

PROFIL DES PRODUITS FORESTIERS PREMIÈRE TRANSFORMATION

***BIOMASSE FORESTIÈRE RÉSIDUELLE
INVENTAIRE DES MÉTHODES ET ÉQUIPEMENTS DE RÉCUPÉRATION
AINSI QUE DES SYSTÈMES DE COMBUSTION LES PLUS COURANTS***

PRODUIT EN AOÛT 2006

**Centre de recherche
industrielle**

Québec 

**Ressources naturelles
et Faune**

Québec 

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) (gouvernement du Québec).

Auteurs

Ce document a été réalisé par M^{me} Ginette Douville et MM. Vincent Vallée, André Proulx et Michel Bouchard du Centre de recherche industrielle du Québec ainsi que M^{me} France Brulotte de la Direction du développement de l'industrie des produits forestiers (DDIPF) du MRNF. MM. Jean Baribeault, ingénieur chercheur du Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE) de l'Institut de recherche d'Hydro Québec, Marc Giguère de la DDIPF et Jean-Guy Plasse de la Direction de la coordination des opérations régionales (DCOR), tous deux du MRNF, ont également apporté leur collaboration.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M^{me} Josée Grondin de la DDIPF du MRNF qui a effectué l'éditique de ce document et M^{me} Sylvie Nadeau également de la DDIPF qui a participé à la recherche bibliographique et informatique.

Diffusion

Cette publication, conçue pour une impression recto verso, est disponible en ligne uniquement à l'adresse suivante :
www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/biomasse-forestiere.pdf

© Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2006
Dépôt légal — Bibliothèque nationale du Québec, 2006

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

SOMMAIRE

Présentation de l'étude

Dans cette étude, nous répertorions et décrivons les méthodes et les équipements les plus courants utilisés pour la récupération de biomasse résiduelle provenant de la récolte forestière. Nous y décrivons également les systèmes de combustion qui lui sont adaptés.

D'abord, nous soulignons les atouts du bois énergie. Nous poursuivons par la présentation de trois méthodes de récupération et de différents modèles de machinerie. Nous traitons également de la problématique liée au transport et au traitement de la biomasse. Nous passons ensuite en revue les éléments de quelques systèmes de combustion. Finalement, nous émettons des recommandations liées au déploiement de la filière biomasse forestière résiduelle. Enfin, dans les dernières sections, nous avons colligé de nombreuses références ainsi que de l'information concernant des événements et des organisations liés au bois énergie.

Définition

- La biomasse résiduelle provenant de la récolte forestière se compose de rémanents, de sections de troncs non commercialisables, de houppiers, de branches, de rameaux et de feuillage.

Faits saillants

- La récupération de biomasse résiduelle à des fins d'énergie thermique est très développée en Europe. Cela résulte du coût élevé de l'énergie et de la courte distance entre les sites de récupération et les utilisateurs. Au Québec, cette récupération n'en est qu'au stade expérimental.
- Dans les pays scandinaves, l'éventail des matières récupérées s'est largement élargi. En Finlande, par exemple, les souches et les racines sont devenues d'importantes sources d'énergie.
- Les caractéristiques et les procédés de fonctionnement des équipements permettent de distinguer trois méthodes de récupération : la fragmentation, le fagotage et la compaction.
- De nombreux équipements sont offerts sur le marché et la gamme de prix est très large. Elle varie en fonction de la capacité et de la performance. Plusieurs facteurs doivent être considérés au moment du choix d'un équipement, tels que les caractéristiques de la matière à traiter (quantité, variabilité, degré de contamination, etc.) ainsi que le rendement escompté.
- Divers scénarios peuvent être envisagés pour l'acheminement de la biomasse vers l'utilisateur final, par exemple un transport direct à partir de la forêt, une transition par un centre de stockage intermédiaire ou un passage dans un centre de traitement.

SOMMAIRE (suite)

- Les centres de recyclage actuels pourraient être mis à contribution dans la chaîne logistique pour permettre d'atteindre une valorisation optimale de la biomasse forestière résiduelle.
- Les équipements pour le transport de la biomasse forestière résiduelle sont généralement ceux qui servent au transport de bois rond et de sous-produits d'usines de première transformation.
- Les systèmes de combustion à la biomasse forestière sont plus complexes que ceux fonctionnant aux combustibles fossiles et requièrent une intégration rigoureuse des différents composants afin d'obtenir une performance maximale.
- Actuellement, la qualité des biocombustibles n'est pas assujettie à des normes nationales. Elle peut varier considérablement (taux d'humidité, granulométrie, etc.) et influencer sensiblement le fonctionnement et la performance des systèmes de combustion.
- La puissance de l'installation à la biomasse ainsi que celle du système d'appoint devraient être déterminées par des experts afin d'obtenir des coûts de production d'énergie les plus bas possibles en optimisant le temps de fonctionnement dans des conditions d'opération optimales.
- Le Centre d'aide à la décision sur les énergies propres RETScreen International a mis au point plusieurs modèles d'analyses technique et financière. Le modèle pour le chauffage à la biomasse permet d'évaluer la production énergétique, le coût du cycle de vie et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. On peut recourir à ce modèle pour des applications à grande échelle comportant des regroupements de bâtiments et pour des applications plus modestes comme des bâtiments individuels.
- Actuellement, les pays scandinaves sont les leaders dans la recherche sur le développement d'équipements, de systèmes et pratiques intégrés de récupération, transport, entreposage et fragmentation de la biomasse forestière.
- La production de la bioénergie progresse beaucoup en Europe, alors qu'aux États-Unis c'est l'industrie des biocarburants qui se développe rapidement. Au Canada, un peu plus de 5 % des besoins énergétiques canadiens sont comblés par des biocombustibles renouvelables. Au Québec, l'intérêt pour la production d'énergie à partir de la biomasse forestière résiduelle est grandissant. Cette situation est avivée par la hausse marquée des carburants fossiles, par les préoccupations relatives aux émissions de gaz à effet de serre et aux changements climatiques ainsi que par la réduction de l'approvisionnement en fibres.
- Bien que la récupération de la biomasse forestière résiduelle à des fins énergétiques puisse accroître la complexité des opérations forestières, elle peut contribuer à en accentuer l'efficacité globale.

SOMMAIRE (suite)

- Dans un contexte où on prévoit une augmentation sensible du coût des combustibles fossiles et de l'électricité, la biomasse forestière résiduelle apparaît comme une solution qui permettra de réduire les coûts liés à l'énergie, année après année.
- Comme ce secteur d'activité est en émergence, l'étude exhaustive de projets précis, en contexte québécois, permettra d'établir la chaîne d'approvisionnement optimale à mettre en place, de choisir les équipements les plus appropriés et d'en déterminer la rentabilité économique.
- Les possibilités des biocombustibles forestiers pourraient permettre la libération de volumes appréciables de sciures et rabotures pour la fabrication de produits à valeur ajoutée par l'industrie des pâtes et papiers et celle des panneaux.
- En substituant les combustibles fossiles par la biomasse forestière résiduelle, il pourrait être possible de réduire les émissions de gaz à effet de serre, ce qui constitue un appui direct à l'atteinte des objectifs canadiens en rapport avec le Protocole de Kyoto. L'adhésion du public québécois est pratiquement acquise d'autant plus que ce dernier est particulièrement sensible aux initiatives respectant l'environnement.
- Le déploiement de la filière biomasse forestière résiduelle favoriserait le développement de l'économie locale en créant de nouvelles perspectives d'embauche. Toutefois, il ne peut être envisagé qu'en concertation étroite avec la « filière bois » à l'échelle régionale parce que ces projets peuvent entrer en concurrence avec d'autres usages industriels sensibles aux coûts des approvisionnements.
- Bien que l'investissement initial ne favorise pas en général le bois énergie, une approche de coût global et de retombées en termes de création d'emplois et de valorisation des ressources forestières locales plaide en sa faveur. Ce constat ouvre de nouvelles perspectives d'utilisation avec les réseaux de chaleur des collectivités, notamment pour les communautés en milieu rural et dans les régions ressources.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
SOMMAIRE	III
LISTE DES PHOTOS	IX
LISTE DES TABLEAUX	XI
LISTE DES GRAPHIQUES	XI
LISTE DES SCHÉMAS	X111
INTRODUCTION	1
1. OBJECTIFS	3
2. ATOUTS DU BOIS ÉNERGIE	5
3. RÉCOLTE DE BOIS ET RÉCUPÉRATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE	7
3.1 Méthodes de récolte forestière utilisées au Québec	7
3.2 Biomasse résiduelle	8
3.3 Récupération de la biomasse résiduelle	9
3.3.1 Récupération par fragmentation	10
3.3.2 Récupération par la mise en fagots	21
3.3.3 Récupération par compaction	27
4. TRANSPORT ET TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE RÉSIDUELLE	29
5. SYSTÈMES DE COMBUSTION À LA BIOMASSE	37
5.1 Quelques notions fondamentales	38
5.2 Capacité et types de réserve de biocombustible	39
5.2.1 Réserves souterraines	41
5.2.2 Réserves de surface	42
5.3 Système de transfert du combustible de la réserve à la chambre de combustion	44
5.4 Système d'alimentation en biocombustible	45
5.5 Chambre de combustion	46

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	PAGE
5.6 Échangeur de chaleur	50
5.7 Système d'extraction et d'entreposage des cendres	51
5.8 Système d'épuration et d'évacuation des gaz	54
5.9 Systèmes d'automatisation et contrôle	57
5.10 Unités d'appoint ou de secours à combustible fossile	58
5.11 Réseau de distribution de chaleur	59
5.12 Aspects financiers	61
5.12.1 Investissement	61
5.12.2 Frais d'exploitation et d'entretien	61
5.12.3 RETScreen	63
6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	65
7. COORDONNÉES DES FOURNISSEURS D'ÉQUIPEMENTS	73
7.1 Récupération et préparation	73
7.2 Transport et manutention	75
7.3 Production et distribution d'énergie	78
8. EXPERTS, ORGANISMES ET ÉVÉNEMENTS DU SECTEUR	89
8.1 Experts et organismes	89
8.2 Événements nationaux et internationaux	100
BIBLIOGRAPHIE	105
ANNEXE 1 – ÉQUIPEMENT NOVATEUR PERMETTANT L'INTÉGRATION DES ACTIVITÉS FORESTIÈRES DE DIVERS UTILISATEURS	111

LISTE DES PHOTOS

	PAGE
Photos 1 : Bois frais déchiqueté et broyats d'arbres entiers	10
Photos 2 : Quelques modèles de déchiqueteuses et de broyeurs	12
Photo 3 : GPS monté à bord d'un camion	18
Photo 4 : En Finlande, les souches et racines sont devenues d'importantes sources d'énergie	18
Photo 5 : Équipement de mise en fagots monté sur un camion	22
Photo 6 : Chargement et transport de fagots à l'aide de porteurs traditionnels utilisés pour des billes	22
Photo 7 : Fagots stockés temporairement en bordure de route pour sécher naturellement à l'aide du soleil et du vent	23
Photo 8 : Stockage des fagots avant le déchiquetage à l'unité productrice d'énergie	23
Photo 9 : Broyage en plaquettes avec des équipements fixes sur le site de l'unité productrice d'énergie	24
Photos 10 : Exemple d'une chaîne d'approvisionnement basée sur la mise en fagots	24
Photos 11 : Quelques modèles de fagoteuses	25
Photos 12 : Récolteur-compacteur développé par M. Daniel Tardif	28
Photo 13 : Porteur de biomasse forestière résiduelle brute avec chariot de transport élargi	32
Photos 14 : Transport de fagots	33
Photos 15 : Semi-remorques forestières à fond plat	33
Photos 16 : Transport de la biomasse transformée en biocombustible jusqu'à l'utilisateur final au moyen d'un camion benne (HAAS)	34
Photos 17 : Semi-remorques utilisées pour le transport de biomasse brute et pour des plaquettes	34

LISTE DES PHOTOS (SUITE)

	PAGE
Photos 18 : Différents types de portes d'entrée de réserves souterraines de biocombustible	42
Photo 19 : Silos à revêtement vitrifié utilisés pour le maïs humide	43
Photo 20 : Conteneurs équipés d'un système d'extraction se raccordant très facilement au système de transfert du combustible	44
Photo 21 : Convoyeur à chaînes	45
Photo 22 : Trémie doseuse avec poussoirs	46
Photo 23 : Chambre de combustion en escalier	47
Photo 24 : Chambre de combustion à grille conique <i>Biograte</i>	48
Photo 25 : Trémie de décendrage et convoyeur immergé	52
Photo 26 : Bac de récupération des cendres transportable par chariot élévateur	52
Photo 27 : Retour des nutriments à la forêt par l'épandage des cendres générées par les biocombustibles	53
Photo 28 : Chaudière à la biomasse et unité d'appoint à combustible fossile	58
Photo 29 : Conduites rigides pré-isolées	59
Photo 30 : Conduites flexibles pré-isolées	60

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1 : Impact du taux d'humidité sur un système de combustion d'une puissance de 600 bhp	38
Tableau 2 : Transport par camions de produits forestiers, local et longue distance	75
Tableau 3 : Remorques ou semi-remorques pour le transport du bois ou des copeaux – Fabricants	76
Tableau 4 : Chargeuses à grappins pour remorques forestières, chargeuses forestières, grappins et pinces mécanisés – Fabricants	77
Tableau 5 : Système de combustion et chaudières à résidus de bois et écorces (commercial ou industriel), canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques - Fabricants	78

LISTE DES GRAPHIQUES

	PAGE
Graphique 1 : Récolte effectuée au cours de l'exercice 2003-2004 – Volume récolté (m ³) et importance relative selon le procédé de récolte	8
Graphique 2 : Variation du contenu en humidité selon différentes périodes de l'année – Séchage à l'air du bouleau abattu en arbre entier	9
Graphique 3 : Capacité de la réserve en fonction de la puissance de la chaudière et du type de biomasse	40

LISTE DES SCHÉMAS

	PAGE
Schéma 1 : Représentation schématique d'une installation de chauffage à la biomasse	37
Schéma 2 : Représentation d'une réserve souterraine avec système d'alimentation	41
Schéma 3 : Représentations schématiques d'une fournaise à feu direct et d'une fournaise à deux chambres	46
Schéma 4 : Chambre de combustion munie de grilles inclinées, à mouvement rotatif	49
Schéma 5 : Représentations schématiques de chaudières à tubes de fumée et à tubes d'eau	50
Schéma 6 : Représentation schématique d'un dépoussiéreur multicyclone	54
Schéma 7 : Représentation schématique d'un laveur de gaz	55
Schéma 8 : Représentation schématique d'un précipitateur électrostatique	56
Schéma 9 : Interface opérateur	57

INTRODUCTION

Les sous-produits des usines de première transformation du bois, soit les copeaux, les sciures, les rabotures, les délignures, les éboutures et les écorces, sont presque entièrement utilisés par l'industrie des produits forestiers (papier, carton et panneaux) ou encore à des fins énergétiques (séchoirs, granules, bûchettes et cogénération) et à des fins horticoles et agricoles (paillis et litière)¹. En plus, la loi n° 71 découlant de la mise en œuvre de certaines recommandations de la commission Coulombe, adoptée le 1^{er} avril 2005, prévoit une réduction de la possibilité forestière des forêts du domaine de l'État. Dans le cas de la possibilité du groupe des sapin, épinettes, pins et mélèze (SEPM), cette réduction est de 20 % partout au Québec sauf dans le territoire visé au chapitre 3 de l'Entente Québec-Cris – « *la Paix des braves* » – où elle est de 25 %. Pour les autres essences, la baisse de possibilité a été fixée à 5 %. Dans ce contexte, les industries utilisatrices de sous-produits des usines de première transformation devront utiliser d'autres sources d'approvisionnement pour combler leurs besoins.

En raison de cette situation, les sous-produits des industries de deuxième et troisième transformation, les matériaux provenant du secteur de la construction, rénovation et déconstruction ainsi que le recyclage des palettes de manutention seront fortement en demande.

Par ailleurs, le Protocole de Kyoto, adopté le 11 décembre 1997, est entré en vigueur le 16 février 2005. Il a été signé et ratifié par 128 États dont 34 pays industrialisés. Parmi eux, on trouve le Canada, l'Union européenne, le Japon et la Russie qui doivent réduire ou limiter leurs émissions de CO₂ (gaz carbonique ou dioxyde de carbone) et de cinq autres gaz à effet de serre (GES). Ce protocole touche aussi 107 pays du Sud qui l'ont ratifié, tels que la Chine, l'Inde, le Brésil, la Corée du Sud, l'Indonésie et l'Afrique du Sud. Ces pays sont invités à maîtriser leurs émissions et à établir des inventaires.

Pour faciliter les réductions là où elles sont les moins chères à réaliser, le protocole instaure des mécanismes qui permettront de comptabiliser les échanges entre les entreprises et les États concernant des droits d'émettre des GES à la suite d'investissements « propres » qui seront crédités des émissions évitées à l'atmosphère.

Au Québec, le gouvernement a annoncé sa vision qui repose sur deux assises majeures pour contrer les changements climatiques. Premièrement, en mai 2006, il a dévoilé sa stratégie énergétique 2006-2015 qui prévoit de nouveaux développements en matière d'énergies renouvelables, y compris la valorisation de la biomasse forestière, pour assurer sa sécurité énergétique. Deuxièmement, en juin 2006, il a révélé son plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques qui permettra de réaliser 24 actions pour atteindre les objectifs de Kyoto.

1. www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/pistes-copeaux.pdf
www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/pistes-ecorces.pdf
www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/pistes-sciures-rabotures.pdf

Jusqu'à aujourd'hui, l'utilisation d'énergies vertes a été minime parce que les tarifs d'Hydro-Québec ont été très compétitifs, entre autres les taux préférentiels réduits (0,036 \$/kWh) pour le secteur institutionnel (écoles, églises, etc.) et pour certains producteurs agricoles, comme les producteurs en serre, et parce que les prix des autres sources d'énergie telles que le gaz naturel et le pétrole étaient généralement bas. Récemment, la situation s'est inversée. Ainsi, il a été proposé d'accorder de l'aide financière pour développer des énergies renouvelables.

À ce propos, rappelons que dans le dernier budget fédéral déposé le 23 février 2005, le ministre Ralph Goodale prévoyait une somme de 1 milliard de dollars pour financer le Fonds éco-net qui vise justement à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ce nouveau budget prévoyait également un montant de 97 millions de dollars sur cinq ans pour l'utilisation d'énergies renouvelables.

Dans ce contexte, le bois, qui a été la première énergie renouvelable utilisée sur la planète, refait surface. Ainsi, les sources de biomasse telles que les matières résiduelles laissées sur les parterres de coupe ou lors de travaux sylvicoles et les aires couvertes d'essences non commerciales ou d'essences commerciales dont la qualité a une forte proportion « trituration » pourraient potentiellement être utilisées à des fins de production d'énergie thermique et électrique.

PROFIL DES PRODUITS FORESTIERS PREMIÈRE TRANSFORMATION

BIOMASSE FORESTIÈRE RÉSIDUELLE – INVENTAIRE DES MÉTHODES ET ÉQUIPEMENTS DE RÉCUPÉRATION AINSI QUE DES SYSTÈMES DE COMBUSTION LES PLUS COURANTS ET ANALYSE DES MÉCANISMES DE MISE EN MARCHÉ

1. OBJECTIFS

Cette étude vise deux objectifs :

- Répertorier et décrire les méthodes et les équipements, les plus courants, utilisés pour la récupération de biomasse provenant de la forêt.
- Répertorier et décrire les systèmes de combustion, les plus courants, adaptés à la biomasse provenant de la forêt.

2. ATOUTS DU BOIS ÉNERGIE

La filière bois énergie est largement répandue en Europe. En 2003, la production d'énergie primaire à partir du bois a été de 43 millions de tonnes équivalent pétrole (MTEP) pour l'ensemble de l'Europe des 15², soit une augmentation de 6,1 % par rapport à 2002. La majeure partie de cette énergie primaire, soit 83,4 %, est utilisée pour produire de la chaleur et la tranche restante de 16,6 % est valorisée pour produire de l'électricité³.

À titre d'exemple, la Finlande est un leader mondial quant à l'utilisation de la bioénergie forestière. Près de 20 % de son énergie primaire provient de biocarburant produit à partir de matières ligneuses, soit une des proportions les plus élevées des pays industrialisés. En plus, 50 % des besoins de chaleur de ses 5,1 millions d'habitants sont comblés par le bois énergie. La Suède est également un gros producteur et consommateur de biomasse énergétique, dont la proportion d'utilisation dépasse les 15 %. Dans ce cas, c'est le chauffage qui est le principal marché d'utilisation. En effet, la plupart des municipalités de la Suède assurent une bonne partie de leur chauffage par l'utilisation de biocombustible. L'utilisation du chauffage urbain à partir de biomasse est également très populaire en Autriche. En 1997, on comptait 359 centrales à la biomasse en fonctionnement dans tout le pays. Une de ses provinces, la Styrie, a été la plus avant-gardiste en adoptant des mesures d'efficacité énergétique et de remplacement de l'énergie fossile par les énergies renouvelables. Ainsi, en 2002, ce type d'énergie occupait 25 % du bilan d'énergie de cette province. Pour terminer, la France cherche à favoriser l'usage du bois énergie dans les habitats collectifs. Ainsi, quelques collectivités françaises se sont déjà engagées dans l'utilisation d'énergie renouvelable en s'équipant de chaufferies au bois.

Dans la conjoncture économique de ces pays, il a été démontré que cette source d'énergie est économique et qu'elle est aussi un facteur de développement, puisqu'elle permet la création d'emplois locaux. Par surcroît, l'entretien de la forêt du domaine de l'État est assuré en valorisant les bois qui ne sont pas ou ne peuvent pas être utilisés dans les entreprises de transformation ainsi que les sous-produits de cette filière.

Pour ces pays, les atouts du bois énergie sont les suivants :

1. Développer l'économie locale : à consommation à valeur égale, l'utilisation du bois énergie crée quatre fois plus d'emplois que les énergies fossiles et ce sont le plus souvent des emplois locaux, cependant cela a un impact sur la rentabilité.
2. Entretenir la forêt : le bois énergie permet une meilleure exploitation de la forêt et une meilleure gestion des espaces naturels et des paysages en utilisant les bois non valorisables.

2. Les quinze pays qui constituent l'Union européenne sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Finlande, la France, la Grande-Bretagne, la Grèce, l'Irlande, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, le Portugal et la Suède.

3. Source : *Euroobserver, système solaire* n° 164, Baromètre du bois-énergie – novembre 2004.

3. Diminuer le dégagement de gaz carbonique : le gaz carbonique dégagé au moment de la combustion du bois est compensé par le gaz carbonique fixé par l'arbre pendant sa croissance. Ainsi, la combustion du bois ne participe pas à l'accentuation de l'effet de serre. En plus, le bois énergie est une énergie renouvelable et locale qui contribue également à réduire la dépendance énergétique nationale.

La situation en Amérique du Nord, et plus particulièrement au Québec, est toutefois différente. En effet, récemment, plusieurs variables du marché énergétique y ont subi des changements importants. Mentionnons à ce chapitre la hausse récente des prix du pétrole, l'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto et la majoration imminente des taux préférentiels réduits d'Hydro-Québec pour le secteur institutionnel. Dans ce contexte, il apparaît pertinent, dans le cas du Québec, de procéder à une analyse globale sur l'utilisation de la biomasse provenant de la forêt dans des chaudières à résidus pour la production d'énergie thermique.

3. RÉCOLTE DE BOIS ET RÉCUPÉRATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

Dans ce chapitre, nous traitons brièvement des méthodes de récolte forestière actuellement utilisées au Québec. Par la suite, nous examinons trois méthodes de récupération développées pour la biomasse résiduelle provenant de la récolte forestière.

3.1 Méthodes de récolte forestière actuellement utilisées au Québec

Au cours de l'exercice 2003-2004, un volume de 31,26 millions de mètres cubes de bois, toutes essences confondues, a été récolté dans les forêts du domaine de l'État (CAAF, CtAF et CvAF)⁴ dans l'ensemble du Québec.

Trois principaux procédés de récolte qui se distinguent par le degré de transformation que subit l'arbre au moment de la coupe étaient utilisés :

- par arbre entier,
- par tronc entier,
- par bois tronçonnés.

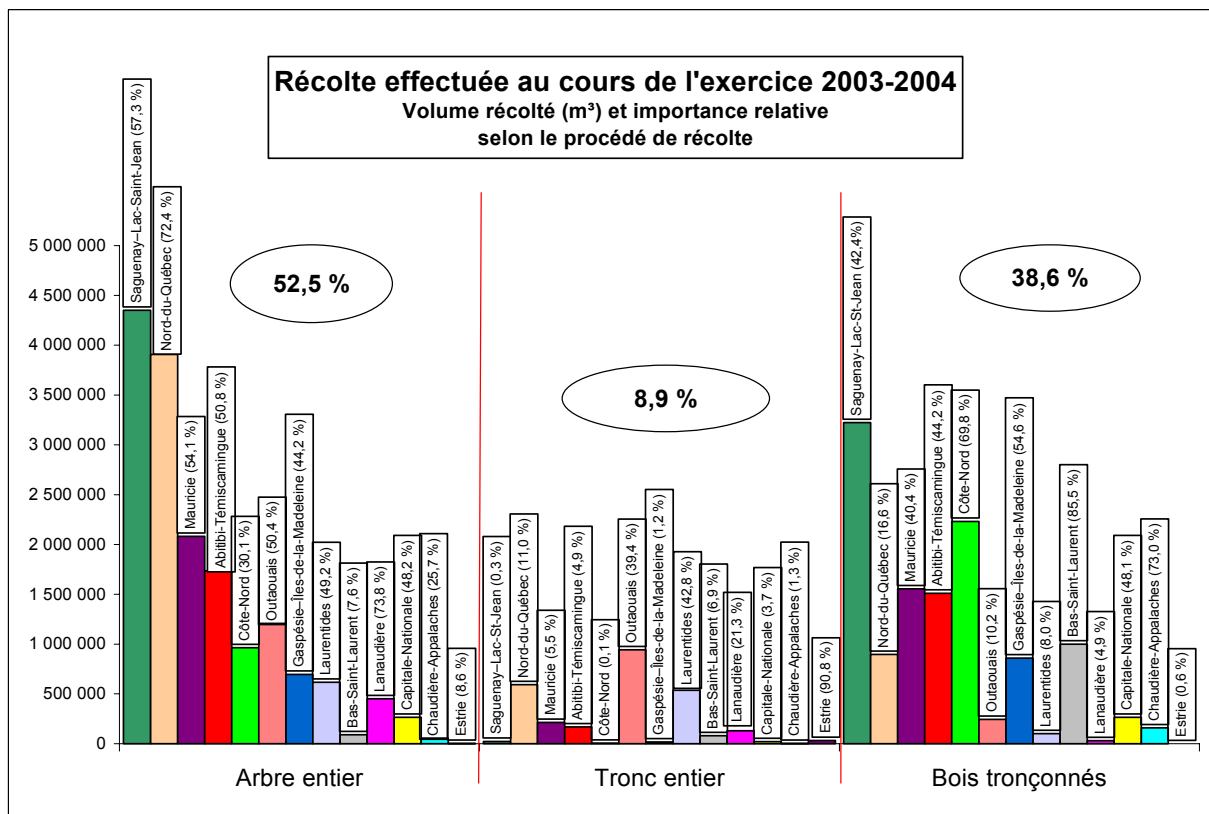
Dans 52,5 % des parterres de coupe, les arbres sont récoltés par arbre entier. Cela signifie que les branches, cimes et autres résidus sont concentrés près des chemins forestiers. Pour les autres procédés (47,5 % des parterres de coupe), ces résidus sont éparpillés sur le parterre de coupe.

