-12-06%20g%20murray%20northern%20pellet%20symposiu.pdf](http://www.pellet.org/linked/2010-12-06%20g%20murray%20northern%20pellet%20symposiu.pdf)

*Canadian Wood Pellet Update*, Gordon Murray, Wood Pellet Association of Canada, October 1, 2010.

[www.pellet.org/linked/2010-10-01%20gordon%20murray%20canbio.pdf](http://www.pellet.org/linked/2010-10-01%20gordon%20murray%20canbio.pdf)

*Wood Pellet Potential in the Yukon*, Gordon Murray, Wood Pellet Association of Canada, May 26, 2010. Extraits en annexe.

[www.pellet.org/linked/2010-05-26%20gordon%20murray%20yukon.pdf](http://www.pellet.org/linked/2010-05-26%20gordon%20murray%20yukon.pdf)

*North America's Wood Pellet Sector*, Research paper FPL-RP-656, Henry Spelter, Daniel Toth, USDA, September 2009. [www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fpl\\_rp656.pdf](http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fpl_rp656.pdf)

*European Pellet Markets*, Christian Rakos, proPellets Austria, July 2010.

<http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/07/Rakos-European-Market.pdf>

*The Swedish Market for Wood Briquettes: production and Market Development*, 2008, Johan Karlhager, SLU.

[www.svebio.se/attachments/33/880.pdf](http://www.svebio.se/attachments/33/880.pdf)

**Erreur ! Référence de lien hypertexte non valide.**

*RWE Builds US Biomass Unit to Fuel European Plant*, January 20, 2010.

[www.reuters.com/article/idUSLDE60J0SS20100120](http://www.reuters.com/article/idUSLDE60J0SS20100120)

*U.S. Keeping up With European Biomass Demand*, Stephen Lacey, RenewableEnergyWorld.com, September 2, 2010.

[www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/09/keeping-up-with-european-biomass-demand](http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2010/09/keeping-up-with-european-biomass-demand)

« Pellets to Burn », Scott Jamieson, *Canadian Biomass Magazine*, September-October 2010.

[www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2024/132/](http://www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2024/132/)

« Briquettes on Fire », Treena Hein, *Canadian Biomass Magazine*, September-October 2010.

[www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2022/132/](http://www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2022/132/)

*Pellet Market Overview Report 2009*, WIP Renewable Energies, December 2009.

[www.pelletsatlas.info/pelletsatlas\\_docs/showdoc.asp?id=100211172354&type=doc&pdf=true](http://www.pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=100211172354&type=doc&pdf=true)

Proposition budgétaire reçue de Sunomi, août 2009. En annexe.

Proposition budgétaire reçue d'Akhurst Machinerie ltée., août 2009. En annexe.

Proposition budgétaire reçue de WEIMA America Inc., août 2009. En annexe.

## **Combustion**

*Chaudières à biomasse et technologies de combustion*, Jean Baribeault, Jocelyn Millette, Écosens Énergie inc., 26 janvier 2010. En annexe.

[www.aqme.org/AxisDocument.aspx?id=2027&langue=fr&download=true&document=AQME\\_Ecosens-Energie\\_26\\_Janvier\\_2010.pdf](http://www.aqme.org/AxisDocument.aspx?id=2027&langue=fr&download=true&document=AQME_Ecosens-Energie_26_Janvier_2010.pdf)

*État de l'art de la technologie : générateur d'air chaud à partir de biomasse*, ADEME, 2010.

[www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=6E7B5B5EFF2494C8509C39E7E65ADC4D1279628646515.pdf](http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=6E7B5B5EFF2494C8509C39E7E65ADC4D1279628646515.pdf)

*Étude de pré faisabilité : chaufferies institutionnelles à la biomasse forestière*, Roche ingénieurs-conseils, 2008.

[www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/QWEB-Chaufferies\\_centrales-Rapport\\_final\\_04-07-20081.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/energie/documents/QWEB-Chaufferies_centrales-Rapport_final_04-07-20081.pdf)

*Profil des produits forestiers. Biomasse forestière résiduelle : inventaire des méthodes et équipements de récupération ainsi que des systèmes de combustion les plus courants*, MRNF, Michel Bouchard et collab., CRIQ, 2006.

