



RÉSULTATS DE RECHERCHE

Chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière résiduelle innovantes et adaptées aux besoins de chaufferies institutionnelles, commerciales et industrielles



Fédération québécoise
des coopératives forestières





PHOTO : RUT SERRA

PRÉSENTATION

Le potentiel de développement des énergies renouvelables au Canada et dans le monde, à l'heure actuelle et pour les prochaines années, se situe principalement dans la production de chaleur à partir de la biomasse forestière (Chum et coll. 2011)¹. La biomasse forestière résiduelle issue des sites forestiers réfère aux arbres ou aux parties d'arbres (branches et houppiers) non utilisés par les industries traditionnelles de transformation du bois. Cette biomasse est constituée de résidus de coupe totale ou partielle, d'arbres de faible qualité, et de peuplements affectés par les perturbations naturelles (feux et insectes). Elle représente la plus grande source de matière première actuellement disponible pour la production de bioénergie au Canada. Cependant, son potentiel est largement inutilisé en raison de contraintes logistiques, économiques et environnementales que pose son déploiement et aussi dues à d'importantes lacunes sur le plan des connaissances. Il est essentiel de mettre au point des méthodes nouvelles et innovantes en matière d'organisation des chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière pour la production de bioénergie, afin que le Canada puisse développer cette filière à son plein potentiel.

Dans le cadre du projet, les modèles de chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière résiduelle pour le chauffage ont été analysés pour toutes les étapes de la chaîne de la forêt jusqu'à la livraison du produit final. Les chaînes visées correspondent à l'approvisionnement de chaufferies de bâtiments commerciaux, institutionnels et industriels. Ce projet vise donc à regrouper l'information actuellement disponible, afin d'analyser et de comparer des modèles d'approvisionnement quant à leur rentabilité, leur logistique, ainsi que leur empreinte écologique et socio-économique. La figure 1 présente les différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière jusqu'à la chaufferie.

¹ Chum et coll. 2011. Bioenergy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

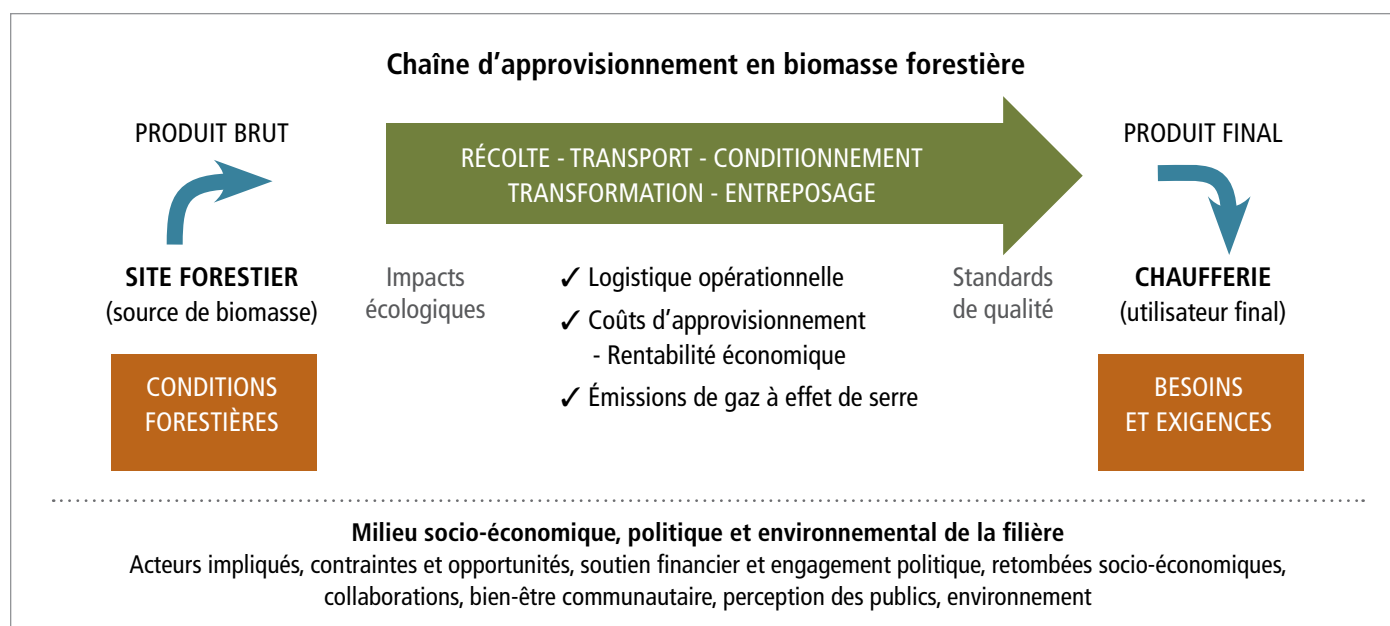


Figure 1 - Schéma de la grille d'analyse intégrant l'information générée par le projet.

Chacun des aspects de la chaîne est analysé à partir des meilleures informations techniques et scientifiques disponibles. Les résultats des différentes études menées dans le cadre du projet ont été synthétisés et regroupés dans ce recueil qui comprend un total de 16 synthèses. Chaque synthèse est composée d'un court résumé, d'une introduction, des principaux résultats et d'une conclusion qui comporte, lorsque possible, des recommandations. Le regroupement des études est organisé selon 3 chapitres, soit : les aspects opérationnels, environnementaux et socio-économiques.

CHAPITRE 1. ASPECTS OPÉRATIONNELS

Ce chapitre vise la synthèse des informations et connaissances disponibles sur la logistique des différents modèles de chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière pour les chaufferies locales et communautaires. Ainsi, le chapitre des aspects opérationnels regroupe différentes synthèses de rapports scientifiques et techniques concernant les opérations de récolte de la matière première en forêt jusqu'au transport du produit final, soit le transport tertiaire de la biomasse. Le chapitre débute avec une revue de littérature sur les chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière.

Par la suite, selon l'étape de la chaîne d'approvisionnement concernée dans l'étude, les synthèses du chapitre 1 sont présentées sous trois thèmes :

1.1 RÉCOLTE ET TRANSFORMATION

Dans cette section, les rapports scientifiques traitant de la récolte de biomasse en forêt jusqu'à sa mise en copeaux ou plaquettes², sont synthétisés. Ainsi, des résultats concernant la logistique des opérations de récolte et de transport (primaire³ et secondaire⁴) de biomasse sont vulgarisés : processus, postes d'activité, coûts, intégration avec les produits forestiers traditionnels, récolte indépendante de biomasse forestière, sources potentielles de biomasse forestière. De plus, une synthèse spécifique sur les coûts et les standards de qualité de différents modes de transformation (broyage/déchiquetage) de la biomasse est présentée. Cette section se termine par une synthèse concernant l'évaluation des coûts de différentes chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse.

2 On distingue les plaquettes des copeaux du fait que les premières sont issues de la biomasse forestière résiduelle tandis que les copeaux font référence aux copeaux pour l'industrie des pâtes et papiers. Toutefois, le terme copeaux au lieu de plaquettes est souvent utilisé parmi les différents intervenants de la filière.

3 Le transport primaire comprend le débardage du parterre de coupe jusqu'en bordure de chemin.

4 Le transport secondaire comprend le transport routier de bord de chemin jusqu'à l'usine, le Centre de transformation et de conditionnement de la biomasse (CTCB) ou, dans certains cas, la chaufferie.

1.2 CONDITIONNEMENT ET ENTREPOSAGE

Le conditionnement de la biomasse consiste à sécher la matière pour baisser son taux d'humidité à des valeurs requises par la chaufferie. Cette section regroupe 6 synthèses concernant les méthodes de conditionnement et d'entreposage de la biomasse. Principalement, elle présente les synthèses d'études concernant des moyens pour optimiser le séchage afin d'obtenir un produit final qui répond aux critères de qualité exigés par les chaufferies. En effet, l'obtention d'un taux d'humidité optimal permet d'augmenter le pouvoir calorifique de la biomasse et d'assurer, de plus, un meilleur rendement de la chaudière.

1.3 TRANSPORT TERTIAIRE

Le chapitre concernant les aspects opérationnels se termine par une synthèse d'un rapport sur l'optimisation de la composante réserve versus le transport tertiaire pour la livraison de plaquettes destinées aux chaufferies des petites et moyennes dimensions.

CHAPITRE 2. ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Le deuxième chapitre présente deux différentes analyses des enjeux environnementaux liés aux chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière. La première synthèse présentée dans ce chapitre vise l'identification des informations et connaissances disponibles sur la protection des services écologiques fournis par les forêts lors de la récolte de biomasse, par exemple la conservation des sols et de la biodiversité. Quant à elle, la deuxième synthèse cherche à quantifier l'enjeu environnemental du bilan de carbone du chauffage local à la biomasse forestière.

CHAPITRE 3. ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Le dernier chapitre présente deux synthèses d'études concernant l'analyse des caractéristiques des acteurs communautaires et des retombées possibles pour le milieu socio-économique du chauffage local et communautaire à la biomasse forestière résiduelle. D'autre part, des résultats concernant la nouvelle dynamique qu'un projet de bioénergie forestière peut déclencher dans une communauté sont aussi présentés. En effet, la bioénergie forestière englobe la participation et la coopération d'une multitude d'acteurs (Figure

2) reliés les uns aux autres et formant un réseau déterminé. Cette structure unique permet de renforcer le bien-être communautaire. Ainsi, le réseau des coopératives forestières du Québec devient un acteur incontournable du développement de la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle.



Figure 2 - Réseau d'acteurs dans les projets de chaufferies à la biomasse forestière.

ÉQUIPE

Rédaction

Rut Serra, Louka Thibeault
et Eugène Gagné, FQCF

Anne-Renée Hamel et Évelyne Thiffault,
Université Laval

Luc Desrochers, FPInnovations

Yves Bernard, CRIQ

Relecture

Evelyne Thiffault, Université Laval

Graphisme

Nadia Bélanger

CRÉDITS PHOTOS

COUVERTURE

Photo 1 et 2 : Fédération québécoise des coopératives forestières

Photo 3, 4 et 5 : Coopérative forestière de la Matapédia

Photo 6 : Norforce Énergie

DOS DU DOCUMENT

Emmanuel Huybrechts

<https://www.flickr.com/photos/ensh/7993857213>



REMERCIEMENTS

Les travaux de recherche et les essais réalisés grâce à l'implication du réseau des coopératives forestières et qui sont présentés dans ce document ont été rendus possibles grâce au soutien financier de Ressources naturelles Canada, de la Fédération québécoise des coopératives forestières, de FPIInnovations, du Centre de recherche industrielle du Québec, de l'Université Laval, du réseau des centres d'excellence BioFuelNet Canada et de l'Université du Nouveau-Brunswick.

Les coopératives forestières fortement impliquées dans le projet sont: la Coopérative forestière de la Matapédia, la Coopérative forestière Ferland-Boilleau, la Coopérative forestière Petit Paris, le Groupe Forestra Coopérative forestière, la Coopérative forestière St-Dominique, l'Association Coopérative forestière de St-Elzéar, la Coopérative de gestion forestière des Appalaches, la Coopérative forestière de Petite Nation et la Coopérative forestière des Hautes-Laurentides. Nous tenons de même à remercier l'appui technique et matériel de Norforce Énergie ainsi que le soutien technique de Lamarche Corneau, de Gestion Conseils PMI et de Premier Tech.

Ce document a été produit grâce à une aide financière de Ressources naturelles Canada. Son contenu ne reflète pas nécessairement les vues du gouvernement du Canada.

This document is produced with financial support from Natural Resources Canada. Its contents do not necessarily reflect the opinions of the Government of Canada.



PHOTO : RUT SERRA

TABLE DES MATIÈRES

Présentation	I
Remerciements	V

CHAPITRE 1: ASPECTS OPÉRATIONNELS

1.1	Classification des chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière	1
-----	---	---

Récolte, transport et transformation

1.2	Récolte intégrée de biomasse lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux naturel	7
1.3	Récupération de biomasse dans une opération de déblaiement dans un peuplement feuillu dégradé	13
1.4	Production, compactage et ensachage de mini-plaquettes	19
1.5	Évaluation des coûts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse	27

Conditionnement et entreposage

1.6	Conditionnement de plaquettes	31
1.7	Modeling ideal settling schedule for homogenizing moisture content of comminuted biomass from various sources	37
1.8	Conditionnement et suivi du transfert d'humidité de mélanges de plaquettes de différentes origines	39
1.9	Valorisation énergétique de plaquettes d'écorce et de dosses	45
1.10	Essais laboratoire de séchage biologique de biomasse forestière	53
1.11	Séchage actif de plaquettes de bois	59

Transport tertiaire

1.12	Optimisation du transport	65
------	---------------------------	----



PHOTO : RUT SERRA

TABLE DES MATIÈRES (SUITE)

CHAPITRE 2 : ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

- | | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | La récolte de biomasse forestière : saines pratiques et enjeux écologiques dans la forêt boréale canadienne | 73 |
| 2.2 | Le bilan de carbone du chauffage local à la biomasse forestière : le cas des coopératives forestières du Québec | 81 |

CHAPITRE 3 : ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

- | | | |
|-----|--|----|
| 3.1 | Aspects socio-économiques, politiques et environnementaux de la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle : le cas des coopératives forestières du Québec | 89 |
| 3.1 | Analyse socio-économique préliminaire sur la mise en place de la filière du chauffage à la biomasse forestières résiduelle. Portrait de la situation en 2016 | 95 |



PHOTO : RUT SERRA

1.1

CLASSIFICATION DES CHÂÎNES D'APPROVISIONNEMENT EN BIOMASSE FORESTIÈRE¹

Rut Serra, Luc Desrochers, Evelyne Thiffault et Gustave Kessler Nadeau

DANS CETTE SECTION

Introduction	1
Résultats	2
Conclusion et recommandations	5
Remerciements	5
Références	5

MOTS CLÉS

Flux d'approvisionnement
Biomasse forestière résiduelle
Revue de littérature
Base de données
Outil d'analyse et d'aide à la décision

RÉSUMÉ

Une revue de littérature sur les chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière a été réalisée afin d'identifier les chaînes existantes ainsi que les lacunes dans les connaissances. Pour ce faire, les différents documents consultés ont été classifiés dans une base de données, permettant ainsi d'élaborer un schéma des flux d'approvisionnement en biomasse forestière du site de récolte jusqu'à l'utilisateur final. À partir de cette base de données, il serait pertinent d'élaborer un outil d'analyse et d'aide à la décision qui pourrait prendre la forme d'arbre de décision opérationnelle. Celui-ci permettrait aux intervenants du milieu de faire un choix éclairé de la chaîne d'approvisionnement à préconiser dans un contexte déterminé.

INTRODUCTION

Les chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière sont nombreuses et varient en fonction du contexte auquel elles sont associées. Au Québec, la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle est encore récente et les chaînes d'approvisionnement sont encore peu maîtrisées. Par contre, les pays scandinaves ont une plus grande maîtrise des chaînes d'approvisionnement en raison du plus grand nombre d'années d'expérience et de leurs efforts déployés pour le développement des énergies renouvelables. La connaissance de la logistique et des étapes d'opération des différentes chaînes de ces pays pourrait servir d'exemple pour le Québec. Toutefois, il sera important d'adapter ces chaînes au contexte québécois. À titre d'exemple, les distances de transport de la matière au Québec sont différentes de celles du contexte européen. Une revue de littérature sur les chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière en milieu tempéré a été réalisée dans le but de classer les études qui documentent l'opérationnalisation de ces chaînes du site

1 Document de référence: Serra et coll. (2016)

de récolte jusqu'à l'utilisateur final. Une grille de classification des flux d'approvisionnement en biomasse forestière a été élaborée et une base de données a été produite pour compiler les études consultées.

RÉSULTATS

Au total, **169 documents** ont été consultés et classifiés. Ces documents comprenaient en tout 425 études. Les documents retenus ont été sélectionnés en fonction de leur contenu sur les différentes étapes d'approvisionnement en biomasse forestière. Les documents devaient être pertinents et s'appliquer dans un contexte québécois, notamment en termes de climat. Ainsi, les documents retenus provenaient de l'Amérique du Nord (49 %, dont plus de la moitié provienne du Canada), des Pays Scandinaves (20 %), de l'Europe occidentale autre que la Scandinavie (26 %), de l'Océanie (4 %) et de l'Asie (1 %). La période de la documentation consultée s'étalait de 1974 à 2014. Le type de documents consultés provenait d'une variété de sources, dont 39 % correspondait à des articles scientifiques et 37 % à des rapports. Parmi les rapports, bon nombre étaient des études réalisées par FPInnovations dont certains étaient accompagnés par une note résumant l'information (*Info Card*).

Pour être en mesure d'élaborer un **schéma des flux d'approvisionnement** en biomasse forestière, chaque étude a été classifiée selon **7 éléments** divisés entre **3 et 5 niveaux**, et chaque niveau comprenait plusieurs options. Les éléments et niveaux étaient les suivants :

1. Lieu: Regroupement de pays – Pays – Grande région – Province / État / Région;
2. Peuplement: Origine – Type – Structure – État – Essence;
3. Bois marchand: Type de récolte – Système d'abattage – Façonnage – Équipement de façonnage;
4. Biomasse forestière: Type – Localisation – Façonnage de la biomasse – Localisation du façonnage;
5. Récolte de la biomasse: Transformation de la biomasse – Lieu de transformation – Manutention;

6. Conditionnement de la biomasse: Parterre de coupe – Bord de chemin – Jetée centrale – Centre d'entreposage;
7. Transport de la biomasse: Primaire (parterre de coupe) – Intermédiaire (en forêt) – Secondaire (route) – Tertiaire (livraison)

De plus, pour les éléments 3 à 7, il était possible de noter la présence ou non de données sur la productivité ou les coûts dans l'étude. Les différents éléments et niveaux pouvaient être filtrés pour identifier une chaîne d'approvisionnement en particulier. Grâce à l'utilisation du filtre et de la feuille sommaire qui contient la compilation de l'ensemble des documents consultés, il a été possible de déterminer le nombre d'études qui documentent une opération en particulier et de compléter le schéma des flux d'approvisionnement (Figure 1). Ce schéma est divisé en deux chaînes d'approvisionnement principales selon le procédé de récolte, soit la récolte par arbres entiers (à gauche) et la récolte par bois tronçonnés (à droite). Avec cet outil, il est possible d'identifier les modèles d'approvisionnement les plus fréquents, les lacunes dans les connaissances et les opportunités d'études et de validation.

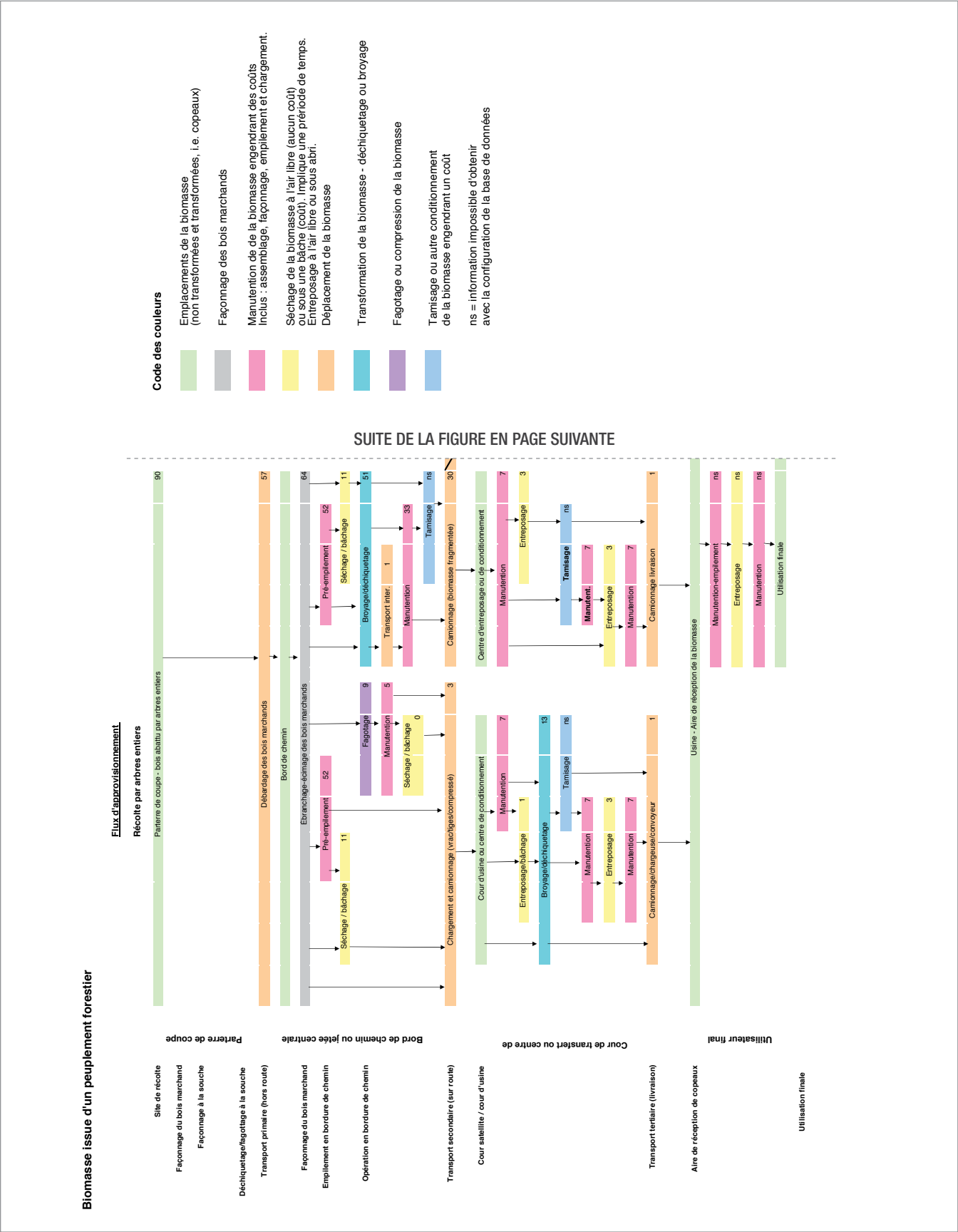


Figure 1 - Schéma des flux d'approvisionnement en biomasse forestière.