À l'échelle provinciale, depuis l'exercice 1999-2000, on constate que l'évolution de l'importance relative des trois procédés quant au volume est différente. Une régression de 13,8 % est observée pour le procédé par arbre entier durant cette période. La régression est de 5,2 % par rapport à l'année 2002-2003. Le procédé par tronc entier est stable. Toutefois, le procédé par bois tronçonnés connaît une progression de 14 % pour cette même période de référence. La hausse enregistrée est de 4,6 % par rapport à l'année 2002-2003.

L'examen des tendances selon les régions administratives, illustrées dans la figure suivante, montre cependant de grandes variations qui sont fonction des préférences des exploitants forestiers. La récolte par arbre entier est nettement préférée dans le Nord-du-Québec et dans Lanaudière. Au regard du volume, c'est le Saguenay-Lac-Saint-Jean et le Nord-du-Québec qui dominent pour ce procédé. En ce qui concerne le procédé par tronc entier, il est particulièrement utilisé dans les forêts feuillues de l'Outaouais et des Laurentides. La récolte par bois tronçonnés est nettement préférée dans le Bas-Saint-Laurent, en Chaudière-Appalaches et sur la Côte-Nord. À l'égard du volume, c'est cependant le Saguenay-Lac-Saint-Jean qui s'inscrit largement en tête pour ce procédé.

4. CAAF : Contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier.
CtAF : Contrat d'aménagement forestier.
CvAF : Convention d'aménagement forestier.

Graphique 1 : Récolte effectuée au cours de l'exercice 2003-2004



Source : www.mrmfp.gouv.qc.ca/forets/entreprises/entreprises-procedes.jsp

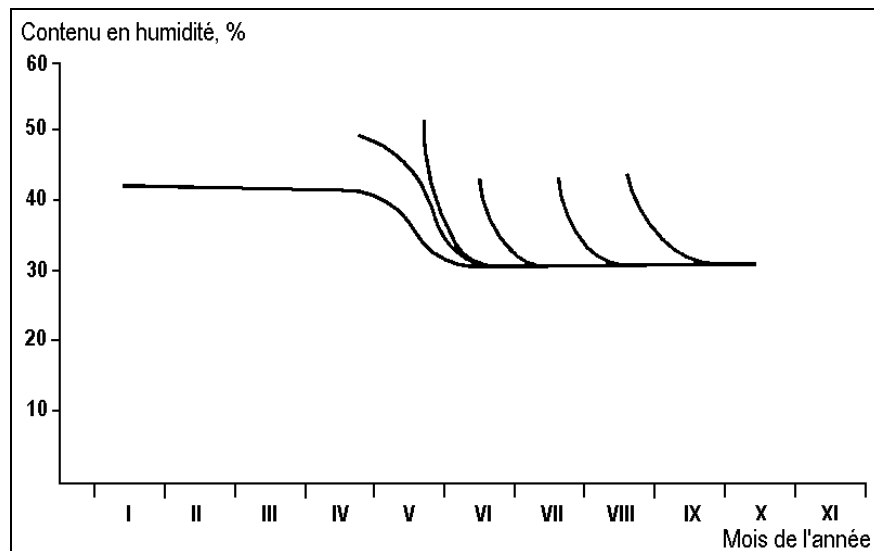
3.2 Biomasse résiduelle

La biomasse résiduelle provenant de la récolte forestière se compose de rémanents, de sections de troncs non commercialisables, de houppiers, de branches, de rameaux et de feuillage.

De façon générale, le contenu en humidité de la biomasse fraîchement récoltée varie entre 45 et 58 %. Dans les pays nordiques, il se situe plus précisément entre 55 et 60 % (base humide)⁵. 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 conditions favorables, permettre d'abaisser en quelques semaines le taux d'humidité de la biomasse forestière non fragmentée de 20 à 30 % (voir le graphique suivant). À cet égard, il convient de ne pas ébrancher les sections de troncs ou de houppiers et de laisser le feuillage aux branches afin de favoriser une évaporation plus rapide. Le fait de laisser la biomasse en petites piles, sur les parterres de coupe, permet une évaporation plus rapide que lorsque la biomasse est concentrée en grands andains, à la jetée. Au moment du transport subséquent vers la jetée, cette façon de faire entraîne en revanche une perte importante de feuillage (feuilles et aiguilles) et par conséquent du contenu énergétique de la biomasse.

5. *Bioenergy from Sustainable Forestry*, pp. 40 et 108.

Graphique 2 : Variation du contenu en humidité selon différentes périodes de l'année - Séchage à l'air du bouleau abattu en arbre entier



Source : P. Hakkila, 1962.

3.3 Récupération de la biomasse résiduelle

Il existe divers équipements développés spécifiquement pour récupérer la biomasse résiduelle provenant de la récolte des produits marchands en forêt, que ce soit sur les parterres de coupe ou sur les aires d'ébranchage.

Les caractéristiques et les procédés de fonctionnement de ces équipements permettent de distinguer trois méthodes de récupération, soit :

- ↗ la fragmentation (broyage ou déchiquetage),
- ↗ la mise en fagots ou en ballots,
- ↗ la compaction.

Dans cette rubrique, nous présentons, pour chacune des méthodes, une description générale, quelques équipements⁶, l'ordre de grandeur de l'investissement et des frais d'exploitation et finalement quelques avantages et contraintes.

6. Les coordonnées des fabricants d'équipements de récupération et de préparation de la biomasse résiduelle sont colligées dans la section 7.

3.3.1 Récupération par fragmentation

Description du procédé

La fragmentation de la biomasse résiduelle en plaquettes forestières combustibles s'obtient par déchiquetage ou par broyage :

- Le déchiquetage est effectué avec une déchiqueteuse « *chipper* » munie de couteaux rotatifs montés sur un disque ou un tambour. Une déchiqueteuse coupe de façon à obtenir des copeaux dont la granulométrie avoisine les dimensions suivantes : $\frac{1}{2}$ à 1 po (1,27 à 2,54 cm) de largeur, 1 à 3 po (2,54 à 7,62 cm) de longueur et $\frac{1}{4}$ po (0,64 cm) 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 broyeur à marteaux et enclumes stationnaires « *hammermill* » qui défibrent la biomasse en l'écrasant et la broyant de façon à obtenir des lamelles effilochées dont la granulométrie maximale correspond à la taille des ouvertures de la grille de tamisage disposée au bas de l'appareil. La granulométrie résultant de l'utilisation d'un broyeur est beaucoup moins homogène que celle obtenue à l'aide d'une déchiqueteuse.

Habituellement, la biomasse propre est déchiquetée, tandis que celle qui est contaminée (sable, terre, roches, etc.) est broyée. Selon l'Institut canadien de recherche en génie forestier (FERIC), l'utilisation d'une déchiqueteuse sur des parterres de coupe ensablés et rocheux rend la récupération plus difficile et plus dispendieuse à cause de bris de toutes sortes. Dans cette situation, le broyeur est mieux adapté. Toutefois, le choix du type d'équipement, approprié à chaque situation, n'est pas facile.

Photos 1 : Bois frais déchiqueté et broyats d'arbres entiers

	 Donnée d'arbres entiers
Bois frais déchiqueté Source : www.ITEBE.ORG	Broyats d'arbres entiers Source : Jayson Antonoff, grnNRG Consulting

Le stockage d'une grande quantité de biomasse fragmentée (déchiquetée ou broyée) s'accompagne souvent de processus exothermiques qui provoquent des pertes de matière et qui réduisent ainsi le contenu énergétique de la matière ligneuse. L'importance de cette dégradation dépend de plusieurs facteurs : la teneur en humidité, les essences forestières concernées, la granulométrie, la forme et la taille des piles ainsi que la durée du stockage. Dans certains cas extrêmes, la perte de matière associée à la dégradation fongique et bactérienne peut être de l'ordre de 25 %, résultant en une réduction du contenu énergétique d'environ 20 %. Lorsque la pile de biomasse est compacte, il peut même y avoir danger d'auto-ignition. Par contre, lorsque la teneur en humidité est inférieure au point de saturation des fibres (24 à 30 % selon les essences), les pertes sont moins importantes. En raison de cette dégradation, la fragmentation de la biomasse issue de la forêt devrait se faire le plus tard possible dans le processus d'approvisionnement des chaufferies.

Au regard de la manutention, il est généralement plus difficile de manipuler la biomasse broyée que celle qui a été déchiquetée, parce que la biomasse broyée est plus fibreuse, que sa densité apparente est plus faible et que sa granulométrie est moins homogène. Ces caractéristiques peuvent, entre autres, limiter l'écoulement et provoquer des blocages dans le système de transfert du combustible de la réserve vers la chambre à combustion, si ce dernier n'est pas conçu adéquatement.

Équipements

Parmi les équipements de fragmentation, on distingue trois grands groupes appropriés pour de grosses productions annuelles (plus de 150 jours de production par an) :

- Les déchiqueteuses tractées, actionnées par leur propre moteur;
- les déchiqueteuses de forte capacité montées sur porteur forestier ou automotrices;
- les broyeurs de forte capacité.

La récupération de biomasse résiduelle est très développée en Europe. Ainsi, l'Institut technique européen du bois énergie (ITEBE) a publié divers documents sur ce sujet, entre autres la publication intitulée « État des lieux des logistiques de fourniture de plaquettes forestières en Europe – Optimisation des techniques d'extraction des plaquettes forestières ⁷ », qui traite des logistiques d'approvisionnement et des équipements de collecte européens.

7. Cette publication est accessible sur le site Internet suivant : www.itebe.org.

Les illustrations qui suivent montrent les principaux modèles de machines offertes sur le marché.

Photos 2 : Quelques modèles de déchiqueteuses et de broyeurs⁸

	Récolteuse-déchiqueteuse (Pinox Oy) Il s'agit d'une récolteuse-déchiqueteuse montée sur un porteur conventionnel. Cet équipement se déplace sur les parterres de coupe. Nous possédons peu d'information sur ce produit finlandais dont l'utilisation est actuellement limitée à l'Europe. Source : www.pinox.com
	Récolteuse-déchiqueteuse (S. Pinomäki) La compagnie finlandaise S. Pinomaki, acquise en 2004 par Pinox Oy, offrait également un modèle de récolteuse-déchiqueteuse. Source : www.pinox.com

8. Il existe une autre gamme d'équipements adaptés à des productions de petits volumes pour lesquels nous n'avons pas présenté de modèle.



Déchiqueteuses (Althaus)

Déchiqueteuses de la série Biber (modèle 70 : portée sur tracteur et modèle 80 : sur plate-forme automotrice) de la compagnie allemande Althaus. Ces déchiqueteuses, à tambour avec 12 ou 14 couteaux répartis, d'une extrême robustesse, sont alimentées par grue.

Source : www.althaus.ch



Déchiqueteuse (Laimet)

Déchiqueteuse de la compagnie finlandaise Laitilan Metalli Laine Oy, modèle HP-35, qui traite entre 80 et 140 m³/heure. Quant au modèle HP-50, sa capacité de production varie de 100 à 200 m³/heure.

Source : www.laimet.com



Déchiqueteuses (Jenz)

Déchiqueteuse de la série HEM (modèle 700 D) de la compagnie allemande JENZ GmbH, conçue pour déchiqeter des troncs entiers et des taillis.



Déchiqueteuse, modèle Hercule, en action

Sources : www.mbr-broyeur.fr/Jenz_HEM.html

Ces deux photos ont été prises par M. Jean-Guy Plasse du ministère des Ressources naturelles et de la Faune lors d'une mission de coopération Québec-France en avril 2006.



Déchiqueteuse (Silvatec)

Déchiqueteuse de la compagnie danoise Silvatec, automotrice avec benne basculante incorporée.

Source :

www.itebe.org

Onglet « se documenter »

Rubrique « route du bois énergie »



Déchiqueteuse (BRUKS)

Déchiqueteuses de la compagnie suédoise Bruks-Klöckner (Bruks Biotech AB).

La deuxième photo montre le modèle 805 CT qui peut déchiqueter des arbres entiers. Elle peut être montée sur divers porteurs et combinée avec des bennes de chargement des plaquettes.

Source :

www.itebe.org

Onglet « se documenter »

Rubrique « route du bois énergie »

www.Bruks-Klockner.com



Déchiqueteuse (ERJO)

Déchiqueteuse de la compagnie suédoise ERJO-OSW AB, automotrice sur porteur avec benne basculante incorporée.

Source :

www.itebe.org

Onglet « se documenter »

Rubrique « route du bois énergie »

www.erjo-osw.se



Déchiqueteuse (Rudnik & Enners)

Déchiqueteuse automotrice sur semi-remorque.

Source :

www.itebe.org

Onglet « se documenter »

Rubrique « route du bois énergie »



Déchiqueteuse (Morbark)

Déchiqueteuse de la compagnie américaine Morbark, modèle 30/36. Disponible sur roues dans la série Whole Tree Chipper et sur chenilles dans la série Mountain Goats.

Cette compagnie offre différents modèles de déchiqueteuses fixes qui peuvent être montées sur des plates-formes mobiles. Elle offre également différents modèles de broyeurs qui peuvent traiter des souches, tiges et houppiers.

Sources :

www.twequip.com/Equipment/e170204.htm

www.morbark.com



Déchiqueteuse (Kesla)

Déchiqueteuse de la compagnie finlandaise Kesla OYJ, modèle F4560LF.

Source : www.kesla.fi



Système de récolte (Biowatti Oy)

Un camion à benne Sisu muni d'une déchiqueteuse Heinolan Sahakoneet Oy développée pour la compagnie finlandaise de bioénergie Biowatti Oy.

Source :

www.opet-chp.net/download/wp3/biowatti.pdf



Broyeur (LHM Hakkuri)

Broyeur à tambour monté sur un camion. Un des modèles de la compagnie finlandaise permet le broyage de fagots. Cette compagnie fabrique des modèles sur mesure adaptés aux besoins des clients.

Source : www.LMHakkuri.com



Broyeur (Pezzolato)

Broyeur à tambour, modèle PTH 900/820m, de la compagnie italienne Pezzolato. Chargement à la grue ou à la brassée. Machine fixe sur plate-forme ou posée sur le « deck » d'un camion. La production horaire se situe entre 80 et 120 m³.

Source : www.gfservices.fr



Broyeur (Forus)

Les modèles HB 70 et HB 171 de broyeurs forestiers de la compagnie allemande Forus GmbH peuvent être montés sur des porteurs tout-terrains pour le broyage des résidus de coupes et des souches.

Source : www.Forus.de



Broyeur (Vermeer)

Le modèle TG400A du manufacturier américain Vermeer localisé en Iowa.

Source : www.vermeermfg.com



Broyeur

(Continental Biomass Industries inc.)

Le modèle CBI 6800T de la compagnie américaine Continental Biomass Industries localisée au New Hampshire.

Les frais d'opération se situent entre 1,50 et 1,65 dollar canadien la tonne (le prix du carburant étant alors à 60 dollars américains/baril de pétrole brut).

Source : www.cbi-inc.com



Broyeur (Doppstadt)

Le modèle DZ 750 Kombi de la compagnie allemande Doppstadt Calbe GmbH est un broyeur mobile qui combine deux types de broyage, soit un prébroyage suivi d'un broyage raffiné. Le deuxième broyage peut être fait en mode continu ou discontinu.

Source : www.doppstadt.com

La comparaison de l'Europe et du Québec au regard de l'utilisation de la biomasse forestière résiduelle à des fins d'énergie thermique montre deux situations très différentes. En Europe, la récupération de la biomasse est avantageuse compte tenu du coût élevé de l'énergie et de la courte distance entre les sites de récupération et les utilisateurs. La récupération en bordure de routes forestières y est une pratique très utilisée. Le ramassage se fait généralement avec des camions à benne munis d'une déchiqueteuse et d'une pince avec bras articulé. La pince dirige les houppiers, les branches et les autres matières brutes vers le rouleau déchiqueteur qui souffle les plaquettes obtenues dans un réservoir.

En Europe, les technologies de pointe sont mises à contribution. À ce chapitre, la géoréférence en est un bel exemple. Elle est largement utilisée, entre autres, pour faciliter la localisation des andains à récupérer.

L'éventail des matières récupérées s'est également élargi. Parmi elles, on constate que dans certains pays, comme la Finlande, les souches et les racines sont devenues d'importantes sources d'énergie.

Photo 3 : GPS monté à bord d'un camion



Photo 4 : En Finlande, les souches et racines sont devenues d'importantes sources d'énergie



Source : Tekes 2004 (National Technology Agency in Finland). Developing technology for large-scale production of forest chips – Wood Energy Technology Programme 1999-2003, Technology Programme Report 6/2004 – Final Report.

Dans le cas du Québec, la récupération de la biomasse résiduelle n'en est qu'au stade expérimental. Parmi les expérimentations diffusées, trois études et quelques tests ont été réalisés par l'Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC). Une première publication⁹, produite en 1989, traite de la récupération et du déchiquetage des résidus pour des producteurs de tailles petite et moyenne. On y mentionne le cas de la chaufferie du *Maritime Forest Ranger School* à Frédéricton au Nouveau-Brunswick.

Les deux autres études, plus récentes, portent également sur la récupération de la biomasse résiduelle, soit *La récupération des résidus en bordure de route au moyen de déchiqueteurs à tambour (mars 1995)* et *Analyse de coût comparative de systèmes de récolte et de transport intégrant bois ronds et biomasse forestière (juillet 1996)*¹⁰.

Dans l'étude de 1995, des opérations de déchiquetage en bordure de route ont été faites avec différents équipements :

- les modèles 1001 CT et 1000 CT de la compagnie Brucks, déchiqueteuses à tambour montées sur des porteurs forestiers avec benne basculante;
- le modèle WFP 3A de la compagnie Nicholson, déchiqueteuse montée sur un camion semi-remorque;
- le modèle 120 HM903 de la compagnie Erjo, déchiqueteuse montée sur un camion semi-remorque.

Les déchiqueteuses montées sur camion semi-remorque se sont avérées plus productives. Toutefois, comme elles ne se déplaçaient qu'en bordure des routes forestières de manière à charger les camions, la biomasse devait être préalablement extraite des parterres de coupe et mise en andains.

Les auteurs résument l'étude de 1996 comme suit :

« Rapport qui donne des estimations détaillées des coûts actuels, à destination, des bois ronds de qualité sciage et de qualité pâte, de même que des coûts de la biomasse forestière récoltée dans un système intégré à la récolte des bois ronds. Trois systèmes différents ont été étudiés : la récolte par arbre entier jusqu'en bordure de route, la récolte par bois tronçonné intégrée au déchiquetage d'arbres entiers et la récolte par bois tronçonné. Les études ont eu lieu dans deux types de sites représentatifs : un site résineux boréal et un site mélangé acadien. Les résultats sont présentés en \$/m³ et en \$/TMV (par tonne métrique verte) pour le bois rond ainsi que pour la biomasse forestière. Les effets, sur le coût total, de la distance de transport, de la teneur en humidité de la biomasse et du taux d'utilisation des machines produisant la biomasse sont analysés. D'autres facteurs qui affectent la viabilité de la récupération de la biomasse forestière comme source économique d'énergie font l'objet d'une discussion. »

Bien que ces études de FERIC ne soient pas très récentes, elles donnent un aperçu de certains scénarios envisageables et des écueils à éviter.

9. *Manuel à l'intention des petits et moyens producteurs de copeaux d'énergie*. FERIC, Folkema, M.P. 1989. Pointe-Claire, Québec. Manuel MN-07. 48 pages.

10. Ces deux études peuvent être commandées en s'adressant à FERIC.

Actuellement, FERIC mène des études sur le terrain¹¹ pour la papeterie Domtar de Windsor. L'objectif visé est de déterminer la déchiqueteuse ou le broyeur le plus efficace afin d'alimenter une usine de cogénération à partir de biomasse forestière. Ainsi, des tests de déchiquetage de feuillus en bordure de route sont effectués en collaboration avec Distribution Cardinal¹².

Par ailleurs, Distribution Cardinal effectue des tests pour le compte de la compagnie Boralex, entreprise privée d'énergie verte et d'énergie renouvelable, localisée au Lac-Saint-Jean. Ces tests sont effectués avec une déchiqueteuse de l'entreprise américaine *Morbark* (modèle 30/36) sur des aires d'empilement où a été réalisé un ébranchage mécanisé.

Aspect financier

La gamme de prix pour acquérir des équipements de fragmentation est très large. Ils varient en fonction de la capacité et de la performance.

En voici des exemples :

- Le prix d'achat d'une récolteuse-déchiqueteuse Bruks de grande capacité est de l'ordre de 690 000 dollars canadiens. Les frais d'exploitation annuels, mentionnés par le fabricant, sont autour de 4 \$/m³ (325 000 dollars canadiens, pour 80 000 m³ de biomasse forestière résiduelle traitée).
- Le broyeur de la compagnie Continental Biomass Industries se vend au détail entre 665 000 et 817 000 dollars canadiens selon les options choisies.
- Une petite déchiqueteuse de la compagnie Kesla se vend au détail autour de 250 000 dollars canadiens.
- Le broyeur, modèle Bison, de la compagnie Doppstadt se vend au détail autour de 625 000 dollars canadiens.¹³

La compagnie énergétique Boralex¹⁴ a effectué de nombreux tests avec diverses machines pour récupérer de la biomasse forestière résiduelle. Selon son représentant, M. Mario Dugas, une récupération immédiate après la coupe est préférable parce que le bois vert est plus facile à déchiqueter. Selon l'expertise de cette compagnie, la récupération sur les parterres de coupe avec des déchiqueteuses coûte entre 8 et 9 dollars de plus la tonne que la récupération sur les aires d'ébranchage. Les frais liés à l'utilisation de la chargeuse et de la déchiqueteuse, y compris le chargement des plaquettes dans les remorques, sont évalués entre 11 et 15 dollars canadiens par tonne métrique verte à partir des aires d'ébranchage et entre 19 et 24 dollars canadiens par tonne métrique verte à partir des parterres de coupe. Toutefois, ces coûts peuvent être fortement influencés par le degré de contamination de la biomasse à récupérer.

11. Conversation tenue avec monsieur Luc Desrochers, ing.f.

12. Distribution Cardinal est un manufacturier d'équipements destinés aux usines de sciage. Cette entreprise est aussi distributeur agréé de Morbak, un leader mondial dans la fabrication d'équipements forestiers et de recyclage.

13. Les prix indiqués dans ces exemples étaient valides au moment de l'enquête et ne sont fournis qu'à titre indicatif.

14. Boralex inc. compte sept usines dont cinq sont situés aux États-Unis. Sa consommation de biomasse résiduelle s'élève à 2,5 millions de tonnes métriques vertes, dont 500 000 tmv pour le site américain de Straton et 900 000 tmv pour les sites canadiens.

Avantages et contraintes

La biomasse fragmentée a un fort taux de foisonnement, ce qui entraîne des frais de transport élevés. Il est difficile de mobiliser cette matière première par rapport aux prix de vente qui ont cours pour les sous-produits des usines de transformation.

La récolteuse-déchiqueteuse et le broyeur sont bien adaptés à tous les terrains et à toutes les essences (résineuses et feuillues). Le principal avantage de ce type d'équipement est qu'il peut se déplacer sur les parterres de coupe aussi bien qu'à proximité des aires d'ébranchage. Par contre, l'investissement pour un équipement de grande capacité est important et les frais de fonctionnement et d'entretien sont généralement élevés.

Pour effectuer le bon choix d'équipement, les matières à traiter (quantité, volume, variabilité, degré de contamination, etc.), la qualité des produits de fragmentation recherchés et le rendement attendu doivent être précisés. Enfin, les spécifications des équipements offerts sur le marché doivent être comparées pour s'assurer que l'équipement retenu permettra d'atteindre les objectifs visés.

3.3.2 Récupération par la mise en fagots

Description du procédé

La mise en fagots ou en ballots (*Composite Residue Logs (CRLs)*) a été développée en Europe parce que la biomasse forestière, quoique abondante, est coûteuse si on la compare aux sous-produits de scieries. En effet, son fort taux de foisonnement entraîne des coûts de débardage et de transport élevés. Pour diminuer ces coûts, des systèmes de compression qui permettent d'augmenter la masse volumique tout en facilitant la manutention et le stockage ont été développés dans les pays scandinaves où l'exploitation forestière est très mécanisée.

Dans ce processus, la biomasse est compressée et attachée sous forme de fagots ou de ballots. Cette méthode de récupération de la biomasse (houppiers, branches et troncs de faible diamètre), à l'aide de pinces, est particulièrement adaptée pour les parterres de coupe. Cependant, elle peut également être utilisée pour récupérer la biomasse mise en andains.

La logistique de ce processus peut être en continu ou en discontinu. Elle se compose de différentes étapes. D'abord, les arbres sont ébranchés et écimés. Ensuite, les branches et les cimes sont ramassées et placées sur le plateau de chargement de la fagoteuse qui les comprime et les attache à l'aide d'une ficelle tendue avant de les pousser sur le plateau où une tronçonneuse découpe le fagot obtenu à la longueur désirée. Après cette étape, le fagot tombe au sol. Par la suite, le débardage et le transport vers l'unité productrice d'énergie sont faits avec les moyens traditionnels de l'exploitation forestière en bois courts. Les fagots peuvent être stockés temporairement en forêt pour sécher à l'air libre, en bordure de route ou dans une aire de stockage. C'est sur le site d'utilisation que les fagots sont broyés ou déchiquetés au moyen d'un équipement fixe. Finalement, les plaquettes ainsi obtenues sont brûlées et transformées en énergie.

La ficelle qui rend le fagot suffisamment résistant aux manipulations ultérieures est généralement enroulée trois à quatre tours tous les 30 à 40 cm. Le fagot standard a un diamètre de 65 à 80 cm (24 à 32 po) et une longueur de 2,5 à 3 m (8 à 10 pi). Son volume est d'environ 0,5 m³. Il pèse entre 450 et 500 kg de matière fraîche et contient l'équivalent de 80 à 100 litres de pétrole. Un fagot peut produire 1 MWh d'énergie. Ainsi, pour satisfaire les besoins énergétiques annuels d'une maison de grandeur moyenne, il faut 16 fagots.

Ce procédé est efficace sur les parterres de coupe ou en bordure de routes forestières à proximité des aires d'ébranchage. Il est principalement bien adapté aux résineux.

Photo 5 : Équipement de mise en fagots monté sur un camion



Source : Timberjack

Photo 6 : Chargement et transport de fagots à l'aide de porteurs traditionnels utilisés pour des billes



Source : Timberjack

Photo 7 : Fagots stockés temporairement en bordure de route pour sécher naturellement à l'aide du soleil et du vent



Source : www.fma-tim.com

Photo 8 : Stockage des fagots avant le déchiquetage à l'unité productrice d'énergie



Source : Bioenergy from Sustainable Forestry

Photo 9 : Broyage en plaquettes avec des équipements fixes sur le site de l'unité productrice d'énergie



Source : www.fma-tim.com

Photos 10 : Exemple d'une chaîne d'approvisionnement basée sur la mise en fagots



Source : Timberjack

Équipements

Notre recherche a permis de trouver quatre entreprises qui vendent des fagoteuses :

- Timberjack¹⁵ qui offre le Fiberpac (technologie suédoise).
- Komatsu Forest (compagnie japonaise) qui offre le Valmet Woodpac (technologie finlandaise).
- John Deere (compagnie américaine).
- Pinox Oy qui offre le Pinox 330 (technologie finlandaise).

Une vidéo qui peut être visionnée sur le site www.fma-tim.com montre une fagoteuse en action, qui compresse, coupe et attache la biomasse.

15. Timberjack a été récemment acquise par la compagnie John Deere.

Photos 11 : Quelques modèles de fagoteuses



Fagoteuse (Timberjack)

Cet équipement a été développé par l'entreprise suédoise *Fiberpac AB*. Il s'agit du modèle 370 qui est vendu par *Timberjack* en Amérique du Nord¹⁶.

La portée maximale de la flèche est de 32 pi et 10 po. Le rendement moyen est de 15 à 30 fagots à l'heure.