[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/biomasse-forestiere.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/biomasse-forestiere.pdf)

*The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*, Sjaak Van Loo, Jaap Koppejan, Earthscan, 2008, 442 p. Extrait en annexe.

*Établissement de chaufferies centrales à la biomasse forestière : matières premières, technologies, coûts et conditions de rentabilité*, Jacquelin Goyette, Roche ingénieurs-conseils, 2008.

[www.quebecwoodexport.com/biomasse/documents/Goyette.pdf](http://www.quebecwoodexport.com/biomasse/documents/Goyette.pdf)

*Biomass Combustion in Europe: Overview on Technologies and Regulations*, 2008.  
[www.nyserda.org/Programs/Environment/EMEP/Report%2008-03%20-%20Biomass%20Combustion%20in%20Europe-complete-after%20corrections.pdf](http://www.nyserda.org/Programs/Environment/EMEP/Report%2008-03%20-%20Biomass%20Combustion%20in%20Europe-complete-after%20corrections.pdf)

*Règlement sur la qualité de l'atmosphère.*  
[www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q\\_2/Q2R38.HTM](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R38.HTM)

*Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère.*  
[www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/req-assain-air.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/atmosphere/req-assain-air.pdf)

*Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles.*  
[www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q\\_2/Q2R19.HTM](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R19.HTM)

*Règlement sur les appareils de chauffage au bois.*  
[www.mddep.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/reglement.pdf](http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/reglement.pdf)

## **Gazéification**

*Status of 2nd Generation Biofuels Demonstration Facilities in June 2010*, International Energy Agency, IEA Bioenergy Report T39-P1b, July 2010. Extraits en annexe.  
[www.ascension-publishing.com/BIZ/IEATask39-0610.pdf](http://www.ascension-publishing.com/BIZ/IEATask39-0610.pdf)

*Brochure XYLOWATT SA.* En annexe.  
[www.xylowatt.com/Folders/XW\\_FR\\_A4.pdf](http://www.xylowatt.com/Folders/XW_FR_A4.pdf)

Extraits du site Web de CHOREN.  
[www.choren.com/en/](http://www.choren.com/en/)

Extraits du site Web d'Energkem.  
[www.energkem.com](http://www.energkem.com)

Extraits du site Web de PyroGenesis Canada inc.  
[www.pyrogenesis.com/](http://www.pyrogenesis.com/)

Extraits du site Web de Nexterra Systems Corp.  
[www.nexterra.ca](http://www.nexterra.ca)

Extraits du site Web de Rentech Inc. En annexe.  
[www.rentechinc.com](http://www.rentechinc.com)

Extraits du site Web de ThermoChem Recovery International Inc. (TRI).  
[www.tri-inc.net](http://www.tri-inc.net)

Site Web d'Ebara Corporation.  
[www.ebara.co.jp/en/company/message.html](http://www.ebara.co.jp/en/company/message.html)

Site Web de Lurgi.

[www.lurgi.info/Website/index.php?L=1&id=0](http://www.lurgi.info/Website/index.php?L=1&id=0)

Site Web de CORE BioFuel.

[www.corebiofuel.com](http://www.corebiofuel.com)

*Biomass gasification: State of the Art Description*, Graz University of Technology – Institute of Thermal Engineering, Austria, December 2007.

[www.gasification-](http://www.gasification-guide.eu/gsq_uploads/documenten/Gasification_Guide_D08_State_of_the_Art_Description_V09e.pdf)

[guide.eu/gsq\\_uploads/documenten/Gasification\\_Guide\\_D08\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_Description\\_V09e.pdf](http://www.gasification-guide.eu/gsq_uploads/documenten/Gasification_Guide_D08_State_of_the_Art_Description_V09e.pdf)

*Polygeneration in Europe*, Repotec sa, à Güssing (Autriche), 2008, p. 52-53.