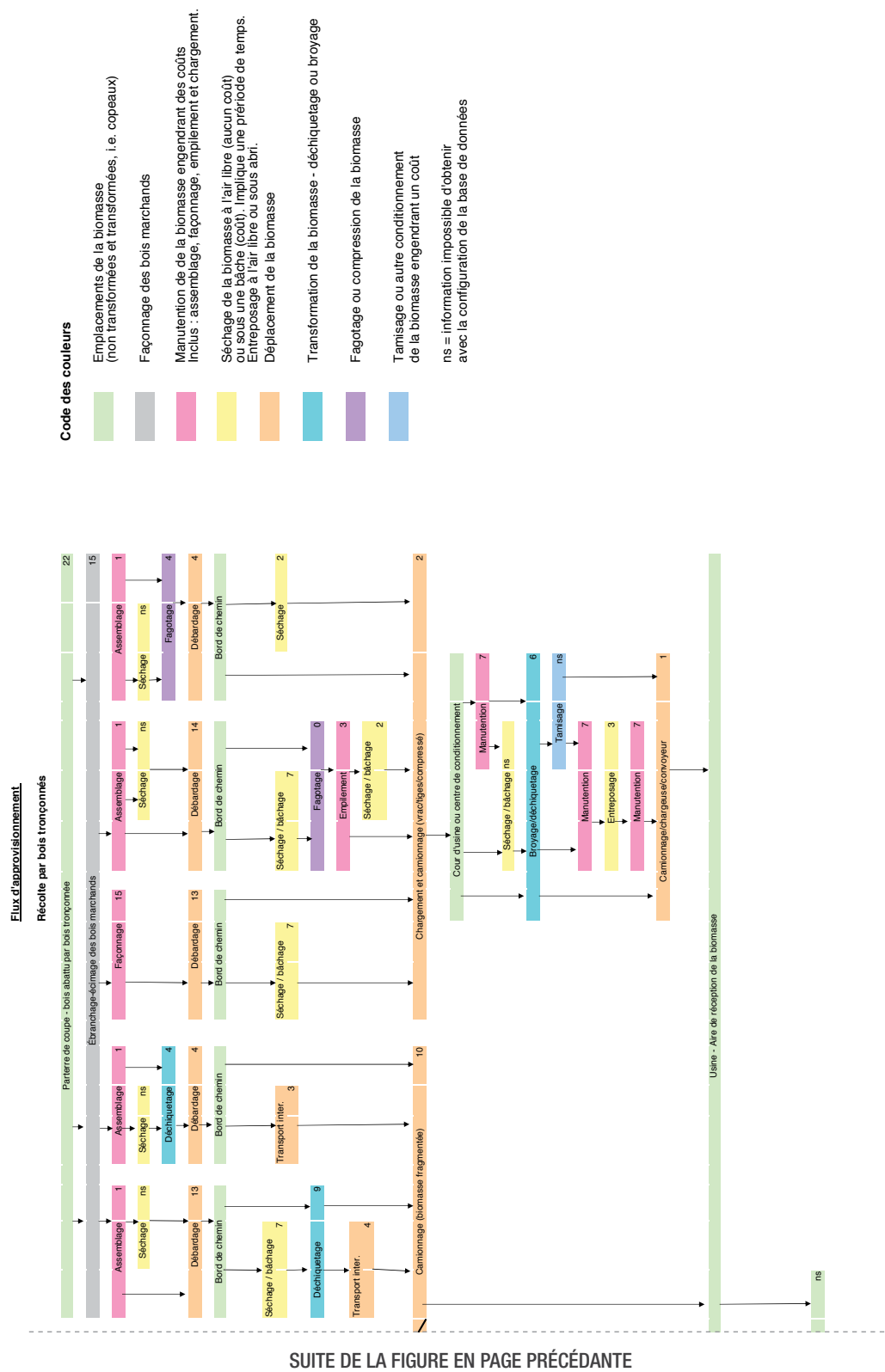


Figure 1 - Schéma des flux d'approvisionnement en biomasse forestière.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La base de données contient un bon nombre d'études sur les chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière de différents pays en milieu tempéré. La période de consultation des sources documentaires est comprise entre 1974 et 2014 et de nouvelles études ont été publiées depuis. Cette base de données devrait être actualisée en continu, pour maintenir à jour les nouvelles connaissances sur les chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière.

Avec cette base de données, il a été possible d'élaborer un schéma des flux des chaînes d'approvisionnement et de classer et dénombrer les études en fonction des procédés opérationnels utilisés, et de reconnaître les chaînes d'approvisionnement les plus répandues. Ce schéma permet aussi d'identifier les lacunes existantes et de mieux orienter les besoins en recherche.

Pour rendre l'utilisation de la base de données plus conviviale, celle-ci a été transposée dans Microsoft Office Access, un programme informatique spécialisé dans la gestion de bases de données. Celle-ci comporte un formulaire pour faire des requêtes ce qui facilite son utilisation. Avec cette base de données, il sera possible d'élaborer un outil d'aide à la décision en ligne. Le développement d'un outil comprenant un

arbre de décision opérationnelle permettrait d'orienter les intervenants du milieu sur des chaînes d'approvisionnement à préconiser suivant des contextes particuliers. L'incorporation de données sur la productivité et les coûts de chaque étape d'opération permettrait de mieux orienter ce choix. Toutefois, afin de faciliter la compilation et la gestion de la base de données, il sera nécessaire d'uniformiser la collecte de données. À titre d'exemple, les *Info Cards* utilisées par FPInnovations décrivent sommairement une étude en particulier et présentent l'information sur la productivité et les coûts de façon simple et concise, ce qui facilite grandement la compilation.

Cette base de données est très pertinente pour quiconque qui s'intéresse aux chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière. Celle-ci est disponible auprès de M. Gagné de la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) à l'adresse courriel suivante : e.gagne@fqcf.coop.

REMERCIEMENTS

La production de ce document a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de Ressources naturelles Canada, de la Fédération québécoise des coopératives forestières, de FPInnovations, de l'Université Laval et du réseau BioFuelNet Canada.

RÉFÉRENCES

Serra, R., Desrochers, L., Thiffault, E., et Kessler Nadeau, G. 2016. Classification des chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière. Fédération québécoise des coopératives forestières; FPInnovations; Université Laval. (Québec) Québec. 19 p.



PHOTO : RUT SERRA

1.2

RÉCOLTE INTÉGRÉE DE BIOMASSE LORS D'UNE PREMIÈRE ÉCLAIRCIE COMMERCIALE DANS UN PEUPLEMENT RÉSINEUX NATUREL¹

Luc Desrochers

DANS CETTE SECTION

Introduction	7
Résultats	8
1. Impact sur la productivité des machines	8
2. Flux de la biomasse	9
3. Qualité du traitement	9
4. Coût de la biomasse	9
Conclusion et recommandations	10
Remerciements	11
Références	11

MOTS CLÉS

Récolte intégrée
 Première éclaircie commerciale
 Peuplement résineux
 Baguettes
 Abatteuse-façonneuse
 Porteur forestier
 Productivité
 Déchiquetage
 Transport routier
 Coûts des opérations
 Qualité du traitement

RÉSUMÉ

L'étude évalue les coûts de récupération de la biomasse forestière résiduelle lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux, et ce, du parterre de coupe jusqu'à la cour d'entreposage. Intégrés à la récolte des bois marchands, quatre scénarios de récupération de biomasse ont été évalués : 1) façonnage des cimes en baguettes de 8 pieds, 2) façonnage des cimes en baguettes de 12 pieds, 3) façonnage des cimes en baguettes de 12 pieds et récupération de la cime restante et 4) aucune récupération de biomasse. La récupération des arbres non marchands s'est avérée plus coûteuse que la récupération de la cime des arbres marchands. Le coût bord de chemin entre les différentes formes de biomasse récupérées a été similaire, mais est demeuré élevé lorsque comparé avec celui du bois marchand. Quant au transport routier, les baguettes de 8 pieds ont permis de former des charges plus importantes que les baguettes de 12 pieds. Toutefois, le transport simultané de bois marchand avec les baguettes de 12 pieds a permis d'atténuer cet avantage. Au final, l'étude démontre que le transport de la biomasse résiduelle sous forme de baguettes et son déchiquetage dans la cour d'entreposage n'est pas plus coûteux que le déchiquetage de la biomasse résiduelle en forêt et son transport sous forme de plaquettes.

INTRODUCTION

La valorisation de la biomasse forestière résiduelle à des fins énergétiques pourrait s'avérer être une solution pour rentabiliser davantage les traitements de première éclaircie commerciale dans les peuplements résineux. Faute d'un marché adéquat

1 Documents de références: Desrochers (2016)

pour les volumes marchands récoltés en raison de la dimension des tiges, ce traitement est souvent reporté ce qui pourrait compromettre la qualité du sciage lors de la récolte finale. Cette étude visait à déterminer les **coûts de récupération** de la biomasse forestière résiduelle (cime des arbres marchands et arbres non marchands) lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux.

La biomasse forestière résiduelle (ci-après nommée « biomasse ») désigne la cime et les autres parties non commerciales des arbres récoltés ainsi que les arbres non marchands, soit les arbres avec un diamètre au DHP inférieur à 9,1 cm ou les essences non marchandes. Une des solutions envisagées pour récupérer la biomasse est de façonner les cimes et les arbres non marchands en billes de faibles diamètres (baguettes) pour faciliter leur manutention. La récupération de la biomasse sous forme de **baguettes** soulève toutefois des interrogations. Les principaux objectifs de l'étude visaient à déterminer :

1. L'impact de la récupération de la biomasse sur la productivité de l'abatteuse-façonneuse et du porteur forestier;
2. Le flux de la biomasse forestière;
3. La qualité du traitement;
4. Le coût de la biomasse récupérée, soit :
 - le coût bord de chemin;
 - le coût du transport routier;
 - le coût du déchiquetage;
 - le coût total.

Pour ce faire, un essai opérationnel a été réalisé à l'automne 2013 en collaboration avec la Coopérative forestière de la Matapédia (CFM). La récupération de la biomasse a été réalisée en opérations intégrées à la récolte du bois marchand. Quatre scénarios de récupération de biomasse ont été évalués :

1. Façonnage des cimes en baguettes de 8 pieds;
2. Façonnage des cimes en baguettes de 12 pieds;
3. Façonnage des cimes en baguettes de 12 pieds et récupération de la cime restante;
4. Aucune récupération de biomasse (scénario témoin).

RÉSULTATS

1. IMPACT SUR LA PRODUCTIVITÉ DES MACHINES

Des études chronométriques ont été réalisées sur l'abatteuse-façonneuse et le porteur forestier pour évaluer leur productivité (en m³/HMP²) et le temps utilisé pour manipuler et façonner la biomasse forestière dans chacun des scénarios.

FAÇONNAGE DE LA BIOMASSE

La récupération et le façonnage de la biomasse accaparait entre 23 et 25 % du temps productif de l'abatteuse-façonneuse. En raison du tronçonnage supplémentaire, le façonnage en baguettes de 8 pieds (scénario 1) nécessitait un peu plus de temps que le façonnage en baguettes de 12 pieds (scénario 2) et que le façonnage en baguettes de 12 pieds et les cimes restantes (scénario 3). La récupération des **arbres non marchands** représentait entre 42 et 49 % du temps de façonnage de la biomasse, mais ne représentait qu'entre 25 et 27 % des volumes de biomasse récupérés. Ainsi, il était plus coûteux de récupérer la biomasse provenant des arbres non marchands que celle provenant d'arbres marchands.

Il n'y avait pratiquement pas de différence entre la **quantité de biomasses** récupérée avec des baguettes de 8 pieds (14,05 m³/ha) et avec des baguettes de 12 pieds (14,19 m³/ha). La longueur des baguettes avait donc peu d'impact sur la quantité de biomasses récupérée. La récupération des cimes non ébranchées (scénario 3) permettait toutefois de rapporter 20 % de biomasse de plus par hectare (16,88 m³/ha). Cette biomasse était principalement constituée de feuillage et de petites branches. Bien qu'il soit le moins productif en termes de m³/HMP, le scénario 3 a permis de récolter le plus de biomasse.

DÉBARDAGE DE LA BIOMASSE

Pour optimiser les voyages, du bois marchand était transporté avec la biomasse dans un même voyage. L'opérateur pouvait placer deux piles de 8 pieds dans le panier et seulement une pile de 12 pieds, ce qui avantagait le scénario 1. Toutefois, lorsque la biomasse était transportée seule (sans bois marchand) les baguettes de 8 pieds permettaient de transporter jusqu'à 84 % de plus de volume que les baguettes de 12 pieds tandis qu'avec l'ajout du bois marchand dans les voyages, cet avantage diminuait à 24 %. Le débardage des baguettes de

2 HMP : heure machine productive.

12 pieds et leur cime restante (scénario 3) était le moins productif en raison de la faible densité des cimes. Il a été constaté qu'il serait plus productif de transporter des baguettes et des cimes **sans le transport simultané de bois marchand**. En effet, le faible volume des bois marchands transportés par voyage ne semblait pas compenser pour les déplacements supplémentaires à la jetée lors du déchargement du bois marchand.

UTILISATION DES MACHINES

Des bavardeurs électroniques MultiDAT avec GPS (FPInnovations) ont été installés dans l'**abatteuse-façonneuse** et le **porteur forestier** afin de suivre leurs déplacements et évaluer leur utilisation dans les différents scénarios.

L'utilisation du porteur à l'extérieur des blocs d'essais était de 76 %, ce qui laissait peu de temps productif pour débarder de la biomasse à l'intérieur des heures prévues. L'utilisation du porteur à l'intérieur des blocs d'essai a augmenté à 89 %, mais une partie de l'augmentation peut être attribuable à la comptabilisation des heures pour une superficie restreinte. Les temps improductifs du porteur à l'intérieur des heures prévues ne suffisaient donc pas pour débarder toute la biomasse récoltée. Des heures de travail supplémentaires étaient nécessaires.

Cependant, le temps additionnel qu'a nécessité la manipulation de la biomasse semble avoir été le même pour l'abatteuse-façonneuse et le porteur-forestier. En effet, le ratio d'utilisation de l'abatteuse-façonneuse/porteur forestier a été calculé pour chacun des scénarios afin de déterminer si la récupération de la biomasse affectait davantage une machine par rapport à l'autre. Le **ratio d'utilisation 1/1** est similaire pour tous les scénarios, c'est-à-dire que le nombre d'heures productives nécessaires par hectare était le même pour l'abatteuse et le porteur forestier.

2. FLUX DE LA BIOMASSE

Pour évaluer le flux de la biomasse forestière, la quantité de biomasse totale du peuplement **debout avant et après** coupe (tiges et cimes de tous les arbres), la quantité de bois marchand récolté et de bois non marchand récupéré et la quantité de biomasse forestière résiduelle laissée sur le parterre de coupe ont été quantifiés. Entre 23 et 27 % de la biomasse totale du peuplement initial a été coupée. Près de 60 % de la

biomasse coupée a été récoltée sous forme de bois marchand avec son écorce, et entre 13 et 19 % a été récupérée sous forme de biomasse pour la chauffe. Le 21 à 27 % restant, en grande partie composé de feuillage, est demeuré sur le sol, dont la moitié dans les sentiers.

3. QUALITÉ DU TRAITEMENT

Les principales inquiétudes évoquées lors de la récupération de la biomasse étaient le risque accru de blessures aux arbres résiduels attribuables aux manipulations supplémentaires des baguettes et des cimes avec l'abatteuse-façonneuse et le porteur forestier ainsi que le risque accru d'orniérage dû aux passages répétés du porteur forestier et à la diminution de la quantité de résidus sur les sentiers de débardage. Les scénarios avec récupération de biomasse présentaient plus de blessures que le scénario témoin; toutefois, la majorité des **blessures** étaient **mineures** et tous les scénarios rencontraient le critère de réussite précisé dans la prescription sylvicole.

Le sol des blocs d'étude avait une bonne portance et un bon drainage et l'inspection visuelle a permis de constater **l'absence d'ornières** dans tous les sentiers. Il est toutefois recommandé de porter une attention particulière lorsque les opérations sont effectuées sur des sols plus sensibles. Les passages répétés du porteur et la diminution de la couverture de résidus sur les sentiers pourraient augmenter la compaction et l'orniérage du sol (Thiffault et coll. 2015).

4. COÛT DE LA BIOMASSE

COÛT BORD DE CHEMIN

Le **coût du façonnage** de la biomasse a été estimé à 13,99 \$/m³ pour les baguettes de 8 pieds, 12,06 \$/m³ pour les baguettes de 12 pieds et 10,92 \$/m³ pour les baguettes 12 pieds et cimes, ce qui représente un coût inférieur au coût de façonnage du bois marchand (14,83 \$/m³). Cependant, le **coût du débardage** variait de 14,97 \$/m³ pour les baguettes de 8 pieds à 19,39 \$/m³ pour les baguettes de 12 pieds et cimes, soit un coût deux fois plus élevé que le débardage du bois marchand (7,85 \$/m³). Le faible volume des baguettes et leur éparpillement le long des sentiers sont les principales raisons du coût élevé du débardage. Finalement, Il y a peu de différence entre le **coût bord de chemin** des baguettes de 8 pieds (28,97 \$/m³) et des baguettes de 12 pieds (28,56 \$/m³). Celui des baguettes

de 12 pieds et cimes était un peu plus élevé (30,31 \$/m³) en raison d'un débardage moins efficace. Le coût de la biomasse, peu importe le scénario, est supérieur au coût bord de chemin du bois marchand, qui s'élève à 22,86 \$/m³.

COÛT DU TRANSPORT ROUTIER

Le transport des baguettes de la forêt jusqu'à l'entrepôt de la CFM, soit une distance de 61 km, a été assuré par des grumiers auto-chargeants. Les grumiers permettaient l'arrimage de cinq piles de baguettes de 8 pieds pour atteindre la charge maximale de 36 tonnes, comparativement à seulement trois piles de baguettes de 12 pieds pour une charge estimée à 28 tonnes. Toutefois, les opérateurs ont pu compléter la charge avec du bois marchand et atteindre la charge maximale. La proximité des destinations pour le bois marchand et les baguettes permettait cette solution. Cela pourrait ne pas être le cas dans d'autres opérations.

Le **transport des baguettes de 8 pieds** a été estimé à 11,47 \$/m³. Les baguettes de 12 pieds ne permettent pas de former une pleine charge. Le coût de transport des **baguettes de 12 pieds** transportées seules a été estimé à 14,10 \$/m³, soit une augmentation d'environ 20 % par rapport au transport des baguettes de 8 pieds. L'ajout de bois marchand pour compléter la charge a toutefois ramené le coût à celui obtenu pour les baguettes de 8 pieds.

Pour le scénario 3 (baguettes de 12 pieds et cimes restantes), la **biomasse a été déchiquetée en bordure de chemin** et les plaquettes ont été transportées jusqu'à l'entrepôt de la CFM avec une semi-remorque à plancher mobile. Toutefois, le transport routier des plaquettes n'a pas été suivi. Basé sur des observations antérieures, le coût de **transport des plaquettes** aurait été de 8,66 \$/m³, soit un coût inférieur d'environ 25 % par rapport au coût de transport des baguettes.

COÛT DU DÉCHIQUETAGE

La biomasse du scénario 3 (baguettes de 12 pieds et cimes restantes) a été déchiquetée en bordure du chemin par la déchiqueteuse mobile de la CFM l'année suivante. Les opérations de déchiquetage n'ont cependant pas été étudiées. Selon la CFM, le coût d'une opération de déchiquetage en forêt est 40 % plus élevé que celle effectuée dans la cour d'entreposage. Pour les besoins de l'étude, des **coûts de déchiquetage** de 35 \$/tma en forêt et de 25 \$/tma dans la cour d'usine ont été utilisés, soit des coûts équivalents de 9,01 \$/m³ et de 12,62 \$/m³.

COÛT TOTAL

Le coût total de la biomasse livrée dans la cour d'entreposage et déchiquetée a été estimé pour les trois scénarios de récupération de biomasse à l'étude. Le **coût total** a été moindre pour la récolte de biomasse en baguettes. Il y avait peu de différence entre les baguettes de 8 pieds et les baguettes de 12 pieds, lorsque ces dernières bénéficiaient de l'ajout de bois marchand lors du transport routier. Le scénario 3, avec le déchiquetage en forêt, était un peu plus coûteux; son coût était supérieur de 2,14 \$/m³ par rapport aux scénarios avec baguettes. Si on ajoute les manipulations supplémentaires et les coûts d'entreposage des baguettes, les coûts totaux des différents scénarios deviennent pratiquement égaux. Toutefois, de nombreux avantages associés à l'approvisionnement de biomasse sous forme de baguettes sont à considérer, comme le transport routier des bois marchands et des baguettes effectué en même temps et avec les mêmes camions, un meilleur conditionnement et une meilleure préservation de la biomasse, une meilleure qualité des plaquettes produites, et une plus grande quantité d'éléments nutritifs laissés sur le parterre de coupe en raison du feuillage des cimes.