Source : www.fiberpac.se



Fagoteuse (John Deere)

Cet équipement est fabriqué par la filiale suédoise de la compagnie John Deere. Il s'agit du modèle 1490D.

Source : www.deere.se



Fagoteuse (Komatsu Forest)

Cet équipement est une technologie finlandaise. Le modèle Woodpac a un rendement de 15 à 25 fagots à l'heure. Il peut être monté sur différents porteurs forestiers.

Source : www.komatsuforest.com

16. Les équipements Sigma inc. est le distributeur québécois qui représente l'entreprise *Timberjack*.

	
	Fagoteuse (Pinox Oy) Cet équipement est finlandais. Le modèle Pinox 330 forme des fagots dont la longueur peut varier entre 2,5 et 3,5 m et le poids entre 400 et 650 kg. Son rendement varie de 15 à 30 fagots à l'heure. Source : www.pinox.com
	
	Compagnie localisée en Suisse Le fagot produit présente les caractéristiques suivantes : • Fagot de branchages compressés et liés avec une ficelle en chanvre ou en polypropylène. • Dimensions : diamètre : 70 cm; longueur 3 m • Volume compressé : environ 1,15 m³ • Volume de plaquettes : environ 1,60 m³ • Valeur énergétique : environ ? MWh, ce qui équivaut à environ 160 litres de mazout extra-léger • Poids : entre 500 et 700 kg Source : www.vonatzigen-holzschnitzel.ch



Compagnie suédoise

La fagoteuse Fiberpac fonctionne selon un processus continu. Elle est utilisée principalement dans les coupes rases du fait de son encombrement.

Source : www.fiberpac.se

Aspect financier

La pièce d'équipement utilisée pour réaliser la mise en fagots ou en ballots coûte environ 150 000 dollars canadiens. Par contre, pour l'équipement complet, c'est-à-dire le *Timberjack*, modèle n° 1490D, comme illustré ci-dessus, il faut investir approximativement 625 000 dollars canadiens, y compris le porteur n° 1410 qui coûte à lui seul quelque 475 000 dollars canadiens. Par ailleurs, les frais d'exploitation varient entre 10 et 15 \$/TMV.

Avantages et contraintes

La mise en fagots n'entrave pas le séchage et permet de réduire la dégradation fongique et bactérienne observée avec la biomasse déchiquetée.

Il semble que ce type d'équipement a été utilisé, jusqu'à maintenant, uniquement dans les forêts de résineux parce que les branches sont plus petites et moins résistantes.

Il faudrait faire des essais en forêt de feuillus étant donné que les branches sont beaucoup plus grosses et plus rigides. Il est possible que la compression de ces dernières soit plus difficile et que l'efficacité de l'appareil soit réduite considérablement.

3.3.3 Récupération par compaction

Description des équipements

Au Québec, un entrepreneur abitibien, M. Daniel Tardif, a inventé un récolteur-compacteur qui permet de ramasser la biomasse forestière résiduelle sur les parterres de coupe. Il pourrait également être utilisé sur les aires d'ébranchage au moment de la récolte forestière par arbre entier.

Cet équipement est monté sur un porteur forestier. Un bras articulé muni d'une pince saisit la biomasse (houppiers et branches) et l'achemine dans le compacteur. Ce compacteur est un conteneur ayant la forme d'une benne à déchet domestique traditionnelle muni d'un piston qui sert de dispositif de compression.

Entre autres aspects spécifiques, le fond arrondi de la benne permet une plus grande compaction et une scie coupe les houppiers ou branches trop longues.

La dernière caractéristique importante est que ce compacteur est une unité amovible. Lorsque la benne de type « *roll-off* » est remplie, elle est basculée en bordure du chemin forestier et le porteur est prêt à en reprendre une autre. Les bennes déposées en bordure de route sont chargées par groupe de deux sur des semi-remorques de type plate-forme qui les acheminent vers un centre de gestion.

Selon M. Tardif, la capacité de ramassage est évaluée à 15 tonnes de biomasse pour une benne de 20 pieds de long sur 8 pieds de large. Le rendement horaire varie de 12 à 15 tonnes.

Photos 12 : Récolteur-compacteur développé par M. Daniel Tardif



Aspect financier

Selon M. Tardif, l'investissement requis est de l'ordre de 675 000 dollars canadiens. Quant aux frais d'exploitation, ils s'apparentent à ceux d'une multifonctionnelle, c'est-à-dire environ 150 dollars de l'heure ou approximativement 20 dollars par mètre cube.

Toujours selon M. Tardif, comme les usines de cogénération offrent entre 8 à 10 dollars la tonne pour la biomasse forestière résiduelle, il faut trouver des façons de valoriser cette matière.

Avantages et contraintes

Ce récolteur-compacteur est à l'état de prototype et est en période d'expérimentation. Les tests devraient permettre de déterminer les coûts de fonctionnement de cet équipement en fonction de caractéristiques de divers sites de récupération.

4. TRANSPORT ET TRANSFORMATION DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE RÉSIDUELLE

Pour bien illustrer la problématique liée au transport de la biomasse forestière résiduelle, nous procédons par comparaison avec celle de la récolte forestière qui est bien documentée. Le transport est un élément clé des activités de la récolte forestière. Il représente entre 30 et 50 % du coût d'approvisionnement forestier et 30 % de ce coût est consacré au carburant¹⁷. Ainsi, cette dépense devient particulièrement importante dans le cas de la biomasse forestière résiduelle d'autant plus que les produits que l'on peut en tirer sont des produits de commodité à faible valeur ajoutée. Une logistique efficiente du transport devient primordiale. Elle doit permettre de minimiser les déplacements¹⁸ et de maximiser les volumes au moyen de la méthode de transport la plus appropriée.

Dans le cas du transport de la biomasse forestière résiduelle, plusieurs scénarios peuvent être envisagés. Cependant, étant donné que cette industrie de la récupération n'existe pas sur une échelle industrielle au Québec, il est difficile d'établir des scénarios précis. Dans ce contexte, nous avons colligé cinq scénarios plausibles pour l'acheminement de la biomasse résiduelle vers l'utilisateur final, soit :

1. La matière brute est transportée directement de la forêt vers l'utilisateur final, qui en fait le traitement.
2. La matière brute est d'abord transportée dans une aire de stockage intermédiaire, puis auprès de l'utilisateur final qui en fait le traitement.
3. La matière brute est d'abord transportée dans un centre qui procède à son traitement. La matière transformée est ensuite acheminée vers l'utilisateur final.
4. La matière brute est traitée en forêt et transportée vers une aire de stockage intermédiaire, puis auprès de l'utilisateur final.
5. La matière brute est traitée en forêt et transportée vers l'utilisateur final.

Selon Eriksson et Björheden (1989)¹⁹, les scénarios 1 et 5 sont les plus économiques, car ils optimisent les distances et minimisent les coûts d'entreposage, alors que le scénario 3 optimise la valeur des produits.

17. Source : *Optimisation du transport forestier*. For@c, 30 juillet 2003.

18. Certains calculs, réalisés à partir d'expériences menées dans les pays scandinaves, ont révélé que malgré les avantages que présente l'implantation d'aires de stockage, le transport de la biomasse résiduelle directement vers l'utilisateur final est le moins coûteux. Source : *Bioenergy from Sustainable Forestry. Guiding Principles and Practice*. 2002.

19. Source : *Bioenergy from Sustainable Forestry. Guiding Principles and Practice*. 2002, page 80. Dans cette étude scandinave, les distances à franchir étaient en moyenne de 60 kilomètres.

Le client des scénarios 1 et 5 est généralement une grande centrale thermique à la biomasse. Pour cette livraison directe, des camions à bennes basculantes ou des remorques à fond mouvant sont utilisés. Le taux d'humidité du biocombustible livré à l'usine dépend de plusieurs facteurs dont le temps de résidence de la biomasse non fragmentée sur les parterres de coupe, de sa granulométrie une fois fragmentée, de la saison, de la température, du mode et des conditions d'entreposage sur le site de la centrale, le cas échéant.

Un centre de traitement intermédiaire est un endroit où est centralisé et transformé un volume important de biomasse forestière résiduelle. Il nécessite des dispositifs pour vider les semi-remorques ou les remorques de transport, des broyeurs, des silos ou des bâtiments d'entreposage, des convoyeurs, des pinces et des chargeurs (*loaders*). La qualité recherchée des produits dépend des exigences de l'utilisateur final. Par exemple, les chaufferies de petite et moyenne envergure, ont des exigences plus élevées, en termes de dimensions des particules, de présence de contaminants et de pourcentage d'humidité, comparativement aux grandes usines de cogénération.

La viabilité d'un centre de traitement intermédiaire est intimement liée à l'emplacement relatif de la forêt et des utilisateurs finaux. Un tel centre présente plusieurs avantages :

- ↗ Possibilité de mélanger de la biomasse de divers types et provenances afin d'uniformiser la qualité des divers produits obtenus.
- ↗ Abaissement des frais d'exploitation par l'utilisation d'équipements de fragmentation stationnaires de grande capacité comparativement à ceux des équipements mobiles qui sont en forêt.
- ↗ Sécurité accrue en ce qui a trait au transport et à la livraison des produits durant les périodes où l'accès aux forêts est difficile, voire même impossible.

Cependant, il implique aussi des inconvénients importants :

- ↗ Coûts d'immobilisation en capital et frais d'entretien élevés.
- ↗ Accroissement de la logistique et des distances de transport.
- ↗ Augmentation du nombre de transactions internes pour le fournisseur de biomasse (ce qui ajoute à la complexité des opérations).
- ↗ Constitution d'un inventaire de biomasse récupérée qui implique des coûts de stockage élevés.

Au cours de notre exploration de ce secteur d'activité, nous avons constaté que la rentabilité d'un centre de traitement intermédiaire est très difficile à atteindre. Dans une étude réalisée en Scandinavie en 1989²⁰, le seuil de rentabilité d'un centre intermédiaire spécialisé dans le traitement de biocombustibles récupérés en forêt devait se traduire par une valeur ajoutée correspondant entre 50 et 75 % des coûts d'exploitation. Cet objectif n'a pu être atteint. Plus récemment en Suède, les volumes de biomasse résiduelle récupérée en forêt transitant par des centres de traitement ont diminué, principalement en raison de problèmes de gestion²¹.

En Europe, diverses hypothèses sont émises pour tenter d'améliorer la rentabilité des centres de traitement intermédiaires. Les auteurs de l'ouvrage « *Bioenergy from Sustainable Forestry* » affirment que si le niveau d'intégration devait être augmenté de façon à prendre en charge des sous-produits d'autres industries, le centre de traitement intermédiaire pourrait devenir plus rentable²². En effet, une intégration plus poussée pourrait, entre autres, permettre d'optimiser la valorisation de la matière récupérée et de maximiser les flux de transport afin d'obtenir une efficacité globale accrue. Par ailleurs, certaines coopératives françaises réfléchissent actuellement à la mise en place d'aires de stockage intermédiaires, plus proches des lieux de consommation. Leurs sols pourraient être asphaltés ou bétonnés afin de minimiser la présence de contaminants et de mieux maîtriser l'humidité des biocombustibles²³.

Le contexte forestier actuel du Québec fait naître un engouement pour la valorisation de la biomasse forestière résiduelle. Les sous-produits des usines de première transformation du bois, soit les copeaux, les sciures, les rabotures, les délignures, les éboutures et les écorces, sont presque entièrement utilisés par l'industrie des produits forestiers (papier, carton et panneaux) ou encore aux fins énergétiques (séchoirs, granules, bûchettes et cogénération) et aux fins horticoles et agricoles (paillis et litière)²⁴. En plus, la loi n° 71 découlant de la mise en œuvre de certaines recommandations de la commission Coulombe, adoptée le 1^{er} avril 2005, prévoit une réduction de la possibilité forestière des forêts du domaine de l'État. Dans le cas de la possibilité du groupe des sapin, épinettes, pins et mélèze (SEPM), cette réduction est de 20 % partout au Québec, sauf dans le territoire visé au chapitre 3 de l'Entente Québec-Cris - *la Paix des braves* où elle est de 25 %. Pour les autres essences, la baisse de possibilité a été fixée à 5 %. Dans ce contexte, les industries utilisatrices de sous-produits des usines de première transformation doivent utiliser d'autres sources d'approvisionnement pour combler leurs besoins. En raison de cette situation, la demande est forte pour les sous-produits des industries de deuxième et troisième transformation, les matériaux provenant du secteur de la construction, rénovation et déconstruction ainsi que le recyclage des palettes de manutention. Dans cette foulée, les centres de recyclage actuels pourraient être mis à contribution dans la chaîne logistique pour permettre d'atteindre une valorisation optimale de cette ressource qu'est la biomasse forestière résiduelle.

20. Eriksson, L.O. and Björheden, R. 1989. *Optimal Storing, Transports and Processing for a Forest Fuel Supplier*. European Journal of Operational Research 43 :26-33.

21. Andersson, G. 2000. *Technology of Fuel Chip Production in Sweden*. International Wood Energy Technology Seminar, 30th August 2000. Jyväskylä, Finland. 10 pages.

22. Richardson, J. 2002. *Bioenergy from Sustainable Forestry; Guiding Principles and Practice*, p.82.

23. Guichardaz, O. 2005, *Plaquettes forestières : des millions de Tep à ramasser et à déchiquter*, *Environnement & Techniques*, no. 249, septembre 2005, p. 3.

24. www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/pistes-copeaux.pdf
www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/pistes-ecorces.pdf
www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/pistes-sciures-rabotures.pdf

Équipements

Les équipements pour le transport de la biomasse forestière résiduelle sont généralement ceux qui servent au transport de bois rond et de sous-produits d'usines de première transformation.

Dans le cas d'une récolteuse-déchiqueteuse ou d'un broyeur autoportés munis d'une soufflerie, un camion semi-remorque fermé à chargement par le haut est adéquat. Si la récolteuse-déchiqueteuse n'est pas munie d'un dispositif de déchargement, il est nécessaire d'aménager un monticule en terre pour effectuer le transvidage du conteneur de la récolteuse-déchiqueteuse dans la semi-remorque fermée. Par ailleurs, il semble, selon un représentant de l'entreprise Deloupe, que les semi-remorques fermées actuelles devraient faire l'objet d'une conception spéciale, car la majorité des plates-formes semi-remorques ne peuvent pas subir les contraintes associées au transport de plaquettes sur des chemins forestiers. Le coût d'une telle remorque renforcée se situerait autour de 60 000 dollars canadiens.

Pour ce qui est d'une déchiqueteuse mobile (à tambour ou à disques), l'opération primaire, sur le parterre forestier, requiert un porteur traditionnel dont le chariot de transport est élargi pour permettre la saisie d'une plus grande quantité de biomasse (voir la photo suivante) et l'acheminer à la déchiqueteuse en bordure du chemin forestier. Dans ce cas, l'opérateur du porteur étend la biomasse en andains de petites dimensions. Ces andains sont orientés de manière à bénéficier de l'ensoleillement et des effets des vents, de manière à abaisser leur taux d'humidité de 55 à 30 % durant la saison estivale. Par la suite, au moment du déchiquetage, les plaquettes obtenues sont acheminées directement dans un camion semi-remorque fermé à chargement par le haut. Dans ce cas, le déchiquetage et le transport sont effectués avant le début de l'hiver pour éviter une réhumidification.

Photo 13 : Porteur de biomasse forestière résiduelle brute avec chariot de transport élargi



Quant à la méthode par fagotage, elle nécessite un porteur d'une capacité de charge entre 14 et 18 tonnes (porteur 14 tonnes : environ 450 000 dollars canadiens; porteur 18 tonnes : environ 510 000 dollars canadiens) pour apporter les fagots du parterre de coupe en bordure de chemin. Ce porteur charge ensuite les fagots sur une semi-remorque. Les grandes industries privilégient la combinaison d'un tracteur routier muni d'une sellette d'attelage (*fifth wheel*) avec une semi-remorque, dont l'avant porte sur cette sellette.

Photos 14 : Transport de fagots



De façon générale, le transport par route des matières premières brutes et des biocombustibles se fait au moyen de camions bennes, semi-remorques ou porte-conteneurs²⁵. Les semi-remorques les plus populaires ont quatre essieux ou plus, selon la classification du ministère des Transports et de la SAAQ²⁶. Les photos suivantes montrent quelques modèles fréquemment utilisés de transporteurs.

Photos 15 : Semi-remorques forestières à fond plat



Source : www.manac.ca

Source : www.temisko.com

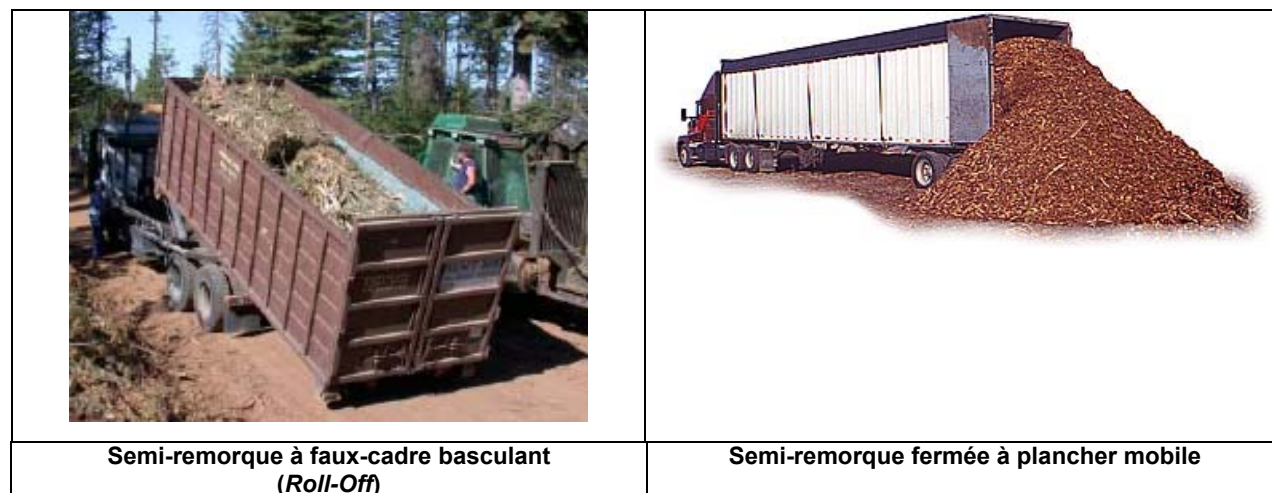
25. Source : www.biomasse-normandie.org.

26. Les définitions de véhicules lourds, les charges par essieu et les masses totales en charge permises se trouvent dans le Guide des normes de charges et dimensions des véhicules, publié par la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ).

Photos 16 : Transport de la biomasse transformée en biocombustible jusqu'à l'utilisateur final au moyen d'un camion benne (HAAS)



Photos 17 : Semi-remorques utilisées pour le transport de biomasse brute et pour des plaquettes



Aspect financier

Le transport à partir de la forêt est soumis à de multiples contraintes liées au relief, au réseau routier, à la législation routière et au climat. Les compagnies de transport fixent leurs coûts en fonction des quatre variables suivantes :

- ✦ La distance à parcourir, aller et retour;
- ✦ Le temps de chargement;
- ✦ Le poids du chargement en tonne;
- ✦ Le type de chemin et son état.

Dans une étude réalisée par FERIC en 2003 pour l'entreprise Kruger, on mentionne que les coûts de transport de bois rond par camion, entre la Côte-Nord (Baie-Comeau) et Trois-Rivières, étaient de 30 dollars la tonne métrique verte. Par déduction, le coût du transport des plaquettes est estimé approximativement à 0,15 dollar la tonne métrique anhydre par kilomètre parcouru. Pour une distance moyenne fixée à 195 kilomètres, on obtient ainsi un prix de 29,25 dollars la tonne métrique anhydre.

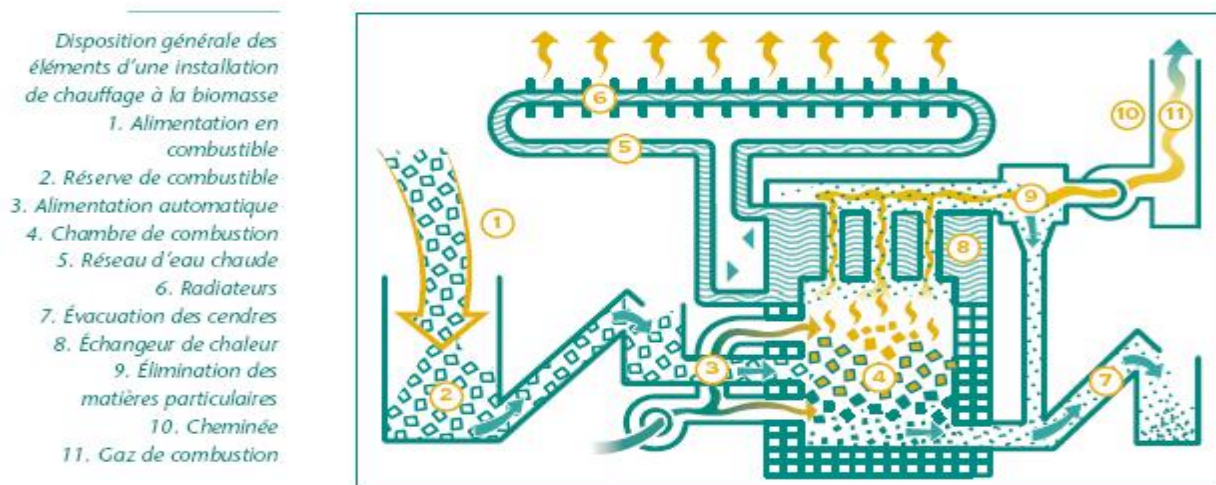
5. SYSTÈMES DE COMBUSTION À LA BIOMASSE

Les systèmes de combustion à la biomasse forestière sont plus complexes que les systèmes fonctionnant aux combustibles fossiles et requièrent une intégration rigoureuse des différents composants afin d'obtenir une performance maximale. La puissance de l'installation à la biomasse ainsi que celle du système d'appoint devraient être déterminées par des experts afin d'obtenir des coûts de production d'énergie les plus bas possibles en optimisant le temps de fonctionnement dans des conditions d'opération optimales.

Les éléments qui composent le système de combustion à la biomasse forestière sont notamment :

- ↗ la réserve de biocombustible;
- ↗ le système de transfert du combustible de la réserve vers la chambre de combustion;
- ↗ la trémie doseuse et le distributeur de combustible;
- ↗ la chambre de combustion;
- ↗ l'échangeur de chaleur;
- ↗ le système d'extraction et d'entreposage des cendres;
- ↗ le système d'épuration et d'évacuation des gaz;
- ↗ le système d'automatisation et contrôle;
- ↗ l'unité d'appoint et de secours à combustible fossile; et
- ↗ le réseau de distribution de chaleur.

Schéma 1 : Représentation schématique d'une installation de chauffage à la biomasse



Source : Ressources naturelles Canada, *Énergies renouvelables*, cas : Schurman Farm Ltd.

Dans les sections suivantes, nous passons en revue quelques notions fondamentales et nous examinons chacun des éléments qui composent un système de combustion à la biomasse forestière.

5.1 Quelques notions fondamentales

La qualité des biocombustibles n'est pas assujettie à des normes nationales, pour le moment du moins. Elle peut donc varier considérablement. Dans ce contexte, les clients industriels exigent un biocombustible aussi homogène que possible, en termes de pouvoir calorifique, de taux d'humidité, de granulométrie et de teneur en cendres afin d'obtenir des performances adéquates de leurs systèmes de combustion de biomasse. À l'égard de la taille, il est reconnu que les systèmes de grande puissance sont moins sensibles aux variations que les systèmes de petite puissance.

Généralement, les biocombustibles contiennent de l'humidité. Le taux d'humidité est le rapport entre le poids d'eau et le poids total du biocombustible humide, exprimé en pourcentage. Le contenu d'humidité de la biomasse forestière résiduelle peut être sensiblement réduit en la laissant sécher en forêt, avant de la fragmenter. Le séchage à l'air est maximal en été. Cependant, son effet varie passablement en fonction de la saison et de la température (vent, humidité, température, précipitations, longueur des jours, etc.). Les systèmes de combustion à la biomasse forestière résiduelle sont conçus pour un biocombustible ayant un taux d'humidité annuel moyen se situant aux alentours de 45 à 50 %. À noter qu'un système prévu pour consommer du biocombustible humide peut toujours utiliser un carburant plus sec, mais l'opposé n'est pas vrai.

Le tableau suivant montre l'impact significatif du taux d'humidité de la biomasse sur un système de combustion.

Tableau 1 : Impact du taux d'humidité sur un système de combustion d'une puissance de 600 bhp

Taux d'humidité du biocombustible	15 %	30 %	50 %*
Pouvoir calorifique supérieur (PCS) à l'état sec (Btu/lb)	9 000	9 000	9 000
Pouvoir calorifique net, selon le taux d'humidité (Btu/lb)	7 062	5 645	3 755
Consommation de biocombustible (lb/h)	Env. 3 400	Env. 4 290	Env. 6 600
Consommation d'air de combustion primaire (pcm)	Env. 1 250	Env. 1 780	Env. 2 660
Consommation d'air de combustion secondaire (pcm)	Env. 5 570	Env. 4 940	Env. 3 925
Surface de chauffe de la chambre à combustion (pi ²)	3 300	3 300	3 900

* Biomasse forestière résiduelle

Source : Eric Rosen, KMW Systems, inc.

La teneur en matières minérales de la biomasse est généralement appelée « teneur en cendres ». Elle comporte des matières qui se sont accumulées dans la biomasse lors du processus de croissance des arbres auxquelles s'ajoutent de la terre, du sable et d'autres contaminants qui se mélangent au biocombustible au moment de sa récupération et de sa manutention. Les teneurs en cendres accumulées lors de la croissance sont généralement faibles dans le bois (0,5 %) et plus élevées dans l'écorce (3,5 %). Par ailleurs, la teneur en contaminants dépend, entre autres, de la provenance du biocombustible, de la saison et du mode de manutention, ce qui peut amener des variations fort appréciables. On exprime habituellement la teneur en cendres en pourcentage, c'est-à-dire le poids de cendres par rapport au poids total du combustible sec. Typiquement, la teneur en cendres de la biomasse résiduelle récupérée en forêt, constituée de sections de troncs non commercialisables, de houppiers, de branches, de rameaux et de feuillage, se situe à près de 5 %.

En ce qui concerne la quantité d'énergie théorique pouvant être libérée par un combustible, elle est exprimée par le pouvoir calorifique supérieur (PCS) (*High Heating Value* (HHV)). Il désigne la quantité de mégajoules libérés par kilogramme de combustible anhydre (MJ/kg). Une valeur de 20,9 MJ/kg anhydre (9 000 Btu/livre sèche) peut être considérée comme conservatrice dans le cas de la biomasse forestière résiduelle^{27, 28}. Quant au pouvoir calorifique net (*Net Heating Value* (NHV)), il représente l'énergie potentielle disponible dans le biocombustible reçu à la chaudière, en considérant la perte d'énergie nécessaire pour chauffer et évaporer l'eau contenue dans le biocombustible.

5.2 Capacité et types de réserve de biocombustible

La capacité et les types de réserve de biocombustible (réservoir de stockage, silo ou fosse (*fuel storage bin*)) dépendent de la puissance de la centrale thermique, du mode et de la fréquence des livraisons ainsi que du type de combustible utilisé (essence, granulométrie et taux d'humidité). De nombreuses configurations sont possibles pour tenir compte de ces facteurs ainsi que des lieux et de l'espace disponibles. Certaines unités énergétiques incluent une réserve intermédiaire de combustible qui sert à l'alimentation automatique de la chaudière. Cette réserve permet généralement une période d'alimentation d'un quart de travail ou d'un jour de fonctionnement.