[www.polygeneration.org/cms/upload/Report\\_Polygeneration\\_in\\_Europe.pdf](http://www.polygeneration.org/cms/upload/Report_Polygeneration_in_Europe.pdf)

« Advanced Biofuel Project Picks up Steam in Wisconsin – Flambeau River Biofuels LLC (Park Falls, Wisconsin) », *Biodiesel Magazine*.

[www.biodieselmagazine.com/article.jsp?article\\_id=3824](http://www.biodieselmagazine.com/article.jsp?article_id=3824)

## **Carbonisation**

*Industrial Production of Charcoal*, Morten Gronli, SINTEF Energy Research.

<http://terrapreta.bioenergylists.org/files/Gronli.pdf>

Gronli, M.; Antal, M. J. Jr; Schenkel, Y. and Crehay, R. « The Science and Technology of Charcoal Production. PyNe Subject Group Report », *Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, Volume 3*, Edited by A. V. Bridgwater, CPL Press, 2005, p. 221.

Kammen, D. M. and Lew, D. J. « Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal », *Renewable and Appropriate Energy Laboratory Report*, 2005, p. 19.

Wade, S. R.; Nunoura, T. and Antal, M. J. Jr. « Studies of the Flash Carbonization Process. 2. Violent Ignition Behaviour of Pressurized Packed Beds of Biomass: A Factorial Study », *Ind. Eng. Chem. Res*, 45, 2006, p. 3512-3519.

Antal, M. J. Jr; Mochizuki, K. and Paredes, L. S. « Flash Carbonization of Biomass », *Ind. Eng. Chem. Res*, 42, 2003, p. 3680-3699.

Nunoura, T.; Wade, S. R.; Bourke, J. P.; Antal, M. J. Jr. « Studies of the Flash Carbonization Process. 1. Propagation of the Flaming Pyrolysis Reaction and Performance of a Catalytic Afterburner », *Ind. Eng. Chem. Res*, 45, 2003, p. 585-599.

Extrait du site Web du Hawaii Natural Energy Institute, Renewable Resources Research Laboratory (R3Lab).

[www.hnei.hawaii.edu/bio.r3.asp](http://www.hnei.hawaii.edu/bio.r3.asp)

« Kingsford Licenses Hawaii Charcoal Patent », *Honolulu Advertiser.com*, July 28, 2007.

<http://the.honoluluadvertiser.com/article/2007/Jul/28/In/hawaii707280348.html>

*Systèmes énergétiques industriels : technologies du charbon et du coke*, CanmetÉNERGIE, 2008-11-11.

[http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/procedes\\_industriels/-systemes\\_energetiques\\_indus/technologies\\_charbon\\_coke/biocoke.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/procedes_industriels/-systemes_energetiques_indus/technologies_charbon_coke/biocoke.html)

*Charcoal Shipments 2010*, Hearth, Patio and Barbecue Association, December 2010. En annexe.

[www.hpba.org/statistics/barbecue-statistics/CharcoalShipments2010](http://www.hpba.org/statistics/barbecue-statistics/CharcoalShipments2010)

## **Torréfaction**

*Torrefaction Update (WPCA Board Meeting) – Torrefaction as a Pre-Treatment for Pellets*, Wood Pellet Association of Canada (WPCA), Staffan Melin, 2010-11-19. En annexe.

[www.pellet.org/linked/melin%20torrefaction.pdf](http://www.pellet.org/linked/melin%20torrefaction.pdf)

« Pellets to Burn », *Canadian Biomass Magazine*, Scott Jamieson, September-October 2010.

[www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2024/132/](http://www.canadianbiomassmagazine.ca/content/view/2024/132/)

*Biomass: A Question of Scale*, Industrial Fuels and Power Newsroom, April 20, 2010.

[www.ifandp.com/article/003558.html](http://www.ifandp.com/article/003558.html)

*Torrefaction: A New Option for Bioenergy Conversion*, P. Basu, A. Dhungana, Dalhousie University, Nova Scotia, 2010.