CONCLUSION

La récupération de la biomasse forestière intégrée à une opération d'éclaircie commerciale s'est avérée coûteuse. Même si le coût de façonnage de la biomasse en baguettes demeurerait inférieur à celui des bois marchands, le coût de débardage s'est révélé deux fois plus coûteux, de sorte que le coût bord de chemin de la biomasse s'est avéré très élevé. Même avec les remboursements accordés par le programme d'investissement dans les forêts traitées en coupes partielles (BMMB Québec, 2013), la récupération de la biomasse résiduelle dans une opération d'éclaircie commerciale est difficile à justifier. Toutefois, dans un contexte de mise en marché difficile pour les billes de sciage de petits diamètres, la récupération de ces billes et de la biomasse résiduelle (baguettes) à des fins de bioénergie pourrait s'avérer économiquement plus viable.

L'étude a permis de démontrer que la récupération de la biomasse en baguettes n'était pas plus coûteuse que le déchiquetage des cimes en forêt. De plus, de nombreux autres avantages sont associés au façonnage des cimes en baguettes. Dans des essais futurs, il serait intéressant de trouver la longueur de baguettes idéale, entre 8 pieds et 11 pieds, qui permettrait d'optimiser les opérations de débardage et de transport, tout

en limitant le nombre de tronçonnages. Une augmentation de la longueur, même légère, aurait une incidence positive sur les coûts de débardage et de transport routier.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources

naturelles Canada. L'auteur tient à remercier la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et la Coopérative forestière de la Matapédia pour leur soutien technique et matériel. Un remerciement tout particulier à Rut Serra de la FQCF pour sa participation active à l'étude, à Josianne Guay, Jacques Lirette et Jean A. Plamondon de FPInnovations pour la prise de données sur le terrain et leur soutien technique.

RÉFÉRENCES

BMMB Québec. 2013. Valeur des traitements sylvicoles commerciaux pour l'année financière 2013-2014. Bureau de mise en marché des bois, Gouv. du Québec, Québec. 4 p.

Desrochers, L. 2016. Récolte intégrée de biomasse lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux naturel. FPInnovations; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec. 60 p.

Thiffault, E., St-Laurent Samuel, A., et Serra, R. 2015. La récolte de biomasse forestière: saines pratiques et enjeux écologiques dans la forêt boréale canadienne. RNCAN, SCF, Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec); Nature Québec; Fédération québécoise des coopératives forestières. 87 p.



PHOTO : LUC DESROCHERS

1.3

RÉCUPÉRATION DE BIOMASSE DANS UNE OPÉRATION DE DÉBLAIEMENT DANS UN PEUPLEMENT FEUILLU DÉGRADÉ¹

Luc Desrochers

DANS CETTE SECTION

Introduction	13
Résultats	14
1. Production des machines	14
2. Volume récolté	15
3. Flux de biomasse	15
4. Qualité du traitement	15
5. Coût de la biomasse	16
Discussion et conclusion	16
Remerciements	17
Références	17

MOTS CLÉS

Biomasse forestière
Peuplement feuillu dégradé
Déblaiement
Arbres entiers
Abatteuse-groupeuse
Débardeur à câble
Chargeuse sur chenille
Déchiquetage
Productivité
Coûts des opérations
Qualité du traitement

RÉSUMÉ

L'opération de déblaiement consiste à la mise en andains de la matière ligneuse non commerciale pour la remise en production d'un site. L'étude avait pour but d'évaluer les coûts de récupération de la biomasse forestière (arbres non marchands) lors d'une opération de déblaiement dans un peuplement feuillu dégradé. Une abatteuse-groupeuse, deux débardeurs à câble et une chargeuse sur chenille ont été utilisés pour abattre et récupérer la biomasse. Au total, 31,75 tma/ha sur une possibilité de 73,7 tma/ha ont été récupérées. La récupération de la biomasse forestière intégrée à une opération de déblaiement a atteint ses objectifs sylvicoles de production de microsites adéquats pour la plantation, mais s'est révélée être une opération coûteuse. Des équipements mieux adaptés pourraient réduire les coûts de récupération de la biomasse de façon substantielle. L'investissement dans de nouveaux équipements serait justifié seulement si de grandes superficies devaient être traitées annuellement.

INTRODUCTION

Entre 1999 et 2009, 6 200 ha de forêts publiques et 3 200 ha de forêts privées ont été traitées en moyenne chaque année au Québec par une opération de déblaiement dans le but de remettre en production des sites dégradés et non productifs. Le **déblaiement** consiste à la mise en andains de la matière ligneuse non commerciale pour faciliter le passage d'un scarificateur ou la mise en terre de plants. Le déblaiement peut être effectué avec un buteur équipé d'une lame droite, ou avec un débardeur ou une excavatrice munie d'un peigne. Les arbres et arbustes sont coupés ou arrachés et mis en andains pour permettre le reboisement. Dans les peuplements âgés de 50 ans

1 Document de référence : Desrochers (2016)

et plus n'ayant fait l'objet d'aucune récupération au préalable, l'utilisation d'une abatteuse-groupeuse est autorisée.

Sur certains sites, la quantité de biomasse sur pied peut être importante. Cette biomasse représente une source de biomasse forestière intéressante à des fins de valorisation énergétique. De plus, la récupération de la biomasse accompagne l'opération de déblaiement pour préparer le terrain au reboisement et permet de remettre en production une plus grande portion du parterre de coupe qui serait autrement occupée par les andains.

Le projet de la Coopérative forestière Petite-Nation (CFPN) avait pour but de **documenter une opération de récupération** de biomasse effectuée en remplacement d'une opération de déblaiement. Le projet visait à déterminer: 1) la productivité des machines lors de la récolte, 2) le volume de biomasse récolté, 3) le flux de la biomasse, 4) la qualité des microsites pour la plantation et 5) les coûts de récupération de la biomasse et de sa transformation en plaquettes.

DESCRIPTION DU SITE

Cinq blocs d'une superficie de 1,6 à 7,0 ha et totalisant 22,6 ha ont été délimités dans le secteur du lac Lulu dans la Zec de la Maison à Pierre dans les Laurentides. Le secteur récolté en 1991 par coupe totale s'est régénéré en grande partie avec du feuillu intolérant (cerisier de Pennsylvanie) sans valeur commerciale. Les peuplements étaient constitués de 88 % d'espèces feuillues et de 12 % d'espèces résineuses. Les arbres marchands (DHP de plus de 9 cm) avaient une densité de 316 tiges/ha avec un diamètre moyen à hauteur de poitrine (DHP) de 17,5 cm alors que les arbres non marchands et les espèces non commerciales avaient une densité de 1 246 tiges/ha avec un DHP de 10,7 cm. La quantité moyenne de biomasse disponible² à l'hectare était estimée à 73,7 tma/ha pour un total 1647 tma pour l'ensemble des blocs. Les arbres marchands représentaient 67 % du volume de biomasse disponible et les espèces non marchandes et les sous-diamètres (DHP de 9 cm et moins) représentaient 33 % du volume disponible. Le bouleau jaune était la composante la plus importante du volume marchand (56 %), alors que le cerisier de Pennsylvanie était la principale composante des espèces non commerciales (75 %). La régénération naturelle était très faible avec un coefficient de distribution inférieur à 25 % dans les espèces désirées.

PRESCRIPTION

La prescription précisait une récolte en plein en sauvegardant les bouleaux jaunes vigoureux et des îlots de résineux et la création de 800 à 1 200 microsites propices au reboisement à l'hectare avec un espacement visé de 2 m.

DESCRIPTION DES OPÉRATIONS

La récupération de biomasse a été réalisée au cours de l'été 2014 avec une abatteuse-groupeuse John Deere 853G (2003) équipée d'une tête GN Roy de 24 pouces et deux débardeurs à câble: un modèle Tree Farmer C5 (2004) et un modèle Timberjack 480B (1989). Une excavatrice demeurait en bordure du chemin pour permettre de regrouper les tiges en plus grandes piles. La biomasse a été récoltée sur les cinq blocs à l'exception d'une parcelle (témoin), sur laquelle les résidus ont été mis en andains avec le débardeur Timberjack muni d'un râteau.

RÉSULTATS

1. PRODUCTION DES MACHINES

Des **études chronométriques** ont été réalisées sur l'abatteuse-groupeuse et les débardeurs à câble pour évaluer leur productivité dans une opération de récupération de la biomasse.

ABATTAGE DE LA BIOMASSE

L'opérateur de l'abatteuse avait comme directive de récolter et de mettre en petites piles les arbres en récupérant le plus de biomasse possible, mais sans perdre trop de temps avec les gaulis. L'abatteuse-groupeuse a été chronométrée dans chacun des cinq blocs pour un total de 21,2 heures-machine productives (HMP). L'abatteuse récoltait en moyenne 160 tiges/HMP, dont 39 % étaient des **gaulis**. Sa **productivité** a été estimée à **11,1 m³/HMP** (m³ solide de biomasse), soit l'équivalent de 5,0 tma/HMP. À titre de comparaison, les études répertoriées dans ProVue (2013) rapportent une productivité moyenne de 15 m³/HMP de bois marchand dans des peuplements avec des tiges de faible volume (< 0,10 m³/tige). Pour des fins de comparaison, il faudrait multiplier cette productivité par deux

2 La biomasse disponible correspond à la biomasse totale debout tandis que la biomasse non-disponible correspond aux souches, aux résidus déjà au sol, à la régénération, au couvert végétal ou toute autre biomasse identifiée à l'avance.

puisque le volume marchand de petits arbres ne représente que la moitié de son volume total de biomasse (30 m³/HMP). Le grand nombre de gaulis et la directive de nettoyer le site (couper toute les tiges) ont contribué à cette faible productivité.

DÉBARDAGE DE LA BIOMASSE

Les **deux débardeurs à câble** ont été chronométrés pendant une douzaine d'heures chacun. Autant que possible, les débardeurs devaient circuler partout sur le terrain en tirant leur charge, pour balayer le sol et créer des microsites propices à la plantation. Les débardeurs récupéraient en moyenne 9 piles/HMP. Chaque pile contenait en moyenne 17 tiges dont 53 % avaient moins de 10 cm de diamètre à la base. La **productivité des débardeurs** a été estimée à **11,7 m³/HMP** (5,3 tma/HMP) pour le Tree Farmer et à **12,3 m³/HMP** (5,6 tma/HMP) pour le Timberjack. À titre de comparaison, le débardage de cimes de feuillus avec un porteur forestier était de 6,2 tma/HMP dans une étude réalisé avec la Coopérative forestière de Ferland-Boilleau (Volpé et Desrochers 2009). Un des opérateurs partageait son temps entre son débardeur et l'excavatrice pour empiler les arbres en bordure de route. La **productivité de l'excavatrice** a été estimée à **44,7 m³/HMP** (20,7 tma/HMP).

2. VOLUME RÉCOLTÉ

La **biomasse récoltée** a été regroupée en 14 empilements dispersés sur les cinq blocs. Les piles ont été mesurées et leur volume de biomasse (en m³ solide) a été estimé avec les équations allométriques de Lambert et coll. (2005). Le volume total des empilements a été estimé à 654 tma pour une moyenne récupérée à l'hectare de **31,8 tma/ha**. Étant donné que la biomasse a été déchiquetée que partiellement, ce volume ne pourra être confirmé que lorsque toute la biomasse sera déchiquetée et pesée lors des livraisons. Le volume récupéré représentait seulement 43 % du volume du peuplement initial. Une partie des arbres (îlots de résineux et bouleaux jaunes vigoureux) n'ont pas été récoltés et une certaine quantité de biomasse est demeurée au sol.

3. FLUX DE BIOMASSE

Pour évaluer le flux de la biomasse, des inventaires réalisés **avant et après la coupe** ont permis de quantifier la biomasse totale du peuplement avant la coupe, la biomasse récoltée, les arbres résiduels laissés sur pied et les résidus laissés au sol. Le tableau 1 montre le flux de la biomasse.

Tableau 1 - Flux de la biomasse avant et après coupe

Biomasse totale du peuplement initial (tma/ha)	73,7
Biomasse récoltée (tma/ha)	31,8
Résiduels sur pied (tma/ha)	19,4
Résidus au sol (tma/ha)	13,3

En moyenne, 86 tiges à l'hectare ont été laissées debout, dont 56 % de bouleaux jaunes et 41 % de résineux, en majorité du sapin croissant en îlots. Le diamètre moyen des tiges était de 19,2 cm au DHP. Le volume de **biomasse laissée sur pied** a été estimé à **19,4 tma/ha**. La quantité de résidus laissés au sol a été déterminée à l'aide des placettes échantillons linéaires « Line intercept » (Sutherland 1986). En moyenne, **13,3 tma/ha** de résidus étaient **laissés au sol**. Il manque environ 9,3 tma pour équilibrer le flux de biomasse (tableau 1). Cette différence peut s'expliquer par les différentes équations utilisées pour estimer le volume des arbres et la quantité de résidus au sol ainsi que par l'intensité et la représentativité des échantillonnages.

4. QUALITÉ DU TRAITEMENT

La qualité du traitement a été évaluée à l'aide de placettes échantillons linéaires « Line intersect » (Sutherland, 1986). Pour les blocs où la **biomasse a été récupérée**, dans **40 %** des cas, le sol présentait un **microsite propice** à la plantation dans un rayon de 40 cm et dans 49 % des cas, un effort minimal (coup de pied) était nécessaire pour dégager la surface du

sol et permettre la mise en terre d'un plant. Dans seulement 11 % des cas, le microsite était inaccessible ou présentait une surface inadéquate à la plantation (roche, eau, présence d'un arbre ou d'un plant à moins de 1,6 m).

Pour le bloc **témoin**, le sol présentait un **microsite propice** à la plantation dans **93 %** des cas et 5 % nécessitaient un effort minimal. Seulement 2 % des microsites étaient inadéquats à la plantation. Les **andains et piles occupaient 12,7 %** de la superficie. Le bloc étant petit (moins de 1 ha), plusieurs piles étaient poussées le long de la lisière boisée pour occuper moins d'espace.

5. COÛT DE LA BIOMASSE

COÛT BORD DE CHEMIN

Le **coût de la biomasse bord du chemin** a été calculé à partir du taux horaire des machines et leur productivité mesurée lors des études chronométriques. Le coût d'opération des machines était estimé à **72,38 \$/tma**. Le coût de l'abatteuse-groupeuse représente le coût le plus important avec 43,47 \$/tma, suivi des deux débardeurs (20,94 \$/tma) et de la chargeuse (7,97 \$/tma). À titre de comparaison, une opération de récolte comparable dans un peuplement commercial reviendrait à 44,00 \$/tma (estimé avec FPInterface version 1.9.0.36). Les frais auxiliaires de l'opération (mobilisation des machines, frais d'hébergement, frais généraux et administratifs, frais de permis et d'autorisation et redevances) s'élevaient à 11,84 \$/tma alors que les frais de réfection du chemin à lui seul s'élevaient à 16,58 \$/tma. D'autres opérations ont été réalisées par la suite pour consolider les empilements et ont ajouté environ 5,11 \$/tma pour un total de 105,91 \$/tma. Le traitement était admissible à un remboursement du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec qui était d'environ 627 \$/ha. Avec une production de biomasse estimée de 31,8 tma/ha, ce remboursement représentait une réduction de 19,75 \$/tma sur la biomasse récupérée, pour un coût bord de chemin estimé à 86,16 \$/tma.

DÉCHIQUETAGE

Une partie des résidus empilés a été déchiquetée à l'automne 2015 avec la déchiqueteuse Vermeer 6000 (2015) de la CFPN. La déchiqueteuse, d'une puissance de 560 kW, était équipée de grilles de recoupe de 76 mm (3 po). Elle était alimentée par une grue Rotobec montée sur le châssis arrière du trac-

teur routier. Seulement deux semi-remorques ont été emplies pour un total de 66,5 tmv (45 tma) avec un taux d'humidité de 38 %. Les plaquettes étaient livrées aux Serres Frank Zyromski situées à Rivière-Rouge, à 70 km du site. Un seul chargement de semi-remorque a été chronométré. Le temps de chargement a été de 93 minutes et comprenait un repositionnement de la déchiqueteuse et de la semi-remorque. Le temps de déchiquetage était de 68 minutes avec une productivité de 30,7 tmv/HMP (19 tma/HMP). Le **coût de déchiquetage** était estimé à **21,20 \$/tma**.

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'**abatteuse-groupeuse** utilisée n'était pas tout à fait appropriée pour récupérer des **tiges de petits diamètres**. La scie circulaire avait tendance à faire éclater la base des petites tiges et l'opérateur avait de la difficulté à les retenir dans les bas de préhension. Des scies spécifiquement conçues pour récupérer la biomasse seraient plus efficaces dans ce type de peuplement. Une étude de FPInnovations avec la tête d'abat-tage multitiges à scie circulaire Bräcke C16.a rapportait une productivité de 25,2 m³/HMP dans un peuplement immature ravagé par le feu (Lirette 2012). Ce type de tête ne peut toutefois pas couper les tiges avec un diamètre supérieur à 26 cm. De même, les **débardeurs à câble** n'étaient pas les machines appropriées pour débarder des arbres de petits diamètres. Un débardeur à grappin aurait été plus efficace et productif. Basé sur les productivités observées avec ces types d'équipements on pourrait réduire les coûts d'opération d'environ 40 % et ramener le coût de la biomasse bord du chemin à un coût plus raisonnable.

Des travaux de **réfection du chemin** ont été nécessaires pour accéder au site. Ces travaux représentaient un coût additionnel de 16,58 \$/tma sur la biomasse récupérée. Généralement, les coûts de réfection et d'entretien des chemins sont répartis sur un plus grand volume récupéré. La dimension opérationnelle de l'essai n'a pas permis de répartir ces coûts sur un plus grand volume.

En ce qui a trait au **flux de biomasse**, 48 % de la biomasse a été récoltée, 26 % a été laissée sur pied et 18 % est demeurée sur le sol; le 8 % manquant devant être distribué proportionnellement pour équilibrer l'équation. Dans les études répertoriées par Thiffault et coll. (2014), en moyenne 52 % des résidus sont récupérés ce qui corrobore les résultats obtenus dans le cadre de cette étude. Toutefois, la quantité de résidus laissés au sol (13,3 tma/ha) est inférieure aux quantités moyennes

rapportées par Thiffault (2014), le but d'une opération de déblaiement étant de dégager le sol et de créer des microsites propices à la plantation. Sur le bloc témoin, les résidus ont été poussés en andains et seulement 6,4 tma/ha ont été laissées éparpillées sur le sol. Ainsi, la récupération de biomasse a permis de créer des microsites tout en laissant une plus grande quantité de biomasse au sol. Elle a permis aussi de créer suffisamment de **microsites propices et marginaux** pour obtenir un taux de plantabilité de 89 %. L'objectif de dégager le terrain et de préparer le sol à la plantation a été atteint.

La récupération de la biomasse forestière intégrée à une opération de déblaiement a atteint ces objectifs sylvicoles, mais s'est révélée être une **opération coûteuse**. Des équipements mieux adaptés pourraient réduire les coûts de récupération de façon substantielle. L'investissement dans de nouveaux équipements serait justifié seulement si de grandes superficies devaient être traitées de façon récurrente.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. L'auteur tient à remercier la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et la Coopérative forestière Petite-Nation pour leur soutien technique et matériel. Un remerciement tout particulier à Rut Serra de la FQCF pour sa participation active à l'étude et à Josianne Guay et Kevin Blackburn de FPInnovations pour la prise de données sur le terrain.

RÉFÉRENCES

- Desrochers, L. 2016. Récupération de biomasse dans une opération de déblaiement dans un peuplement feuillu dégradé. FPInnovations, Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec. Rapport en cours de production.
- Lambert, M.-C., Ung, C.-H. et Raulier, F. 2005. Canadian national tree aboveground biomass equations. Can. J. For. Res. 35: 1996-2008.
- Lirette, J. 2012. Récupération de la biomasse forestière dans des peuplements brûlés avec la tête abatteuse multitiges Bräcke C16.a. FPInnovations, Pointe-Claire, QC. Rapport interne, non classé. 11 p.
- FPInterface version 1.9.0.36. FP Suite TM. FPInnovations, Pointe-Claire, QC.
- ProVue 2013. FPInnovations, Pointe-Claire, QC. Logiciel version 2.1 (Build 24), Base de données version 2013.
- Sutherland, B.J. 1986. Standard assessment procedures for evaluating silvicultural equipment: a handbook. Great Lakes Forestry Centre, Canadian Forestry Services, Sault Ste. Marie, Ont. 96 p.
- Thiffault, E., Béchard A., Paré D., Allen, D. 2014. Recovery rate of harvest residues for bioenergy in boreal and temperate forests: A review. John Wiley & Sons, Ltd. WIREs Energy Environ 2014. Doi: 10.1002/wene.157. 24 p.
- Volpé, S.; Desrochers, L. 2009. Essais opérationnels de récupération de biomasse forestière avec la Coopérative forestière Ferland-Boilleau. FPInnovations, Pointe-Claire, QC. Rapport de contrat RC-07-435. 35 p.