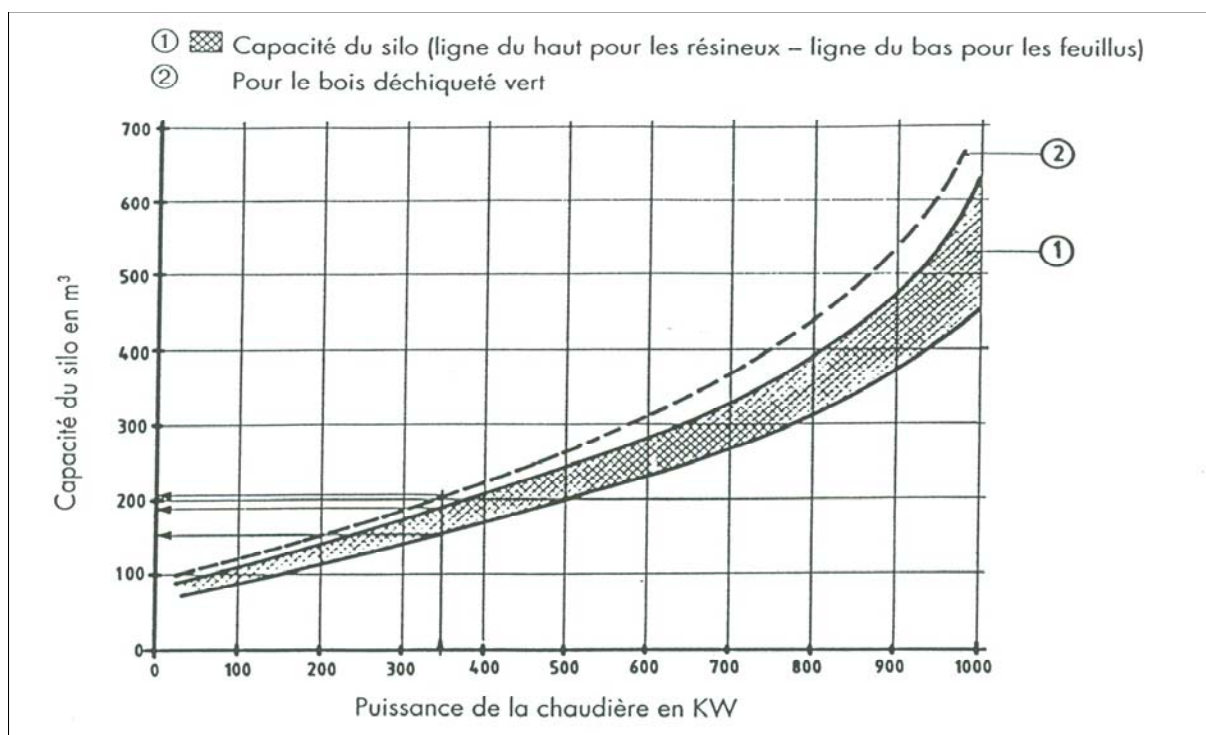
La capacité de la réserve doit être suffisante pour recevoir une quantité de biocombustible au moins égale à une charge et demie complète de camion. En disposant d'une réserve dont le volume est plus important que celui du camion de livraison, cela permet à l'opérateur de la chaufferie de commander du biocombustible avant que le silo ne soit vide. En règle générale, la réserve doit procurer à la centrale thermique une autonomie de trois à cinq jours, afin d'assurer le fonctionnement de la chaufferie durant une longue fin de semaine ou quelques jours de congé. Dans le cas où le mode d'approvisionnement risque d'être moins fiable, il est avisé d'augmenter la capacité de la réserve. Les coûts supplémentaires liés à la construction d'une réserve ayant une capacité supérieure au minimum requis sont considérés comme un investissement judicieux.

27. *Détermination de la quantité d'énergie thermique pour sécher du bois vert*, Raynald Courtemanche, CRIQ, 1996.

28. *Biomass Potential from California Forest and Shrublands including Fuel Reduction Potentials to lessen wildfire threat*, Pier contract 500-04-004, 2004.

Le graphique ci-dessous, préparé par la société Schmid S.A. (France), permet de déterminer la capacité du silo (en m³) en fonction de la puissance de la chaudière et du type de biomasse utilisée. Dans le cas de la biomasse forestière résiduelle, la courbe 2 doit être considérée.

Graphique 3 : Capacité de la réserve en fonction de la puissance de la chaudière et du type de biomasse



Source : Cahier technique, *Systèmes de chauffage aux copeaux, Chaudières à bois*, SCHMID S.A.

Advenant un arrêt de la chaudière pour une période prolongée, il est recommandé de vider la réserve si le biocombustible est compact et humide afin d'éviter toute menace d'auto-ignition. À noter qu'il n'y a pas de risque d'incendie dans la réserve lorsque la bouilloire est en fonction parce que le biocombustible est continuellement retiré de la réserve.

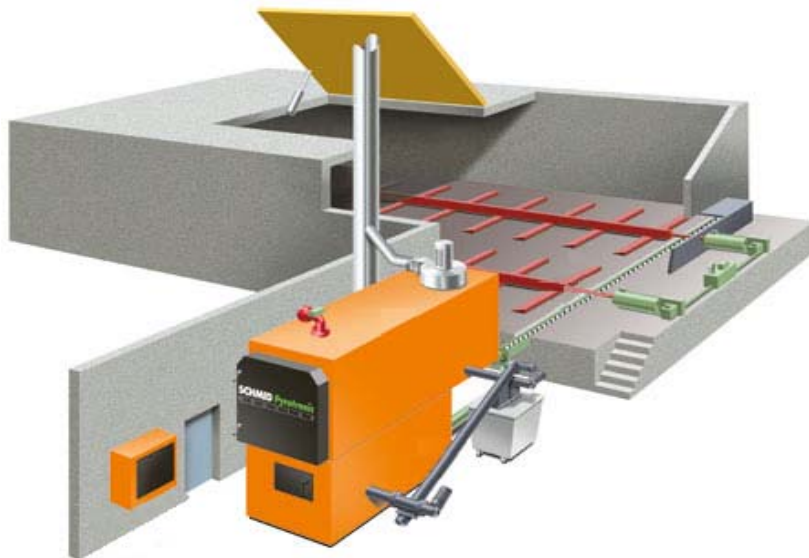
Dans les paragraphes suivants, nous traitons brièvement des différents types de réserve de biocombustible.

5.2.1 Réserves souterraines

La réserve en béton rectangulaire souterraine, adjacente à la chaufferie, est souvent utilisée pour les installations commerciales et institutionnelles automatisées. Comparée aux réserves de surface, elle offre quelques avantages :

- ↗ les couches inférieures de biomasse sont partiellement protégées du gel²⁹;
- ↗ les semi-remorques à fond mobile (*walking floor*) peuvent décharger leur livraison directement dans la réserve sans qu'il y ait besoin d'autres équipements pour manipuler le combustible;
- ↗ elle est généralement plus discrète et s'harmonise mieux à l'architecture de la chaufferie que les réserves de surface ou les empilements extérieurs.

Schéma 2 : Représentation d'une réserve souterraine avec système d'alimentation



Source : SCHMID AG (www.holzfeuerung.ch)

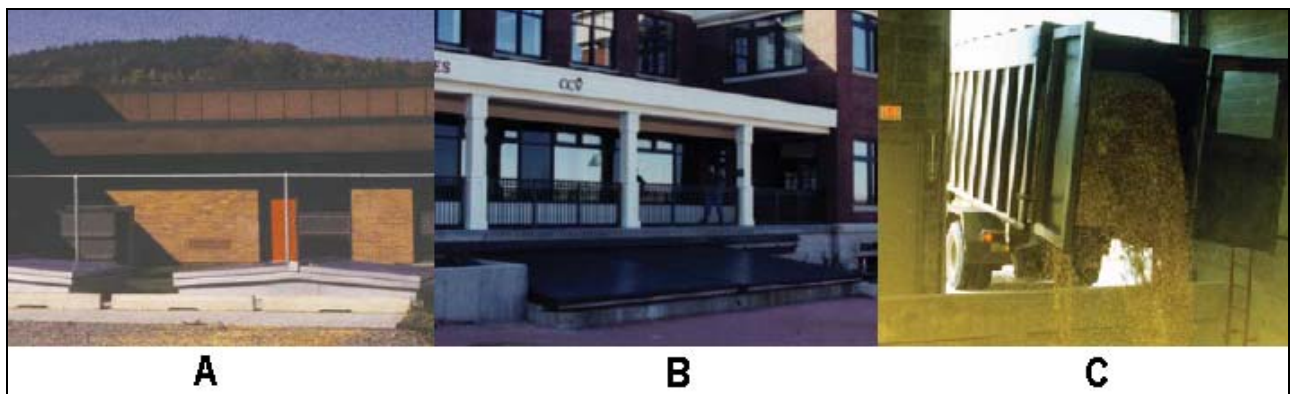
Un biocombustible humide requiert un système d'extraction robuste. Un système d'extraction à fond mouvant (*live bottom floor system* ou *push floor*) est bien adapté à la biomasse forestière résiduelle. Il est composé de plusieurs modules disposés côte à côte et recouvrant la totalité de la surface du plancher. Chaque module illustré en rouge sur le schéma est composé d'une échelle fixe et d'une échelle mobile actionnée par un vérin hydraulique (en vert) et animée par un mouvement alternatif qui amène progressivement le biocombustible vers la sortie. Une animation montrant le fonctionnement de ce dispositif d'extraction est accessible sur le site Internet www.compte-r.com/videos/Animation%20EPH.avi.

29. Par grand froid, les masses gelées introduites dans la réserve resteront souvent gelées jusqu'à ce qu'elles soient brisées par le convoyeur de transfert.

Les réserves souterraines peuvent être munies de différents types de portes d'entrée, mais toutes doivent être conçues pour être facilement fonctionnelles, malgré le risque d'accumulation de neige ou glace :

- ✦ Portes horizontales, installées dans le toit de la réserve, au sol (photo A).
- ✦ Portes inclinées, lorsque le silo est construit sur le côté d'un bâtiment (photo B).
- ✦ Portes verticales, quand la réserve est surplombée d'une structure fermée plus haute que les camions de livraison (photo C).

Photos 18 : Différents types de portes d'entrée de réserves souterraines de biocombustible



Source : *Wood-Chip Heating Systems*, Timothy M. Maker, 2004, CRIQ.

Lorsque des portes verticales sont utilisées, il faut s'assurer qu'elles sont assez hautes pour qu'un camion à benne basculante (*dump truck*) puisse basculer sa benne complètement et ainsi se décharger convenablement et rapidement.

5.2.2 Réserves de surface

Les réserves de surface sont des empilements extérieurs, des hangars, des silos ou des conteneurs.

Les empilements extérieurs sont souvent utilisés pour les centrales de grande puissance. Cette méthode est peu coûteuse et permet de mélanger facilement la biomasse forestière de diverses provenances afin d'obtenir un biocombustible homogène. Toutefois, ce type d'entreposage présente quelques inconvénients :

- ✦ une augmentation de la teneur en humidité en raison des précipitations;
- ✦ la possibilité de dégradation fongique et bactérienne dans les zones plus humides de la pile;
- ✦ la possibilité de formation de grosses masses agglomérées par les précipitations ou le gel;
- ✦ les problèmes environnementaux liés à l'écoulement de lixiviat;
- ✦ la manipulation pour réduire le danger d'auto-ignition;

- ↗ la manipulation supplémentaire pour le transfert du biocombustible dans une réserve intermédiaire qui permet d'alimenter automatiquement le système de combustion;
- ↗ l'embauche d'un opérateur et l'achat d'un chargeur ou d'un tracteur muni d'un godet.

Dans d'autres cas, la réserve est constituée d'un abri rudimentaire, bâti sur une dalle de béton ou sur une surface asphaltée. La structure du hangar est variable, par exemple, un mur en béton, d'une hauteur d'environ deux mètres, surmonté d'un toit en tôle d'acier, non isolé. Le camion de livraison décharge le biocombustible sur la dalle ou devant la porte du hangar et un chargeur sur roues (ou un tracteur de ferme) muni d'un godet est utilisé pour entasser la biomasse et alimenter une réserve intermédiaire qui permet de ravitailler automatiquement le système de combustion. Ce type de réserve peut même être muni d'un *push floor* comme les réserves souterraines. Le coût de construction pour ce type de réserve est relativement bas. Cependant, il implique, comme dans le cas des empilements extérieurs, l'embauche d'un opérateur et l'achat d'un chargeur ou d'un tracteur muni d'un godet.

Des silos métalliques semblables aux silos agricoles (acier ou béton) sont quelquefois utilisés. La biomasse est déversée dans une trémie aménagée au sol, puis le biocombustible est acheminé au sommet de la réserve à l'aide d'un convoyeur.

Ces silos sont efficaces pour le stockage de biocombustible sec, à granulométrie régulière et de faible densité (par exemple les rabotures à 13 % d'humidité dont la densité avoisine 96 kg/m^3 (6 lb/pi^3)). Par contre, ils semblent peu utilisés pour la biomasse résiduelle issue de la forêt, qui a une densité beaucoup plus élevée (385 kg/m^3 (24 lb/pi^3)), un taux d'humidité de près de 50 % et une granulométrie moins homogène. Toutefois, des silos en acier à revêtement vitrifié, dont le fond est muni d'extracteur à chaîne, pourraient possiblement constituer une solution efficace et abordable. Le revêtement vitrifié est un procédé qui consiste à faire adhérer en permanence une couche de vrai verre en fusion sur chacune des deux faces du silo construit en tôles d'acier. La protection imperméable ainsi obtenue résiste facilement aux acides de fermentation et aux intempéries.

Photo 19: Silos à revêtement vitrifié utilisés pour le maïs humide



Source : www.silojmlambert.com

En Europe, l'approvisionnement de certaines centrales est assuré par des conteneurs et des bennes à fond mouvant ou vibrant. La manutention est effectuée par camion. Des quais de réception sont construits pour recevoir plusieurs conteneurs ou bennes simultanément afin de garantir un ravitaillement régulier.

Photo 20 : Conteneurs équipés d'un système d'extraction se raccordant très facilement au système de transfert du combustible



Source : www.compte-r.com

Les petites réserves que sont les silos et les conteneurs peuvent permettre de réduire les coûts d'investissement initiaux. Néanmoins, leur usage comporte des risques liés aux problèmes d'agglomération du biocombustible gelé durant l'hiver. En outre, il implique des livraisons plus fréquentes. Dans ce contexte, les fournisseurs de biocombustible exigent davantage pour chaque tonne livrée compte tenu de la faible quantité transportée à chaque livraison.

Pour terminer, quel que soit le type de réserve utilisé, les dégagements nécessaires aux voies d'accès et à la zone de déchargement des camions doivent être suffisants (en hauteur et largeur) afin que l'approvisionnement puisse se faire efficacement et rapidement. Ces infrastructures doivent convenir à plusieurs types et tailles de véhicules. Finalement, il faut absolument éviter les pentes abruptes et les virages serrés.

5.3 Système de transfert du combustible de la réserve à la chambre de combustion

Le mode de transfert du biocombustible, de la réserve (ou de la réserve intermédiaire) à la chambre à combustion, est un élément important de la chaufferie. Si le système n'est pas conçu adéquatement, certaines caractéristiques du biocombustible, telles que la compacité, la présence de contaminants, les masses gelées et la granulométrie irrégulière, contribuent à perturber la constance du transfert.

Le convoyeur à chaînes (*drag chain conveyor*) est mieux adapté que les vis sans fin pour transporter la biomasse forestière résiduelle fragmentée. En effet, la résistance et le mode de fonctionnement des convoyeurs à chaînes les rendent plus appropriés à la manutention de matières pouvant contenir des contaminants et dont la granulométrie est moins régulière et le taux d'humidité plus élevé que les biocombustibles secs comme les rabotures. À l'occasion, une vis sans fin peut être utilisée mais si tel est le cas, elle doit être surdimensionnée et robuste afin de :

- résister à l'abrasion causée par les contaminants;
- briser des masses qui s'agglomèrent, favorisées par un taux d'humidité élevé ou par le gel;
- empêcher le blocage qui pourrait survenir avec un diamètre insuffisant.

Photo 21 : Convoyeur à chaînes



Convoyeur à chaînes

Source : KMW Systems Inc. (www.kmwenergy.com)

D'autres transporteurs sont offerts sur le marché, entre autres des transporteurs à raclettes et des transporteurs pneumatiques.

5.4 Système d'alimentation en biocombustible

Les centrales à la biomasse sont équipées d'une trémie doseuse (*metering bin*) ou benne d'alimentation et d'un distributeur de combustible, juste en amont de la chambre de combustion. Ces équipements servent à régulariser le flot de biocombustible arrivant de la réserve et à doser son introduction dans la chambre à combustion.

Le distributeur a pour fonction de répartir uniformément le biocombustible sur toute la largeur de la chambre à combustion, et ce, en tenant compte de la puissance de la chaudière qui peut fluctuer. Il s'agit d'une vis sans fin, de poussoirs ou d'injecteurs pneumatiques.

Pour assurer un fonctionnement continu, le système d'alimentation est équipé d'indicateurs de niveau qui commandent la mise en marche et l'arrêt du système de transfert de combustible reliant la réserve et la fournaise. De plus, un mécanisme de sécurité est intégré. Il s'agit d'une alarme qui prévient l'opérateur si l'approvisionnement vient à faire défaut et d'un système d'extinction en cas de feu.

Photo 22 : Trémie doseuse avec poussoirs

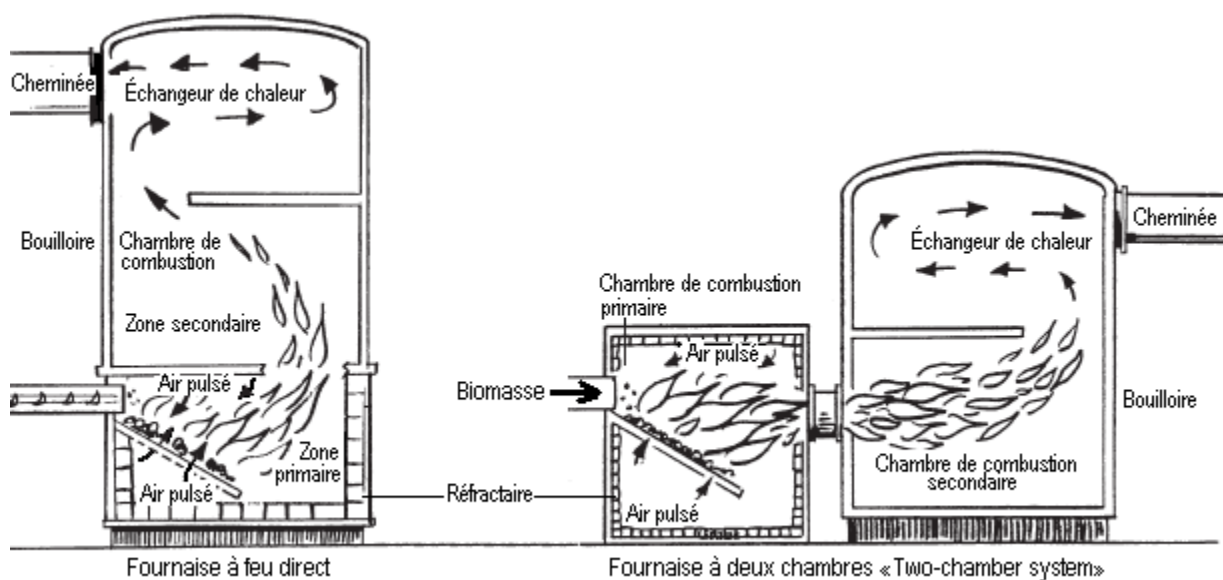


Source : www.compte-r.com

5.5 Chambre de combustion

La chambre de combustion (ou fournaise) est l'enceinte où est brûlée la biomasse. Les deux types de chambres de combustion les plus utilisés sont les fournaies à feu direct, plus populaires, et les fournaies à deux chambres. Les schémas suivants illustrent les principes de fonctionnement de ces deux fournaies.

Schéma 3 : Représentations schématiques d'une fournaise à feu direct et d'une fournaise à deux chambres



Source: Wood-Chip Heating Systems, Timothy M. Maker, 2004 , CRIQ

Souvent, dans les systèmes institutionnels et industriels, la chambre de combustion est munie de dispositifs automatiques d'approvisionnement en combustible et d'alimentation en air de combustion qui s'ajustent, entre autres, en fonction de la puissance requise, du taux d'humidité du biocombustible et de la température extérieure. Le fond de l'enceinte est constitué d'une grille facilitant la circulation de l'air sous le combustible enflammé. La conception et le fonctionnement des différents types de grilles (*grates*) proposés par les fabricants constituent un élément important de la performance et du rendement du système de combustion.

Ces grilles peuvent être en fonte, en matière réfractaire ou en alliage résistant aux hautes températures (fonte d'acier à haute teneur en chrome), certaines refroidies à l'eau pour prévenir les détériorations et les distorsions dues à la chaleur intense; elles sont soit inclinées, plates, en escalier (*step grate*) ou coniques, et peuvent être stationnaires, mobiles ou rotatives. Les systèmes de combustion à la biomasse de taille commerciale ou industrielle qui brûlent du biocombustible humide, comme la biomasse forestière résiduelle, sont généralement équipés de grilles mobiles à plan incliné ou en escalier. Dans ce dernier cas, une marche sur deux est animée d'un mouvement de va-et-vient, ce qui permet de pousser progressivement le biocombustible vers le bas de la fournaise au fur et à mesure qu'il est consommé. En plus, 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).

Photo 23 : Chambre de combustion en escalier



Source : Uniconfort S.r.L. (www.uniconfort.com)

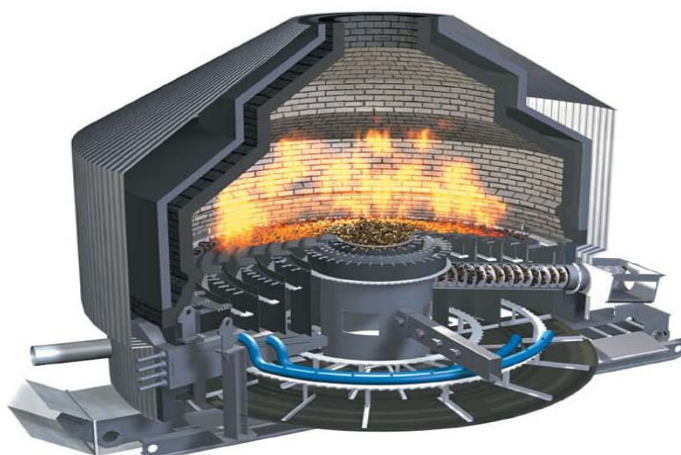
La surface de la grille est généralement divisée en plusieurs zones (souvent trois ou quatre) où varient la fréquence et la vitesse d'avance des marches d'une part et, d'autre part, la vitesse de l'air passant au travers de la grille. La fréquence et la vitesse d'avance des marches sont rapides dans le haut de la chambre puis ralentissent au fur et à mesure de la progression du combustible dans la fournaise. L'air de combustion primaire est introduit rapidement dans la zone située au haut de la grille et plus lentement dans la zone située au bas de la grille. Ces mécanismes de modulation (vitesse de déplacement des grilles et de l'air de combustion primaire), contrôlés par des systèmes de régulation automatiques, favorisent :

- ✧ une distribution optimale de combustible sur la grille;
- ✧ une évaporation plus rapide de l'humidité contenue dans le biocombustible, lorsqu'il est introduit dans la chambre à combustion;
- ✧ une combustion plus complète, tout en minimisant la mise en suspension de particules dans les gaz de combustion.

Au fur et à mesure de sa progression dans la chambre de combustion, la biomasse est consommée et laisse place à la cendre qui est évacuée automatiquement à la base de la fournaise. Le mouvement de la grille prévient la formation de mâchefer³⁰.

Afin de maintenir une température élevée dans la chambre de combustion, on utilise généralement un revêtement réfractaire qui agit en tant que radiateur et réflecteur permettant ainsi à la chaleur produite de soutenir la combustion (évaporation de l'eau contenue dans le bois, puis dégagement des matières volatiles et enfin combustion des composés carbonés). Le revêtement réfractaire est d'autant plus utile qu'on brûle un biocombustible humide. En plus, il permet de protéger les parois de la fournaise des températures élevées dans la zone de combustion.

Photo 24 : Chambre de combustion à grille conique *Biograte*



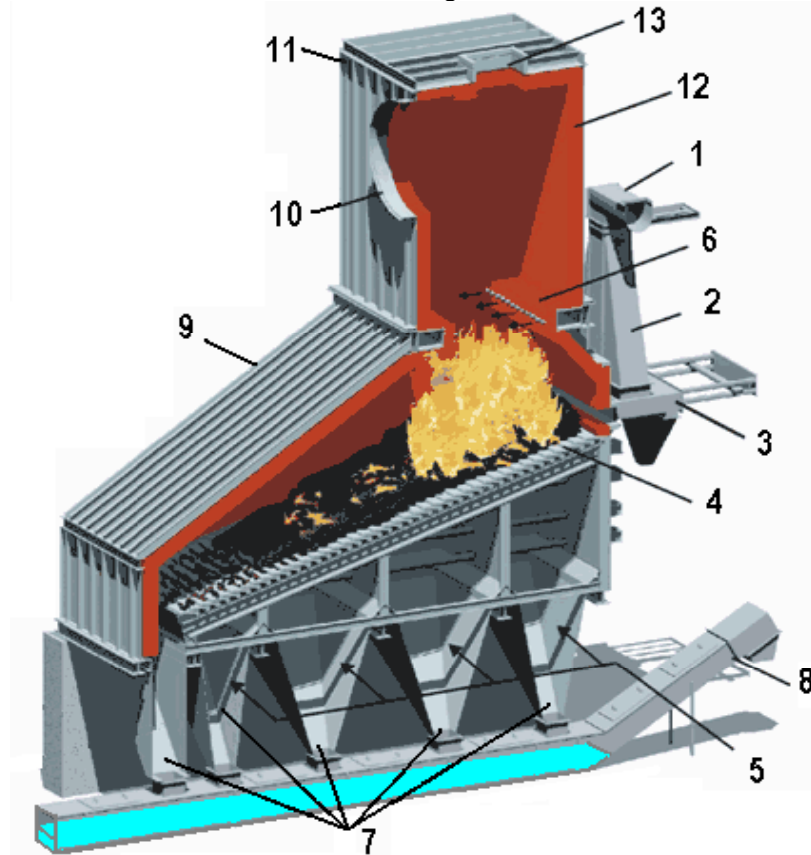
Chambre de combustion à grille conique *Biograte*
Source: Wärtsilä (www.wartsila.com)

Outre l'air insufflé par-dessous la grille, d'autres ventilateurs injectent de l'air à très haute vitesse, au-dessus du lit de biocombustible (air de combustion secondaire), afin de créer des turbulences qui fournissent l'oxygène nécessaire à l'obtention d'une combustion complète des gaz. Cela améliore le rendement et réduit les émissions gazeuses.

Enfin, les gaz très chauds produits durant la combustion sont acheminés vers l'échangeur de chaleur où une grande partie de l'énergie générée est transférée au fluide caloporteur.

30. Mâchefer : Masses vitreuses, très dures formées par la fusion de cendres dans des points particulièrement chauds de la chambre de combustion et qui ont tendance à adhérer solidement aux grilles. Elles doivent être enlevées au moment des périodes d'entretien.