[http://eco-efficiency.management.dal.ca/Files/Bioenergy\\_Conference/-Torrefraction\\_P\\_Basu\\_022610.pdf](http://eco-efficiency.management.dal.ca/Files/Bioenergy_Conference/-Torrefraction_P_Basu_022610.pdf)

*Biomass Co-firing with Coal as an Emissions Reduction Strategy*, Jason Hayes, American Coal Council, September 2010.

[www.americancoalonline.com/spotlights/biomass-co-firing-with-coal](http://www.americancoalonline.com/spotlights/biomass-co-firing-with-coal)

*Grinding & Pelleting Economics*, Sudhagar Mani, University of Georgia, February 2009.

[www.asabe.org/meetings/aetc2009/Mani~AETC~2009.pdf](http://www.asabe.org/meetings/aetc2009/Mani~AETC~2009.pdf)

*BO<sub>2</sub>-Technology For Biomass Upgrading Into Solid Fuel: Pilot-Scale Testing And Market Implementation*, ECN, 2008. Report ECN-M--08-036.

[www.ecn.nl/docs/library/report/2008/m08036.pdf](http://www.ecn.nl/docs/library/report/2008/m08036.pdf)

*Torrefaction-Based BO<sub>2</sub>-Technology, an Enabling Technology for Entrained-Flow Gasification of Biomass*, ECN, 2008. En annexe.

<http://gasification-freiberg.org/PortalData/1/Resources/documents/paper/09-2-Gerhauser.pdf>

*Torrefied Biomass: A Foresighting Study into the Business Case for Pellets from Torrefied Biomass As a New Solid Fuel*, University Of Aberdeen, ECN, May 24, 2007.

[www.techtp.com/Cofiring/Pellets%20from%20Torrefied%20Wood.pdf](http://www.techtp.com/Cofiring/Pellets%20from%20Torrefied%20Wood.pdf)

*Using Torrefied Wood for Electricity and Pellet Production in South Carolina*, North Carolina State University, Agri-Tech Producers LLC, 2008. En annexe.

[http://terrapreta.bioenergylists.org/files/TorrefiedWoodPresentation\\_2-08.pdf](http://terrapreta.bioenergylists.org/files/TorrefiedWoodPresentation_2-08.pdf)



*4Energy Invest Starts the Construction of a Large Scale Torrefied Wood Pellets Production Facility in Amel for a Total Investment of 13 Million Euro.*

[www.4energyinvest.com/document/D77\\_20090202PRBiocoal\\_EN.pdf](http://www.4energyinvest.com/document/D77_20090202PRBiocoal_EN.pdf)

CanmetÉNERGIE.

[http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/bioenergie/biocombustibles/biocombustibles\\_solides.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fra/bioenergie/biocombustibles/biocombustibles_solides.html)

*TORSPYD™ Fast Continuous Torrefaction System for Non-Food Biomass.*

[www.thermya.com/pdf/90519\\_SD\\_JS\\_THERMYA\\_presentation\\_Torrefaction\\_mai\\_2009\\_UK-1.pdf](http://www.thermya.com/pdf/90519_SD_JS_THERMYA_presentation_Torrefaction_mai_2009_UK-1.pdf)

*Torrefied Wood, A Bio-Energy Option That Is Ready to Go: A Biomass Digest Special Report, Biomass Digest correspondent Tim Sklar, December 31, 2009.*

<http://biomassdigest.net/blog/2009/12/31/torrefied-wood-a-bio-energy-option-that-is-ready-to-go-a-biomass-digest-special-report/>

*Torrefied Biomass: An Ideal Co-Firing Solution, Walt Dickinson, Managing Director, Integro Earthfuels, Biomass Conference, October 2009. En annexe.*

[www.virginiabiomass.org/ppts/Dickinson-Torrefaction.ppt](http://www.virginiabiomass.org/ppts/Dickinson-Torrefaction.ppt)

*Bepex: Torrefaction and Densification of Biomass Fuels for Generating Electricity – Milestone 2 Report, June 2009, (biomasse agricole), Torrsys.*

[www.xcelenergy.com/SiteCollectionDocuments/docs/BepexInternational-RD3-4-Milestone2Report.pdf](http://www.xcelenergy.com/SiteCollectionDocuments/docs/BepexInternational-RD3-4-Milestone2Report.pdf)

« Combustion Evaluation of Torrefied Wood Pellets on a 50 KWth Boiler », Michel, J.-B., Mahmed, C., Ropp, J., Richard, J., Sattler, M. A., Schmid, M., 18th European Biomass Conference and Exhibition, May 2010, France, 1534 (7 pages). En annexe.