PHOTO : LUC DESROCHERS

1.4

PRODUCTION, COMPACTAGE ET ENSACHAGE DE MINI-PLAQUETTES¹

Luc Desrochers

DANS CETTE SECTION

Introduction	19
Résultats	20
1. Production de mini-plaquettes	20
2. Essai de compression et d'ensachage de plaquettes	24
Conclusion	25
Remerciements	26
Références	26

MOTS CLÉS

Mini-plaquettes
Déchiquetage
Productivité
Consommation de carburant
Granulométrie
Taux de compression
Capacité d'expansion
Petites chaudières

RÉSUMÉ

Avec l'installation de nouvelles chaudières à la biomasse de petite et moyenne puissances, les coopératives forestières font face à de nouveaux défis d'approvisionnement : approvisionner de petites chaudières avec des plaquettes adéquatement dimensionnées et conditionnées. Les communautés isolées du Nord-du-Québec pourraient également bénéficier un jour de l'installation de chaudières à la biomasse si les plaquettes pouvaient leur être acheminées avec les bateaux d'approvisionnement usuels. L'étude présente d'une part, les résultats de deux essais de production de mini-plaquettes, et d'autre part, les résultats d'un essai de compression et d'ensachage de plaquettes afin de permettre leur acheminement efficace et à un coût raisonnable. Les résultats pour la production de mini-plaquettes semblent favoriser l'utilisation de la déchiqueteuse Kesla de la Coopérative forestière de la Matapédia avec une grille de 25 mm. De plus, les tests réalisés pour compresser et ensacher des plaquettes de bois en balles démontrent que l'ajout de planure permet d'augmenter le taux de compression et la capacité d'expansion des plaquettes, permettant ainsi d'ensacher des plaquettes de bois en balles de grand format.

INTRODUCTION

Avec l'installation de nouvelles chaudières à la biomasse de petite et moyenne puissances, les coopératives forestières font face à de nouveaux défis d'approvisionnement : approvisionner ce type de chaudières avec des plaquettes bien dimensionnées, bien conditionnées et en petites quantités. Certaines chaudières de petite puissance, comme les chaudières avec foyers de type volcan, peuvent brûler autant des granules

1 Document de référence : Desrochers (2016)

que des **mini-plaquettes**², mais sont très sensibles à la granulométrie des plaquettes ainsi qu'à leur taux d'humidité.

Les communautés éloignées et isolées du Nord-du-Québec, accessibles que par bateaux ou par voie aérienne, utilisent presque exclusivement le mazout pour combler leurs besoins énergétiques. Les systèmes de chauffage de plusieurs bâtiments communautaires, institutionnels ou commerciaux, auraient un fort potentiel pour être convertis à la biomasse forestière résiduelle. Les mini-plaquettes de bois issues de biomasse forestière résiduelle pourraient être compétitives et plus avantageuses que les granules de bois puisqu'elles sont moins sensibles à l'humidité et pourraient résister davantage aux conditions de transport par bateau, de livraison par barge (en l'absence de quai de déchargement) et d'entreposage pour toute la saison hivernale. Le **transport et la manutention** d'une énergie de plus faible densité sur une si grande distance posent toutefois un défi de taille. Cette étude visait donc deux objectifs :

- 1) Déterminer la meilleure stratégie pour produire des mini-plaquettes;
- 2) Explorer de nouvelles méthodes pour acheminer les mini-plaquettes vers les communautés isolées du Nord-du-Québec.

Cette synthèse présente les résultats de deux essais réalisés pour la production de mini-plaquettes avec une déchiqueteuse Kelsa et une déchiqueteuse Vermeer (objectif 1) et d'un essai de compactage et d'ensachage de mini-plaquettes réalisé avec la collaboration de l'entreprise Premier Tech de Rivière-du-Loup, Québec (objectif 2).

RÉSULTATS

1. PRODUCTION DE MINI-PLAQUETTES

Une première étude a été réalisée en collaboration avec le Groupe Forestra Coopérative Forestière de Laterrière au Saguenay, avec l'utilisation d'une déchiqueteuse Kesla 4560. La seconde étude a été réalisée en collaboration avec la Coopérative forestière de Petite Nation, à Rivière-Rouge dans les Laurentides, avec une déchiqueteuse Vermeer 6000. Dans les deux études, la production de plaquettes régulières et de mini-plaquettes a été comparée en matière de **productivité**, de **consommation d'essence** et de **qualité** des plaquettes produites.

ÉTUDE 1. DÉCHIQUETEUSE KESLA, GROUPE FORESTRA

Une **déchiqueteuse Kesla 4560** (2008) a été utilisée pour la production de plaquettes. Elle était entraînée par la prise de force d'un tracteur de ferme Fendt 824 Vario avec un moteur développant 198 kW. Deux grilles de recoupe (crible) ont été utilisées pour la production des plaquettes : une grille de 100 mm pour la production de plaquettes régulières et une grille de 55 mm pour la production de mini-plaquettes (Figure 1). Deux types de bois ont été déchiquetés : des billes de résineux et des billes de peuplier faux-tremble. L'opération de déchiquetage a été chronométrée et la consommation de carburant



Figure 1 - Grilles de 100 mm et de 55 mm utilisées au cours des essais.

2 Les mini-plaquettes réfèrent à la classe P16 de la norme ISO 17255-1:2014 où au moins 75 % de la masse sèche a une granulométrie 3,16 mm et 16 mm et 100 % des particules ont une granulométrie inférieure à 31,5 mm pour la classe P16A et 3 % ou moins des particules ont une granulométrie supérieure à 45 mm et 100 % des particules ont une granulométrie inférieure à 120 mm pour la classe P16B. La proportion de particules fines (< 3,16 mm) ne doit pas dépasser 12 % de la masse sèche.

a été notée pour chaque répétition. Pour chacune des grilles, quatre répétitions ont été réalisées avec les billes de résineux et trois avec les billes de peuplier. Les plaquettes étaient soufflées dans une remorque agricole auto basculante d'une capacité de 24 m³ apparents (app.).

PRODUCTIVITÉ

Remplir la remorque prenait entre 13 et 20 minutes et les charges variaient entre 5750 et 6800 kg (masse verte). La consommation de carburant à l'heure variait peu d'une répétition à l'autre (39,95 à 40,47 L/h). Avec les billes de résineux, la productivité moyenne diminuait de 23 % entre l'utilisation d'une grille de 100 mm et d'une grille de 55 mm, et la consommation de carburant (L/tma) augmentait de 31 %. Les résultats étaient du même ordre avec le peuplier, soit une diminution de productivité de 26 % et une augmentation de la consommation de carburant de 36 %.

CARACTÉRISTIQUES DES PLAQUETTES PRODUITES

TAUX D'HUMIDITÉ

Le taux d'humidité des plaquettes était assez constant d'un échantillon à l'autre. Il variait de 33 % à 37 % pour le résineux et de 31 % à 36 % pour le peuplier (calculé sur une base humide).

DENSITÉ EN VRAC

La densité en vrac des plaquettes de résineux produites avec la grille de 100 mm variait de 174 à 189 kg/m³ app.

(kg anhydre) pour une moyenne de 182 kg/m³ app. Les mini-plaquettes produites avec la grille de 55 mm avaient une densité en vrac qui variait peu avec une moyenne de 173 kg/m³ app. La densité était significativement différente entre les deux types de plaquettes, avec une légère diminution de 5 % de la densité moyenne des mini-plaquettes produites avec la grille de 55 mm. Pour les plaquettes de peuplier, la densité des échantillons variait entre 157 et 167 kg/m³ app. et il n'y avait pas de différence significative entre la densité des plaquettes produites avec la grille de 100 mm et celles produites avec la grille de 55 mm.

GRANULOMÉTRIE

Les figures 2 et 3 présentent la distribution de la grosseur des plaquettes produites avec la grille de 100 mm et la grille de 55 mm pour le résineux et pour le peuplier. Dans les deux cas, il y a avait une légère diminution de la grosseur des plaquettes. Pour le résineux, 63 % des plaquettes produites avec la grille de 100 mm passaient au travers du tamis de 16 mm alors que ce taux était de 76 % pour les plaquettes produites avec la grille de 55 mm. Pour le peuplier, la diminution de la grosseur des plaquettes était du même ordre avec des pourcentages respectifs de 64 % et 80 %. Pour les besoins de comparaison, la figure 4 présente la granulométrie de plaquettes produites avec la déchiqueteuse Kesla C645 (2011) de la Coopérative forestière de la Matapédia (CFM) équipée d'une grille de 25 mm : 98 % des plaquettes passaient au travers du tamis de 16 mm. Toutefois, la quantité de particules fines (< 3,16 mm) était plus importante avec 22 % de la masse sèche.

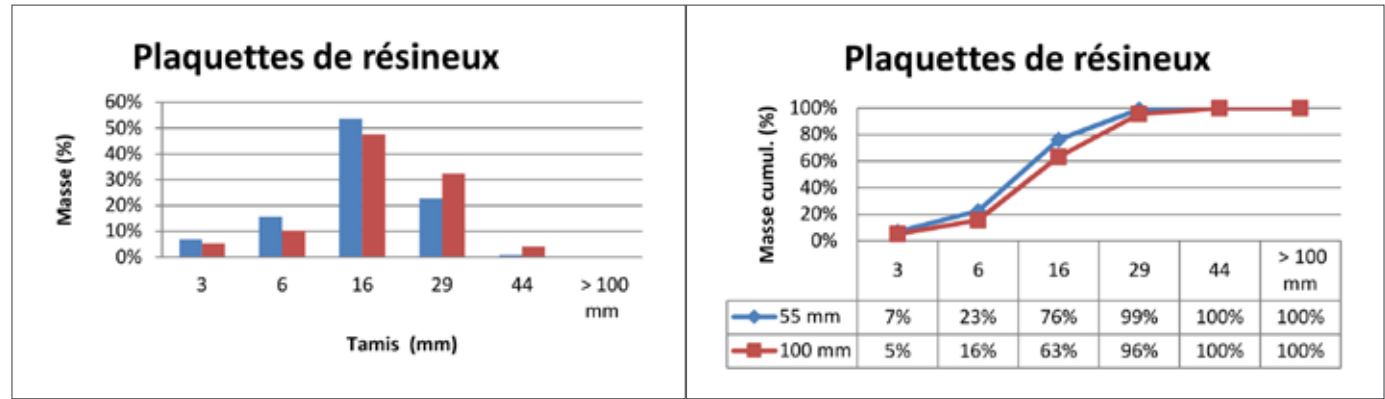


Figure 2 - Granulométrie des plaquettes de résineux produites avec une grille de 100 mm et une grille de 55 mm.

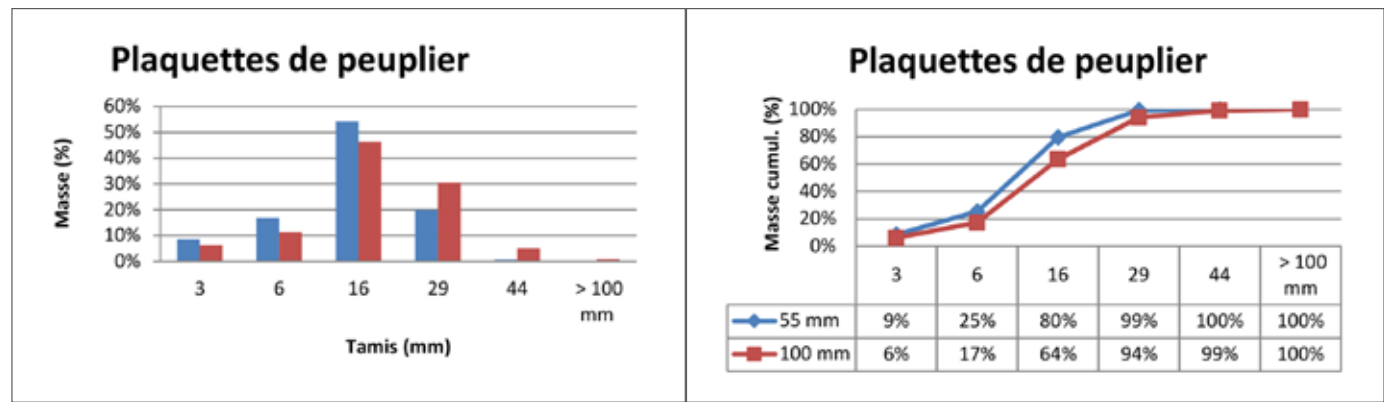


Figure 3 - Granulométrie des plaquettes de peuplier produites avec une grille de 100 mm et une grille de 55 mm.

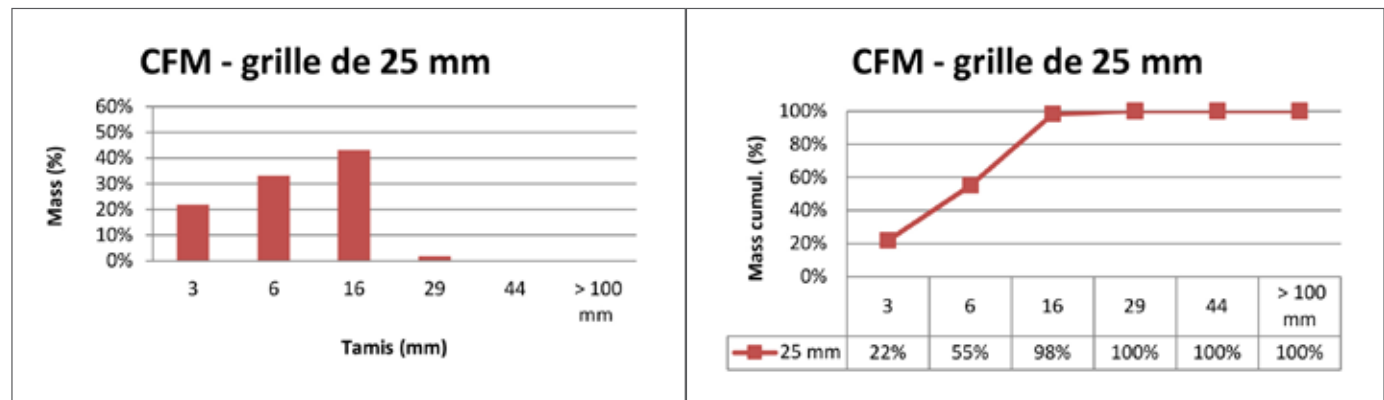


Figure 4 - Granulométrie des mini-plaquettes produites avec une grille de 25 mm.

L'utilisation d'une grille de 55 mm n'a pas permis de réduire de façon marquée la dimension des plaquettes produites par rapport à l'utilisation d'une grille de 100 mm. La **baisse de productivité** de 23 à 26 % et **l'augmentation de la consommation de carburant** de 31 à 36 % sont relativement importantes par rapport au gain obtenu sur la dimension des plaquettes. De plus, l'utilisation d'une grille de 55 mm n'a pas non plus permis d'augmenter de façon significative la densité en vrac des plaquettes produites. Les résultats obtenus par la CFM avec une grille de 25 mm sont plus prometteurs. Une nouvelle étude serait nécessaire pour déterminer la baisse de productivité et la consommation de carburant associées avec l'utilisation d'une grille de 25 mm.

ÉTUDE 2.
DÉCHIQUETEUSE VERMEER, PETITE-NATION

Le deuxième essai a été réalisé avec une **déchiqueteuse Vermeer 6000** (2005) équipée d'un moteur développant 560 kW. Deux réglages ont été comparés : l'utilisation de couteaux en configuration simple pour la production de plaquettes régulières et l'utilisation de couteaux en configuration double avec une réduction de la vitesse d'alimentation pour la production de mini-plaquettes (Figure 5). Le bois déchiqueté provenait d'un lot de pin gris coupé deux ans auparavant. Un essai comprenait entre 89 et 103 billes mises de côté avant le déchiquetage. Trois répétitions ont été réalisées pour chaque configuration.



Figure 5 - Disposition des couteaux en configuration double (à gauche) et saillie des couteaux (à droite).

PRODUCTIVITÉ

Le déchiquetage des billes prenait entre 7 et 10 minutes en configuration simple, et entre 12 et 15 minutes en configuration double. Les charges variaient entre 6870 et 9260 kg (masse verte). Par rapport à la configuration simple, les couteaux en configuration double diminuaient la productivité (de la déchiqueteuse de 31 % et augmentaient la consommation de carburant de 45 %.

CARACTÉRISTIQUES DES PLAQUETTES PRODUITES

TAUX D'HUMIDITÉ

L'empilement de bois était couvert de neige, ce qui a contribué à augmenter le taux d'humidité des plaquettes produites durant les essais. Les taux d'humidité étaient constants d'un essai à l'autre avec des valeurs variant entre 47 % et 51 %.

DENSITÉ EN VRAC

La densité apparente moyenne des plaquettes produites avec des couteaux en configuration simple variait de 169 à 177

pour une moyenne de 172 kg/m³ app. (kg anhydre) et celle produit en configuration double variait de 165 à 184 pour une moyenne de 176 kg/m³ app. Il n'y avait pas de différence significative entre la densité apparente des plaquettes produites entre les deux configurations.

GRANULOMÉTRIE

La figure 6 présente la distribution de la grosseur des plaquettes produites avec les deux configurations. On remarque une légère diminution de la grosseur moyenne des plaquettes avec la configuration double. La proportion des plaquettes qui ont traversé le tamis de 16 mm est passée de 68 % à 77 %. Au cours des essais, un test a été réalisé en déchiquetant une bille à la fois en configuration double pour voir l'effet du contrôle de la vitesse d'alimentation sur la dimension des plaquettes produites. Les résultats présentés à la figure 6 sont éloquentes: 97 % des plaquettes produites passaient à travers le tamis de 16 mm. La quantité de particules fines (< 3,16 mm) produite était toutefois plus importante, passant de 10 % à 23 % de la masse totale.

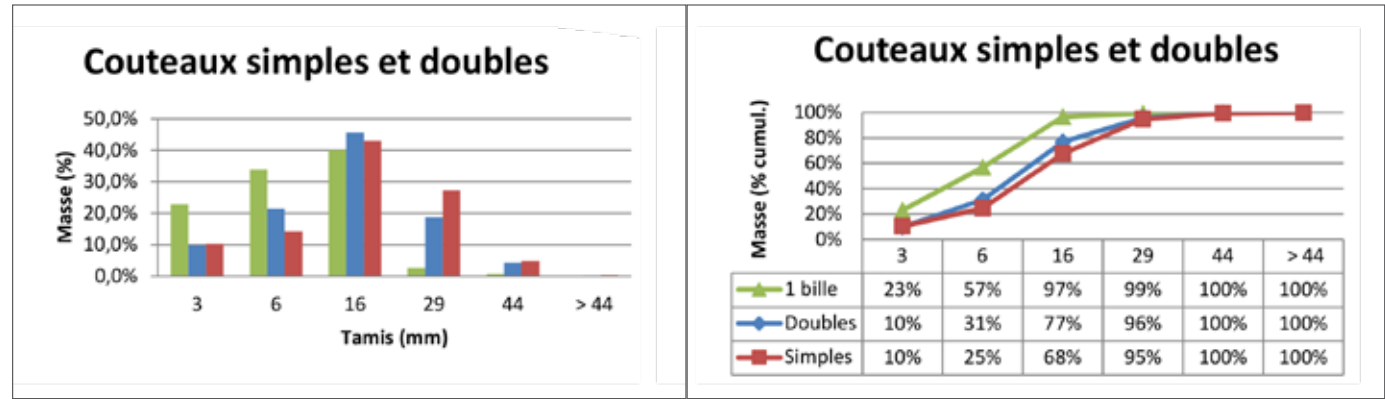


Figure 6 - Granulométrie : distribution des plaquettes produites avec les couteaux installés en configuration simple et en configuration double.

La configuration avec couteaux doubles a eu **impact négatif** important sur la **productivité** (- 31 %) et sur la **consommation de carburant** (+ 45 %) sans toutefois avoir permis de diminuer significativement la dimension de plaquettes. La production de plaquettes plus petites était basée sur le principe suivant : en doublant le nombre de coupes par révolution et en diminuant la vitesse d'alimentation, les couteaux tranchent une section plus mince de la bille et produisent plus de mini-plaquettes. Les résultats obtenus avec le déchiquetage d'une bille à la fois le confirment avec 97 % des plaquettes produites qui passent à travers le crible de 16 mm. Toutefois, lorsque la déchiqueteuse était alimentée de plusieurs billes à la fois, la pression exercée par le rouleau d'alimentation n'était pas suffisante pour retenir les billes situées au milieu du lot (c.-à-d., sans contact avec le rouleau d'alimentation), et celles-ci étaient littéralement aspirées vers le tambour par l'action des couteaux. Le ralentissement de la vitesse du tablier à 70 % et du rouleau d'alimentation à 68 % n'a pas eu l'effet escompté sur la vitesse d'alimentation des billes. Deux autres réglages sur la déchiqueteuse Vermeer permettent la production de plus de mini-plaquettes : l'utilisation d'une grille de recoupe avec de plus petites ouvertures et la réduction de la saillie des couteaux. Toutefois, l'entrepreneur n'avait pas de grille de recoupe plus petite et la réduction de la saillie des couteaux demandait trop de temps et d'effort pour la durée prévue des essais.