Schéma 4 : Chambre de combustion munie de grilles inclinées, à mouvement alternatif



Chambre de combustion munie de grilles inclinées, à mouvement alternatif
Source: GTS Energy inc. (www.gtsenergy.com), CRIQ

1- Convoyeur d'alimentation en biocombustible	6- Injection d'air secondaire	11- Chambre de combustion secondaire
2- Trémie doseuse	7- Trémies de récupération des cendres	12- Revêtement réfractaire
3- Distributeur de combustible	8- Convoyeur d'évacuation des cendres (ici submergé)	13- Sortie de la cheminée d'urgence
4- Grilles inclinées à mouvement alternatif	9- Chambre de combustion primaire	
5- Injection d'air primaire (sous le feu)	10- Sortie des gaz de combustion	

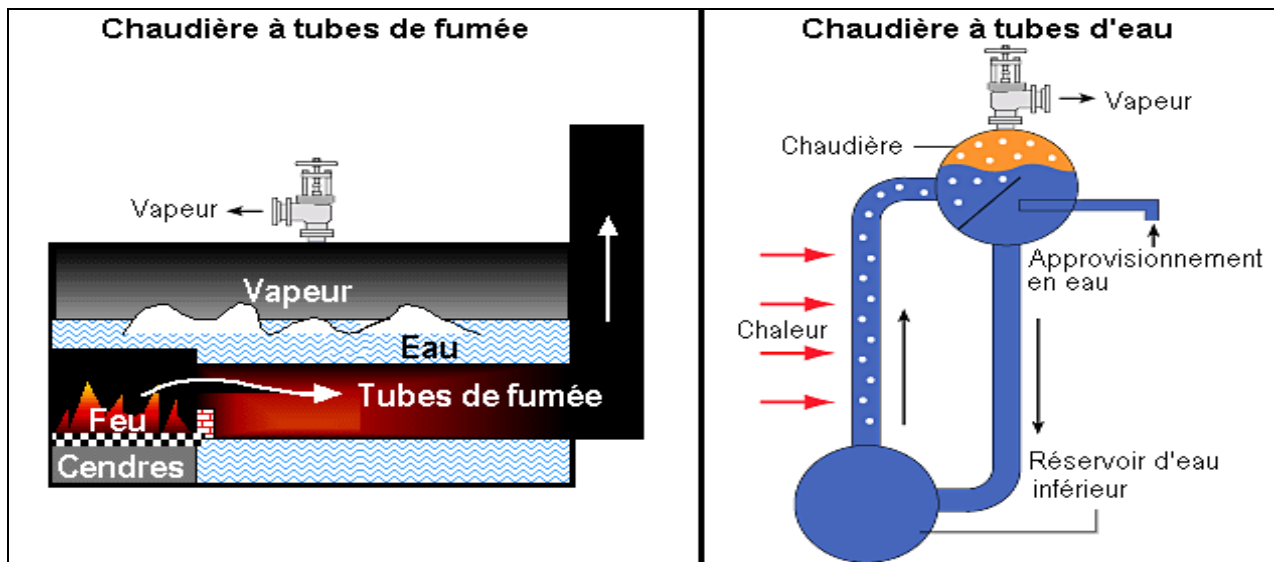
5.6 Échangeur de chaleur

La chaleur est transférée selon deux modes, par rayonnement et par convection. Dans la zone de combustion, la chaleur est transférée par rayonnement de la flamme au fluide caloporteur (eau, vapeur ou air) qui la distribue là où elle est utilisée (client). 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 du design de la fournaise. Sa capacité doit être déterminée avec soin afin d'extraire le maximum d'énergie possible. Puisque la plupart des systèmes à la biomasse utilisent l'eau et la vapeur, on désigne l'échangeur de chaleur par les termes chaudière ou bouilloire.

Les échangeurs de chaleur sont soit de type « à tubes de fumée » ou « à tubes d'eau ». Dans le premier cas, les gaz de combustion passent par des tubes traversant une chaudière remplie d'eau; dans le second, les tubes dans lesquels circule l'eau sont entourés par les gaz de combustion, très chauds. À noter qu'un système de traitement d'eau de la chaudière permet d'en contrôler la qualité et inhibe la formation de rouille.

Schéma 5 : Représentations schématiques de chaudières à tubes de fumée et à tubes d'eau



Source : www.bathtram.org, www.spiraxsarco.com, CRIQ.

Typiquement, l'échangeur de chaleur capte l'énergie des gaz de combustion pour ramener leur température de 650 à 1 200 °C (1 200 à 2 200 °F) à celle de la cheminée, soit 150 à 230 °C (300 à 450 °F). Ce faisant, il élève la température de l'eau de la chaudière entre 65 et 150 °C (150 et 300 °F).

Une chaudière à vapeur est très semblable à une chaudière à eau chaude et leurs échangeurs de chaleur sont pratiquement identiques. Dans une chaudière à vapeur, on permet à l'eau de l'échangeur de chaleur de bouillir dans une chambre au-dessus de la chaudière. Selon la pression atteinte dans le système lors du fonctionnement, les chaudières sont dites :

- ↗ « à basse pression », lorsque celle-ci n'excède pas 103 kPa (15 lb/po²); ou
- ↗ « à haute pression », lorsque celle-ci est supérieure à 103 kPa (15 lb/po²).

La puissance d'une chaudière est exprimée soit en cheval-vapeur thermique ou *Boiler Horse Power (BHP)*, en kilowatt (kW) ou mégawatt thermique (MW_t) ou encore en *British Thermal Unit (Btu)*/heure. Les conversions entre ces unités sont :

1 kW	3 413 Btu/h
1 BHP	33 479 Btu/h
1 MW	1 000 kW × 3 413 Btu/h = 3,4 MBtu/h
1 000 kW	approx. 100 BHP
1 à 6 MW	approx. 100 à 600 BHP
1 000 000 Btu	293 kWh

Sous l'angle du caloporteur, on observe que dans les centrales thermiques industrielles, commerciales et institutionnelles utilisant de la biomasse, l'eau est la plus utilisée; on obtient ainsi un chauffage à l'eau chaude. La vapeur est un caloporteur également beaucoup employé pour valoriser l'énergie de la biomasse. Les hôpitaux, par exemple, l'emploient pour le chauffage, pour la cuisson des aliments dans la cuisine, pour certains appareils de laboratoire, pour la stérilisation, pour les équipements de buanderie et pour la climatisation des locaux. De nombreuses usines utilisent également la vapeur dans leur procédé de fabrication. Ainsi, c'est le caloporteur qui est le plus populaire dans les scieries. Elles l'utilisent pour sécher le bois à des températures plus élevées que ne pourrait le faire l'eau chaude. La vapeur sert aussi à contrôler l'humidité dans les séchoirs (jets de vapeur dans l'enceinte de séchage) pour ne pas sécher le bois trop rapidement, ce qui occasionnerait des problèmes de qualité. Par contre, l'air chaud est beaucoup moins utilisé dans les systèmes institutionnels, commerciaux et industriels fonctionnant à la biomasse. En effet, l'air chaud est plus difficile à répartir en zones et son contrôle offre généralement moins de précision et de flexibilité que celui procuré par les systèmes à eau chaude.

5.7 Système d'extraction et d'entreposage des cendres

Avec une teneur moyenne en cendres de 5 %, chaque tonne sèche de biomasse résiduelle récupérée en forêt produit environ 50 kg (110 lb) de cendres. Les cendres se scindent en deux types: les cendres résiduelles et les cendres volantes (*fly ash*).

Les cendres résiduelles constituent la majeure partie des cendres. Elles se forment dans la chambre de combustion, sur la grille. Dans les systèmes industriels, commerciaux et institutionnels, brûlant des écorces ou de la biomasse résiduelle récupérée en forêt, elles sont extraites automatiquement, par des vis sans fin ou des convoyeurs disposés au bas ou sous la chambre de combustion. Il est important que cette cendre soit enlevée sur une base continue. L'extraction automatique est fréquemment préférée dans les systèmes de grande taille, malgré l'investissement plus important, parce qu'elle réduit le temps d'entretien et le personnel requis. Cette automaticité est d'autant plus pertinente dans les centrales thermiques qui brûlent de la biomasse forestière résiduelle que la teneur en cendres est sensiblement plus élevée avec ce biocombustible.

Photo 25 : Trémie de décendrage et convoyeur immergé



La photo ci-dessus illustre un modèle de trémies de récupération des cendres disposées sous la grille de combustion ainsi que le convoyeur qui permet une évacuation lente des cendres dans un bac ou un conteneur. À noter que le convoyeur d'évacuation des cendres peut être immergé (noyé) ou non.

Photo 26 : Bac de récupération des cendres transportable par chariot élévateur



Le deuxième type de cendres, les cendres volantes, sont suffisamment légères pour rester en suspension dans l'air et être entraînées par les gaz à l'extérieur de la zone de combustion. Elles sont produites en quantité beaucoup moins importante que les cendres résiduelles et peuvent s'accumuler dans la chambre de combustion secondaire, à la surface de l'échangeur de chaleur ou encore dans des zones conçues à cet effet. Elles doivent être enlevées périodiquement, afin de ne pas affecter le transfert de chaleur et réduire ainsi l'efficacité de l'échangeur de chaleur. Le nettoyage est effectué par brossage et la fréquence d'enlèvement varie de une à quatre fois l'an, selon les systèmes. Certaines centrales thermiques sont équipées d'un souffleur de suie automatique (*soot blower*) qui maintient propres les tubes de la chaudière en réduisant ainsi la fréquence de nettoyage.

De façon générale, les cendres de biomasse, issues d'une combustion bien contrôlée, ne sont pas considérées comme des déchets dangereux et on peut en disposer dans les sites d'enfouissement. En raison de leur teneur élevée en éléments minéraux, elles constituent un excellent amendement de sol qui peut être très utile aux horticulteurs, jardiniers et agriculteurs. Traditionnellement, en Amérique du Nord, les grandes centrales thermiques à la biomasse disposent de leurs cendres dans les sites d'enfouissement ou les confient à des entreprises spécialisées qui les destinent à l'épandage sur des terres agricoles ou les utilisent comme additif dans les boues de traitement des eaux ou pour d'autres usages commerciaux.

En Finlande et en Suède, depuis déjà de nombreuses années, plusieurs études et projets concernant la fertilisation des forêts par la cendre de biomasse ont été réalisés. L'objectif visé est de rapporter en forêt les éléments nutritifs favorisant la croissance des arbres d'une part et, d'autre part, de contrer l'acidification des sols forestiers. Toutefois, l'implantation de cette pratique est lente. En 2003, moins de 10 % des cendres de biomasse étaient réutilisées pour la fertilisation des forêts³¹.

Photo 27 : Retour des nutriments à la forêt par l'épandage des cendres générées par les biocombustibles



Retour des nutriments à la forêt par l'épandage des cendres
générées par les biocombustibles

Source : IEA Bioenergy, P. Hakkila

31. *Wood Ash Recycling : State of the Art in Finland and Sweden (Draft Oct 2003).*

5.8 Système d'épuration et d'évacuation des gaz

Les gaz de combustion, refroidis par l'échangeur de chaleur, doivent être épurés avant d'être évacués dans l'atmosphère. Pour ce faire, ils sont pris en charge par le système d'épuration et d'évacuation des gaz. Plusieurs types d'équipements peuvent être utilisés pour les débarrasser de la majeure partie des particules en suspension, seuls ou en combinaison :

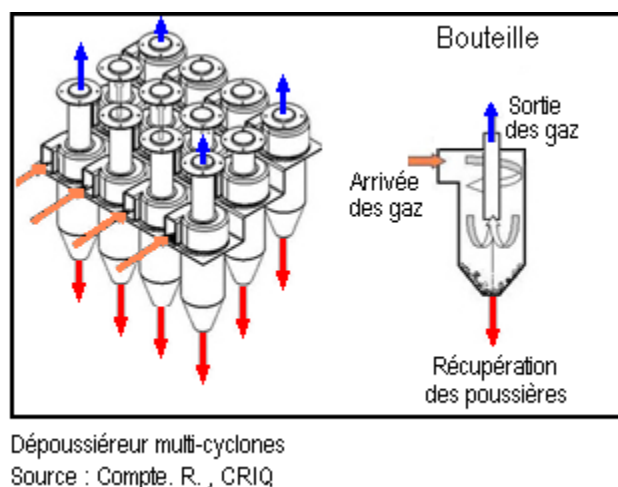
- dépoussiéreurs multicyclones;
- laveurs de gaz (*wet scrubber*);
- précipitateurs électrostatiques.

La sélection de ces équipements dépend du combustible et de la puissance de la centrale thermique et doit permettre à l'opérateur de satisfaire aux normes d'émission exigées par le Règlement québécois sur la qualité de l'atmosphère³².

Dépoussiéreurs multicyclones

Les dépoussiéreurs multicyclones se servent 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. Typiquement, la cendre interceptée par ce type d'appareil est évacuée par le fond en passant par une vanne rotative puis acheminée dans le convoyeur d'extraction des cendres ou directement dans un bac. Ce type d'équipement est efficace pour les grosses particules et permet, lorsque des écorces sont brûlées, de garantir des rejets de 400 à 500 mg de particules/m³ de gaz normalisé sec. Dans le cas d'une installation de puissance égale ou supérieure à 3 MW (environ 300 BHP), fonctionnant à 100 % de son régime et brûlant de l'écorce, l'utilisation de ce seul équipement ne permet pas d'atteindre l'exigence du Règlement québécois sur la qualité de l'atmosphère, qui est de 340 mg/m³.

Schéma 6 : Représentation schématique d'un dépoussiérateur multicyclone



32. Voir la section XIV « Combustion du bois » du Règlement sur la qualité de l'atmosphère (c. Q-2, r. 20) à l'adresse suivante :
http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/Q_2/Q2R20.HTM

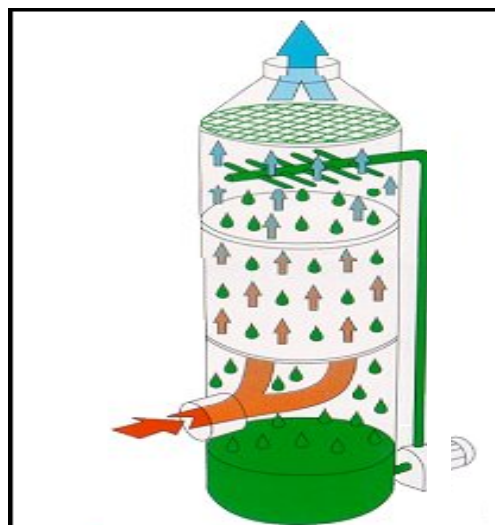
Il existe d'autres dispositifs, apparentés au dépoussiéreur multicyclone. Ils sont cependant peu populaires et leur efficacité est moins bien documentée. Un exemple en est le *Core Separator* du fabricant *LSR Technologies* (Acton, MA).

Laveurs de gaz

Les laveurs de gaz, qu'on appelle aussi épurateurs ou séparateurs humides, utilisent le principe d'épuration suivant : le courant gazeux, dans lequel sont en suspension des particules solides, passe dans une enceinte où ces dernières sont mises en contact avec un liquide de lavage. 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 considérées comme captées lorsqu'elles se retrouvent dans la masse du liquide. Elles sont ensuite séparées du liquide par décantation puis évacuées vers le convoyeur d'extraction des cendres.

Ce type d'équipement, installé en série, après le dépoussiéreur multicyclone, permet facilement de garantir des rejets en deçà de 340 mg/m^3 de gaz normalisé sec.

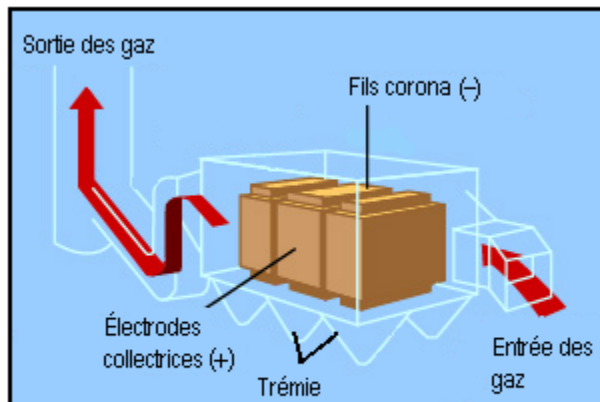
Schéma 7 : Représentation schématique d'un laveur de gaz



Laveur de gaz

Source: www.forbesgroup.co.uk, CRIQ

Schéma 8 : Représentation schématique d'un précipitateur électrostatique



Précipitateur électrostatique
Source: www.epa.gov, CRIQ

Précipitateurs électrostatiques

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. Ces dernières sont mises en vibration de façon périodique permettant ainsi de précipiter les poussières accumulées dans une trémie. Cet équipement offre une très bonne performance pour toutes les

particules et permet de ne pas dépasser 50 mg/m³ de poussières en rejet³³. Il est régulièrement utilisé dans les installations de grande et très grande puissance (papeteries, incinérateurs municipaux), à partir de 2 000 à 2 500 BHP. Toutefois, le coût d'acquisition est très important. De façon générale, les installations de chauffage à la biomasse n'utilisent pas ce type d'équipement.

Dans certains systèmes, les gaz de combustion sont remis en circulation afin de réduire les émissions d'oxyde d'azote (NO_x), tandis que l'apport d'air de postcombustion est contrôlé en plusieurs endroits, de manière à réduire les émissions de gaz carbonique (CO₂).

Après les systèmes d'épuration, les centrales de taille industrielle, commerciale ou institutionnelle sont munies d'un ventilateur de tirage, situé juste en amont de la cheminée de dispersion. Ce ventilateur aspire les gaz de combustion et les pousse vers la cheminée. Sa capacité fluctue de façon à conserver une légère dépression dans la chambre de combustion.

L'élément final du système de combustion à la biomasse est la cheminée. Elle est utilisée pour évacuer les gaz du système et du bâtiment et pour les disperser efficacement dans l'atmosphère. Sa capacité doit être soigneusement adaptée à celle du système de combustion. Elle peut être construite en maçonnerie, en acier ou en acier inoxydable. Dans certains cas, elle peut être isolée afin de réduire la condensation des gaz saturés d'eau sortant de la centrale. Il est important de tenir compte de la hauteur de la centrale et des bâtiments voisins, du relief et des vents locaux afin de déterminer la hauteur de la cheminée.

Les grandes cheminées (45 à 75 pi de haut à partir du plancher de la centrale) sont de plus en plus courantes, puisqu'elles procurent une excellente tire et permettent de disperser les produits de combustion dans les vents dominants. Idéalement, la cheminée doit être dimensionnée afin qu'il n'y ait aucun impact sur l'air à l'intérieur de la centrale et sur l'air extérieur dans le voisinage de la centrale à biomasse.

33. Source : <http://www.compte-r.com/produits/fumees/traitement3.asp>.

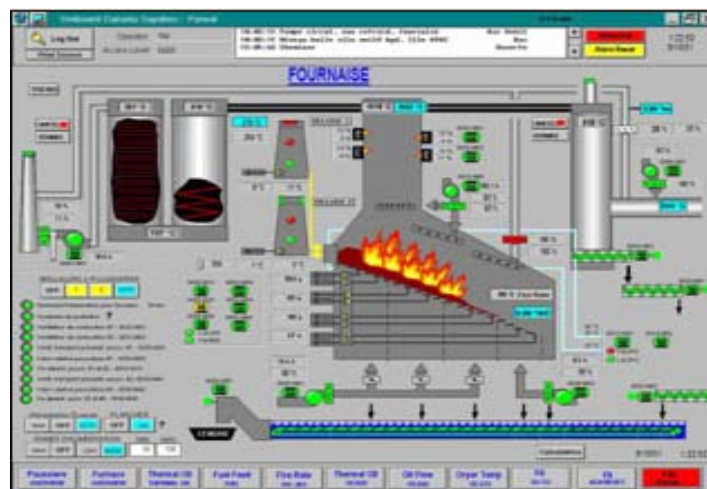
5.9 Systèmes d'automatisation et contrôle

Les conditions nécessaires à l'efficacité optimale de la centrale thermique sont atteintes lorsque la chambre de combustion est alimentée en air et en biocombustible d'une façon précise et adaptée. C'est le rôle des systèmes d'automatisation et contrôle.

Les systèmes les plus simples sont pourvus de commandes sans modulation, ouvert/fermé (*on/off*), pour l'alimentation en combustible et en air. Toutefois, ils peuvent causer occasionnellement une mauvaise combustion et des dégagements de fumée soutenus au cours de périodes de faible demande d'énergie, parce qu'ils n'ont pas la flexibilité nécessaire pour répondre adéquatement aux fluctuations de la demande.

Par ailleurs, pour une régulation optimale, certaines centrales sont « pilotées » par des systèmes de contrôle entièrement automatiques qui utilisent un ordinateur (ou des automates programmables). Ces systèmes ajustent constamment et simultanément les débits du biocombustible et de l'air, de façon à maintenir les conditions idéales de combustion, que ce soit en période de forte ou de faible demande énergétique. Ils font appel à une batterie de capteurs qui informent le contrôleur automatique sur la température du caloporteur, la température extérieure, la teneur en oxygène des gaz d'échappement, la pression à l'intérieur de la chambre de combustion, etc. En cas d'anomalies, les systèmes automatiques peuvent déclencher des alarmes et envoyer un message téléphonique d'urgence aux opérateurs.

Schéma 9 : Interface opérateur



Interface opérateur

Source: GTS Energy (www.gtsenergy.com)

Dans tous les cas, les centrales doivent être protégées contre le retour de flamme, à partir de la chambre de combustion. Un senseur de température peut activer des gicleurs qui inondent la trémie d'alimentation ou le conduit d'alimentation en biocombustible advenant une hausse anormale de température. De plus, en cas de panne électrique, la centrale doit pouvoir s'arrêter de façon sécuritaire. À cet égard, elle doit être munie d'une alimentation électrique de secours UPS (*Uninterrupted Power Supply*), assurant le fonctionnement de l'ordinateur qui se chargera de l'arrêt de la centrale, et d'une cheminée d'urgence, située immédiatement après la fournaise, qui s'ouvre à l'aide d'un contrepoids. Cette dernière permet d'évacuer les gaz de combustion à l'extérieur du bâtiment. Enfin, un dispositif doit couper l'arrivée en biocombustible lorsque le feu s'éteint dans la chambre de combustion.

5.10 Unités d'appoint ou de secours à combustible fossile

Les installations commerciales et institutionnelles à la biomasse sont souvent munies d'un brûleur ou d'une chaudière de secours fonctionnant au mazout ou au gaz.

Dans certains cas, le brûleur d'appoint est installé pour chauffer la chaudière à la biomasse. Il peut être activé manuellement ou bien mis en marche automatiquement dans de nombreuses circonstances :

- ↗ durant les périodes où la demande en énergie est trop faible pour permettre un fonctionnement efficace de la chaudière à la biomasse sans production exagérée de fumée;
- ↗ au moment des périodes d'entretien des installations de chauffage à la biomasse;
- ↗ lorsque la réserve de biocombustible est vide ou qu'il y a blocage dans le circuit d'alimentation;
- ↗ lorsque la demande en énergie dépasse la capacité de la centrale à la biomasse ou pour répondre rapidement à une forte hausse de la demande;
- ↗ lorsqu'une condition anormale de l'unité principale est détectée.

Dans beaucoup d'installations, on utilise un système à combustible fossile à la fois comme unité de secours et comme unité de pointe.

Par exemple, lorsque la centrale n'est appelée à fournir sa pleine puissance que quelques heures par saison, il est généralement plus rentable d'acquérir un système moins puissant, choisi en fonction de la charge de base. Pour la demande de pointe, l'ajout d'une chaudière à combustible fossile permet de fournir la puissance supplémentaire. Les économies réalisées à l'acquisition d'une plus petite installation peuvent être utilisées pour l'achat du système de secours et du combustible fossile requis.

Photo 28 : Chaudière à la biomasse et unité d'appoint à combustible fossile



Chaudière à la biomasse et unité d'appoint à combustible fossile
Source : KMW Systems Inc. (www.kmwenergy.com)

Dans le cas du « tandem » chaudière à la biomasse-chaudière de pointe à combustible fossile, un contrôle automatique permet de :

- mettre en marche la chaudière de pointe lorsque la demande dépasse la puissance du système de chauffage à la biomasse;
- de stopper la chaudière de pointe avant qu'il ne soit nécessaire de diminuer la puissance de la chaudière à la biomasse, en cas de plus faible demande.

Lorsque l'écart entre la charge de base annuelle et la charge de pointe est très important, un autre scénario est préférable. Il s'agit d'un système qui comprend deux chaudières à la biomasse. Si la demande est faible, une seule des deux unités fonctionne à régime lent. Si elle est forte, les deux chaudières sont utilisées à pleine capacité.

5.11 Réseau de distribution de chaleur

La centrale à biomasse fournit son énergie thermique aux utilisateurs (écoles, églises, bâtiments communautaires et municipaux, immeubles de bureaux, serres, entrepôts, piscines, procédés industriels, etc.) par un réseau de distribution de vapeur ou d'eau chaude. Ce réseau est principalement constitué de conduites, enfouies ou non, qui doivent être isolées afin de limiter les pertes d'énergie. Quelques entreprises fabriquent en usine des conduites pré-isolées et les livrent en longueur, jusqu'à 40 pi.

Photo 29 : Conduites rigides pré-isolées



Conduites pré-isolées rigides
Source: Isotex Pro Int'l. (www.ipiinter.com)

Ces conduites sont en acier sur lesquelles est extrudée une couche d'uréthane ou bien elles sont recouvertes de fibre minérale. L'épaisseur de l'isolant, qui peut varier généralement entre 1 et 3 po, est déterminée en fonction de la température du sol et celle du fluide caloporteur. Une coquille de protection, qui peut être en polyéthylène haute densité (HDPE) ou en acier, recouvre l'isolant.

Certains fabricants incorporent un fil de cuivre dans l'uréthane afin de vérifier que la conductivité et la résistance électrique ne varient pas. Dans ce cas, une variation déclenche une alarme et indique, soit un bris de la conduite, soit la pénétration d'eau sous l'enveloppe protectrice. À l'aide d'appareils spécialisés, un expert peut ainsi localiser le bris avec précision.

Tous les raccords (T, coudes, réduits, etc.) et valves sont également pré-isolés et prêts à être soudés aux tuyaux.

Généralement, une tranchée d'environ 1 m de profondeur est creusée dans le sol pour permettre l'installation adéquate de la conduite d'alimentation et celle de retour.

Le prix des conduites varie en fonction du diamètre du tuyau :

Conduite 3 po	32 \$/m
Conduite 4 po	44 \$/m
Conduite 6 po	67 \$/m
Conduite 8 po	100 \$/m

Quant au coût de l'installation, il est deux à trois fois plus élevé que celui des conduites et raccords. À titre indicatif, un réseau de 100 m avec des canalisations de 6 po coûtera entre 40 000 \$ et 54 000 \$:

Coût des conduites	100 m × 67 \$/m × 2 (conduite alimentation <u>et</u> conduite de retour)	13 400 \$
Installation	De 2 à 3 × 13 400 \$ =	26 800 à 40 200 \$
Total		40 200 à 53 600 \$

Généralement, la construction du réseau de chaleur est confiée à un entrepreneur général. Ce dernier exécute les travaux d'excavation et de remblayage, tandis que l'installation des canalisations est réalisée en impartition par un entrepreneur en mécanique, spécialisé en soudage.

Photo 30 : Conduites flexibles pré-isolées



Conduites flexibles pré-isolées
Source: Urecon Ltée. (www.urecon.com)

Dans certains cas, des conduites flexibles sont utilisées au lieu de conduites rigides. Elles sont populaires pour de petits réseaux reliant quelques bâtiments et sont pratiques à installer dans des endroits où il faut contourner des obstacles.

5.12 Aspects financiers

Dans cette section, nous examinons brièvement les divers aspects financiers à prendre en considération au moment de l'implantation et du fonctionnement d'un projet de centrale à la biomasse.

D'abord, nous présentons quelques exemples pour illustrer l'ordre de grandeur de l'investissement nécessaire. Ensuite, nous faisons un survol des frais d'exploitation et d'entretien. Nous terminons par un bref survol du centre d'aide à la décision sur les énergies propres RETScreen International qui a développé divers outils d'analyse financière.