« More Efficient Biomass Gasification via Torrefaction », Prins Mark J., Ptasinski K., Lanssen F., *Energy*, no. 31, 2006, p. 3458-3470. En annexe.

Site Web de AB Torkapparater.

[www.torkapparater.se](http://www.torkapparater.se)

Site Web d'Airex Industries inc.

<http://airex-industries.com>

Site Web d'Alterna Biocarbon.

<http://alternabiocarbon.com>

Site Web d'Agri-Tech Producers LLC.

[www.agri-techproducers.com](http://www.agri-techproducers.com)

Site Web d'Andritz AG.

[www.andritz.com/ANONID082B45219EC4EF4/ft](http://www.andritz.com/ANONID082B45219EC4EF4/ft)

Site Web de BIO3D Applications.

[www.bio3d.eu](http://www.bio3d.eu)

Site Web de Biolake.

[www.biolake.nl/index\\_en.html](http://www.biolake.nl/index_en.html)

Site Web du BTG Biomass Technology Group BV.

[www.btgworld.com/index.php?id=33&rid=9&r=rd](http://www.btgworld.com/index.php?id=33&rid=9&r=rd)

Site Web de CMI-NESA.

[www.cmigroupe.com/nesa/index.html](http://www.cmigroupe.com/nesa/index.html)

Site Web d'Energex.

[www.energex.com/french/energex\\_info\\_fr04.htm](http://www.energex.com/french/energex_info_fr04.htm)

Site Web d'Energy Research Centre of the Netherlands (ECN).

[www.ecn.nl/corp](http://www.ecn.nl/corp)

Site Web de FoxCoal BV.

[www.foxcoal.nl/CMS/home/show.do?ctx=46075,456945&anav=456944](http://www.foxcoal.nl/CMS/home/show.do?ctx=46075,456945&anav=456944)

Site Web de NewEarth Renewable Energy Inc.

[www.newearth1.net](http://www.newearth1.net)

Site Web de Rotawave Ltd.

[www.rotawave.com](http://www.rotawave.com)

Site Web du Stramproy Group.

[www.stramproy.nl/html/index\\_en.html](http://www.stramproy.nl/html/index_en.html)

Site Web de Thermya.

[www.thermya.com](http://www.thermya.com)

Site Web de Topell Energy BV.

[www.topell.nl](http://www.topell.nl)

Site Web du Torr-Coal Groep.

[www.torrcoal.com](http://www.torrcoal.com)

Site Web d'Umeå University – ETPC.

[www.techtp.com/Biomass%20Refinement%20by%20Torrefaction.pdf](http://www.techtp.com/Biomass%20Refinement%20by%20Torrefaction.pdf)

Site Web de Wyssmont inc.

[www.wyssmont.com/home.php](http://www.wyssmont.com/home.php)

## **Pyrolyse**

*Contribution potentielle du biochar agricole à l'émergence de procédés de pyrolyse de la biomasse, Christian Roy, septembre 2010. En annexe.*

[http://biocharquebec.org/uploads/reference\\_file/file/4c97b24d1eddf962ab000002/conf\\_biochar\\_quebec\\_c\\_roy\\_2010-09-02.pdf](http://biocharquebec.org/uploads/reference_file/file/4c97b24d1eddf962ab000002/conf_biochar_quebec_c_roy_2010-09-02.pdf)

Extraits du site Web d'Ensyn Technologies Inc.

[www.ensyn.com](http://www.ensyn.com)

Extrait du site Web de Dynamotive Energy Systems Corporation.