2. ESSAI DE COMPRESSION ET D'ENSACHAGE DE PLAQUETTES

L'alimentation des communautés isolées du Nord-du-Québec en biomasse forestière pose un défi de taille : transporter sur de longues distances et manipuler une énergie de faible densité avec les moyens de transport et de manutention existants. Une solution imaginée par la Fédération québécoise des coopératives forestière (FQCF) est la **compression** et **l'ensachage** des plaquettes de bois en balles de grand format (MEGA BALE). Les **MEGA BALE** sont des balles de tourbe compressées commercialisées par l'entreprise Premier Tech de Rivière-du-Loup (Figure 7). Les balles de forme cubique sont conçues pour être transportées sur des palettes de bois standards et manipulées avec des chariots élévateurs. Deux formats sont offerts, une balle d'une hauteur de 120 cm (48 pouces) avec un volume de 1,56 m³ (55 pi³), et une balle de 215 à 235 cm (84 à 93 pouces) et qui peut contenir jusqu'à 3,83 m³ (135 pi³). L'intérêt des balles de grand format est de pouvoir transporter le matériel par conteneur sur les bateaux de marchandises utilisés pour approvisionner les communautés du Nord-du-Québec. Les balles peuvent être entreposées à l'extérieur tout en préservant leur contenu des intempéries.

L'objectif des essais était de vérifier la possibilité de compresser et d'ensacher des plaquettes de bois avec la technologie utilisée pour la tourbe, de vérifier si les balles de plaquettes conservaient leur forme, et si l'emballage de plastique résistait à la perforation par les plaquettes de bois. Les plaquettes ont été compressées et ensachées dans des balles de 0,037 m³ (1,3 pi³). La densité des plaquettes avant et après compression et les taux de compression ont été mesurés.



Figure 7 - Balles de grand format produites par Premier Tech (Photo : Premier Tech et FPInnovations).

RÉSULTATS

Un premier test a été réalisé avec des plaquettes produites lors des essais avec le Groupe Forestra et la déchiqueteuse Kesla 4560. Les plaquettes utilisées étaient un mélange de résineux et de peuplier. La granulométrie des plaquettes est présentée aux figures 2 et 3 (Étude 1. Déchiqueteuse Kesla). La densité des plaquettes est passée de 182 kg/m³ avant compression à 226 kg/m³ après compression pour un **taux de compression** de 1,24:1 et une réduction de 20 % du volume initial. Par comparaison, le taux de compression de la tourbe est de 2:1 ou une réduction de 50 % du volume initial. Malgré le faible taux de compression, les balles conservaient leur forme cubique. Toutefois, l’emballage de plastique présentait quelques perforations.

Un deuxième essai a été réalisé avec des mini-plaquettes produites par la CFM. La granulométrie de ces mini-plaquettes est présentée à la figure 4 (Étude 1. Déchiqueteuse Kesla). Pour augmenter la capacité d’expansion des plaquettes, de la **planure** a été ajoutée aux mini-plaquettes dans des proportions de 0 %, 5 %, 10 % et de 15 % de la masse sèche totale. Les résultats des tests de compression sont présentés au tableau 1.

Le taux de compression des mini-plaquettes sans planure (0 %) était légèrement inférieur à celui observé pour les plaquettes de Groupe Forestra. L’ajout de planure a donc permis d’augmenter le taux de compression de façon significative. D’après les commentaires recueillis auprès de Premier Tech, les balles se tenaient mieux et aucune perforation n’a été observée sur les emballages en plastique.

La capacité d’expansion est la capacité d’un matériel à reprendre du volume une fois libéré du sac. Cette capacité (effet de ressort) exerce une pression sur les parois internes du sac lui

permettant de garder sa forme et lui conférant une certaine rigidité. La planure de type régulier vendue comme litière pour les animaux de ferme possède une capacité d’expansion élevée (jusqu’à 2,86 :1), un taux d’humidité très faible (12 %) et contient peu de fine (sans poussière). Mélangée aux plaquettes de bois, elle permet d’augmenter la capacité d’expansion du mélange et permet aux balles de conserver leur forme durant le transport.

CONCLUSION

L’utilisation d’une grille de 55 mm sur la déchiqueteuse Kesla 4560 et la configuration avec couteaux doubles sur la déchiqueteuse Vermeer 6000 n’ont pas permis de réduire de façon significative la **dimension des plaquettes produites**, mais ont diminué considérablement la productivité des déchiqueteuses et augmenté leur consommation de carburant. La granulométrie des plaquettes produites avec une grille de 25 mm, utilisés sur la déchiqueteuse Kesla de la Coopérative forestière de la Matapédia, est beaucoup plus encourageante. D’autres réglages sur la déchiqueteuse Vermeer permettraient de produire plus efficacement des mini-plaquettes. De nouvelles études seraient nécessaires pour déterminer l’efficacité et la consommation de carburant associées à ces réglages.

Les plaquettes de bois ont un faible taux de compression et une faible capacité d’expansion. Mais **l’ajout de planure** a permis d’augmenter suffisamment le taux de compression pour entrevoir la possibilité d’ensacher des plaquettes de bois dans des balles de grand format. D’autres études seront toutefois nécessaires pour valider cette idée novatrice de transport, d’entreposage et de conservation de plaquettes de bois destinées à l’approvisionnement de chaudières à la biomasse de régions éloignées.

Tableau 1 - Résultats des tests de compression avec des mini-plaquettes de la CFM mélangées avec de la planure

Mélange de planure (%) et de mini-plaquettes de la CFM	Taux de compression	Réduction du volume
0 %	1,19 :1	16 %
5 %	1,32 :1	24 %
10 %	1,31 :1	24 %
15 %	1,44 :1	31 %
100 %	2,86 :1	65 %

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. L'auteur tient à remercier la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF), le Groupe

Forestra Coopérative Forestière, la Coopérative forestière de Petite Nation, la Coopérative forestière de la Matapédia et Premier Tech pour leur soutien technique et matériel. Un remerciement tout particulier à Josianne Guay de FPIInnovations pour la prise de données.

RÉFÉRENCES

Desrochers, L. 2016. Production, compactage et ensachage de mini-plaquettes. FPIInnovations; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec (Québec). Rapport en cours de production.



PHOTO : LUC DESROCHERS

1.5

ÉVALUATION DES COÛTS DE CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT DESTINÉES À LA TRANSFORMATION DE BIOMASSE¹

Gustave Kessler Nadeau

DANS CETTE SECTION

Introduction	27
Résultats	28
1. Récolte et transport primaire	28
2. Transformation primaire	28
3. Transport secondaire	29
4. Scénarios évalués	29
Conclusion	30
Références	30

MOTS CLÉS

Récolte intégrée et non intégrée
Bois long et bois court
Transport primaire et secondaire
Coûts
Broyage et déchiquetage
Semi-remorque bedaine
Transport B-train
Semi-remorque à plancher mobile

RÉSUMÉ

L'étude évalue et compare les coûts potentiels de différentes chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse. Elle fait référence au système de récolte des résidus de coupe en forêt résineuse, jusqu'à leur acheminement vers les usines de transformation. Il a été observé qu'en situation de surcapacité opérationnelle, la récolte (abattage et transport primaire) de biomasse intégrée aux opérations forestières courantes pour le bois marchand est plus économique que la récolte de biomasse non intégrée. Dans plusieurs des cas analysés, l'option de la transformation primaire (déchiquetage ou broyage) en bordure de route est plus économique que celle du fagotage et du déchiquetage sur le parterre de coupe. Quant au transport secondaire, le moyen le plus économique demeure la semi-remorque bedaine ; toutefois, à la différence de la semi-remorque à plancher mobile, ce moyen nécessite un déchargement sur plateforme élévatrice et de bonnes conditions routières. De ce fait, dans plusieurs cas, c'est la semi-remorque à plancher mobile qui est utilisée, bien que son utilisation soit plus dispendieuse. Finalement, en comparant plusieurs scénarios d'approvisionnement en biomasse, le coût moyen d'approvisionnement est, pour certaines chaînes, inférieur au coût des copeaux de pâte utilisés par l'industrie des pâtes et papiers.

INTRODUCTION

Le présent travail permet d'évaluer et de comparer les coûts potentiels de différentes chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière de la forêt jusqu'à son acheminement vers les usines de transformation. Les sources d'approvisionnement

1 Document de référence : Kessler Nadeau (2015)

choisies aux fins de cette étude sont les résidus de coupe des forêts résineuses. Les procédés de récolte analysés sont ceux du bois court et du bois long dans des contextes d'aménagement par coupe totale ou coupe de récupération. Les premiers coûts évalués sont ceux engendrés par la récolte et le transport primaire (débardage). Les coûts de la transformation primaire reflètent les coûts lors de l'utilisation d'un broyeur ou d'un déchiqueteur en bordure de route. Finalement, dans le but d'acheminer la matière transformée en plaquettes ou en broyats vers sa destination, les coûts du transport secondaire sont comparés selon l'utilisation d'une semi-remorque bedaine, d'une semi-remorque à plancher mobile et d'une semi-remorque B-train.

RÉSULTATS

1. RÉCOLTE ET TRANSPORT PRIMAIRE

Le premier critère à évaluer est le procédé de récolte, soit le procédé par **bois court** (façonnage et écimage des tiges sur le parterre de coupe) ou par **bois long** (tiges acheminées en entier en bordure de route). Dans un contexte de récolte de résidus forestiers, la récolte par bois long est à prioriser compte tenu du prélèvement complet des arbres jusqu'en bordure de route. Dans le cas de la récolte par bois court, le façonnage s'effectue en forêt, laissant ainsi les débris ligneux sur le parterre de coupe. Des frais supplémentaires sont associés au débardage de ces résidus, ce qui augmente directement les coûts d'approvisionnement.

Le deuxième critère à prendre en considération est l'intégration des opérations de récolte de biomasse aux opérations forestières courantes. Dans le cas de la récolte **intégrée** de biomasse, certains frais d'abattage et de débardage de la matière ligneuse sont absorbés par les produits destinés à la pâte et au sciage. Dans le cas de la récolte **non intégrée** de biomasse, les frais d'abattage et de débardage sont aux frais de l'industrie de la biomasse. La récolte intégrée de biomasse est donc généralement plus économique que la récolte non intégrée.

Les principaux facteurs à considérer qui influencent la productivité associée à la récolte et au transport primaire sont :

- Le volume moyen par tige et la densité de tiges à l'hectare;
- La distance moyenne de débardage;
- La capacité de la machinerie et l'interdépendance des opérations;

- La distance entre les piles, la qualité et la grosseur des empilements de résidus;
- La conception des porteurs: volume par voyage et vitesse de chargement;
- Le niveau d'entretien et la performance des opérateurs;
- Les conditions de site comme la température, les propriétés mécaniques du sol et la topographie du terrain.

Dans tous les cas, la conception spécifique d'une machine à une tâche spécifique conduit à des rendements satisfaisants.

2. TRANSFORMATION PRIMAIRE

Voici les principaux facteurs influençant la productivité des opérations de transformation primaire, soit de broyage et de déchiquetage dans un contexte de production de biomasse forestière :

- La logistique du transport: une bonne logistique de transport est extrêmement importante dans le cas où le produit est directement acheminé par semi-remorque. Ce facteur peut influencer la disponibilité opérationnelle des broyeurs/déchiqueteurs de 40 %;
- L'espace de travail disponible sur l'aire de coupe, en bordure de route, etc. et la disponibilité du matériel entrant;
- La qualité du matériel entrant (p.ex. diamètre, humidité et contamination) et la qualité du matériel désiré à la sortie (p.ex. granulométrie et uniformité);
- L'entretien des broyeurs/déchiqueteurs;
- La performance des opérateurs.

De plus, le dimensionnement des broyeurs et des déchiqueteurs a un impact direct sur la productivité de la transformation primaire de la biomasse. Une puissance de 570 kW serait optimale au bon fonctionnement et à la rentabilité d'un système opérant des quantités importantes de débris ligneux (Laguff, 2015).

Le broyage et le déchiquetage sont deux procédés différents ayant chacun leurs avantages et inconvénients. Le choix de ces machines dépend du produit entrant dans la machine et de la qualité du produit désiré à la sortie. Le **broyeur** tolère plus de contaminants (roche, sable) car les marteaux de ceux-ci sont plus résistants que les couteaux des déchiqueteurs. Il est aussi plus versatile quant à la variété de matériaux qu'il est

en mesure de transformer. Quant à lui, le **déchiqueteur à tambour** est plus sensible aux contaminants contenus dans le bois mais est moins énergivore que le broyeur. Il est très efficace avec du matériel vert alors que les couteaux s'émoussent plus rapidement avec du matériel sec.

3. TRANSPORT SECONDAIRE

Pour les fins de cette étude, le transport secondaire comprend l'acheminement de la matière transformée en plaquettes/broyats vers les usines de transformation. Plusieurs options sont envisageables. La présente étude regroupe trois différents moyens d'acheminer du copeau/broyat en Amérique du Nord : la semi-remorque bedaine, la semi-remorque à plancher mobile et la semi-remorque B-train. Les facteurs qui discriminent un type de transport d'un autre sont leur **conception** et le coût du transport à la tonne (\$/tma) sur une même distance de transport.

Voici les principaux éléments associés à la **conception du type de transport** :

- Les conditions routières, la classe de chemin et la hauteur de la remorque;
- Le procédé de déchargement: avec ou sans plateforme;
- La logistique et l'interdépendance des opérations.

Voici les principaux éléments associés au **coût du transport** :

- La distance entre les chantiers forestiers et les usines de transformation;
- Le temps de cycle: vitesse de chargement, vitesse de déchargement, temps d'attente, vitesse de transport moyenne;
- La logistique de transport et l'interdépendance avec la transformation primaire;
- La capacité de chargement est le facteur le plus limitant. Celui-ci dépend de l'état du matériel dont le **volume apparent** et le **poids du matériel** transporté. Ce facteur dépend :
 - Du coefficient de foisonnement;
 - De la densité et de l'humidité;
 - Des contaminants (p.ex. neige, sable, roches, etc.).

La semi-remorque bedaine se démarque rapidement des autres en raison de son faible coût de transport et ce même, si le transport B-train a la plus grande capacité de chargement. La semi-remorque à plancher mobile est plus dispendieuse, mais sa conception lui permet d'effectuer des déchargements sans plateforme élévatrice. De plus, la hauteur de sa remorque lui permet de rouler sur des conditions routières plus difficiles. Bien que la semi-remorque bedaine et la remorque B-train soient les moyens de transport les moins dispendieux, le moyen de transport qui s'adapte le mieux au transport de la biomasse est la remorque à plancher mobile.

4. SCÉNARIOS ÉVALUÉS

Dans le cadre de l'étude, les coûts à la tonne métrique anhydre de quatre différentes chaînes d'approvisionnements en biomasse forestière, pour une distance de transport de 100 km, ont été évalués. Les coûts présentés incluent la récolte, le transport primaire (débardage), le pré-empilement, le transport secondaire, les frais supplémentaires, les frais d'administration et une marge de profit de 25 %. Voici les résultats de chaque scénario analysé :

1. **Bois long non intégré** aux opérations forestières courantes avec transformation primaire par **déchiqueteur** et transport secondaire par **semi-remorque à plancher mobile**. Égale un coût moyen de **103,91 \$/tma**.
2. **Bois court intégré** aux opérations forestières courantes avec transformation primaire par **déchiqueteur** et transport secondaire par **semi-remorque à plancher mobile**. Égale un coût moyen de **92,44 \$/tma**.
3. **Bois long intégré** aux opérations forestières courantes avec transformation primaire par **déchiqueteur** et transport secondaire par **semi-remorque à plancher mobile**. Égale un coût moyen de **75,40 \$/tma**.
4. **Bois long intégré** aux opérations forestières courantes avec transformation primaire par **broyeur** et transport secondaire par **semi-remorque bedaine**. Égale un coût moyen de **89,75 \$/tma**.

Il est important de préciser que les productivités utilisées sont des médianes de production provenant de différentes études. Pour mieux cerner l'impact sur le coût final d'un système défaillant versus un système performant, un éventail du coût de la tonne métrique anhydre est présenté, et ce, pour les quatre scénarios analysés (Tableau 1).

À titre de comparaison, selon le marché, les coûts en approvisionnement de copeaux destinés à l'industrie des pâtes et papiers sont estimés à 110 \$/tma, pour une distance

de livraison de 100 km (Volpé, 2015). Évidemment, si le coût en approvisionnement de biomasse forestière est au-dessus de ce prix, il est préférable pour une chaufferie d'utiliser le copeau de pâte directement. Cependant, d'après les scénarios évalués, les coûts d'approvisionnement en biomasse forestière sont en-dessous de 110 \$/tma. Dans ce sens, l'option d'utiliser les résidus de coupe pour l'approvisionnement d'une chaufferie peut être plus économique que l'utilisation des copeaux destinés à l'industrie des pâtes et papiers.

Tableau 1 - Éventail du coût d'approvisionnement à la tonne métrique anhydre (\$/tma)

CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT	COÛT DE LA TONNE MÉTRIQUE ANHYDRE (\$/tma)			
	Min	Moyen	Max	Étendu
1	97,93 \$	103,91 \$	109,89 \$	11,96 \$
2	77,99 \$	92,44 \$	106,90 \$	28,91 \$
3	69,42 \$	75,40 \$	81,38 \$	11,96 \$
4	81,23 \$	89,75 \$	98,28 \$	17,05 \$

CONCLUSION

Lorsque les conditions opérationnelles le permettent, la récolte de biomasse intégrée aux opérations forestières courantes est plus performante que la récolte non intégrée. Le système de récolte par bois long est plus optimal que celui par bois court. Les coûts relatifs à la transformation primaire dépendent grandement de la logistique des opérations, de la qualité des résidus forestiers et du produit final désiré. Le moyen de transport secondaire le moins coûteux est la semi-remorque bedaine. Toutefois, l'utilisation de la semi-remorque à plancher mobile est plus pratique, en raison de son mode de déchargement et de sa capacité à circuler dans des conditions

routières diverses. Plusieurs facteurs influencent la productivité et les coûts des systèmes d'approvisionnement en biomasse forestière; le **contexte opérationnel** et l'**interdépendance des opérations** en sont des exemples. Par ailleurs, l'évaluation de différents scénarios de chaînes d'approvisionnement a permis de constater que, selon les hypothèses de calculs émises, il est possible de s'approvisionner en plaquettes/broyats issus de résidus forestiers à des coûts moindres que celui des copeaux destinés à l'industrie des pâtes et papiers. Il faut garder à l'esprit que d'autres moyens d'approvisionnement que ceux évalués sont envisageables et que les pratiques existantes peuvent être grandement améliorées.

RÉFÉRENCES

- Kessler Nadeau, G. 2015. Évaluation des coûts de chaînes d'approvisionnement destinées à la transformation de biomasse. Mémoire de fin d'étude, Université Laval, Département des sciences du bois et de la forêt Québec (Québec). 63 p.
- Laguff, A. 2015. Communications personnelles avec M. Aubray Laguff, Directeur des ventes chez Atlantic Cat.
- Volpé, S. 2015. Communication personnelle avec M. Sylvain Volpé ing.f, M.Sc chercheur en biomasse forestière pour FPIInnovations.



PHOTO : SYLVAIN VOLPÉ

1.6

CONDITIONNEMENT DE PLAQUETTES¹

Sylvain Volpé et Luc Desrochers

DANS CETTE SECTION

Introduction	31
Résultats	32
1. Taux d'humidité	33
2. Température	34
3. Bilan de la matière sèche	34
Conclusion et recommandations	35
Remerciements	35
Références	36

MOTS CLÉS

Plaquettes
Bois de CRD
Entreposage
Densité en vrac
Granulométrie
Taux d'humidité
Température
Chaudières

RÉSUMÉ

Cette étude a pour but de connaître le temps d'entreposage nécessaire pour obtenir un taux d'humidité (TH) homogène dans une pile formée d'un mélange de plaquettes issues de bois provenant de la construction, la rénovation ou la démolition (CRD) et des plaquettes issues de billes de petits diamètres récoltées deux semaines avant le début du conditionnement. Les résultats suggèrent qu'après une période d'entreposage de 12 mois, il est bénéfique de mélanger des plaquettes fraîches avec une proportion relativement importante de plaquettes de CRD sèches (ayant un TH < 15 %). En effet, le taux d'humidité moyen de la pile mélangée s'est maintenu significativement en-dessous (écart d'environ 15 %) de celui des piles avec des plaquettes fraîches et cet écart s'est avéré beaucoup plus important durant la période d'été. Le transfert d'humidité des plaquettes fraîches vers les plaquettes de CRD s'est produit, majoritairement, durant la deuxième semaine d'entreposage ce qui a réduit l'écart du taux d'humidité entre les deux sources de plaquettes. Au final, la perte d'humidité observée durant l'été a été suivie par un regain très important au mois de septembre en raison des fortes précipitations; d'où l'intérêt de récupérer la biomasse avant la fin de l'été ou d'utiliser un bâchage. Ce résultat va dans la même direction que d'autres études, qui suggèrent de limiter le temps d'entreposage sous forme de plaquettes à moins de 2 mois.