5.12.1 Investissement

Un projet clés en main pour une nouvelle chaudière d'une capacité de 600 BHP (environ 6 MW) représente un investissement variant approximativement entre 1 250 000 à 2 500 000 dollars, selon :

- le type et la capacité de la réserve;
- le type de chaudière (à eau chaude, à vapeur (basse ou haute pression));
- les équipements d'épuration des gaz de combustion choisis;
- le niveau d'automatisation du système de contrôle;
- les bâtiments, etc.

Le terrain et son aménagement, les voies d'accès ainsi que, le cas échéant, le réseau de chauffage urbain s'ajoutent ensuite.

Une centrale d'une capacité de 200 BHP nécessite, quant à elle, un investissement de l'ordre de 1 500 000 dollars.

À la lumière de ces deux exemples, on constate que les coûts d'immobilisation d'une installation ne sont pas directement proportionnels à la capacité de production d'énergie. Par conséquent, il est important de déterminer avec exactitude le besoin en énergie à combler.

5.12.2 Frais d'exploitation et d'entretien

Les frais de surveillance sont très variables. Le caloporteur utilisé, la puissance et la pression de fonctionnement de la chaudière sont les critères qui déterminent le mode de surveillance des chaudières prescrit par la Loi sur les mécaniciens de machines fixes³⁴ :

- surveillance conditionnelle;
- surveillance périodique;
- surveillance interrompue;
- surveillance continue.

Le mode de surveillance a un effet direct sur les frais d'exploitation de la centrale, car il détermine le nombre de visites que doit obligatoirement faire un mécanicien pour vérifier l'état et le fonctionnement de l'installation.

34. Tableau *Mode de surveillance* à l'annexe C du [Règlement sur les mécaniciens de machines fixes](#).

Pour des centrales thermiques entre 100 et 600 BHP et pour des chaudières à l'eau chaude ou à la vapeur (basse et haute pression), les modes de surveillance possibles déterminés par la loi sont « conditionnels » ou « périodiques »³⁵.

La surveillance conditionnelle est prévue pour des installations dont la puissance totale n'excède pas la puissance maximale, qui délimite la surveillance conditionnelle comme il est indiqué à l'annexe C du Règlement. Elle n'est pas obligatoire à condition que ces machines fixes ne fassent pas partie d'une installation composée qui, suivant l'article 9, nécessite une surveillance.

La surveillance périodique doit être effectuée quotidiennement par un mécanicien de machines fixes. Quant à l'intervalle maximal entre deux visites consécutives, elle ne doit pas excéder 24 heures.

Le coût d'électricité d'une centrale à la biomasse de 600 BHP peut varier entre 25 000 et 60 000 dollars. Pour une centrale de cette taille, les moteurs de ventilateurs, les pompes hydrauliques, les pompes à caloporteurs, les convoyeurs, les vannes rotatives et autres moteurs ainsi que les accessoires requièrent une puissance installée variant entre 100 et 200 kW. Cette estimation s'appuie sur les hypothèses suivantes :

- la puissance appelée avoisine généralement 60 % de la puissance installée;
- le taux d'utilisation de la centrale se situe entre 75 et 100 %.

En ce qui concerne les frais annuels d'entretien (matériel et main-d'œuvre), ils représentent généralement de 5 à 7 % des investissements mécaniques, selon la grosseur des installations. Pour une petite centrale de 600 BHP, leur part est de 7 % et sont de l'ordre de 100 000 dollars (1,5 million de dollars en éléments mécaniques).

Les coûts d'entretien augmentent avec l'âge des installations. La durée de vie utile d'une centrale est d'environ 30 ans et la première période qui s'étire durant les six ou sept premières années exige moins d'efforts d'entretien. Les composants qui requièrent une attention plus régulière sont :

- ↻ les convoyeurs à biomasse;
- ↻ les convoyeurs à cendres;
- ↻ les vannes rotatives;
- ↻ les racleurs;
- ↻ les pièces de la grille de la chambre de combustion (après six ou sept ans d'usage);
- ↻ certains composants du multicyclone;
- ↻ les pompes et jets du laveur de gaz;
- ↻ les divers contrôles (senseurs).

Outre ces composants, l'achat de produits chimiques pour le traitement d'eau utilisée dans la chaudière représente une somme avoisinant les 25 000 \$/an, lorsque le circuit est bien étanche. Les frais sont plus importants s'il y a des fuites d'eau ou de vapeur.

35. Surveillance conditionnelle : La surveillance des installations dont la puissance totale n'excède pas la puissance maximale, qui délimite la surveillance conditionnelle comme il est indiqué à l'annexe C du Règlement, n'est pas obligatoire à condition que ces machines fixes ne fassent pas partie d'une installation composée qui, suivant l'article 9, nécessite une surveillance.

Surveillance périodique : La surveillance périodique doit être effectuée quotidiennement par un mécanicien de machines fixes et l'intervalle maximal entre deux visites consécutives ne doit pas excéder 24 heures.

5.12.3 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 - 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 :

- ✦ développant 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 mis au point 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 gaz à effet de serre (GES). On peut y recourir pour des applications à grande échelle comportant des regroupements de bâtiments et pour des applications plus modestes comme des bâtiments individuels.

Ce modèle peut servir à évaluer trois types de systèmes de chauffage de base :

- la récupération thermique sur des pertes de chaleur;
- la biomasse;
- une combinaison de ces deux systèmes.

Il permet aussi d'inclure un système de chauffage de pointe et d'analyser une large gamme de systèmes avec ou sans réseau de chauffage urbain.

La version 3 du modèle d'analyse de projets « Chauffage à la biomasse », mise à jour en août 2005, est un outil de référence important qui peut être téléchargé gratuitement à partir du site www.etscreen.net.

6. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Actuellement, les pays scandinaves sont les leaders dans la recherche sur le développement d'équipements, de systèmes et pratiques intégrés de récupération, transport, entreposage et fragmentation de la biomasse forestière. De façon générale, la production de la bioénergie progresse beaucoup en Europe. Aux États-Unis, c'est l'industrie des biocarburants qui se développe rapidement. L'intérêt pour la production d'énergie à partir de la biomasse forestière résiduelle est grandissant, plus particulièrement au Québec. Cette situation est exacerbée avivée par la hausse marquée du coût des carburants fossiles, par les préoccupations relatives aux émissions de gaz à effet de serre et aux changements climatiques ainsi que par la réduction de l'approvisionnement en fibres.

Plusieurs méthodes de récupération de la biomasse résiduelle provenant de la récolte forestière ont été colligées dans cette publication. Pour les feuillus comme pour les résineux, il semble que la méthode la plus appropriée serait la fragmentation en bordure de route ou sur les parterres de coupe, selon le type et la qualité du peuplement récolté. La biomasse fragmentée obtenue pourrait ensuite être transportée vers un centre d'entreposage intermédiaire ou livrée directement chez l'utilisateur à l'aide de remorques à copeaux à toit ouvert. Une autre méthode qui est en développement consisterait à compacter la biomasse en forêt et à l'acheminer vers un centre de tri afin d'obtenir une valorisation optimale. Pour les résineux, le système de récupération par fagoteuse semble également intéressant. La mise en fagots n'entrave pas le séchage et permet à la biomasse de conserver sa valeur calorifique plus longtemps que la biomasse fragmentée. De plus, le transport des fagots ne requiert pas d'équipements spéciaux.

Toutefois, seule l'étude exhaustive de projets précis, en contexte québécois, permettra d'établir la chaîne d'approvisionnement optimale à mettre en place, de choisir les équipements adéquats et d'en déterminer la rentabilité économique.

Les méthodes de récupération répertoriées ont permis de distinguer plusieurs types d'équipements qui peuvent servir à récupérer, préparer et transporter la biomasse résiduelle vers l'utilisateur final : récolteuse-déchiqueteuse, récolteuse-fagoteuse, récolteur-compacteur, porteur forestier, déchiqueteur, broyeur, chargeuse, semi-remorque, remorque à copeaux, etc.

Que ce soit avec une déchiqueteuse ou un broyeur, la fragmentation de la biomasse peut être réalisée en forêt, dans un centre de traitement intermédiaire ou encore à la centrale thermique. Cependant, en raison de la dégradation fongique et bactérienne accentuée par la fragmentation et des conséquences qui y sont associées (réduction du contenu énergétique de la biomasse, danger potentiel d'auto-ignition et effets négatifs de la libération de spores sur la santé des travailleurs), les opérations de broyage ou de déchiquetage devraient se faire le plus tard possible dans la chaîne d'approvisionnement. De plus, dans la majorité des cas, pour augmenter l'efficacité du transport et le contenu en énergie de la biomasse, il est souhaitable de laisser sécher la biomasse résiduelle quelques semaines en forêt, avant de la fragmenter et de la transporter.

Bien que la récupération de la biomasse forestière résiduelle à des fins énergétiques puisse accroître la complexité des opérations forestières, elle peut contribuer à en accentuer l'efficacité globale. Le fait d'effectuer des opérations intégrées permet de hausser l'intérêt économique de la récupération. Toutefois, la sélection de la logistique d'approvisionnement et des équipements appropriés dépendra, entre autres, des méthodes de récolte forestière utilisées dans une aire donnée, des essences forestières en présence, de la qualité du peuplement, de la topographie et de la nature du terrain, de la distance entre le site de récupération et l'utilisateur final, du nombre et de la taille des utilisateurs finaux, etc.

Sous l'angle de la combustion, les systèmes à la biomasse forestière résiduelle sont plus complexes que ceux fonctionnant aux sciures et rabotures et aux combustibles fossiles. Ils requièrent une sélection appropriée et une intégration rigoureuse des différents composants afin d'obtenir une performance maximale. Compte tenu des nombreux facteurs à considérer (techniques, logistiques, économiques et sociaux), le promoteur non expérimenté aura avantage à faire appel à des experts pour être conseillé judicieusement dans l'élaboration et la réalisation de son projet.

De surcroît, la qualité des biocombustibles n'étant pas encore assujettie à des normes nationales, elle peut varier considérablement et affecter sensiblement le fonctionnement et la performance des systèmes de combustion. On n'a qu'à penser, entre autres, aux impacts du taux d'humidité ou de la granulométrie du biocombustible sur la constance de son transfert vers la chambre de combustion. Une attention particulière doit être apportée à l'approvisionnement. Les exigences concernant le mode et la fréquence de livraison, le taux d'humidité et la granulométrie du biocombustible, les essences, la teneur en cendres, etc. devraient être traduites, en termes clairs, dans le cadre d'un contrat avec les fournisseurs.

En ce qui concerne la taille, les centrales à la biomasse sont plus volumineuses que les systèmes à combustibles fossiles ou à l'électricité de puissance comparable. Pour obtenir une installation efficace assortie à une intégration harmonieuse dans l'environnement, il conviendra de bien sélectionner les composants (particulièrement le type de réserve de biocombustible) et de planifier soigneusement les voies d'accès et la zone de déchargement.



Les coûts d'acquisition, de construction et d'exploitation d'une centrale fonctionnant à la biomasse résiduelle sont élevés, si on les compare à ceux d'une installation de même capacité, utilisant l'électricité ou des combustibles fossiles. Par contre, il est important de considérer que, généralement, la rentabilité d'une centrale s'accroît avec sa capacité. Dans un contexte où on prévoit une augmentation sensible du coût des combustibles fossiles et de l'électricité, la biomasse forestière résiduelle apparaît comme une option qui permettra de réduire les coûts liés à l'énergie, année après année.

Actuellement, un peu plus de 5 %³⁶ des besoins énergétiques canadiens sont comblés par des biocombustibles renouvelables (sous-produits de la transformation du bois, biomasse forestière résiduelle, résidus agricoles, etc.). Pourtant, l'usage de la biomasse forestière résiduelle à des fins énergétiques (thermiques) présente plusieurs avantages indéniables, pour l'environnement, la société et l'industrie. Plusieurs éléments contextuels pourraient favoriser son déploiement :

⇒ Substitution des sciures et planures pour produire l'énergie requise par les séchoirs à bois

Dans un contexte de rareté des ressources et de réduction de l'approvisionnement en fibres ligneuses, les biocombustibles forestiers représentent une opportunité qui pourrait permettre de subvenir à la demande énergétique (thermique) des scieries en remplacement des sciures et rabotures. Ainsi, des volumes appréciables de sciures et rabotures pourraient être libérés pour être utilisés dans la fabrication de produits à valeur ajoutée par l'industrie des pâtes et papiers et des panneaux.

⇒ Abrogation du tarif bi-énergie BT d'Hydro-Québec

L'abrogation du tarif BT, le 1^{er} avril 2006, a un impact important sur la facture énergétique de milliers de bâtiments institutionnels au Québec qui utilisent l'électricité comme principale source d'énergie. La biomasse s'avère être une option potentiellement intéressante, surtout dans les localités proches des sources d'approvisionnement où plusieurs bâtiments tels églises, écoles, centres communautaires, édifices municipaux et campus sont situés près les uns des autres, favorisant l'établissement d'un réseau de chaleur. Ainsi, la répartition de l'amortissement des coûts de la centrale et du réseau se fait entre plusieurs utilisateurs.

⇒ Recherche de solutions pour combler des besoins régionaux et épisodiques d'Hydro-Québec

Le manque d'électricité appréhendé à court terme dans certaines régions, des manques de puissance en période de pointe qui sont comblés par des achats très dispendieux jumelés au potentiel régional et local de la filière bois énergie favorisent la possibilité d'implanter des centrales à la biomasse de tailles variables en fonction des besoins spécifiques.

La production décentralisée d'énergie à l'aide de centrales à la biomasse forestière permettrait ainsi de réduire la charge sur le réseau de transport et les équipements de production utilisés (barrages, champs éoliens, etc.) par Hydro-Québec. Ce faisant, la société d'État pourrait, dans certains cas, retarder des investissements destinés à la mise à niveau ou à la modernisation de parties de son réseau ou encore à la construction d'équipements de production et réaliser ainsi des économies.

⇒ Sensibilité de la population à la question environnementale et au Protocole de Kyoto

Le gaz carbonique (CO₂) dégagé au cours de la décomposition ou de la combustion du bois est compensé par celui fixé par les arbres pendant leur croissance, de telle sorte que la combustion du bois ne participe pas à l'accentuation de l'effet de serre. Donc, en substituant les combustibles fossiles par de la biomasse forestière résiduelle, l'émission de gaz à effet de serre (GES) peut être réduite, ce qui constitue un appui direct à l'atteinte des objectifs canadiens en rapport avec le Protocole de Kyoto.

36. http://www2.nrcan.gc.ca/es/ener2000/online/html/chap3f_f.cfm

La biomasse forestière résiduelle est une énergie renouvelable et locale qui n'épuise pas les ressources naturelles. En outre, sa récupération, son transport et sa préparation favorisent le développement de l'économie locale en créant de nouvelles possibilités d'embauche, tout en contribuant à réduire la dépendance énergétique nationale.

De plus, comparativement à la production d'énergie à partir des combustibles fossiles, celle des biocombustibles se traduit par une réduction des émissions d'autres gaz : les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO) et les hydrocarbures.

Par ailleurs, il existe plusieurs obstacles qui s'opposent à une utilisation plus large du bois énergie. Ils sont de trois ordres :

- Inhérents à l'opinion publique;
- relatifs au marché;
- liés aux technologies.

Dans le cas des obstacles inhérents à l'opinion publique, soulignons :

- ↻ la méconnaissance de la population quant à l'impact à moyen et long terme de la soustraction de la biomasse résiduelle sur la productivité et la vitalité de la forêt.
- ↻ l'absence de normes de qualité sur les biocombustibles.
- ↻ les inquiétudes quant aux émissions des centrales à la biomasse qui pourraient utiliser des sous-produits de la « forêt urbaine » (débris de construction et démolition, palettes de manutention, etc.).
- ↻ les craintes quant à l'impact du trafic des camions de livraison de biomasse dans les municipalités.

Les obstacles relatifs au marché sont très nombreux. Mentionnons entre autres :

- ↻ les coûts encore relativement abordables des combustibles fossiles en Amérique du Nord.
- ↻ les coûts présumés élevés associés à la récupération et à la valorisation énergétique de la biomasse forestière résiduelle en raison de la dispersion des sources d'approvisionnement.
- ↻ le manque de connaissance sur les modèles d'affaires et les stratégies commerciales à adopter pour assurer la pérennité de cette industrie émergente au Québec.
- ↻ le sous-développement de la chaîne d'approvisionnement et le manque de concertation entre les différents intervenants (industries forestières, municipalités, fournisseurs de technologies, utilisateurs potentiels et gouvernements).
- ↻ le risque éventuel de concurrence entre le bois énergie et l'industrie des panneaux³⁷.
- ↻ la situation financière précaire de l'industrie forestière, première utilisatrice potentielle des biocombustibles.

Finalement, parmi les obstacles liés à la technologie, notons :

- ↻ les coûts en immobilisation plus importants que ceux requis pour produire et utiliser l'énergie à partir de combustibles fossiles ou d'électricité et donc des retours sur l'investissement plus longs;
- ↻ la filière technologique très peu développée.

37. *Le bois-énergie va-t-il grignoter les panneaux à base de bois?* Le Bois International , 26 novembre 2005, p.8-9.

Malgré ces obstacles, il est intéressant de constater qu'à l'exemple des pays scandinaves quelques centrales à la biomasse ont été construites au Canada. Des petites unités de production de vapeur produisant 5 MW et moins d'énergie ont été installées, afin de desservir de petites communautés, pour, entre autres, le chauffage de bâtiments publics.

Par ailleurs, les organismes gouvernementaux³⁸, les associations sectorielles et les centres de recherche travaillent à créer et à mettre en place des conditions et des outils favorisant le déploiement de la filière biomasse forestière. Pour ce faire, plusieurs mesures incitatives sont en voie de développement au Canada et au Québec :

- des programmes d'aide financière;
- des encouragements fiscaux.

Plusieurs programmes incitatifs ont récemment été créés pour favoriser l'éclosion de projets de production d'énergies renouvelables. À titre d'exemple, en voici quelques-uns :

➤ *Programme d'encouragement à la production d'énergie renouvelable (EPER)* ³⁹

Dans le budget 2005, lors de la première phase du *Plan sur le changement climatique du Canada*, le *Projet vert*⁴⁰, présenté en avril 2005, le gouvernement fédéral a annoncé la création d'un programme d'encouragement à la production d'énergie renouvelable pour favoriser l'installation d'une nouvelle capacité de production allant jusqu'à 1 500 MW d'énergie renouvelable autre que l'énergie éolienne (les petites centrales hydroélectriques, la biomasse et l'énergie marémotrice, entre autres).

Les paiements accordés s'élèvent à un cent par kilowatt-heure de production pour les dix premières années d'exploitation dans le cas de projets admissibles mis en service après le 31 mars 2006 et avant le 1^{er} avril 2011. Le budget 2005 prévoit 97 millions de dollars au cours des cinq prochaines années et un total de 886 millions de dollars sur 15 ans pour l'encouragement à la production d'énergie renouvelable.

Notons que ce programme ainsi que les encouragements fiscaux que propose d'employer le gouvernement fédéral afin de promouvoir les énergies renouvelables pourraient, conjugués à d'autres initiatives telles que des mesures provinciales auxiliaires, permettre de réduire les émissions de GES d'environ 15 Mt par année. Malgré cela, compte tenu du système de compensations, des incitatifs supplémentaires pourraient être nécessaires pour atteindre la cible de 15 Mt.

38. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ministère des Finances, Agence de l'efficacité énergétique, Hydro-Québec, ministère des Affaires municipales et des Régions et leurs vis-à-vis fédéraux.

39. Programme EPER : www2.nrcan.gc.ca/es/erb/erb/francais/view.asp?x=681 et *Biomass and the Renewable Power Production Incentive* (RPPI), Al Clark, Atelier Cambio, Québec, 8 septembre 2005.

40. Projet vert : http://www.changementsclimatiques.gc.ca/engagements_kyoto/default.asp.

➤ *Programme d'encouragement aux systèmes d'énergies renouvelables (PENSER)*⁴¹

Dans le cadre du *PENSER*, les clients industriels peuvent recevoir un remboursement lorsqu'ils installent un système admissible de combustion à la biomasse qui a pour but de chauffer de l'air, de l'eau, et lorsqu'il est utilisé dans les processus industriels. Le pourcentage de rabais est de 15 % du coût du projet jusqu'au 31 mars 2006 et de 10 % entre le 1^{er} avril 2006 et le 31 mars 2007.

Dans ce programme, les systèmes de combustion de la biomasse admissibles doivent être à haut rendement et à faibles émissions, et d'une capacité comprise entre 75 kW et 2 MW. La page Web www.retscreen.net/links/calendrier.html donne les dates des séminaires de formation *RETSscreen* (administré par le Centre de la technologie de l'énergie Canmet de Varennes (CTEC)) portant sur l'évaluation des possibilités des projets d'énergies propres du programme *PENSER*.

➤ *Fonds municipal vert (FMV)*⁴²

Le Fonds municipal vert (FMV) a été créé en 2000 à partir d'une dotation du gouvernement fédéral pour le versement de subventions et de prêts dans le but de soutenir des projets environnementaux. Une entente, conclue le 22 septembre 2003 entre le ministre des Affaires municipales et des Régions, le ministre délégué aux Affaires intergouvernementales canadiennes et aux Affaires autochtones et la Fédération canadienne des municipalités (FCM), rend disponibles aux municipalités québécoises des subventions ou des prêts en provenance du Fonds municipal vert pour le financement de projets d'innovation environnementale. Cette entente se termine le 31 mars 2007.

Des encouragements fiscaux pour les investissements d'entreprises dans l'économie d'énergie et les énergies renouvelables⁴³ ont été mis de l'avant :

➤ *Augmentation du taux de la déduction pour amortissement (DPA)*

Cet encouragement couvre les systèmes de production d'énergie par combustion de déchets spécifiques pour les procédés industriels (ex. : énergie requise par les séchoirs à bois).

Dans le budget fédéral 2005, une nouvelle hausse du taux est proposée, selon la méthode de l'amortissement dégressif. Il passera de 30 % à 50 % pour certains types de matériel de cogénération à haute efficacité et pour la gamme complète de matériel de production d'énergies renouvelables déjà visé par la catégorie 43.1 (de l'annexe II de la Loi de l'impôt sur le revenu), à condition qu'ils aient été achetés après le 22 février 2005 et avant 2012.

41. Programme PENSER : <http://www2.nrcan.gc.ca/es/erb/erb/francais/View.asp?x=455>.

42. Fonds municipal vert : http://www.mamr.gouv.qc.ca/infrastructures/infr_fond.asp, M. Alain Lavoie, ministère des Affaires municipales et des Régions, (418) 691-2005, poste 3010, http://www.fcm.ca/french/gmf_f/gmf-f.html.

43. Encouragements fiscaux fédéraux : <http://www2.nrcan.gc.ca/es/erb/erb/francais/view.asp?x=469&oid=111>, M^{me} Michèle Brown de la Division des programmes industriels de Ressources naturelles Canada (613) 996-0890 et « Catégorie 43.1 – Guide technique » (édition 1998 et errata novembre 2005) et http://www2.nrcan.gc.ca/es/erb/CMFiles/M92_159_1998_f164QVO-732002-711.pdf.

➤ *Frais liés aux énergies renouvelables et à l'économie d'énergie au Canada (FEREEC)*

Le régime FEREEC vise à favoriser l'investissement dans des projets portant sur les énergies renouvelables et les économies d'énergie et à ainsi promouvoir le développement durable. Les FEREEC représentent les dépenses incorporelles associées à la phase préparatoire des travaux (dépenses liées aux études de pré faisabilité, aux études de faisabilité, etc.). Au terme du régime, les dépenses sont entièrement déductibles sur une base courante.

À l'échelle internationale, une mesure concernant la mise en place d'un système de « bourses du carbone » influencera les comportements des corporations. Une des décisions adoptées lors de la Conférence de l'ONU sur les changements climatiques tenue à Montréal, en décembre 2005, concerne les échanges de carbone. Retombée directe du Protocole de Kyoto, ce mécanisme, par l'intermédiaire des « bourses du carbone », permettra aux pays qui surpassent leurs objectifs en matière de réduction d'émissions de GES de vendre des crédits d'émissions aux pays plus pollueurs. Le but des bourses du carbone est de récompenser les entreprises qui investissent dans les technologies propres en leur permettant de gagner de l'argent par la vente de leurs crédits. À l'opposé, celles qui dépassent leurs quotas se verront obliger de payer pour acquérir des droits de polluer.

En attendant que ce marché international soit mis en place en 2008, plusieurs marchés nationaux ont déjà vu le jour dans le monde et connaissent un essor remarquable. En Australie, aux États-Unis et en Europe, surtout, ce mouvement est désormais bien engagé (il y a déjà sept bourses du carbone en Europe : France, Hollande, Allemagne, etc.)⁴⁴. Malheureusement, le Canada accuse du retard à cet égard et les bourses canadiennes verront le jour dès que le gouvernement fédéral aura établi un cadre réglementaire précis, ce qui devrait se faire en deuxième moitié de 2006 ou en 2007.

Pour assurer un déploiement optimal de la filière biomasse forestière résiduelle, il est primordial de créer un réseau de connaissances rassemblant les principaux intervenants de la chaîne de valeur de la biomasse forestière résiduelle, des approvisionneurs de biomasse aux utilisateurs en passant par les fournisseurs de technologies (de la récupération de la biomasse à la production d'énergie), les bureaux d'étude, les experts gouvernementaux et municipaux et autres spécialistes engagés. Ce réseau aurait pour but :

- d'élargir et de transférer les connaissances sur :
 - les différents schémas d'approvisionnement adaptés à la réalité québécoise et les coûts qui y sont associés (diffuser de façon plus élargie les résultats des études réalisées par FERIC qui sont liées à la logistique d'approvisionnement des biocombustibles);
 - les modèles d'affaires à mettre en place et les stratégies commerciales à adopter dans cette industrie.
- d'élaborer les spécifications techniques relatives aux biocombustibles afin de pouvoir les commercialiser sur la base de standards qui définissent de manière objective leur qualité.

44. Les bourses du carbone : http://www.climatechange.gc.ca/francais/offsets/offset_credit.asp, <http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Politique/2005/12/05/002-bourses-du-carbone.shtml> et <http://carbonfinance.org/>.

Par la suite, il faudrait faire connaître davantage la filière aux opérateurs et aux usagers potentiels (du monde industriel et municipal) par la présentation d'ateliers comparables à celui préparé et présenté par CANBIO, « *Bioénergie - Les opportunités des résidus de la récolte forestière* », le 8 septembre 2005 à Québec. La mise en place de vitrines technologiques, plates-formes de démonstration pour encourager le déploiement des technologies, devrait être encouragée. À cet égard, les bâtiments gouvernementaux pourraient être les infrastructures d'accueil de ces technologies.

Toutefois, tout projet de valorisation énergétique de biomasse ligneuse d'envergure ne doit s'envisager qu'en concertation étroite avec la filière bois à l'échelle régionale parce que ces projets peuvent entrer en concurrence avec d'autres usages industriels, tels que papeterie et panneaux, qui sont très sensibles au coût de leur approvisionnement.

En plus de cet ensemble d'incitatifs, il faudra sensibiliser le public aux bénéfices de la production d'énergie à partir de biomasse qui permet la valorisation dans des conditions de performances énergétiques et écologiques optimales. Cela est d'autant plus important que le public québécois est déjà particulièrement sensible aux initiatives respectant l'environnement.

Bien que l'investissement initial ne favorise pas en général le bois énergie, une approche de coût global comprenant les coûts d'investissement, de fonctionnement et d'entretien plaide en sa faveur. À cela s'ajoutent la création d'emplois et la valorisation des ressources forestières locales. Ce constat ouvre de nouvelles perspectives d'utilisation avec les réseaux de chaleur des collectivités, notamment pour les communautés en milieu rural et dans les régions ressources.