[www.dynamotive.com](http://www.dynamotive.com)

*Unité de pyrolyse mobile*, Peter Fransham, Advanced BioRefinery Inc., Energy from Biomass, Québec, septembre 2007. En annexe.

Extraits d'Agri-Therm Inc., *Unité de pyrolyse mobile*.

[www.agri-therm.com/index.htm](http://www.agri-therm.com/index.htm)

*IEA Bioenergy Agreement Task 34 Newsletter – PyNe 27*, June 2010.

[www.pyne.co.uk/Resources/user/IEA%20Bioenergy%20Task%2034%20Pyrolysis%20PyNe%20Issue%2027.pdf](http://www.pyne.co.uk/Resources/user/IEA%20Bioenergy%20Task%2034%20Pyrolysis%20PyNe%20Issue%2027.pdf)

*Distributed-Scale Pyrolysis of Agricultural Biomass for Production of Refinable Crude Bio-Oil and Valuable Coproducts*, USDA project 2009-2014.

[www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn\\_no=418523](http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm?accn_no=418523)

Association canadienne des carburants renouvelables (Canadian Renewable Fuels Association).

[www.greenfuels.org](http://www.greenfuels.org)

### **Intégration de procédés énergétiques**

*Biomass and District Heating in Sweden*, Erik Larsson, 2009.

[www.lsta.lt/files/seminarai/090622\\_AEBIOM/10%20Erik%20Larsson%20Sweden.pdf](http://www.lsta.lt/files/seminarai/090622_AEBIOM/10%20Erik%20Larsson%20Sweden.pdf)

« Les réseaux de chaleur au bois en France », *Le Bois International*, 27 septembre 2008, p. 29-31. En annexe.

*Les réseaux de chaleur au bois*, CIBE, mars 2008.

[www.cibe.fr/IMG/pdf/enquete\\_reseaux\\_de\\_chaleur\\_au\\_bois\\_2007.pdf](http://www.cibe.fr/IMG/pdf/enquete_reseaux_de_chaleur_au_bois_2007.pdf)

« Chaufferie bois et réseau de chaleur en zone urbaine : cibles prioritaires et optimisation des projets », *Le Bois International*, Cahiers du bois-énergie n° 39, 27 septembre 2008. En annexe.

*Le Bois énergie pour les collectivités territoriales*.

[www.ademe.fr/paysdelaloire/downloads/bois/Bois-energie-reseaux.pdf](http://www.ademe.fr/paysdelaloire/downloads/bois/Bois-energie-reseaux.pdf)

*European Biomass Industry Association: Cogeneration*.

[www.eubia.org/207.98.html](http://www.eubia.org/207.98.html)

« L'utilisation du bois comme combustible pour la cogénération », *Bois Énergie*, 2003.

[www.itebe.org/telechargement/revue/Revue8/Revue8FR/FR8page16.pdf](http://www.itebe.org/telechargement/revue/Revue8/Revue8FR/FR8page16.pdf)

*Directive 2004/8/CE du Parlement européen et du Conseil du 11 février 2004 concernant la promotion de la cogénération sur la base de la demande de chaleur utile dans le marché intérieur de l'énergie et modifiant la directive 92/42/CEE.*

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:052:0050:0060:FR:PDF>

*Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies*, Energy and Environmental Analysis Inc. for U. S. EPA, Combined Heat and Power Partnership, September 2007.

[www.epa.gov/chp/documents/biomass\\_chp\\_catalog.pdf](http://www.epa.gov/chp/documents/biomass_chp_catalog.pdf)

*Transformer l'industrie canadienne des produits forestiers*, Association des produits forestiers du Canada (APFC), février 2010.

[www.fpac.ca/publications/Biopathways%20RGB%20FRE.pdf](http://www.fpac.ca/publications/Biopathways%20RGB%20FRE.pdf)

*Polygeneration in Europe: A technical report*, Polysmart, 2008.