INTRODUCTION

Le gouvernement du Québec a l'intention de bannir de ses sites d'enfouissement le bois provenant de la construction, la rénovation ou la démolition (CRD) à partir

1 Document de référence: Volpé et Desrochers (2015)

de 2015 (Gouv. du Québec 2014). Selon une étude réalisée pour Recyc-Québec, il y aurait plus de 700 000 tma²/an de CRD de générées au Québec actuellement (Del Degan Massé et Ass². 2012). Cette étude, basée sur des statistiques d'autres administrations, indique que $\pm 20\%$ de cette matière est non contaminée (bois d'élitage urbain, arbre de Noël, palettes, etc.) ou grade 1, $\pm 60\%$ est faiblement contaminée (grade 2) et $\pm 20\%$ est fortement contaminée (grade 3). Par ailleurs, l'article 55 du règlement sur l'assainissement de l'atmosphère interdit l'utilisation de bois contenant autre chose que des résidus de bois, sans contaminant autre que de la terre ou du sable (MDDELCC 2011). De ce fait, une partie des résidus de CRD peut être intégrée à une chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière pour l'approvisionnement de chaufferies de petites et moyennes dimensions. En effet, les CRD de grade 1 peuvent être utilisés pour les chaudières de puissance de moins de 3 MW. Les résidus de CRD sont peu coûteux comparativement aux résidus d'origine forestière, ce qui les rend attrayants sur le plan de la rentabilité des chaudières à la biomasse. Cependant, il faut prendre en considération que les chaudières à la biomasse de petites et moyennes dimensions utilisées pour le chauffage d'édifices institutionnels nécessitent un approvisionnement en plaquettes possédant des caractéristiques spécifiques, dont un contenu en humidité d'environ 30 %. Par contre, la biomasse forestière fraîche a un contenu en humidité de 50 à 60 % ce qui cause des problèmes d'entreposage et une combustion moins efficace. De plus, les CRD sont souvent trop secs et contiennent trop de particules fines pour être utilisés directement dans une chaudière tout en respectant les exigences du fabricant. Une solution envisagée par la Coopérative de gestion forestière des Appalaches (CGFA) est de mélanger les plaquettes issues des résidus de CRD (grade 1) avec des plaquettes issues de résidus forestiers frais pour atteindre le contenu en humidité visé. Les buts de l'étude sont de développer une compréhension du processus du transfert d'humidité entre des plaquettes humides et sèches mélangées ensemble et de connaître le temps d'entreposage nécessaire pour obtenir un mélange avec un contenu en humidité homogène approprié pour les chaudières de petites et moyennes dimensions.

Les plaquettes utilisées dans le cadre de l'étude proviennent de deux sources différentes. La première source de plaquettes provient de billes de petits diamètres d'essences résineuses récoltées deux semaines avant le début du conditionnement. Cette source de bois représente la biomasse fraîche. Quant à elle, la deuxième source de plaquettes représente le bois de CRD. Ces plaquettes proviennent de bois de vieilles

palettes. Le bois constituant les palettes n'a pas été identifié, mais il s'agit généralement de bois d'essences feuillues.

Ensuite, des empilements coniques ont été confectionnés en fonction des volumes de biomasse de billes et de CRD broyés disponibles pour l'étude. Voici une description des trois empilements confectionnés :

1. Une **petite pile** d'environ 40 m³ apparents constituée d'un **mélange 50/50** (en volume) de plaquettes de biomasse fraîche et de plaquettes de résidus de CRD secs³;
2. Une **petite pile** d'environ 40 m³ apparents de **plaquettes de biomasse fraîche**;
3. Une **grande pile** d'environ 170 m³ apparents de **plaquettes de biomasse fraîche**.

RÉSULTATS

Plusieurs caractéristiques physiques déterminantes pour la qualité des plaquettes entreposées ont été analysées et, pour certaines, suivies dans le temps. Parmi ces caractéristiques, la **densité en vrac** influence les coûts de transport, la superficie d'entreposage requise et l'alimentation des chaudières. La densité en vrac anhydre de la biomasse fraîche s'est avérée inférieure à celle du bois de CRD, soit de 120 kg/m³ et de 160 kg/m³, respectivement. Quant à lui, le mélange 50/50 permet d'atteindre une densité supérieure à celle de la biomasse fraîche, soit de 130 kg/m³, ce qui place le bois de CRD comme étant une source intéressante en matière de densité. Par la suite, la **granulométrie** des plaquettes a été analysée puisqu'elle influence la qualité du brûlage. En effet, les petites plaquettes et les fines particules de moins de 3,5 mm vont brûler très rapidement. Les fines contribuent aussi à augmenter le compactage des piles, ce qui génère davantage de chaleur et augmente le risque de combustion spontanée. D'autre part, les plaquettes supérieures à 100 mm vont nécessiter beaucoup plus de temps et vont brûler que partiellement, diminuant ainsi l'efficacité des chaudières. Puisque la proportion de fines pour les plaquettes issues de billes de résineux utilisées dans l'étude s'est avérée trop élevée (> 12 %), ils n'ont pas pu être classifiés selon les critères de qualité des standards Européens pour la biomasse forestière (EN 14961-1). Cependant, lorsque ces plaquettes sont mélangées aux plaquettes de CRD, la proportion de fines a baissé, ce qui a permis de considérer les plaquettes mélangées

2 tma = tonnes métriques anhydres.

3 Un voyage de palettes d'environ 3 tonnes métriques anhydres a été utilisé.

dans la classe P16. Enfin, le taux d'humidité des plaquettes et la température des empilements ont été suivis d'octobre 2013 à septembre 2014. Un bilan de la matière sèche a aussi été effectué.

1. TAUX D'HUMIDITÉ

Le suivi du taux d'humidité a été réalisé, d'une part, à partir de l'évolution du taux d'humidité moyen dans les piles au cours de la durée d'entreposage et d'autre part, selon l'homogénéisation du taux d'humidité à l'intérieur des piles. Les plaquettes de CRD avaient un taux d'humidité moyen initial de 14 %, les plaquettes issues de biomasse fraîche de 46 % et le mélange 50/50 de 32 %.

Voici les principaux constats de l'évolution du taux d'humidité moyen (Figure 1) :

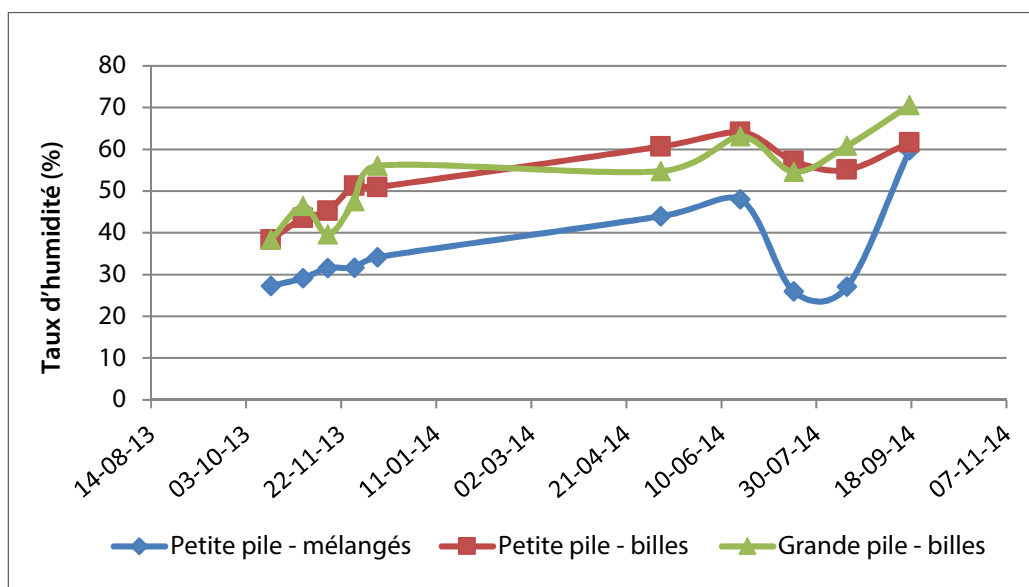


Figure 1 - Évolution du taux d'humidité des piles.

- La pile de plaquettes mélangées a séché beaucoup plus rapidement après un été d'entreposage comparativement aux piles composées uniquement de plaquettes de biomasse fraîche;
- Cette perte d'humidité a été suivie par un regain très important de 36 points de pourcentage au mois de septembre, annulant tous les progrès obtenus au cours de l'été.

- Le mélange de plaquettes de CRD avec des plaquettes de billes résineuses fraîches a permis de réduire le taux d'humidité moyen d'environ 15 % par rapport au taux d'humidité initial des plaquettes de biomasse fraîche;
- Cet écart s'est maintenu tout au long de l'entreposage sauf pour le dernier prélèvement effectué au mois de septembre 2014;
- L'absence de couvert sur les empilements s'est soldée par un gain important d'humidité après le dégel;
- Le temps chaud et ensoleillé des mois de juin et juillet 2014 a résulté en un assèchement considérable des piles, en particulier la pile mixte qui est revenu pratiquement au niveau d'humidité initial;

Voici les principaux constats de l'homogénéisation du taux d'humidité (Figure 2) :

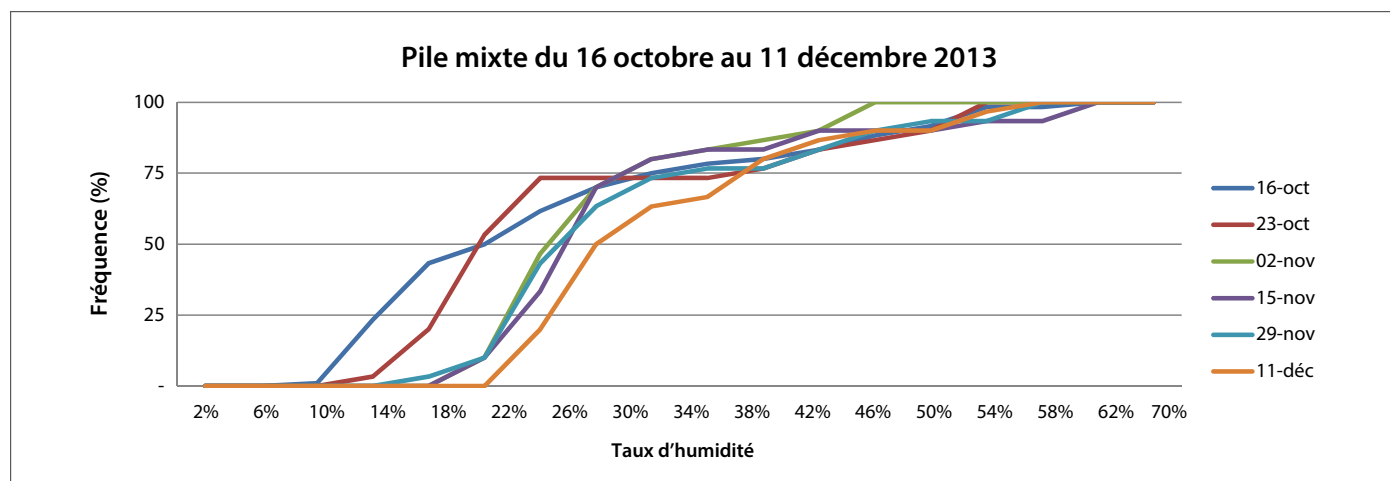


Figure 2 - Fréquence cumulative des taux d'humidité des plaquettes individuelles pour la pile mixte (mélange 50/50).

- Un **transfert d'humidité** des plaquettes de biomasse fraîche vers les plaquettes de CRD s'est produit au cours de la **deuxième semaine d'entreposage** réduisant l'écart entre le taux d'humidité des deux types de plaquettes;
- À partir de la mi-novembre, le transfert d'humidité est demeurée stable jusqu'au gel des empilements.

Enfin, la petite et la grande pile se sont comportées de façon assez similaire tout au long de l'étude. Les piles de plaquettes ont connu des gains d'humidité significatifs lors de la période d'entreposage de 12 mois. Ce résultat tend donc à confirmer les hypothèses d'autres études qui suggèrent de limiter le temps d'entreposage sous forme de plaquettes à moins de 2 mois (Jirjis 1995 et 2004).

2. TEMPÉRATURE

La température interne de la grande pile a subi une hausse dès sa construction, passant de 12 °C à 25 °C en quatre jours seulement. La **grande pile** a maintenu une température interne au-dessus du point de congélation malgré des températures extérieures en-dessous de -20 °C au mois de janvier, dénotant une certaine activité microbienne. La température interne maximum (33 °C) a été atteinte l'été 2014, mais est restée bien en deçà du seuil critique de 80 °C présentant un risque pour la combustion spontanée.

Les **petites piles** ont davantage suivi les fluctuations de la température extérieure tout au long de la durée d'entreposage, passant sous 0 °C durant l'hiver.

3. BILAN DE LA MATIÈRE SÈCHE

La perte en fibre ou perte de matière sèche est un phénomène naturel de dégradation de la matière organique, notamment en raison de l'activité microbienne. La durée d'entreposage de la biomasse influence la quantité de matière sèche perdue. Les autres facteurs influençant les pertes de matière sèche sont le compactage des empilements, le taux d'humidité et la température des piles (Jirjis 1989, 1993 et 2004, Nurmi 1999, Volpé et Friesen 2012).

La perte en fibre a été mesurée après 12 mois d'entreposage. Toutefois, les résultats obtenus variaient beaucoup d'une pile à l'autre, mettant en doute la fiabilité des résultats. La **petite pile de plaquettes de biomasse fraîche** a eu une perte en matière sèche de 2 % alors que la **grande pile de plaquettes** a eu une perte en matière sèche de 7 %. Cette dernière a conservé la température moyenne la plus élevée au cours de l'année, indiquant une certaine activité microbienne et conséquemment, une perte de matière sèche. La **petite pile de plaquettes mélangées** présentait un gain en matière sèche, à l'encontre de tout raisonnement logique et démontrant la faillibilité de la méthode utilisée.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude d'entreposage de plaquettes de billes a permis d'émettre un certain nombre de recommandations permettant d'améliorer la qualité des plaquettes dans la logistique d'approvisionnement et d'entreposage de biomasse forestière.

- **Entreposage de plaquettes pendant 1 an** : Il est bénéfique de mélanger des plaquettes issues de biomasse fraîche avec une proportion relativement importante (dans ce cas-ci 50 %) de plaquettes issues de bois de CRD à moins de 15 % d'humidité lors de la construction des piles. Les plaquettes devraient être bien mélangées pour permettre une certaine homogénéisation du taux d'humidité. Il est recommandé de ne pas mélanger les taux d'humidité avec de trop grands écarts dans de grosses piles, car ceci pourrait avoir pour effet d'accentuer les risques de feux. Toutefois, lorsque les piles sont mélangées de façon très uniforme, la construction des grandes piles à 150 m³ apparents est recommandée puisque celles-ci ont moins tendance à geler;
- **Bâchage** : Il est recommandé de récupérer les empilements de plaquettes non recouverts avant la mi-septembre ou de les couvrir d'une bâche pour éviter la reprise d'humidité avec les précipitations d'automne, la diminution de la température et de l'ensoleillement;
- **Combustion spontanée** : La température critique qui demande une intervention afin de prévenir les risques de combustion spontanée est de 80 °C (Volpé et Friesen 2012). D'après les résultats obtenus, les piles de plaquettes issues de billes de résineux d'un volume inférieur à 170 m³ présentent peu de risques de feu;
- **Pertes en fibre** : Favoriser la création de petites piles de plaquettes limitant la hauteur, le compactage et favorisant le séchage durant l'été a tendance à améliorer le bilan de matière sèche dans les empilements. La meilleure stratégie pour limiter les pertes en fibre est d'utiliser le matériel broyé le plus rapidement possible. Si un entreposage à long terme (sans mise en plaquettes) doit être maintenu, la biomasse sous forme de billes doit être privilégiée, car elle sèche beaucoup mieux et perd moins de matière sèche. Des pertes de matière sèche comprises entre 0,05 % et 0,33 % par mois, ont été observées lors du conditionnement de la biomasse sous forme de billes (Acuna et coll. 2012; Erber et coll. 2012; Volpé 2016) comparativement à des pertes entre 1 % et 6 % par mois lorsqu'il s'agit de biomasse sous forme de plaquettes (Thornqvist 1985; Garstang et coll. 2002);

- **Homogénéisation du taux d'humidité** : Les résultats démontrent que le taux d'humidité s'homogénéise à partir de la deuxième semaine d'entreposage. Le facteur le plus important à respecter est de bien mélanger les différents types de plaquettes de façon uniforme;
- **Plaquettes mélangées** : Mélanger les plaquettes issues de bois de CRD avec des plaquettes issues de résidus forestiers frais pour atteindre le taux d'humidité visé semble être une solution efficace pour mieux contrôler le taux d'humidité pendant une longue période (1 an).

En marge de cet essai, le Dr. Muhammad T. Afzal de l'Université du Nouveau-Brunswick a effectué des tests en chambre de conditionnement pour mieux déterminer le temps d'homogénéisation du taux d'humidité des mêmes sources de biomasse, soit de plaquettes de bois de CRD et des plaquettes issues de billes résineuses fraîches, mélangées ensemble. La section suivante résume les résultats de ce rapport.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. Les auteurs tiennent à remercier la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et la Coopérative de gestion forestière des Appalaches pour leur soutien technique et matériel, et particulièrement la participation active de Rut Serra de la FQCF pour la collecte d'échantillons sur le terrain et les analyses en laboratoire.

RÉFÉRENCES

- Acuna, M., Antilla, P., Sikanen, L., Prinz, R. et Asikainen, A. 2012. Predicting and controlling moisture content to optimize forest biomass logistics. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 33(2), 225–238.
- Del Degan Massé et Associés. 2012. Structure de l'industrie de la récupération du bois provenant de la construction, la rénovation et la démolition au Québec. Dans: Gouvernement du Québec. RECYC-QUEBEC. <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Rapport-final-bois.pdf>, consultée le 18 novembre 2013.
- Erber, G., Kanzian, C. et Stampfer, K. 2012. Predicting moisture content in pine logwood pile for energy purposes. *Silva Fennica*, 46(4), 555–567.
- Garstang, J., Weekes, A., Poulter, R. et Bartlett, D. 2002. Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale, non ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. DTI/Pub URN, 2, 1535.
- Gouv. du Québec. 2014. Gestion des résidus du secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD). Min. du Développement durable Environnement et Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC), Fiche d'information, Août 2014. 14 p.
- Jirjis, R. 1989. Enumeration and distribution of fungi in stored chip piles. *Material und Microorganismen* 24: 1, pp27-38.
- Jirjis, R. et Lehtikangas P. 1993. Fuel quality and dry matter loss during storage of logging residues in a windrow. In Swedish with English summary. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept of Forest Products. Report No. 236.
- Jirjis, R. 1995. Storage and drying of wood fuel. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept of Forest Products. *Biomass and Bioenergy*. 9 (1995). 181-190.
- Jirjis, R. 2004. Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*. *Biomass and Bioenergy*. 28 (2005). 193-201.
- MDDELCC. 2011. Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère. Chapitre Q-2, r. 4.1, art. 55.
- Nurmi, J. 1999. The storage of logging residue for fuel. *Biomass & Bioenergy*, 17, 41–47.
- Thörnqvist, T. 1985. Drying and storage of forest residues for energy production. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept of Forest Products. *Biomass* 7 (1985) 125-134.
- Volpé, S. 2016. Log seasoning to add value to bioenergy operations. *FPIInnovations*. 15, 60 p.
- Volpé, S. et Desrochers, L. 2015. Conditionnement de copeaux. *FPIInnovations*; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec (Québec). 35 p.
- Volpé, S. et Friesen, C. 2012. Gestion des piles de résidus forestiers. Techniques efficaces de gestion des piles de biomasse forestière broyée pour prévenir la combustion et la dégradation. *FPIInnovations*. Rapport Avantage Vol. 13. No. 13. Octobre 2012. Guide de référence.



PHOTO : SYLVAIN VOIPIÉ

1.7

MODELING IDEAL SETTLING SCHEDULE FOR HOMOGENIZING MOISTURE CONTENT OF COMMINUTED BIOMASS FROM VARIOUS SOURCES¹

Muhammad T. Afzal

DANS CETTE SECTION

Introduction	37
Résultats	38
Références	38

MOTS CLÉS

Plaquettes humides
Broyats secs
Transfert d'humidité
Conditions environnementales
Équation de diffusion
Temps d'homogénéisation

RÉSUMÉ

L'étude réalisée a pour but de mesurer le temps nécessaire pour obtenir un taux d'humidité homogène d'un mélange de broyats secs et de plaquettes humides. Les résultats montrent qu'un mélange de parts égales de plaquettes humides et de broyats secs atteint une humidité homogène plus lentement qu'un mélange ayant initialement deux fois plus de broyats secs que de plaquettes humides. Aussi, plus l'air ambiant est sec plus le taux d'humidité du mélange de plaquettes devient rapidement homogène. Finalement, une équation sur la diffusion de l'humidité des plaquettes humides vers les broyats secs est présentée. Celle-ci permet d'estimer le temps nécessaire à l'homogénéisation d'un mélange de plaquettes à différents taux d'humidité.

INTRODUCTION

Au Québec, trouver une deuxième vie aux résidus de bois provenant de la construction, la rénovation ou la démolition (CRD) est nécessaire, puisque depuis 2014 il est interdit d'enfouir ces matériaux dans des centres d'enfouissement. Selon une étude réalisée par Recyc-Québec, il y aurait plus de 700 000 tonnes métriques anhydres de résidus de CRD qui sont produits annuellement au Québec (Del Degan Massé et Associés¹, 2012). Ce bois pourrait donc être utilisé comme biomasse pour la bioénergie. Cependant, le taux d'humidité du bois de CRD est généralement trop sec pour être utilisé directement dans une chaufferie utilisant la biomasse. En effet, ces chaufferies nécessitent du matériel avec un taux d'humidité d'environ 30 % en base humide. Une solution envisageable serait de mélanger les **broyats de CRD** avec des **plaquettes issues de résidus forestiers** frais afin qu'il se produise un transfert d'humidité. Ce transfert d'humidité permettrait d'obtenir un mélange

1 Document de référence : Afzal (2014)

homogène satisfaisant les exigences en humidité des chaufferies. L'étude réalisée a pour but de mesurer le **temps nécessaire** pour obtenir un **taux d'humidité homogène** d'un mélange de broyats secs et de plaquettes humides.