7. COORDONNÉES DES FOURNISSEURS D'ÉQUIPEMENTS

7.1 Récupération et préparation

✦ **ÉQUIPEMENTS SIGMA INC.**
Distributeur Timberjack (une compagnie John Deere)
Monsieur André Fortin
5280, boul. Hamel Ouest
Québec (QC) G2E 2G9
Téléphone : 418 872-2885
Télécopieur : 418 842-4319
Courriel : andref@eqsigma.ca

✦ **KOMATSU FOREST/VALMET**
Monsieur Daniel Lahaie, dir. ventes
213, Castle
Beaconsfield (QC) H9W 2V7
Téléphone : 514 426-3209
Télécopieur : 514 426- 3276
Cellulaire : 514 914-4118
Courriel : daniel.lahaie@partekforest.com

✦ **PINOX OY**
Pinotie 3
FIN - 33470 YLÖJÄRVI - FINLAND
Téléphone : + 358 3 3125 1700
Télécopieur : +358 3 3125 1750
Courriel : info@pinox.com
Site Web : www.pinox.com

✦ **PRODUITS FORESTIERS CYCLOFOR INC.**
Monsieur Daniel Tardif
1067, Route 393
Pamarolle (QC) J0Z 3C0
Téléphone : 819 333-3838, poste 221
Cellulaire : 819 333-2121
Courriel : danieltardif@cyclofor.com

✦ **BRUKS KLÖCKNER (AUPARAVANT BRUKS BIO TECH AB)**
Monsieur John E. Eriksson
Box 46 - SE-82010 Arbrå
Sweden
Téléphone : +46-278-64.25.26
Télécopieur : +46-278-64.25.20
Courriel : j.e.eriksson@bruks.com
Site Web : www.bruks-klockner.com

↗ **DISTRIBUTION CARDINAL INC.**

Distributeur Morbark
Monsieur Denis Maheux
1165, rue Valet
Ancienne-Lorette (QC) G2E 5T5
Téléphone : 418 871-6613 ou 1 800 463-4862
Télécopieur : 418 871-8567
Site Web : www.morbark.com

↗ **DOPPSTADT CANADA INC.**

Monsieur André Heine
1030, boul. Port Royal
Bécancour (QC) G9H 1X6
Téléphone : 1 877 367-7782
Cellulaire : 450 771-8114
Courriel : andreh@lazure.qc.ca
Site Web : www.doppstadtcanada.com

↗ **COOPÉRATIVE FÉDÉRÉE DE QUÉBEC**

Distributeur Kesla Oyj
Monsieur Roger Côté, dir. ventes
4225, Saint-Joseph
Trois-Rivières (QC) G9A 5L9
Téléphone : 819 379-8551
Télécopieur : 819 379-6912
Site Web : www.coopfed.qc.ca

7.2 Transport et manutention

Tableau 2 : Transport par camions de produits forestiers, local et longue distance

Compagnie ⁴⁵	Localisation	Transport	
		Local	Longue distance
Réal Hébert Vente & Transport inc.	Wickham	X	X
Courtiers en Transport G.M.R. inc.	Saint-Romuald	X	X
Dépannage Routier S.L. inc.	Saint-Zacharie		X
Dumais & Fils inc.	Dolbeau-Mistassini	X	X
Entrepôts M. Charrette inc. (Les) et Produits Forestiers L.F.A. inc.	Boisbriand		X
Entreprises Forestières D.T. St-Thomas Didyme inc.	Saint-Thomas-Didyme	X	X
Entreprises Gérald Ouellet inc.	Chibougamau	X	X
Krystel Transport/Div. de 2426-4749 Québec inc.	Mont-Saint-Hilaire		X
Léo Dussault Transport Itée	Cap-Santé	X	X
Marcel Beloin inc.	Saint-Malo		X
Menaco Transport/Div. de 98178 Canada inc.	Hemmingford	X	
Patry Transport enr. (Rock & Pauline)/Div. de 2969-6366 Québec inc.	Maniwaki	X	
Philippe Day inc.	Nouvelle	X	X
Robichaud inc. (Paul E.)	Saint-Aubert		X
Séchoirs Côté inc.	Scott	X	
Services Nolitrex inc.	Jonquière	X	X
Transbois (Canada) Itée	Saint-Pamphile	X	X
Transport Alain Landry inc.	Saint-Noël	X	X
Transport A.R.D. Lavoie inc.	Rivière-Bleue	X	
Transport Baie-Comeau inc.	Baie-Comeau	X	X
Transport Besner inc.	Saint-Nicolas		X
Transport Clément Dumont inc.	Notre-Dame-des-Neiges		X
Transport Copeaux R.M. inc.	Bromptonville	X	X
Transport de Produits Forestiers C.D.L. Itée	Donnacona		X
Transport Doucet et Fils Mistassini inc.	Dolbeau-Mistassini	X	X
Transport en Vrac Phil Itée	Donnacona	X	X
Transport F. Boisvert inc.	Val-d'Or		X
Transport G.M.S. Ménard inc.	Saint-Nicolas	X	X
Transport Julien Marceau inc.	Girardville	X	X
Transport L.R.L. inc.	Duhamel-Ouest 1 succursale, Kipawa	X	X
Transport Matte Itée	Donnacona		X

45. Pour obtenir les coordonnées complètes, consultez le répertoire iCRIQ à l'adresse www.icriq.com.

Tableau 2 (suite) : Transport par camions de produits forestiers, local et longue distance

Compagnie ⁴⁶	Localisation	Transport	
		Local	Longue distance
Transport Maurice Richard inc.	Saint-Michel-du-Squatec	X	
Transport Maybois inc.	Val-d'Or	X	X
Transport Michael Ritchie enr.	New Richmond	X	X
Transport Robert (1973) ltée	Boucherville	X	X
Transports Delson ltée	Delson	X	X
Transports Hardy & Nantel inc.	McMasterville	X	
Transports M. Charette inc.	Joliette		X
9018-4037 Québec inc.	Saint-Félicien		X

Source : Répertoire des produits disponibles au Québec (iCRIQ.com) – 2005.

Tableau 3 : Remorques ou semi-remorques pour le transport du bois ou des copeaux - Fabricants

Compagnie ⁴⁷	Localisation	Pour le transport	
		du bois	de copeaux
Trailex Remorque Rimouski inc.	Sainte-Blandine	X	X
ABS Remorques inc.	Asbestos	X	
Atelier Chénier enr.	Tingwick	X	
Atelier d'usinage et de soudure Val-D'or inc.	Val-d'Or	X	
Atelier Ste-Émilie inc.	Sainte-Émélie-de-l'Énergie	X	
Berfor/Div. de Rad Technologies inc.	Thetford Mines	X	
Centre du Camion St-Lambert/Div. de Centre Métallurgique St-Lambert inc.	Saint-Lambert-de-Lauzon	X	
Deloupe inc.	Saint-Évariste-de-Forsyth	X	X
Fericar inc.	Chambord		X
Forge Calixa-Lavallée enr.	Calixa-Lavallée	X	
Garage Alain Bernier/Div. de 9087-8422 Québec inc.	Senneterre	X	
Manac inc.	Saint-Georges 3 Succursale(s) : Boucherville, Saint-Nicolas et Trois-Rivières	X	X
Métal A.P. (1997) inc.	Saint-Michel-du-Squatec		
Remorques J.M.S. inc.	L'Islet		
Témisko (1983) inc.	Notre-Dame-du-Nord		X

Source : Répertoire des produits disponibles au Québec (iCRIQ.com) – 2005.

46. Pour obtenir les coordonnées complètes, consultez le répertoire iCRIQ à l'adresse www.icriq.com.

47. Pour obtenir les coordonnées complètes, consultez le répertoire iCRIQ à l'adresse www.icriq.com.

Tableau 4 : Chargeuses à grappins pour remorques forestières, chargeuses forestières, grappins et pinces mécanisés - Fabricants

Compagnie ⁴⁸	Localisation	Chargeuses à grappins pour remorques forestières	Chargeuses forestières	Grappins et pinces mécanisés
Arbro-Fer inc.	Roberval		X	
Avant-Garde Technologie Cfma inc.	Trois-Rivières			X
Berfor/Div. de Rad Technologies inc.	Thetford Mines		X	
Chargeuses Ed-Vic inc.	Thetford Mines	X		
Conception Metavic inc.	Saint-Pierre-Baptiste	X		
Denharco inc.	Saint-Hyacinthe			X
Élingues & Câbles Hercules inc.	Pointe-Claire 1 Succursale : Chicoutimi			X
Entreprises D.M. (Les)/Div. de 9143-4316 Québec inc.	Macamic			X
Fabrication S. Houle inc.	Saint-Germain-de-Grantham			X
Fabrimac 2000/Div. de 3391612 Canada inc.	Barraute			X
Garier inc.	Mirabel			X
Industries Tanguay/Div. du Groupe Canam Manac inc.	Saint-Prime 2 Succursale(s) : Amos, Saint-Nicolas		X	X
Mecnov inc.	Lévis			X
Novatek Laser inc.	Chesterville	X		
R.N.P. Industries inc.	Boisbriand			X
Remorques J.M.S. inc.	L'Islet	X		
Rotobec inc.	Sainte-Justine		X	X
Vallée inc.	Saint-Alban			X

Source : Répertoire des produits disponibles au Québec (iCRIQ.com) – 2005.

48. Pour obtenir les coordonnées complètes, consultez le répertoire iCRIQ à l'adresse www.icriq.com.

7.3 Production et distribution d'énergie

Tableau 5 : Système de combustion et chaudières à résidus de bois et écorces (commercial ou industriel), canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques - Fabricants

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
CANADA			
ABGG Technologies inc. Gérard Gosselin 8875, boul. Henri-Bourassa Charlesbourg (QC) G1G 4E4 Tél. : 418 621-8890 Télec. : 418 621-8891 Courriel : info@abgg.ca Site Web : www.abgg.ca Représentant de Saxlund International http://www.saxlund-international.de/uk/sect01/seite011.htm	X		X
Altek Power Systems inc. 1008 1708 Dolphin Ave. Kelowna (BC) V1Y 9S4 Tél. : 250 717-3707 Télec. : 250 717-3708 Site Web : http://altekpower.com	X		
Bâtiments d'acier Finar inc. 790, chemin Olivier Saint-Nicolas (QC) G7A 2N1 Tél. : 418 836-6411 Télec. : 418 836-6444 Site Web : www.finar.com			X
Bouilloire Falmecc inc. Monsieur Claude Asselin 995, avenue Bombardier Alma (QC) G8B 6H2 Tél. : 418 662-3663 Télec. : 418 662-5787 Site Web : www.falmecc.qc.ca	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Brûleurs Coen Canada inc. (Les) Monsieur Christian Roy 226, rue Roy Saint-Eustache (QC) J7R 5R6 Tél. : 450 472-7922 Téléc. : 450 472-3350 Courriel : coenCanada@coen.com Site Web : www.coen.com	X		
Cathild inc. Monsieur Daniel Rondeau 975, boul. Industriel Est Victoriaville (QC) G6T 1T8 Tél. : 819 752-3757 Téléc. : 819 752-5648 Courriel : contact@cathild-inc.com Site Web : www.cathild-inc.com	X		X
Combustion Expert inc. Monsieur Réjean Longpré 405, rue Dessureault Trois-Rivières (QC) G8T 2L8 Tél. : 819 379-2954 Téléc. : 819 379-5691 Courriel : info@combustionexpert.com Site Web : www.combustionexpert.com	X		
CSH Contrôle & combustion Monsieur Christian Niedzwiedz 750, boul. Industriel Est Victoriaville (QC) G6T 1S6 Tél. : 819 752-7145 Téléc. : 819 752-3226 Courriel : csH@groupepcsh.com Site Web : www.groupepcsh.com	X		
Groupe Simoneau inc. Madame Nancy Simoneau 1541, rue De Coulomb Boucherville (QC) J4B 8C5 Tél. : 450 641-9140 Téléc. : 450 641-9141 Site Web : www.bouilloires.com	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Grove Wood Heating, Inc. Pleasant Grove (IPE) C0A 1P0 Tél. : 902 672-2090	X		
H.C. Vidal Itée Monsieur Christian Vidal 5700, rue Philippe-Turcot Montréal (QC) H4C 1V6 Tél. : 514 937-6187 Télec. : 514 937-6715 Courriel : hcvidal@qc.aira.com Site Web : www.hcvidal.com	X		
Isotex-Pro International inc. (IPI) Madame Marie-Katelyne Demers 460, rue Perreault Saint-Romuald (QC) G6W 7V6 Tél. : 418 839-6776 Télec. : 418 839-7945 Courriel : info@ipiinter.com Site Web : www.ipiinter.com		X	
KMW Biomass Energy Technology Monsieur Eril Bertil Rosen Monsieur Richard Lépine 3330 White Oak Road London (ON) N6E 1L8 Tél. : 519 686-1771 Télec. : 519 686-1132 Courriel : info@kmwenergy.com Site Web : www.kmwenergy.com	X		X
Métal Sartigan Monsieur Stéphane Couture 1000, 40 ^e Rue Saint-Georges (QC) G5Y 6V2 Tél. : 1 888 865-2284 Télec. : 418 228-1465 Site Web : www.metalsartigan.com			X

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Silo J.M. Lambert inc. Monsieur François Dumont 4250, Vachon Drummondville (QC) J2B 6V4 Tél. : 819 474-6989 Téléc. : 819 474-6990 Courriel : info@silojmlambert.com Site Web : www.silojmlambert.com			X
Stoncoénergie Bouilloire Système inc. Monsieur Gaston Fréchette 1778, chemin du Fleuve Saint-Romuald (QC) G6W 1Z8 Tél. : 418 834-0259 Téléc. : 418 834-0223 Courriel : stoncoenergie@qc.aira.com	X		
Transfab Énergie inc. Monsieur Pierre Juteau 760, chemin Olivier Saint-Nicolas (QC) G7A 2N2 Tél. : 418 836-4242 Cell. : 418 933-0947 Téléc. : 418 836-2570 Courriel : info@transfab.com Site Web : www.transfab.com	X		X
Urecon Itée Monsieur Alain Corbeil Monsieur Jean Laganière (cell. : 514 242-5788) 1800, avenue Bédard Saint-Lazare (QC) J7T 2G4 Tél. : 450 455-0961 Téléc. : 450 455-0350 Courriel : urecon@urecon.com Site Web : www.urecon.com , www.logstor.com		X	

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Wellons FEI Corp. Jean Renaud 2155, rue Bombardier Sainte-Julie (QC) J3E 2J9 Tél. : 450 922-3117 Cell. : 514 949-2208 Télec. : 450 922-4885 Courriel : info@wellonsfei.ca Site Web : www.wellonsfei.ca , www.wellons.com	X		X
INTERNATIONAL			
ÉTATS-UNIS			
Advanced Recycling Equipment Inc. 850 Washington Road St. Marys (PA) 15857 USA Courriel : areinc@alltel.net Site Web : www.advancedrecyclingequip.com	X		
Biomass Combustion Systems (BCS) 67 Millbrook St., Suite 505 Worcester (MA) 01606 Tél. : 508 798-5970 Télec. : 508 798-5971 Courriel : info@biomasscombustion.com Site Web : www.biomasscombustion.com	X		
Chiptec Wood Energy Systems 48 Helen Avenue So. Burlington, VT 05403 Tél. : 1 800 244-4146 Télec. : 802 660-8904 Courriel : BobBender@Chiptec.com Site Web : www.chiptec.com	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Energy Products of Idaho (EPI) 4006 Industrial Ave Coeur d'Alene, Idaho USA 83815-8928 Tél. : 208 765-1611 Téléc. : 208 765-0503 Courriel : epi2@energyproducts.com Site Web : www.energyproducts.com	X		
GTS Energy, Inc. Monsieur Eric Dessecker, VP Sales - Wood Fired Energy Systems 445 Windy Hill Road Marietta Georgia 30060 Tél. : 770 801-8884 Téléc. : 770 801-8985 Courriel : edessecker@gtseenergy.com Site Web : www.gtseenergy.com	X		
Hurst Boiler & Welding Co. Coolidge (GA) 31738 États-Unis Tél. : 229 346-3545 Site Web : www.hurstboiler.com Représenté par : R. Nantel & associés inc. 4900, Rouen Montréal (QC) H1V 1H8 Tél. : 514 253-3340 Téléc. : 514 253-6682 Courriel : info@nantel.com Site Web : www.nantel.com	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Messersmith Manufacturing, Inc. 2612 F Rd. Bark River, MI 49807 Tél. : 906 466-9010 Courriel : sales@burnchips.com Site Web : www.burnchips.com			
EUROPE			
CO.MA.FER. S.p.a. Via de Gasperi 25060 COLLEBEATO BRESCIA Italy Tél. : 39-30-2510405 Téléc. : 39-30-2511703 Courriel : infomac@comafer.it Site Web : www.comafer.it	X		
Compte R Monsieur Nicolas GOUPY ZI de Vaureil 63 220 Arlanc France Tél. : 33 473 95 18 38 Téléc. : 33 473 95 15 35 Courriel : nicolas.goupy@compte-r.com Site Web : www.compte-r.com	X		
Endress Metall- und Anlagenbau GmbH Industriestrasse 18, D-91593 Burgbernheim Germany Tél. : +49 (9843) 98 82 44 Téléc. : +49 (9843) 98 82 46 Courriel : endress.gmbh@t-online.de Site Web : www.endress-feuerungen.de	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Fröling Heizkessel- und Behälterbau Ges.m.b.H. Industriestrasse 12 A-4710 Grieskirchen Austria Tél. : 43 72 48 / 606 - 0 Téléc. : 43 72 48 / 606 – 600 Courriel : info@froeling.com Site Web : www.froeling.com Représenté par : Solidec inc. 1514, Chemin-des-patriotes Sainte-Victoire-de-Sorel (QC) J0G 1T0 Tél. : 450 743-7587 Téléc. : 450 743-3005 Site Web : www.solidecenergie.com	X		X
Guertner GmbH Naturenergie-Systeme Ellenbach 1, D-86558 Hohenwart Germany Tél. : +49 (8443) 327 Téléc. : +49 (8443) 84 71 Courriel : guertner@t-online.de	X		
Heizomat Geraetebau-Energiesysteme GmbH Maicha 21, D-91710 Gunzenhausen Germany Tél. : +49 (9836) 97 97-0 Téléc. : +49 (9836) 97 97-97 Courriel : info@heizomat.de Site Web : www.heizomat.de	X		X
Hoval Management AG Austrasse 70, FL-9490 Vaduz Tél. : +423 399 24 00 Téléc. : +423 399 24 11 Courriel : info@hoval.com Site Web : www.hoval.com	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Josef Binder Maschinenbau-und Handelsgesellschaft mbH Mitterdorferstrasse 5, A-8572 Bärnbach Austria Tél. : +43 (3142) 225 44 Télec. : +43 (3142) 225 44 16 Courriel : office@binder-gmbh.at Site Web : www.binder-gmbh.at	X		
Kara Energy Systems b.v. Plesmanweg 27, 7602 PD Almelo Postbus 570, 7600 AN Almelo The Netherlands Tél. : +31 (546) 87 65 80 Télec. : +31 (546) 87 05 25 Courriel : kara@kara.nl Site Web : www.kara.nl	X		
MAWERA Kessel & Maschinen GmbH Rober-Bosch-Strasse 15, D-88131 Lindau Germany Tél. : +49 (8382) 97 70 12 Télec. : +49 (8382) 97 70 13 Courriel : info@mawera.com Site Web : www.mawera.com	X	X	X
Mueller AG Holzfeuerungen Bechburgerstrasse 21 CH-4710 Balsthal - Switzerland Tél. : +41 (62) 386 16 16 Télec. : +41 (62) 386 16 15 Courriel : info@mueller-holzfeuerungen.ch Site Web : www.mueller-holzfeuerungen.ch	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
Nolting Holzfeuerungstechnik GmbH Monsieur Joachim Eggers Wiebuschstraße 15 G-32760 Detmold Germany Tél. : 49. 5231 95 550 Téléc. : 49.5231 95 55 55 Courriel : info@nolting-online.de Site Web : www.nolting-online.de	X		
Polytechnik GmbH Hainfelderstrasse 69 - 71 A-2564 Weissenbach Austria Tél. : 43 2672/890-0 Téléc. : 43 2672/890-13 Courriel : office@polytechnik.at Site Web : www.polytechnik.com	X		
Richard Kablitz & Mitthof GmbH Bahnhofstrasse 72-78, D-97922 Lauda- Königshofen Germany Tél. : +49 (9343) 79 01-11 Téléc. : +49 (9343) 41 50 Courriel : kablitz@kablitz.de Site Web : www.kablitz.de	X		
SCHMID AG CH - 8360 ESCHLIKON Switzerland Tél. : 41 71 973 73 73 Téléc. : 41 71 973 73 70 Courriel : info@holzfeuerung.ch Site Web : www.holzfeuerung.ch	X		
SPÄNEX GmbH 37170 Uslar Otto-Brenner-Str. 6 Germany Tél. : 49-5571-304-0 Courriel : spaenex@t-online.de Site Web : www.spaenex.de	X		

Compagnie	Brûleurs ou chaudières à résidus de bois et écorces	Canalisations pré-isolées pour réseaux thermiques	Réserves
UNICONFORT S.r.l. Via dell'Industria, 21 – 35018 San Martino di Lupari (PD) Italy Tél. : 39. 49.5952052 Télec.: 39. 49.5952099 Courriel : info@uniconfort.com Site Web : http://www.uniconfort.com	X		
Wärtsilä Corporation John Stenbergin rantaa 2 P.O. Box 196 FIN-00531 Helsinki Finland Tél. : 358 10 709 0000 Télec. : 358 10 709 5700 Site Web : www.wartsila.com/en.powerplants.....h tm	X		
WEISS A/S Plastvænget 13 DK-9560 Hadsund Denmark Tél. : +45 96 52 04 44 Télec. : +45 96 52 04 45 Courriel : weiss@weiss-as.dk Site Web : www.weiss-as.dk	X		

Sources : Répertoire des produits disponibles au Québec (iCRIQ.com) – 2005
Ressources naturelles Canada
Sites de fabricants

8. EXPERTS, ORGANISMES ET ÉVÉNEMENTS DU SECTEUR

8.1 Experts et organismes

Québec

↗ CENTRE DE LA TECHNOLOGIE DE L'ÉNERGIE DE CANMET - VARENNES

RETSscreen INTERNATIONAL

Ressources naturelles Canada

Centre d'aide à la décision sur les énergies propres

1615, Lionel-Boulet

Varennnes (Québec) J3X 1S6

Courriel : rets@nrcan.gc.ca

Site Web : www.retscreen.net

↗ CENTRE TECHNOLOGIQUE DES RÉSIDUS INDUSTRIELS

Madame Johanne Morasse

425, boul. du Collège

Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E5

Téléphone : 819 762-0931, poste 1240

Télécopieur : 819 762-2071

Courriel : johanne.morasse@cegepat.qc.ca

Site Web : WWW.CTRI.QC.CA

Organisme à but non lucratif mandaté par le Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue pour stimuler l'innovation et le développement technologique lié à la valorisation des résidus industriels et des ressources sous-utilisées provenant principalement des secteurs forestiers, miniers et agricoles.

↗ FERIC

Monsieur Luc Desrochers

580, boul. Saint-Jean

Pointe-Claire (Québec) H9R 3J9

Téléphone : 514 694-1140

Télécopieur : 514 694-4351

Site Web : <http://www.feric.ca>

Organisme privé de recherche et de développement à but non lucratif, dont l'objectif est d'améliorer les opérations forestières canadiennes liées à la récolte et au transport des bois ainsi qu'à la sylviculture, dans le contexte du développement durable. Il a débuté en 2005, à sa division de l'Est, un nouveau programme portant sur la bioénergie.

↗ **HYDRO-QUÉBEC**

Laboratoire des technologies de l'énergie (LTE)
Monsieur Jean Baribeault, ing.
600, avenue de la Montagne
Shawinigan (Québec) G9N 7N5
Téléphone : 819 539-1400, poste 1506
Courriel : baribeault.jean@lte.ireq.ca
Site Web : www.ireq.ca

↗ **MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE**

Secteur Forêt Québec
Direction du développement de l'industrie des produits forestiers
Service du développement technologique et industriel
880, chemin Sainte-Foy, bureau 7.50
Québec (Québec) G1S 4X4
Téléphone : 418 627-8644
Télécopieur : 418 643-9534
Site Web : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/index.jsp>

↗ **MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE**

Secteur de l'énergie et des mines
Direction générale des politiques, de la coordination et de l'analyse
5700, 4^e Avenue Ouest
Québec (Québec) G1H 6R1
(Arrondissement de Charlesbourg)
Téléphone : 418 627-6380
Télécopieur : 418 643-8337
Site Web : <http://www.intranet/s-enedpte/>

↗ **MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP)**

Direction des politiques de l'air
Monsieur Michel Goulet
Édifice Marie-Guyart, rez-de-chaussée
675, boul. René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3813, poste 7022
Télécopieur : 418 646-5974
Site Web : www.mddep.gouv.qc.ca/index.asp

↗ **MINISTÈRE DES AFFAIRES MUNICIPALES ET DES RÉGIONS**

Monsieur Alain Lavoie
Aile Chauveau, 1^{er} étage
10, rue Pierre-Olivier-Chauveau
Québec (Québec) G1R 4J3
Téléphone : 418 691-2005, poste 3010
Site Web : <http://www.mamr.gouv.qc.ca/>

↗ **RESSOURCES NATURELLES CANADA/NATURAL RESOURCES CANADA (NRCAN)**

Service canadien des forêts
Processus des sols forestiers
D^r David Paré
1055, rue du P.E.P.S. - C.P. 3800, pièce 25-B
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7
Téléphone : 418 648-7598
Télécopieur : 418 648-5849
Courriel : dpare@nrcan-rncan.gc.ca

Ailleurs au Canada

↗ **CANADIAN ASSOCIATION FOR RENEWABLE ENERGY (CARE)**

Site Web : www.renewables.ca

Association à but non lucratif, incorporée en 1998, afin de promouvoir les applications réalisables dans le domaine des énergies renouvelables.

↗ **CANADIAN DISTRICT ENERGY ASSOCIATION (CDEA)**

Association canadienne des réseaux thermiques
Site Web : www.cdea.ca

Association industrielle représentant les membres (services publics, agences gouvernementales, propriétaires de maisons, ingénieurs en consultation, fournisseurs, développeurs, banquiers et investisseurs) qui ont un intérêt commun à promouvoir la croissance du secteur énergétique au Canada.

↗ **CANADIAN RENEWABLE FUELS ASSOCIATION**

Site Web : www.greenfuels.org

Organisme à but non lucratif qui a pour mandat de promouvoir les biocarburants (éthanol, biodiesel, etc.) pour le transport automobile au moyen d'activités de liaison entre le gouvernement et les consommateurs.

➤ **CANBIO CANADIAN BIOENERGY ASSOCIATION**

Monsieur Jim Richardson
Monsieur Bruce McCallum
1769, boul. Saint-Laurent, suite 318
Ottawa (Ontario) K1G 5X7
Téléphone : 613 741-2313
Télécopieur : 613 521-1997
Courriel : info@canbio.ca
Site Web : www.canbio.ca

Organisme national à but non lucratif orienté vers l'industrie et formé de particuliers, d'entreprises et d'organismes non gouvernementaux qui s'intéressent au développement, à la promotion et à l'utilisation de la bioénergie. Sa mission est d'encourager l'industrie et le public à soutenir le développement et l'utilisation de l'énergie de biomasse renouvelable, durable et respectueuse de l'environnement, et à appuyer les efforts de sensibilisation en cette matière.