[www.polysmart.org/cms/upload/publications/Report\\_Polygeneration\\_in\\_Europe\\_final.pdf](http://www.polysmart.org/cms/upload/publications/Report_Polygeneration_in_Europe_final.pdf)

« La cogénération-trigénération », Agence de l'efficacité énergétique, fiche technique *Prisme # 4*, 2004. En annexe.

[www.iepf.org/docs/prisme/Cogeneration.pdf](http://www.iepf.org/docs/prisme/Cogeneration.pdf)

*Background Information on Polygeneration: The Idea of an "Energy Centre of the Future"*, International Conference on Polygeneration Strategies. En annexe.

[www.icps-conference.eu/AboutPolygeneration.html?file=tl\\_files/icps/content/-Background%20Information.pdf](http://www.icps-conference.eu/AboutPolygeneration.html?file=tl_files/icps/content/-Background%20Information.pdf)

« Performance Evaluation of Adding Ethanol Production into an Existing Combined Heat and Power Plant », *Bioresource Technology*, January 2010, Vol. 101, Issue 2, p. 613-618, 6 p. En annexe.

*Integrated Biomass Gasification and Fischer-Tropsch Systems*, Georg Schaub, Universität Karlsruhe, September 2009.

[www.sgc.se/nyhetfiler/WBESchaub.pdf](http://www.sgc.se/nyhetfiler/WBESchaub.pdf)

« Energy-Efficient Pellet Production in the Forest Industry: A Study of Obstacles and Success Factors », *Biomass and Bioenergy*, Volume 30, Issue 1, January 2006, p. 38-45.

« A Total Energy System of Fuel Upgrading by Drying Biomass Feedstock for Cogeneration: a Case Study of Skellefteå Bioenergy Combine », *Biomass and Bioenergy*, Volume 23, Issue 4, October 2002, p. 271-281. En annexe.

*An Information Guide on Pursuing Biomass Energy Opportunities and Technologies in British Columbia*, BIOCAP Canada for BC Ministry of Forests and Range, February 2008.

[www.energyplan.gov.bc.ca/bioenergy/PDF/BioenergyInfoGuide.pdf](http://www.energyplan.gov.bc.ca/bioenergy/PDF/BioenergyInfoGuide.pdf)

*A Framework for Optimal Biomass-Based Polygeneration Facility Product Allocation*, Auburn University (Alabama), Dissertation, Norman Edward Sammons, December 2009.

<http://etd.auburn.edu/etd/bitstream/handle/10415/2002/Sammons%20Thesis.pdf?sequence=1>

« Faire du froid avec du chaud : du froid pour rentabiliser les projets bois-énergie », *Bois International*, Cahiers du bois-énergie n° 43, 2009, p. 25-27.

## **Normes et certifications**

*The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilisation of Pellets*, Obernberger, I., Thek, G., EarthScan, 2010.

*Pellet Fuels Institute Standard Specification for Residential/Commercial Densified Fuel*, October 25, 2010. En annexe.

<http://pelletheat.org/wp-content/uploads/2010/01/PFI-Standard-Specification-for-Residential-Commercial-Densified-Fuel-10-25-10.pdf>

Site Web du Comité européen de normalisation (CEN).

[www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx](http://www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx)

Site Web de l'AFNOR.

[www.afnor.org](http://www.afnor.org)

*New European Pellets Standards*, Alakangas, November 2010. En annexe.

[www.eubionet.net/GetItem.asp?item=digistorefile:232567:1540&params=open:gallery](http://www.eubionet.net/GetItem.asp?item=digistorefile:232567:1540&params=open:gallery)

*Les spécifications techniques et classifications : la norme européenne EN 14 961*, Gilles Negrie (FCBA) et Frédéric Douart.

[www.boisenergie.com/IMG/pdf/Les\\_specifications\\_techniques\\_classifications\\_la\\_norme\\_europeenne\\_EN\\_14\\_961-DOUARD.pdf](http://www.boisenergie.com/IMG/pdf/Les_specifications_techniques_classifications_la_norme_europeenne_EN_14_961-DOUARD.pdf)

*Note aux professionnels sur les certifications de qualité du pellet*, Propellet, 28 septembre 2010.