RÉSULTATS

Une première partie de l'étude a consisté à examiner comment évolue le transfert d'humidité de différents mélanges de plaquettes/broyats selon deux ratios, soit un ratio 1:1 et un ratio 1:2 (en masse). Le ratio 1:1 implique un mélange à quantités égales de plaquettes humides et de broyats secs. Le ratio 1:2 implique une part de plaquettes humides pour deux parts de broyats secs. Par ailleurs, l'humidité de la biomasse est toujours sous l'influence des **conditions environnementales** (ex. température, humidité relative). C'est d'ailleurs pourquoi les tests ont été reproduits à petite échelle dans un laboratoire simulant plusieurs conditions environnementales. Les résultats montrent que le **mélange 1:2** a atteint un **taux d'humidité homogène plus rapidement** que le **mélange 1:1**. En effet, avec une température ambiante de 25°C, le mélange 1:2 a atteint son équilibre après une

période d'environ 4 - 5 jours, tandis que le mélange 1:1 atteint son équilibre après une période d'environ 5 - 6 jours. De plus, plus l'air ambiant est sec, plus le transfert d'humidité est rapide ce qui accélère l'homogénéisation du mélange de plaquettes.

Une deuxième partie de l'étude a consisté à élaborer un **modèle mathématique** capable de prédire le **temps nécessaire** pour qu'un mélange de broyats secs et de plaquettes humides obtienne un **taux d'humidité homogène**. Le temps nécessaire pour obtenir ce taux d'humidité homogène est atteint lorsque la courbe du taux d'humidité de la matière humide rencontre celle de la matière sèche. La modélisation de l'équation de diffusion de l'humidité entre les deux sources de plaquettes / broyats est présentée dans un fichier Excel. Cette modélisation est disponible auprès de M. Gagné de la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) à l'adresse courriel suivante: e.gagne@fqcf.coop.

RÉFÉRENCES

Afzal, M. T. 2014. Modeling ideal settling schedule for homogenizing moisture content of comminuted biomass from various sources. University of New Brunswick; Coopérative de Gestion Forestière des Appalaches (CGFA); FPInnovations and NSERC VCO Network. 16 p.

Del Degan Massé et Associés. 2012. Structure de l'industrie de la récupération du bois provenant de la construction, la rénovation et la démolition au Québec. Dans : Gouvernement du Québec. RECYC-QUEBEC. <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Rapport-final-bois.pdf>, consultée le 18 novembre 2013.



PHOTO : RUT SERRA

1.8

CONDITIONNEMENT ET SUIVI DU TRANSFERT D'HUMIDITÉ DE MÉLANGES DE PLAQUETTES DE DIFFÉRENTES ORIGINES¹

Rut Serra, Evelyne Thiffault et Mathieu Béland

DANS CETTE SECTION

Introduction	39
Résultats	40
1. Densité apparente	40
2. Granulométrie	40
3. Taux d'humidité	40
Conclusion et recommandations	43
Remerciements	44
Références	44

MOTS CLÉS

Biomasse forestière résiduelle
Séchage
Transfert d'humidité
Plaquettes de billes
Broyats de CRD
Bioénergie

RÉSUMÉ

Pour assurer un fonctionnement optimal des chaudières de petites et moyennes dimensions, le taux d'humidité (TH) des plaquettes doit être homogène et respecter la valeur exigée par la chaudière. Ainsi, une des stratégies pour atteindre un produit final avec un TH homogène serait de mélanger des plaquettes provenant de résidus de la construction, la rénovation et la démolition (CRD) avec des plaquettes fraîches provenant de résidus de coupe. Toutefois, un écart important en matière de TH existe entre ces deux sources de biomasse. L'étude vise donc à évaluer le temps nécessaire à l'obtention d'un TH homogène qui réponde aux exigences des acheteurs de biomasse comme combustible. Elle a pour but aussi de mieux comprendre le transfert d'humidité entre ces deux sources de biomasse. Les résultats suggèrent qu'un transfert d'humidité des plaquettes fraîches vers les broyats de CRD se produit au courant des deux premières semaines de conditionnement mais ce transfert n'est pas suffisant pour atteindre le TH requis par la chaufferie. L'homogénéité du TH moyen n'est atteinte qu'après une période comprise entre 7 et 15 semaines. Plus d'essais seraient nécessaires pour tester d'autres proportions de broyats secs versus des plaquettes fraîches, en mélange par couches, afin de voir si une autre recette permettrait d'atteindre un TH homogène à plus court terme, tout en respectant les critères de qualité des chaudières de petites et moyennes dimensions.

INTRODUCTION

La Coopérative de gestion forestière des Appalaches (CGFA) était intéressée à fournir de la biomasse pour un projet de chauffage de l'hôpital de Montmagny. Une partie

¹ Document de référence : Serra et coll. (2016)

des résidus provenant de la construction, la rénovation et la démolition (CRD) peut être intégrée à une chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière pour l'approvisionnement de chaufferies de petites et moyennes dimensions. En effet, les CRD non contaminés (ou de grade 1) peuvent être utilisés pour les chaudières de puissance de moins de 3 MW. Parallèlement, la coopérative récupère annuellement des résidus forestiers qu'elle transforme en plaquettes. Toutefois, à la différence des broyats de CRD, qui sont relativement secs, les plaquettes provenant de résidus forestiers frais ont un taux d'humidité (TH) autour de 50 - 60 %. De plus, pour assurer le fonctionnement optimal de la chaufferie à la biomasse, l'hôpital exige les critères de qualité de plaquettes suivants :

- Taux d'humidité des plaquettes compris entre 30 et 40 % (sur base humide²) durant toute l'année. Le taux d'humidité maximum acceptable pour une livraison est de 45 %;
- Granulométrie comprise entre 3 mm et 100 mm de longueur, dont un maximum de 15 % du combustible peut présenter une granulométrie maximale de 110 mm et un maximum de 5 % du combustible peut présenter une granulométrie inférieure à 3 mm de longueur.

Ainsi, une des stratégies permettant d'atteindre un TH homogène autour de 30 – 40 %, serait de mélanger les broyats secs avec les plaquettes fraîches, pour qu'une partie du contenu en eau des plaquettes soit transférée aux broyats secs. Cependant, ce mécanisme de transfert d'humidité n'a été que peu documenté pour un tel contexte.

Il faut aussi prendre en compte que, lors de la confection d'empilements avec différentes sources de biomasse, la méthode utilisée est généralement une chargeuse munie d'une pelle frontale réalisant des couches successives pour mélanger le matériel de différentes origines. Ainsi, le mélange est souvent constitué d'une couche de matériau sec, suivi d'une couche de matériau humide et ainsi de suite. Étant donné que l'épaisseur de la couche risque d'avoir un impact sur le transfert d'humidité, la question se pose à savoir si cette épaisseur a un effet sur la vitesse du transfert d'humidité et donc sur l'homogénéisation du produit final. De plus, il existe de l'incertitude quant à l'efficacité d'un mélange par couches comparativement à un scénario où les plaquettes et broyats seraient intimement mélangées. L'étude vise donc à connaître davantage le processus du transfert d'humidité et à évaluer le temps nécessaire pour obtenir un produit avec un taux d'humidité final homogène.

RÉSULTATS

1. DENSITÉ APPARENTE

Les variations importantes de la densité apparente de la biomasse affectent le rendement des chaudières et entraînent des ajustements continuels des vitesses d'alimentation. La densité apparente peut aussi affecter les coûts de transport et d'entreposage. Les deux sources de biomasse utilisées se distinguaient par leur **densité apparente** (kg/m³) : la densité apparente moyenne à l'état anhydre des plaquettes de biomasse était de 173 kg/m³ et était supérieure à celle des broyats de CRD qui était en moyenne de 154 kg/m³.

2. GRANULOMÉTRIE

La **granulométrie** de la biomasse influence la combustion des plaquettes dans la chaudière (Volpé et Desrochers 2015). Les petites plaquettes et les particules fines de moins de 3 mm brûlent rapidement et génèrent davantage de chaleur, ce qui augmente le risque de combustion spontanée. D'autre part, les plaquettes supérieures à 100 mm diminuent l'efficacité des chaudières. Ainsi, pour le fonctionnement optimal des chaudières de petites et moyennes dimensions, les plaquettes doivent mesurer entre 3 et 100 mm. D'après les résultats obtenus, les deux sources de biomasse respectaient le critère de grosseur maximale des plaquettes mais ne respectaient pas le critère de particules fines : environ 16 % des broyats de CRD et 11 % des plaquettes de biomasse forestière étaient d'une grandeur inférieure à 3 mm. Dans les critères de qualité pour la chaudière de l'hôpital de Montmagny, il est stipulé qu'un maximum de 5 % des plaquettes pourra avoir une granulométrie inférieure à 3 mm. Ainsi, selon ce critère, la qualité des broyats de CRD et des plaquettes de biomasse fraîche n'était pas suffisante. Toutefois, selon la norme ISO TC238, dont la masse maximale de fines acceptée est de 12 %, les plaquettes fraîches auraient la qualité suffisante pour être considérées dans la classe P16B.

3. TAUX D'HUMIDITÉ

Les résultats sont présentés selon les tests effectués sur les mélanges intimes et les mélanges en couches. Ensuite, une comparaison entre ces deux types de mélanges permet

2 Tous les pourcentages de taux d'humidité du contenu de ce rapport sont sur base humide.

d'évaluer quel est le mélange optimal qui permet d'atteindre les critères de qualité exigés. Le mélange de plaquettes à des TH contrastés vise à obtenir un TH moyen relativement homogène entre les particules constituant le mélange. Pour évaluer l'homogénéité du TH entre les particules de sources de biomasse différentes, un critère de 5 % d'écart a été fixé, p. ex. le TH est considéré comme homogène (semblable) entre des particules si l'écart de TH est de 5 % ou moins.

MÉLANGES EN COUCHES

Différentes épaisseurs de couches dans le mélange, 15 et 30 cm, ont été testées pour connaître leur effet sur la vitesse d'homogénéisation du taux d'humidité ainsi que pour vérifier si le transfert d'humidité a lieu. Les traitements établis pour les mélanges en couches sont les suivants :

- Alternance d'une couche de broyats secs et d'une couche de plaquettes fraîches, couches de 15 cm d'épaisseur (1:1-15);
- Alternance d'une couche de broyats secs et de deux couches de plaquettes fraîches, couches de 15 cm d'épaisseur (1:2-15);
- Alternance d'une couche de broyats secs et d'une couche de plaquettes fraîches, couches de 30 cm d'épaisseur (1:1-30);
- Alternance d'une couche de broyats secs et de deux couches de plaquettes fraîches, couches de 30 cm d'épaisseur (1:2-30);
- Témoin 1 (T1) constitué de broyats de CRD (sec);
- Témoin 2 (T2) constitué de plaquettes fraîches de biomasse forestière résiduelle.

Le temps pour atteindre une différence de 5 % d'humidité entre les plaquettes humides et les broyats secs est indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1 - Temps nécessaire pour atteindre une différence de 5 % du taux d'humidité entre les plaquettes humides et les broyats secs pour les mélanges en couches.

TRAITEMENT	TEMPS (semaines)
1:1 (15)	11,3
1:1 (30)	14,9
1:2 (15)	10,1
1:2 (30)	12,0

Ce tableau suggère qu'il y a un effet de la proportion matière sèche: matière fraîche sur la vitesse d'homogénéisation du taux d'humidité. Les traitements 1:2 atteignent un taux d'humidité homogène plus rapidement que les traitements 1:1. Ainsi, la présence de deux fois plus de plaquettes fraîches diminue le temps requis pour obtenir une TH homogène. Il y a aussi un effet de l'épaisseur des couches sur la vitesse pour obtenir une TH relativement homogène. Les couches de 15 cm permettent d'obtenir une TH homogène plus rapidement que les couches de 30 cm. Cependant, pour les quatre traitements, il semblerait que l'humidité dans les plaquettes humides ne se transfère pas totalement dans les plaquettes sèches. En effet, pour les mélanges en couches, les plaquettes sèches gagnent un peu d'humidité au début de l'expérience, mais cette humidité restera sous la barre des 20 % durant tout l'horizon de temps évalué.

MÉLANGES INTIMES

Pour connaître l'effet des proportions de broyats secs et de plaquettes fraîches sur la vitesse du transfert d'humidité et d'homogénéisation du taux d'humidité, les traitements établis pour les mélanges intimes sont les suivants :

- Mélange intime de broyats secs et plaquettes fraîches en proportions égales (M1:1);
- Mélange intime d'une part de broyats secs pour deux parts de plaquettes fraîches (M1:2).

Pour les mélanges intimes il n'a pas été possible de les comparer aux témoins (T1 et T2) étant donné que la méthode de collecte des données différait entre les traitements en mélange intime et les témoins.

Tableau 2 - Temps nécessaire pour atteindre une différence de 5 % du taux d'humidité entre les plaquettes humides et les broyats secs pour les mélanges intimes.

TRAITEMENT	TEMPS (semaines)
M1:1	7,7
M1:2	7,1

La Figure 1 illustre l'évolution du taux d'humidité des deux types de matières (plaquettes de billes et broyats de CRD) pour les traitements en mélange intime. D'après les analyses, les deux mélanges, M1:1 et M1:2, évoluent de façon similaire durant toute la durée de conditionnement. Il n'y avait pas de différences significatives entre les broyats de CRD ou les copeaux de billes pour les deux mélanges. Ainsi, la confection d'un mélange comprenant deux proportions de matériel frais pour une de matériel sec permettrait d'atteindre l'homogénéité de l'empilement à une vitesse semblable.

Les broyats de CRD ont gagné de l'humidité jusqu'à des valeurs autour de 25 %, et ce, au courant de la première semaine de conditionnement. Il semble donc qu'un transfert d'humidité des plaquettes de billes vers les broyats de CRD a lieu. Suite à cette période de conditionnement, il n'y a plus de transfert est les deux sources de biomasse continuent à perdre de l'humidité.

EFFICACITÉ DU SÉCHAGE

Une comparaison du taux d'humidité moyen entre les mélanges en couches et les mélanges intimes a été effectuée. La figure 1 montre l'évolution du TH moyen pour les différents traitements. Il est à noter que les barres rouges horizontales sur le graphique représentent les critères de qualité pour la chaudière de l'hôpital de Montmagny, soit un TH entre 30 % et 40 %. À l'échelle du baril, tous les traitements perdent rapidement de l'humidité et atteignent un TH inférieur à celui prescrit pour la chaudière. De plus, les analyses statistiques montrent qu'il n'y a pas de différences significatives pour les TH moyens entre les différents types de mélanges (intimes (M) et en couches) pour la durée complète de l'étude. Ainsi, aucun traitement n'est parvenu à se différencier de façon notable des autres traitements.

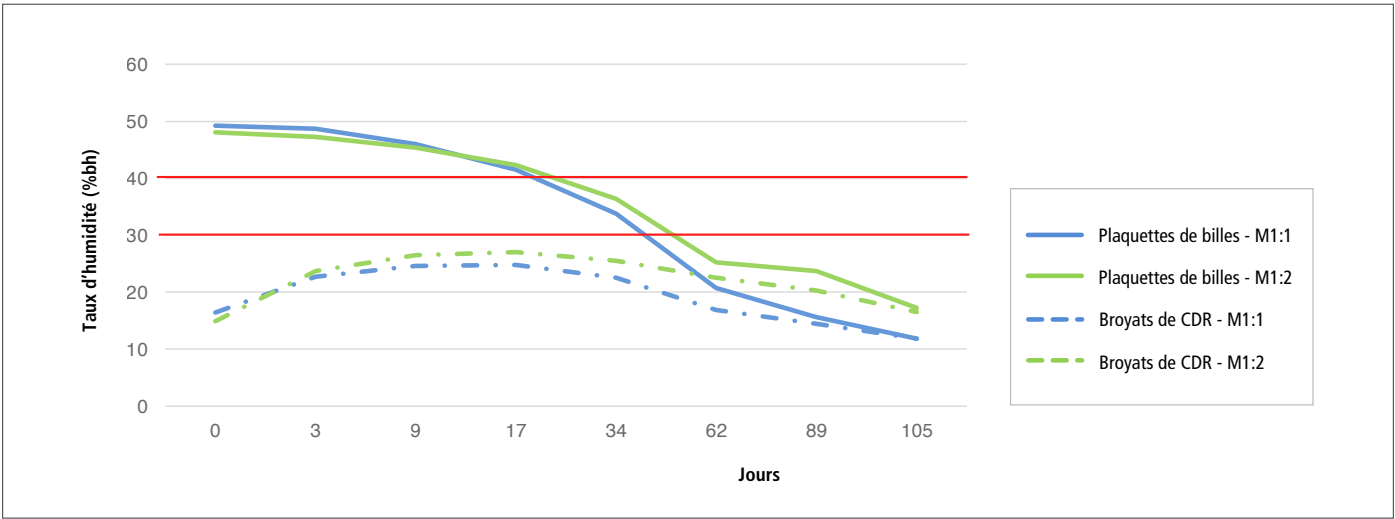


Figure 1 - Évolution du taux d'humidité moyen des traitements en mélange intime (M1:1 et M1:2) pour les deux types de matières (plaquettes de billes et broyats de CRD).

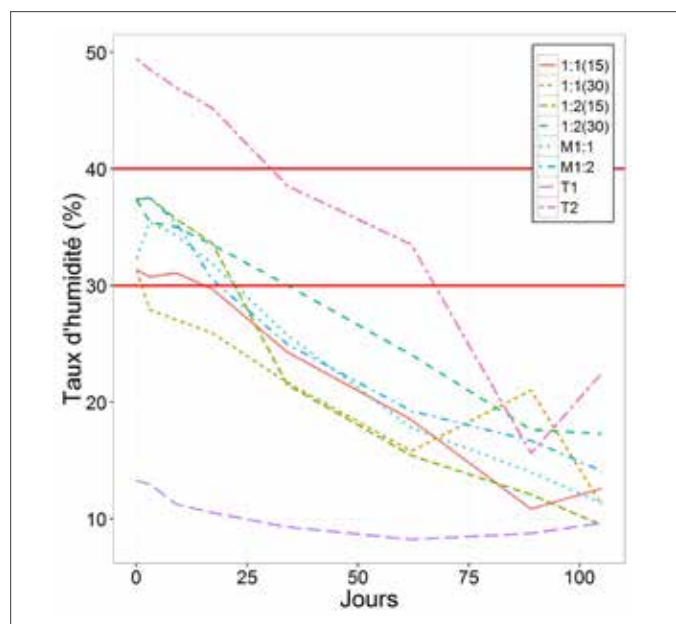


Figure 2 - Évolution de la TH moyenne par traitement.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La **densité apparente** plus élevée des plaquettes de billes, comparativement aux broyats de CRD est probablement dû au type de transformation. En effet, le broyage, dans le cas du CRD, génère des particules qui sont généralement plus inégales, créant ainsi plus d'espace libre entre elles. Dans le cas des billes, le déchiquetage crée des particules qui sont de taille plus uniforme et donc il y a moins d'espaces vides entre les plaquettes.

Les mélanges obtenus respectent les critères de qualité en ce qui a trait à la grosseur maximale des particules mais ne respectent pas la limite maximale de **5 % de particules fines** exigé par l'hôpital. À titre de comparaison, la norme ISO TC238 stipule une limite maximale de 12% de particules fines. La limite de 5% de particules fines semble donc trop stricte pour un approvisionnement de chaudières de petites et moyennes dimensions. Ce critère serait donc à valider.

Après 3,5 mois de conditionnement, le **TH moyen** des deux sources de biomasse atteint des valeurs comprises entre 12% et 25%. Ainsi, en considérant les critères de qualité de la chaufferie de l'hôpital de Montmagny, c'est-à-dire un TH compris entre 30 et 40 %, le TH du mélange de broyats secs avec

les plaquettes de billes est trop bas pour le fonctionnement optimal de la chaudière. Si des ajustements de la chaudière pouvaient être réalisés pour qu'elle soit en mesure de brûler du matériel avec un TH autour de 20 %, les plaquettes/broyats auraient des TH homogènes. Toutefois, il serait nécessaire de planifier une période de conditionnement d'une durée comprise entre 7 et 15 semaines, selon le mélange effectué. Pour éviter la reprise d'humidité des plaquettes causée par les précipitations, le conditionnement devrait se réaliser sous abri.

Cette étude permet d'émettre une série de **constats** et de **recommandations** :

1. Un **transfert d'humidité** semble avoir lieu durant les premières 2 semaines d'entreposage, et ce pour les mélanges intimes et pour les mélanges par couches, mais ce transfert n'est pas suffisant pour atteindre des valeurs de TH comprises entre 30 – 40 %. Cela pourrait être dû à la granulométrie des broyats de CRD. En effet, le CRD, lorsque broyé, crée des plaquettes très peu uniformes ce qui engendre plus de poches d'air entre les broyats. Il est donc possible que l'humidité dégagée par les plaquettes de billes soit absorbée par l'air plutôt que par les broyats de CRD;
2. Les **différentes proportions de mélange par couche** influencent la vitesse d'homogénéisation du taux d'humidité. Une proportion 1:2 permet d'atteindre un TH homogène plus rapidement qu'une proportion 1:1. En ce sens, lorsque le mélange s'effectue par couches, la proportion 1:2 serait à préconiser;
3. Les **différentes proportions de mélange intime** influencent peu la vitesse d'homogénéisation du taux d'humidité. En ce sens, une proportion 1:2 pourrait être préconisée dans le cas d'avoir plus de plaquettes de billes que de broyats de CRD;
4. **Le mode de confection du mélange**, c'est-à-dire s'il s'agit d'un mélange intime ou bien d'un mélange par couches, ne semble pas influencer la vitesse d'homogénéisation du TH moyen. En ce sens, des empilements en couches seraient à préconiser étant donné qu'ils sont, d'un point de vue opérationnel, plus faciles à construire.
5. Les **épaisseurs de couches** dans le mélange (15 et 30 cm) influencent la vitesse d'homogénéisation du TH. Des couches de 15 cm permettent d'atteindre un TH homogène plus rapidement que des couches de 30 cm. En ce sens, des couches de 15 cm seraient à préconiser. Cependant, des couches moins épaisses nécessitent plus de manipulations.