➤ **CENTRE D'AIDE À LA DÉCISION SUR LES ÉNERGIES PROPRES (RETSscreen INTERNATIONAL)**

Centre administré par le Centre de la technologie de l'énergie de CANMET-Varenes. Il vise à renforcer les compétences des planificateurs, des décideurs et de l'industrie à implanter des projets en énergie renouvelable et en efficacité énergétique. Pour ce faire, il développe des outils clés (logiciel d'analyse de projets) et donne de la formation.
Site Web : www.retscreen.net

➤ **CENTRE DE LA TECHNOLOGIE DE L'ÉNERGIE DE CANMET - OTTAWA**

Ressources naturelles Canada
Monsieur Roy Prokopuk (roy.prokopuk@nrcan-nrcan.gc.ca)
Monsieur Fernando Preto, Ph.D. (preto@nrcan.gc.ca)
Monsieur Urban T. Ziegler
1, promenade Haanel
Ottawa (Ontario) K1A 1M1
Téléphone : 613 996-8693
Télécopieur : 613 943-0127
Site Web : www.ctec.nrcan.gc.ca

➤ **CLIMATE CHANGE SOLUTIONS**

Monsieur Douglas Bradley
69 Fulton Avenue
Ottawa (Ontario) K1S 4Y7
Téléphone : 613 730-1999
Courriel : douglas.bradley@rogers.com
Site Web : www.climatechangesolutions.net

➤ **ENERGY PROJECT SCREENING TOOLS - RETSCREEN**

Site Web : www.RETScreen.NET

Comprend des modèles de cogénération et de chauffage à la biomasse.

➤ **FÉDÉRATION CANADIENNE DES MUNICIPALITÉS**

Monsieur Jean-François Trépanier

24, rue Clarence

Ottawa (Ontario) K1N 5P3

Téléphone : 613 241-5221, poste 262

Télécopieur : 613 241-7440

Courriel : jftrepanier@fcm.ca

Site Web : <http://www.fcm.ca>

➤ **RÉSEAU CANADIEN DES ÉNERGIES RENOUVELABLES**

Canadian Renewable Energy Network (CanREN)

Site Web : www.canren.gc.ca

Réseau mis sur pied grâce aux efforts de Ressources Naturelles Canada (RNC) et de ses intervenants dans le but d'accroître la dissémination des connaissances sur les énergies renouvelables afin d'accélérer le développement et la commercialisation des technologies liées à ces dernières.

➤ **RÉSEAU CANADIEN D'INNOVATION DANS LA BIOMASSE**

Canadian Biomass Innovation Network (CBIN)

Site Web : www.cbin.gc.ca ou www.rcib.gc.ca

Réseau mis sur pied pour assurer la coordination des activités de recherche et de développement au gouvernement fédéral dans les domaines liés à la bioénergie, aux biocombustibles, aux bioproduits et aux bioprocédés industriels.

➤ **RESSOURCES NATURELLES CANADA/NATURAL RESOURCES CANADA (NRC)**

Electricity Resources Branch

Monsieur Al Clark

580 Booth Street, 17th Floor

Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Téléphone : 613 995 9423

Courriel : erb.dre@NRCan.gc.ca

Site Web : www.nrcan.gc.ca

➤ **RESSOURCES NATURELLES CANADA/NATURAL RESOURCES CANADA (NRCAN)**

Secrétariat de la catégorie 34/43.1

Division des programmes industriels

Madame Michèle Brown

580, rue Booth, 18^e étage

Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Téléphone : 613 996-0890

Télécopieur : 613 992-3161

Courriel : mibrown@nrcan.gc.ca

Site Web : <http://www2.nrcan.gc.ca/es/erb/erb/francais/view.asp?x=469&oid=111>

➤ **RESSOURCES NATURELLES CANADA/NATURAL RESOURCES CANADA (NRCAN)**

Service canadien des forêts

Monsieur Peter Hall, conseiller scientifique

580, rue Booth

Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Téléphone : 613 947-8987

Télécopieur : 613 947-9090

Courriel : phall@NRCan.gc.ca

Site Web : www.nrcan.gc.ca

➤ **SNC-LAVALIN**

Division Énergie thermique

Monsieur Dave Parsons, vice-président principal et directeur général

1075, West Georgia Street

Vancouver (Colombie-Britannique) V6E 3C9

Téléphone : 604 662-3555

Télécopieur : 604 683-1672

Courriel : dave.parsons@snclavalin.com

Site Web : WWW.SNC-LAVALIN.COM

Chef de file aux États-Unis dans le segment de la cogénération et des combustibles de remplacement. Son expertise englobe, entre autres, les centrales à cycle combiné au gaz, les centrales de cogénération ayant une capacité de 26 à 2 250 mégawatts et les centrales utilisant des combustibles de remplacement (biomasse, pneus et résidus urbains solides).

International

ADEME (AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE)

2 square La Fayette
BP 90406
49004 Angers cedex 01
FRANCE

Téléphone : 02 41 20 41 20
Télécopieur : 02 41 87 23 50
Site Web : www.ademe.fr

Établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Écologie et du Développement durable, de l'Industrie et de la Recherche. Sa mission est de susciter, animer, coordonner, faciliter ou réaliser des opérations ayant pour objet la protection de l'environnement et la maîtrise de l'énergie.

EUROPEAN BIOMASS ASSOCIATION ASSOCIATION EUROPÉENNE POUR LA BIOMASSE (AEBIOM)

Monsieur Jean-Marc Jossart
Croix du Sud 2 boîte 11
1348 Louvain-la-Neuve

BELGIQUE
Téléphone : + 32 10 47 34 55
Télécopieur : + 32 10 47 34 55
Courriel : jossart@ecop.ucl.ac.be
Site Web : www.ecop.ucl.ac.be/aebiom/index.html

Fondée en 1990, l'AEBIOM regroupe environ 25 associations nationales pour la biomasse venant de toute l'Europe. Ces organisations travaillent ensemble au bon développement de la bioénergie.

AUSTRIAN BIOENERGY CENTRE GMBH

D^r Erich Fercher, Dipl.-Ing.
Inffeldgasse 21b
A-8010 Graz

AUTRICHE
Téléphone : +43/316/ 873-9201
Télécopieur : +43/316/ 873-9202
Courriel : erich.fercher@abc-energy.at
Site Web : www.abc-energy.at

➤ **BEES BIOENERGY EVENTS AND SERVICESIOENERGY INTERNATIONAL**

28, boulevard Gambetta

39000 Lons le Saunier

France

Téléphone : +33.384 86 89 30

Site Web : www.bees.biz

Entreprise indépendante qui agit en faveur du développement de la bioénergie. Elle fait affaire avec un réseau de partenaires internationaux stratégiques afin de promouvoir activement l'essor de la bioénergie. Elle organise des événements dans le domaine de la bioénergie tels des salons, des conférences ou des « workshops ». BEES joue ainsi un rôle de catalyseur pour dynamiser le secteur de la bioénergie.

➤ **CRITTBOIS CENTRE DE RESSOURCES DES INDUSTRIES DU BOIS**

27, rue du Merle Blanc

B.P. 1041

88051 Epinal cedex 9

Téléphone : 03 29 81 11 70

Télécopieur : 03 29 34 01 22

Site Web : WWW.CRIBOIS.NET

Centre de ressources pour toutes les entreprises de la filière bois qui est installé dans le hall de technologie de l'École Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois (ENSTIB). Parmi ses champs d'activité, on retrouve le bois énergie. Dans ce secteur, le CRITT détermine des courbes de séchage, caractérise le combustible et développe des projets.

➤ **BIOENERGY INTERNATIONAL**

Torsgatan 12

S-111 23 Stockholm

SUÈDE

Téléphone : +46-8-4417090

Télécopieur : +46-8-4417089

Courriel : info@novator.se

Site Web : www.bioenergyinternational.com

➤ **BIOMASS ENERGY RESOURCE CENTER, INC.**

Monsieur Adam Sherman

P.O. Box 1611

Montpelier, Vermont 05601

50 State Street

Montpelier, Vermont

Téléphone : 802-223-7770

Télécopieur : 802-223-7772

Courriel : contacts@biomasscenter.org

➤ **BOIS ET CONNEXES DE FRANCHE-COMTÉ (BCFC)**

Monsieur Bruno Ronzel

4, rue des Moulins

39130 Marigny

Téléphone : 03 84 25 75 67

Télécopieur : 03 84 25 75 67

Site Web : www.biomasse-normandie.org

Groupeement qui commercialise des écorces, des sciures et des plaquettes à destination des chaufferies au bois industrielles ou collectives, et du bois de trituration pour une valorisation matière par les industries du panneau ou du papier. Plusieurs autres organismes de ce type existent dans toute l'Europe.

➤ **CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT (CIRAD)**

Unité de recherche biomasse-énergie

42, rue Scheffer

75116 Paris

FRANCE

Téléphone : 33 (0)1 53 70 20 00

Télécopieur : 33 (0)1 47 55 15 30

Site Web : <http://www.cirad.fr>

➤ **ENERGYTECH.AT**

Sites Web : [http://www.energytech.at/\(en\)/index.html](http://www.energytech.at/(en)/index.html)

[http://www.energytech.at/\(en\)/biomasse/index.html](http://www.energytech.at/(en)/biomasse/index.html)

Plate-forme de démonstration de technologies innovantes dans le secteur de l'efficacité énergétique et de l'utilisation de ressources renouvelables. Initiative du ministère du Trafic, de l'Innovation et des Technologies du gouvernement autrichien et de l'Agence de l'énergie autrichienne.

➤ **FINBIO – THE BIOENERGY ASSOCIATION OF FINLAND**

P.O.Box 27 FIN-40101 Jyväskylä

FINLANDE

Téléphone : +358 14 4451 115

Télécopieur : +358 14 4451 199

Courriel : finbio@jysp.fi

Site Web : www.finbioenergy.fi

➤ **GREEN POWER INSTITUTE**

Gregory Morris

2039 Shattuck Ave., Suite 402

Berkeley, CA 94704

USA

Téléphone : 510 644-2700

✉ **GROUPE DE DISCUSSION BIOENERGY**

Site Web : <http://listserv.repp.org/mailman/listinfo/bioenergy>

✉ **IEA BIOENERGY**

Organisme créé en 1978 par l'« *International Energy Agency* (IEA) » dans le but d'améliorer la coopération et l'échange d'information entre les pays qui ont des programmes nationaux de recherche et de développement en bioénergie. Il y a 25 pays membres, parmi les 29 qui font partie de l'OCDE.

Site Web : www.ieabioenergy.com

✉ **INTERNATIONAL DISTRICT ENERGY ASSOCIATION (IDEA)**

Site Web : www.districtenergy.org/about.htm

Association à but non lucratif fondée en 1909. Sa mission est de promouvoir l'efficacité énergétique et la qualité environnementale par l'avancement dans la distribution de la chaleur, de la réfrigération et de la cogénération (aussi connu comme « *combined heat and power or CHP* »). IDEA représente près de 700 membres provenant de 12 pays qui sont engagés dans le domaine de la distribution de la chaleur et du froid et qui peuvent être des gestionnaires, des ingénieurs, des consultants ou des fournisseurs d'équipements.

✉ **ITEBE – Association internationale des professionnels et usagers des bioénergies**

28, boul. Gambetta
BP 30149
39004 LONS LE SAUNIER cedex
FRANCE
Téléphone : +33 384 47 81 00
Télécopieur : +33 384 47 81 19
Courriel : [info\(a\)itebe.org](mailto:info(a)itebe.org)
Site Web : www.itebe.org

Association professionnelle internationale qui intervient comme outil de promotion et de soutien pour les acteurs de la filière bois énergie, principalement les entreprises et collectivités.

✉ **NATIONAL BIOENERGY CENTER (NBC), DIV. OF NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL) OF THE U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (DOE)**

1617 Cole Blvd.
Golden, CO 80401-3393
USA
Téléphone : 303 384-6826 (Biomass Research)

Centre fondé en octobre 2000 afin d'appuyer les objectifs scientifiques et technologiques du « programme biomasse » du DOE. Il agit dans le domaine des carburants, produits chimiques, matériaux et énergie produits à partir de la biomasse.

➤ **SVENSKA BIOENERGIFÖRENINGEN (SVEBIO)**
SWEDISH BIOENERGY ASSOCIATION

Torsgatan 12
SE-111 23 Stockholm
SUÈDE
Téléphone : 46 8 441 70 80
Télécopieur : 46 8 441 70 89
Courriel : info@svebio.se
Site Web : svebio.se/engindex.htm

➤ **TEKES**
P.O.Box 69 Kyllikinportti 2
FIN-00101 Helsinki
FINLANDE

Téléphone : 358 105 2151
Télécopieur : 358 9-694 9196
Courriel : tekes@tekes.fi
Site Web : www.tekes.fi/eng/

➤ **THE BIOHEAT PROJECT**

Site Web : www.bioheat.info/project/index_int.html

Projet réalisé (2000-2004) dans le cadre du programme de recherche ALTENER de l'Union européenne. Il avait pour objectif de stimuler l'utilisation de bouilloires à la biomasse automatiques pour le chauffage de grands bâtiments (écoles, hôpitaux, immeubles d'habitation, etc.)

➤ **VALBIOM**

Site Web : www.valbiom.be

Association belge sans but lucratif qui a pour objectif principal la promotion et le développement des filières non alimentaires de la biomasse (biomasse-énergie et matières premières renouvelables) auprès de toutes les parties concernées, dans le souci de respecter les principes du développement durable.

➤ **VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND**

Renewable energy technologies
P.O. Box 1601
FI-02044 VTT (Espoo)
FINLANDE
Téléphone : +358-9-4561
Télécopieur : +358-9-460 493
Courriel : www.vtt.fi
Site Web : www.vtt.fi/renewables

8.2 Événements nationaux et internationaux

Événement	Périodicité	Commentaires
Bioenergy World 2006 Salon international et conférences sur les bioénergies Verone, Italie www.bioenergy-world.com	Inconnue Le dernier salon s'est tenu du 9 au 12 février 2006.	A landmark event for agricultural bioenergy - energy from liquid, gaseous and solid biofuels.
Biofuels Markets - Biofuels Markets Congress Bruxelles, Belgique - Biofuels Markets Asia Bangkok, Asie www.greenpowerconferences.com/events/biofuelsmarkets.htm	Annuelle - En Belgique, le prochain congrès se tiendra les 7 et 8 mars 2007. - En Asie, le dernier congrès s'est tenu les 5 et 6 juin 2006.	An international networking conference designed to bring together leading industry players to explore ways to stimulate the uptake of biofuels.
World Sustainable Energy Days Wels, Autriche www.esv.or.at/esv/index.php?id=217&L=1&contUId=0	Annuelle 28 février au 4 mars 2007.	Incorporates European Energy Efficiency Conference, Green electricity for Europe's regions conference, Renewable Heating and Cooling conference, European Pellets Forum, and Renewable energy business - new clients, new markets forum.
Bioenergy : From Concept to Commercial Processes Tomar, Portugal www.engconfintl.org/6ae.html	Inconnue Cette conférence s'est tenue du 5 au 10 mars 2006.	First conference in a series organized by Engineering Conferences International.

Événement	Périodicité	Commentaires
POWER-GEN Renewable Energy Las Vegas, Nevada, États-Unis http://tulx-media.com/lrd0_AALXnQAAS00B	Annuelle Le prochain événement (conférences et exhibitions) se tiendra du 6 au 8 mars 2007.	The renewable energy industry's most important event.
Bio-Energy Conference and Exhibition 2006 University of Northern British Columbia Prince George, BC Canada www.bioenergyconference.org	Inconnue Le dernier salon s'est tenu les 31 mai et 1 ^{er} juin 2006.	Municipal and Community Energy Alternate Bio-Energy Sources Wood Residue – Inventory Update Transportation of Bio-Energy Processing Technologies.
CanBio Vancouver, BC Canada www.canbio.ca	Annuelle Cet atelier s'est tenu le 31 mai 2006.	Le prochain atelier s'intitulera " <i>Workshop on opportunities and issues relating to targeting export and domestic markets for Canadian biofuels</i> ".
District Energy/CHP 2006 97th Annual Conference & Trade Show Nashville, Tennessee, États-Unis www.districtenergy.org/pdfs/06AnnualExhibitProspectus.pdf	Inconnue Le dernier événement de l'International District Energy Association s'est tenu du 11 au 14 juin 2006.	
Salon du bois énergie Expo et conférences Orléans, France www.boisenergie.com	Bisannuelle Le prochain salon se tiendra du 19 au 22 avril 2007.	Salon professionnel ouvert au public qui offre une vision complète depuis l'exploitation forestière jusqu'aux appareils de chauffage.
Forlener Biella, Italie www.forlener.it	Annuelle Le prochain salon se tiendra en septembre 2006.	Salon international et conférence sur les bioénergies.

Événement	Périodicité	Commentaires
IHE, International Trade Fair and Conference for Wood Energy Augsburg, Allemagne www.holz-energie.de/english/kongressprogramm_ihe.shtml	Inconnue Le prochain salon se tiendra du 28 septembre au 1 ^{er} octobre 2006.	
Salon des énergies renouvelables Lyon, France www.energie-ren.com	Annuelle Le prochain salon se tiendra du 14 au 17 février 2007.	Salon consacré aux énergies renouvelables : solaire thermique, solaire photovoltaïque, éolien, géothermie, petite hydraulique, bois énergie, biogaz, services.
Enertec Leipzig, Allemagne www.enertec-leipzig.de	Bisannuelle Le prochain salon se tiendra du 5 au 8 mars 2007.	Salon international de l'énergie. Ce salon de l'énergie est l'un des plus importants et plus complets en Europe et le seul en Europe de l'Est. Il traite de tous les sujets importants liés à l'énergie. L'accent est mis sur la distribution et les services de l'énergie, les techniques d'énergie décentralisée et les énergies renouvelables (surtout la bioénergie).
Euroforest Saint-Bonnet-de-Joux, France www.euroforest2006.com	Aux quatre ans Le dernier salon s'est tenu du 16 au 18 juin 2006.	Salon forestier français qui consacre une large place au bois énergie.

Événement	Périodicité	Commentaires
World Bioenergy 2006 Conference & Exhibition on Biomass for Energy Jönköping, Suède www.elmia.se/worldbioenergy	Inconnue Le dernier événement s'est tenu les 30 mai et 1 ^{er} juin 2006.	At World Bioenergy 2006, you are in a country where bioenergy supplies more electricity than fossil fuels, and where biomass supplies 25 % of total energy utilised. The conference, exhibitions and events are organised to take you to the most relevant know-how, and from there to the show-how of bioenergy systems at work.

Cette liste n'est pas exhaustive. Compte tenu de l'engouement actuel pour les énergies renouvelables, de nombreux événements tels des salons, des conférences ou des *workshops* ont lieu partout dans le monde. Des sites Internets qui répertorient divers événements nationaux et internationaux tels que www.eventseye.com peuvent servir à les trouver.

BIBLIOGRAPHIE

Titre	Source	Date
<i>A look at the present and future of biomass : It's on the rebound, but wood energy still faces an uncertain future</i>	The Northern Logger & Timber Processor	2005
<i>Annuaire du bois-énergie</i>	ITEBE, 4 ^e édition	2002
<i>Answers to ten frequently asked questions about bioenergy, carbon sinks and their role in global climate change</i>	IEA Bioenergy Task 38	2003
<i>Atelier tenu à Québec : «Bioénergie – Les opportunités des résidus de la récolte forestière»</i>	Association canadienne de la Bioénergie (CANBIO), Recueil des présentations faites dans le cadre de cet atelier (CD-Rom)	2005-09
<i>Barriers to Increased Bioenergy Use in Canada and Some Solutions</i>	Canadian Bioenergy Association – WWW.CANBIO.CA	
<i>Benefits of Bioenergy</i>	http://www.ieabioenergy.com/media/52_BenefitsofBioenergy.pdf	2005-01
<i>Benefits of Bioenergy to Canada</i>	Canadian Bioenergy Association – WWW.CANBIO.CA	
<i>Biomass Sources for Bioenergy Use in Canada</i>	Canadian Bioenergy Association – WWW.CANBIO.CA	
<i>Bionergy – a sustainable alternative</i>	SVEBIO n° 1 WWW.SVEBIO.SE	2003
<i>Bioenergy Contacts in Finland</i>	OPET Finland	
<i>Bioenergy from Sustainable Forestry : Guiding Principles and Practice</i>	J. Richardson et al, Kluwer Academic Publishers	2002
<i>Bioenergy in Canada</i>	http://www.ieabioenergy.com/media/47_BioenergyinCanada.htm	2004-12
	Bioenergy international. Magazine spécialisé qui présente quatre parutions par année. WWW.BIOENERGYINTERNATIONAL.COM	
<i>Biofuels in the forest industry</i>	SVEBIO n° 3 WWW.SVEBIO.SE	2004
<i>Biofuels – heating for the future</i>	SVEBIO n° 7 WWW.SVEBIO.SE	2004
<i>Bois et connexes de Franche-Comté (BCFC), au service de l'industrie et de l'énergie</i>	Le Bois international, n° 8, p. 9-10	2005-02
<i>Bois : l'énergie alternative qui s'affirme</i>	Actualité, Bois énergie n° 51	2005-09

Titre	Source	Date
<i>Chippers and Crushers</i>	Wood Energy Association, translations VTT Processes	
<i>Computer Simulation Saves Time & Expense in Emissions Separator Design</i>	Journal Articles by Fluent software users	2001-01
<i>Computer Simulation Saves Time & Expense</i>	http://www.esemag.com/0504/simulation.html	2005-08
<i>Contribution du bois-énergie au développement durable en Belgique</i>	Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC) : WWW.BELSPPO.BE	2001-06
<i>Co-operation and integration in wood energy production</i>	Journal of forest engineering. Vol. 15, n° 2	2004-03
<i>Du Bois déchiqueté à Domicile</i>	Bois Énergie n° 1	2004
<i>Éco-technologies, éco-conception, évaluation intégrée</i>	Académie d'Agriculture de France	2005-05
<i>Encouragements fiscaux pour les investissements d'entreprise dans l'économie d'énergie et les énergies renouvelables</i>	http://www2.nrcan.gc.ca/es/erb/CMFiles/M92_159_1998_f164QVO-732002-711.pdf	1998
<i>Estimating volumes and costs of forest biomass in Western Montana using forest inventory and geospatial data</i>	Forest products journal, vol. 56, no. 6, pp. 31 à 37	2006-06
<i>État des lieux des logistiques de fourniture de plaquettes forestières en Europe</i>	ITEBE	2001-10
<i>Green Energy Firm to Sell Wood Biomass to Europe</i>	Southern Lumberman	2005-05
<i>Gros plan sur l'énergie, description du programme</i>	http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/energie/aide-description.jsp	2005-05
<i>Inventories of woody residues and solid wood waste in the United States, 2002</i>	USDA Forest Service. Publication de David B. McKeever, research forester	2004
<i>La base de données des projets approuvés des Fonds municipal vert</i>	http://kn.fcm.ca/project/search/Search.aspx?lang=f	
<i>La récolte raisonnée des rémanents en forêt – guide pratique</i>	AFOCEL, Emmanuel Cacot	2005-04
<i>La bourse du carbone</i>	Radio-Canada, 8 décembre 2005 http://www.radio-canada.ca/nouvelles/Politique/2005/12/05/002-bourses-du-carbone.shtml	2005
<i>Le bois énergie dans le logement social : y croire pour aller plus loin...</i>	Le Bois international	2005-07
<i>Le bois énergie en Europe (2^e partie)</i>	Le Bois international Cahier n° 26	2004-09

Titre	Source	Date
<i>Le bois énergie va-t-il grignoter les panneaux à base de bois?</i>	Le Bois International, p.8-9	2005-11
<i>Le chauffage domestique au bois – Le bois déchiqueté à usage domestique dans l'Ouest bocager : un enjeu pour le développement local</i>	Le Bois international Cahier n° 28	2005-08
<i>Le CONTRACTING à la carte dès 60 kW</i>	Bois Énergie n° 5	2002-03
<i>Le développement des chauffages à bois modernes en Autriche</i>	Bois Énergie n° 1	2003
<i>Le potentiel des ressources en bois-énergie en Province de Hainaut</i>	ERBE, Agence régionale Biomasse Énergie	2004-12
<i>Les exposants présentent</i>	Le Bois international	2005-09
<i>Les petites installations de chauffage à la biomasse : Guide de l'acheteur</i>	Ressources naturelles Canada http://www.canren.gc.ca/app/filerepository/2BDE01F872E74C17A5ACCEF237A23516.pdf	2000
<i>LSR Technologies, Inc. Storefront</i>	http://www.pollutiononline.com/storefronts/lrtech.html	2005-08
<i>Making a bundle with biomass : It's nothing new in Scandinavia, but technology, energy costs and forest fuel concerns are combining to make the idea of slash recovery more intriguing on this side of the Atlantic</i>	Canadian Dorest Industries	2004-11
<i>Market actors of wood energy technology in Finland, partie 2 – chipping and crushing</i>	Organisations for the Promotion of Energy Technologies www.tekes.fi/opet	2002
<i>Michigan operation profits from « slash »</i>	Logging Management, p. 0	2005
<i>Mobile chippers signal growing importance of the bio-energy industry – and ELMIA comment</i>	Mill Products News, Vol. 16, n° 5, page 37	2005-09
<i>Plaquettes forestières : des millions de Tep à ramasser et à déchiqueter</i>	Environnement & Technique n° 249	2005-09
<i>Produire de la plaquette combustible à partir de sous-produits forestiers</i>	ITEBE	2004
<i>Programme d'encouragement à la production d'énergie renouvelable – document de travail</i>	Ressources naturelles Canada	2005-08
<i>Prospective en vue du développement d'une filière bois-énergie sur le pays de Haute Mayenne</i>	FDCUMA Mayenne JPC	2004-10
<i>Récolte de rémanents pour le bois énergie avec le Fiberpac</i>	AFOCEL Informations-forêt, fiche no 669	2003

Titre	Source	Date
<i>Recommendations for the extraction of forest fuel and compensation fertilising</i>	Hans Samuelsson, National Board of Forestry, Jönköping, Sweden, April 2002 www.svo.se/forlag/meddelande/1545.pdf	2002
<i>Règlement modifiant le Règlement de l'impôt sur le revenu (déduction pour amortissement — ajout des catégories 43.2, 47, 48 et 49)</i>	http://gazetteducanada.gc.ca/part1/2005/20051210/html/regle2-f.html	2005
<i>Small-scale biomass CHP technologies, Situation in Finland, Denmark and Sweden</i>	OPET, combined Heat & Power District Heating & Cooling	2004
<i>Systèmes de chauffage à la biomasse : Schurman Farm Ltd.</i>	Ressources naturelles Canada Étude de cas	2001
<i>Une commission professionnelle dédiée : le Club Bois Déchiquetés!</i>	Bois Énergie n° 1	2004
<i>Utilization of Residual Forest Biomass</i>	P. Hakkila, Springer-Verlag	1989
<i>Wood-Chip Heating Systems ; A Guide for Institutional and Commercial Biomass Installations</i>	Biomass Energy Resource Center	2004
<i>Wood fuels</i>	SVEBIO n° 2 WWW.SVEBIO.SE	2004

ANNEXE 1 – ÉQUIPEMENT NOVATEUR PERMETTANT L'INTÉGRATION DES ACTIVITÉS FORESTIÈRES DE DIVERS UTILISATEURS

Parmi les innovations, un nouvel équipement et procédé de récupération d'arbres entiers a été récemment développé par la société finlandaise Biologistiikka Oy. Il s'agit du modèle Valmet 801 Combi BioEnergy qui permet de fabriquer des plaquettes au cours d'éclaircies dans de jeunes peuplements.

Cet engin éclaircit la forêt dans un rayon de onze mètres, collecte plusieurs arbres en une seule charge et les transporte en position verticale de la forêt à une déchiqueteuse. Celle-ci transforme les tiges en plaquettes qui sont acheminées avec un courant d'air dans un réservoir placé à l'arrière. De là, les copeaux sont transférés à une remorque une fois que le réservoir est plein.

Outre le bois d'énergie, cet équipement peut récolter des qualités de bois traditionnelles. Ce procédé permet par conséquent l'intégration des activités forestières de divers utilisateurs.



Nouvel équipement et procédé de récupération d'arbres entiers. Il s'agit du modèle Valmet 801 Combi BioEnergy mis au point par la société finlandaise Biologistiikka Oy.

Source : www.komatsuforest.com