[www.propellet.fr/espacepresse//file.php?file=2010-09-INFO-certifications-de-qualite-du-pellet.pdf](http://www.propellet.fr/espacepresse//file.php?file=2010-09-INFO-certifications-de-qualite-du-pellet.pdf)

*Certification of Wood Pellets for the End Consumer Market*, Deutsches Pelletinstitut, March 3, 2010.

[www.enplus-pellets.de/downloads/ENplus\\_Manual\\_10-03.pdf](http://www.enplus-pellets.de/downloads/ENplus_Manual_10-03.pdf)

*Référentiel de certification NF Biocombustibles solides*, AFNOR Certification : NF 444, version 1, 2010-11-18.

[www.fcba.fr/getfile.php?table\\_fich=CERTIFICATION&id\\_fich=55&nom\\_champ\\_fich=CERTIFICATION\\_REGLES\\_GEN\\_URL\\_DOCZ](http://www.fcba.fr/getfile.php?table_fich=CERTIFICATION&id_fich=55&nom_champ_fich=CERTIFICATION_REGLES_GEN_URL_DOCZ)

« Making the Grade », *Canadian Biomass Magazine*, Heather Hager, November-December 2010.

[www.canadianbiomassmagazine.ca/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2117&Itemid=132](http://www.canadianbiomassmagazine.ca/index.php?option=com_content&task=view&id=2117&Itemid=132)

## **Incitatifs**

*La valorisation thermique de la biomasse forestière : paramètres-clés au développement harmonieux de cette filière énergétique au Québec*, Agence de l'efficacité énergétique, Nicolas Laflamme, octobre 2010. En annexe.

[www.afce.qc.ca/congres\\_salon\\_forestier/docs/Nicolas%20Laflamme\\_2010.pdf](http://www.afce.qc.ca/congres_salon_forestier/docs/Nicolas%20Laflamme_2010.pdf)

Site Web de l'Agence de l'efficacité énergétique (AEE).

[www.aee.gouv.qc.ca](http://www.aee.gouv.qc.ca)

*EPA – State Policy Resources – Renewable Portfolio Standards.*

[www.epa.gov/chp/state-policy/renewable.html](http://www.epa.gov/chp/state-policy/renewable.html)

*Plan d'action dans le domaine de la biomasse*, Commission des communautés européennes (CCE), 2005.

[http://ec.europa.eu/energy/res/biomass\\_action\\_plan/doc/2005\\_12\\_07\\_comm\\_biomass\\_action\\_plan\\_fr.pdf](http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_action_plan_fr.pdf)

Extrait du site Web de la Western Climate Initiative (WCI).

[www.westernclimateinitiative.org](http://www.westernclimateinitiative.org)

*Le Québec se joint au club d'Arnold*, Radio-Canada, 19 avril 2008.

[www.radio-canada.ca/nouvelles/environnement/2008/04/18/001-Charest-Climat-Yale.shtml](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/environnement/2008/04/18/001-Charest-Climat-Yale.shtml)

« La stratégie de la Western Climate Initiative pour réduire les GES est dévoilée », *Le Droit*, 27 juillet 2010.

[www.cyberpresse.ca/le-droit/actualites/actualites-nationales/201007/27/01-4301752-la-strategie-de-la-western-climate-initiative-pour-reduire-les-ges-est-devoilee.php](http://www.cyberpresse.ca/le-droit/actualites/actualites-nationales/201007/27/01-4301752-la-strategie-de-la-western-climate-initiative-pour-reduire-les-ges-est-devoilee.php)

*Western Climate Initiative*, présentation de Myriam Blais, MDEIE, septembre 2010.

<http://cpeq.org/assets/files/Presentations/Conferences/2010/1erSept2010-Partie3.pdf>

*Les entreprises canadiennes profitent du marché du carbone*, Radio-Canada, 24 novembre 2010. En annexe.

[www.radio-canada.ca/nouvelles/Economie/2010/11/24/014-marche-carbone-quebec.shtml](http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Economie/2010/11/24/014-marche-carbone-quebec.shtml)