Ainsi, une nouvelle étude pourrait analyser si ces manipulations seraient justifiables d'un point de vue économique.

Il faut prendre en considération que ces résultats pourraient différer en fonction des **conditions ambiantes** (p. ex. température et humidité relative) et de la **qualité des matières** (p. ex. granulométrie, TH initiale). De ce fait, il serait nécessaire d'enrichir l'étude avec des essais permettant de contrôler les facteurs ambiants. En faisant varier ces paramètres, la vitesse du transfert d'humidité et le temps d'homogénéisation des différentes sources de biomasse pourraient être testés. Pour de prochaines études, il serait pertinent aussi de tester d'autres proportions de broyats secs versus des plaquettes fraîches, en mélange par couches, afin de voir si une autre recette permettrait d'atteindre un TH homogène à plus court terme, tout en respectant les critères de qualité des chaudières de petites et moyennes dimensions.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada, l'Université Laval, le réseau BioFuelNet Canada, FPInnovations et les coopératives participantes, soit la Coopérative forestière de la Matapédia, la Coopérative de gestion forestière des Appalaches, la coopérative forestière des Hautes-Laurentides, le Groupe Forestra coopérative forestière et la Coopérative forestière de Petit Paris. Les auteurs tiennent à remercier la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) ainsi que la participation de Luc Desrochers, de FPInnovations, pour sa contribution à l'élaboration de la proposition d'étude et de Jimmy Pillant, stagiaire à l'Université Laval pour le réseau BioFuelNet Canada, pour la collecte des données.

RÉFÉRENCES

Organisation internationale de normalisation. ISO TC238 – Solid biofuels. <http://www.iso.org/>.

Serra R., Thiffault E., et Béland M. 2016. Conditionnement et suivi du transfert d'humidité de mélange de plaquettes de différentes origines. Fédération québécoise des coopératives forestières; Université Laval. Québec (Québec). 25 p.

Volpé S. et Desrochers L. 2015. Conditionnement de copeaux. FPInnovations et Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec (Québec). 35 p.



PHOTO : RUT SERRA

1.9

VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DE PLAQUETTES D'ÉCORCE ET DE DOSSSES¹

Rut Serra et Luc Desrochers

DANS CETTE SECTION

Introduction	45
Résultats	46
1. Tamisage et broyage	46
2. Séchage au soleil et entreposage	47
3. Ajout au mélange courant	49
4. Comportement en chaufferie	50
Conclusion et recommandations	50
Remerciements	51
Références	51

MOTS CLÉS

Plaquettes
Tamisage
Broyage
Séchage au soleil
Entreposage
Critères de qualité
Mélange optimal
Chaufferie

RÉSUMÉ

Dans le but de valoriser l'écorce de tremble et les dosses de cèdre pour la production d'énergie, la Coopérative forestière de la Matapédia souhaitait trouver la recette optimale pour incorporer une proportion de plaquettes d'écorce et de dosses au mélange courant de plaquettes utilisé dans les chaufferies de bâtiments commerciaux et institutionnels. Pour ce faire, un projet en cinq étapes a été réalisé : 1) dimensionnement, 2) séchage, 3) entreposage, 4) ajout au mélange courant et 5) comportement en chaufferie. Les résultats suggèrent que le broyage des écorces est plus performant que le tamisage pour produire des plaquettes. Le séchage au soleil sur une période d'ensoleillement d'environ 10 heures a été suffisant pour réduire de 5 % la teneur en humidité de plaquettes d'écorce. L'écorce de tremble non contaminée s'est avérée une source de biomasse adéquate pour les chaudières de petites et moyennes dimensions, mais les plaquettes de dosses de cèdre n'ont pas atteint les critères de qualité permettant de les valoriser énergétiquement. D'autres essais seraient nécessaires afin de valider la stratégie du séchage au soleil sur une période d'ensoleillement plus longue et avec des épaisseurs du matériel supérieures à 60 cm. Pour mieux documenter l'effet de l'ajout d'écorce sur la performance en chaufferie, des essais en conditions contrôlées devraient être réalisés.

INTRODUCTION

L'ajout de plaquettes d'écorce et de dosses dans le mélange courant pour l'approvisionnement de chaudières de petites et moyennes dimensions, permettrait d'utiliser une source de biomasse à un moindre coût que les résidus provenant des coupes

1 Document de référence : Serra et Desrochers (2016)

forestières. La Coopérative forestière de la Matapédia (CFM), s'est intéressée à l'ajout d'une proportion d'écorce de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) et de dosses de cèdre blanc (*Thuja occidentalis* L.) dans son mélange courant de plaquettes issues de biomasse forestière résiduelle. L'écorce et les dosses sont peu coûteuses avec des coûts de collecte et de transport largement inférieurs à la récolte de biomasse en forêt. Toutefois, il est important de s'assurer que les mélanges utilisant des plaquettes d'écorce ou de dosses respectent les critères de qualité requis par la chaufferie, tels la densité, la granulométrie, la teneur en humidité (TH sur base humide²) et la teneur en cendres, et que ces mélanges n'affectent pas le rendement des chaufferies. Seulement l'écorce produite en hiver a été considérée car elle contient moins de contaminants (terre et sable essentiellement) que l'écorce produite en été. Les dosses de cèdre ont été produites en automne.

Le but principal du projet est de trouver la recette optimale pour incorporer une proportion de plaquettes d'écorce et de dosses dans le mélange courant de plaquettes utilisé par la CFM qui satisfait les critères de qualité requis par des chaudières de petites et moyennes dimensions. Pour être en mesure d'obtenir un mélange optimal intégrant des plaquettes d'écorce de tremble et de dosses de cèdre, cinq objectifs ont été identifiés pour le projet :

1. Documenter les opérations de tamisage et de broyage d'écorce de tremble;
2. Tester la stratégie de séchage au soleil pour des plaquettes d'écorce de tremble;
3. Faire un suivi du conditionnement du matériel entreposé (plaquettes d'écorce de tremble et de dosses de cèdre);
4. Calculer, les proportions maximales de plaquettes d'écorce de tremble et de dosses de cèdre incorporées au mélange courant qui satisfait aux exigences de qualité requises par les chaudières;
5. Documenter l'effet de l'ajout de plaquettes d'écorce de tremble et de dosses de cèdre au mélange courant sur le fonctionnement des chaufferies.

Les **objectifs 2 et 4** ont fait l'objet d'étude par la **Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et FPIInnovations** tandis que les **objectifs 1, 3 et 5** ont été documentés à l'aide **d'observations terrain recueillies par le personnel de la CFM**. Pour faciliter la lecture, les résultats ont été présentés en suivant l'ordre chronologique des étapes identifiées pour

l'ajout de plaquettes d'écorce et de dosses au mélange courant. Ces étapes sont: le dimensionnement de la biomasse en plaquettes, le conditionnement, l'entreposage, l'ajout de plaquettes d'écorce et/ou de cèdre au mélange courant et le comportement en chaufferie. Sur la base des résultats obtenus, des recommandations ont été formulées pour chaque objectif.

RÉSULTATS

1. TAMISAGE ET BROYAGE

Pour être utilisées dans des chaudières de petites et moyennes dimensions, les écorces et les dosses doivent être dimensionnées en plaquettes. Idéalement, l'écorce serait fragmentée et tamisées au fur et à mesure à l'usine même, ce qui permettrait d'obtenir la granulométrie désirée. Étant donné le coût élevé de cette opération, la coopérative a décidé d'explorer deux autres solutions: le tamisage avec un tamis rotatif et le broyage avec une broyeuse horizontale. Quant aux dosses de cèdre, elles ont été déchiquetées et les plaquettes obtenues avaient la granulométrie désirée.

TAMISAGE

Le tamisage de l'écorce de tremble a été réalisé avec un tamiseur rotatif IPF-513 muni de deux grilles de 25 mm à l'entrée et d'une grille de 38 mm à la sortie. Pour minimiser les contaminants, seules des écorces de tremble récolté et écorcé en hiver ont été utilisées. Au moment du tamisage, les écorces avaient entre 2 et 4 mois d'âge et une teneur en humidité autour de 37 %. Le pourcentage du matériel tamisé s'est avéré très bas, soit de 15 – 20 % du matériel entrant. Même si cette combinaison permettait d'obtenir la granulométrie désirée, un pourcentage élevé de matériel respectant la granulométrie requise demeurerait dans le matériel rejeté. Le coût de cette opération s'est avéré très élevé, soit de 42,19 \$/tma.

BROYAGE

Les écorces non tamisées ont été broyées avec une broyeuse Morbark 3600 munie de deux grilles de 51 mm et une grille de 76 mm. La broyeuse était alimentée par une excavatrice munie d'une pelle qui permettait de rapprocher le matériel. Le broyage s'est avéré une option plus intéressante pour dimensionner les écorces en plaquettes que le tamisage. La produc-

2 tma = tonnes métriques anhydres.

tivité observée était de 14,9 tma/HMP. D'après les observations recueillies, la broyeuse travaillait au maximum de sa capacité. Le coût du broyage a été estimé à 30,30 \$/tma.

2. SÉCHAGE AU SOLEIL ET ENTREPOSAGE

La CFM a confectionné dans sa cour un empilement d'environ 1000 tmv³ d'écorce d'hiver provenant de sa scierie, dans le but de les conditionner à l'air libre. De fortes précipitations ont toutefois compromis le processus de séchage biologique et la teneur en humidité de l'empilement a augmenté (~ 60 %). Compte tenu des résultats, la CFM a décidé de s'y prendre autrement et de sécher les écorces au soleil.

SÉCHAGE AU SOLEIL

Des plaquettes d'écorce de tremble ont été étalées sur la surface asphaltée de la cour d'entreposage de la CFM à Sainte-Florence pour sécher au soleil. Les plaquettes utilisées pour les essais provenaient de l'empilement de

120 tmv d'écorce tamisée au tamis rotatif. Deux variables ont été testées, soit l'**épaisseur de la couche** d'écorce (15 cm, 30 cm, 45 cm et 60 cm) et la **présence d'un abri** pour protéger les plaquettes des précipitations et de la rosée (45 cm + abri). L'objectif était de tester l'effet d'une exposition relativement courte au soleil sur la diminution de la teneur en humidité des plaquettes. La détermination de l'épaisseur optimale de la couche est importante pour établir le meilleur compromis entre l'espace disponible et le temps de séchage. Durant l'essai, deux périodes de séchage distinctes ont été observées, la première avant les précipitations et la seconde après les précipitations. La figure 1 présente les précipitations et les températures mesurées durant la durée de l'expérience.

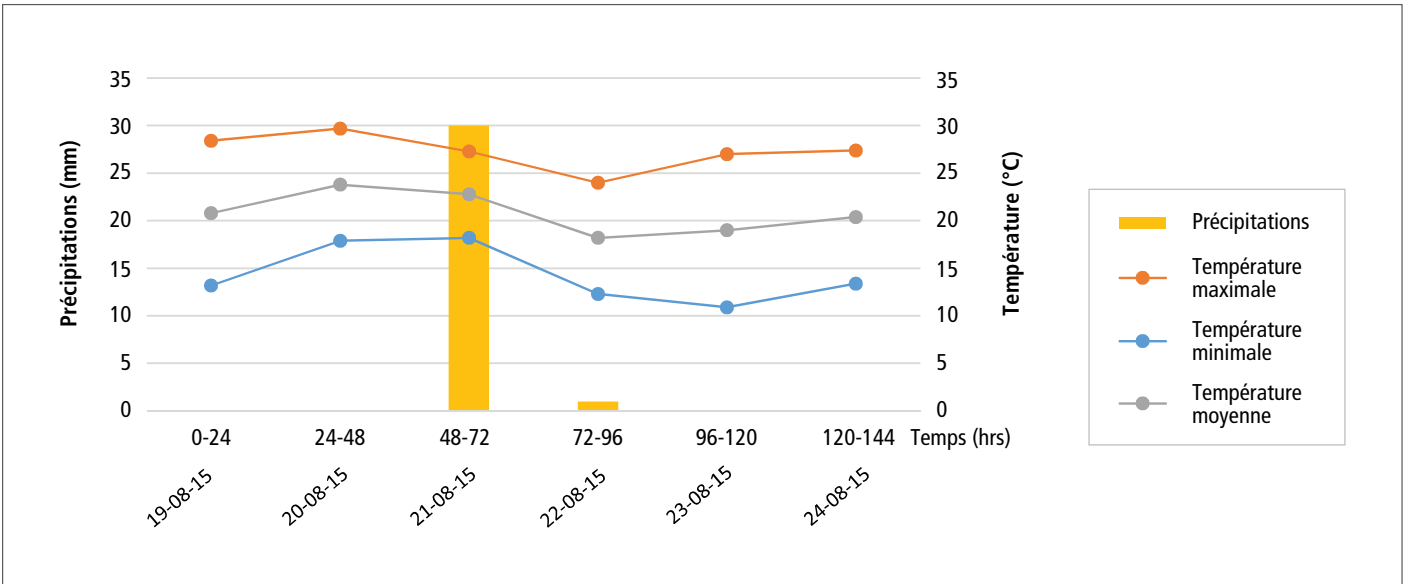


Figure 1 - Évolution de la température (maximale, minimale et moyenne) et des précipitations durant la durée de l'expérience⁴.

3 tmv = tonnes métriques vertes.

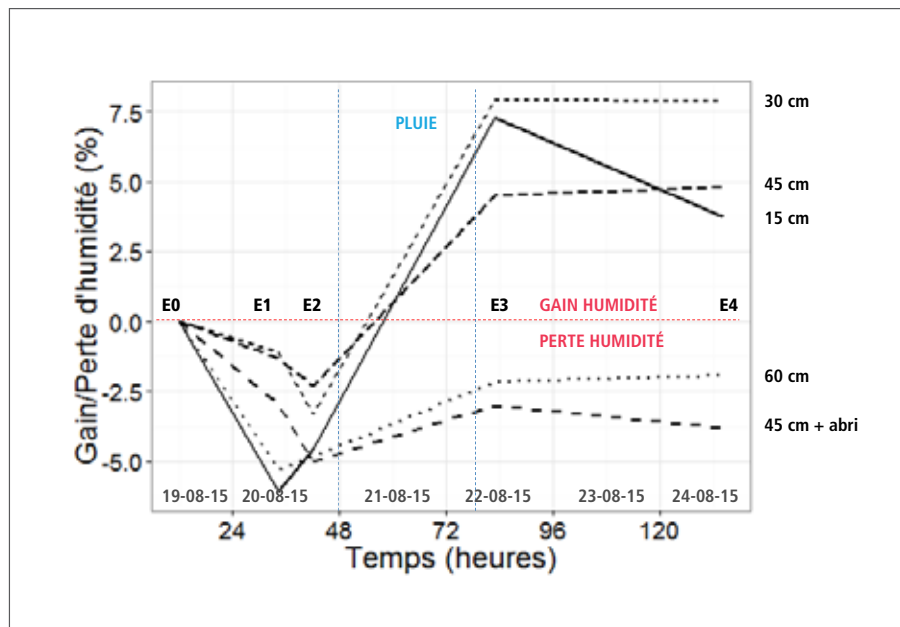


Figure 2 - Gain/Perte d'humidité (en %) pour les différents traitements en fonction du temps moyen (en heures) et pour chaque échantillonnage (E0 à E4).

La figure 2 présente les tendances moyennes de gain et de perte d'humidité observées avant et après les précipitations. **Avant les précipitations**, et après une période de séchage d'environ 30 heures (E2), la **perte d'humidité moyenne** des différents traitements était comprise entre **- 2,3 % et - 5,0 %**. Les épaisseurs de 15 cm et de 60 cm ont subi des pertes d'humidité plus importantes. De plus, la présence d'un abri ne semble pas avoir nuit à la perte d'humidité des plaquettes.

Après les précipitations totalisant 31 mm de pluie (E3), la reprise d'humidité a été plus importante avec les épaisseurs d'écorce plus minces que les épaisseurs d'écorces plus épaisses. Elle était en moyenne de 11,9 % et de 11,2 % pour les épaisseurs de 15 et 30 cm, respectivement, de 6,8 % pour l'épaisseur de 45 cm, de 2,1 % pour l'épaisseur de 45 cm avec abri et de 2,7 % pour l'épaisseur de 60 cm. La présence d'un abri semble avoir protégé en partie les plaquettes et limité la reprise d'humidité. Après 122 heures de séchage (E4), les plaquettes avec une épaisseur de 15 cm ont eu une **légère perte d'humidité** (- 3,5 %) alors que le taux d'humidité des autres traitements est resté plus ou moins stable.

Les pertes d'humidité les plus importantes ont eu lieu durant la première journée de séchage. Les tendances observées avant les précipitations indiquent qu'une épaisseur de couche de 60 cm donnerait les mêmes résultats qu'une épaisseur plus mince, en termes de perte d'humidité. Après les précipitations, ce serait l'épaisseur de 15 cm qui perdrait plus d'humidité. La présence d'un abri ne semble pas avoir nuit au séchage, a protégé les plaquettes de la pluie et a permis de limiter la reprise d'humidité. Toutefois, beaucoup de variabilité a été observée entre les répétitions d'un même traitement.

ENTREPOSAGE DES PLAQUETTES

Lorsque qu'une TH d'environ 35 % a été atteinte, les plaquettes ont été entreposées dans l'entrepôt de la CFM. Après deux à trois semaines d'entreposage, la température à l'intérieur de l'empilement d'écorce de tremble fluctuait entre 55 et 70°C et a même atteint 82°C. Pour éviter la combustion spontanée, dont le seuil critique est autour de 80°C (Volpé et Friesen 2012), la coopérative a ouvert les empilements pour permettre à la chaleur de se dissiper. La température des plaquettes de dosses de cèdre, également placées sous entrepôt, a stagné entre 30 et 50°C avec des TH comprises entre 36 et 47 %.

3. AJOUT AU MÉLANGE COURANT

Les sources de biomasse caractérisées correspondent à l'écorce de tremble broyée ou tamisée, aux dosses de cèdre déchiquetées et à des plaquettes issues de biomasse forestière résiduelle fraîche ou conditionnée, de feuillus, de résineux ou d'un mélange des deux.

Outre la TH, voici les principaux critères de qualité qui influencent aussi l'efficacité et la performance de la chaufferie :

- La densité apparente ou masse volumique apparente (Mva b.s en kg/m^3);
- Le taux d'écorce (TE en %);
- La teneur en cendres (TC en %);
- La granulométrie;
- Le pouvoir calorifique supérieur (PCS en kWh/tma).

Pour évaluer l'effet de l'ajout de plaquettes d'écorce de tremble et de dosses de cèdre au mélange courant de plaquettes, des calculs théoriques de plusieurs combinaisons possibles ont été effectués. Ces calculs ont été réalisés par tranches de 10 % et jusqu'à un maximum de 50 % pour les ajouts de plaquettes d'écorce seules et jusqu'à un maximum de 60 % avec l'ajout d'un mélange comprenant 30 % d'écorce et 30 % de dosses.

La **densité apparente** (sur base sèche) des plaquettes de dosses de cèdre était la plus basse des sources caractérisées ($= 100 \text{ kg}/\text{m}^3$) alors que la densité de l'écorce de tremble,

broyée ou tamisée, était similaire à celle des plaquettes courantes. L'ajout d'écorce de tremble broyée ou tamisée a eu peu d'impact sur la densité du mélange obtenu, peu importe les proportions utilisées tandis que l'ajout de plaquettes de cèdre a eu un impact à la baisse sur la densité du mélange à partir d'un ajout de 20 % et plus.

Le **taux d'écorce** (TE) pour l'écorce de tremble tamisée était de 78,1 % et celui des plaquettes de cèdre était de 29,2 %. Quant aux plaquettes courantes, le TE était compris entre 10 et 16 % avec un TE plus élevé pour les plaquettes issues de feuillus. Ainsi, l'ajout d'écorce de tremble et de dosse de cèdre vont faire augmenter le TE du mélange final. La teneur en cendres est intimement liée à ce critère.

D'après la norme européenne CEN/TS 14961, la limite maximale suggérée pour la **teneur en cendres** (TC) des plaquettes de bois résineux est de 2 %, et de 1,5 % pour les plaquettes de bois feuillus. Pour les fins de l'étude, la limite acceptable pour la TC a été établie à 2 %. La TC pour les plaquettes de cèdre était très basse ($= 0,2 \%$) et celle de l'écorce de tremble broyée, dépassait 7 %. La valeur de TC de 5 % utilisée pour l'écorce de tremble tamisée provenait de la littérature (Micko 1987). Les valeurs pour la TC des échantillons de plaquettes de bois étaient toutes comprises entre 0,5 % et 1,1 %. Voici les ajouts maximaux acceptables pour les mélanges respectant la limite établie pour la TC :

- **Ajout d'écorce de tremble**: le plafond de 2 % est atteint avec un ajout d'environ 20 % d'écorce broyée ou d'environ 30 % d'écorce tamisée (Figure 3);

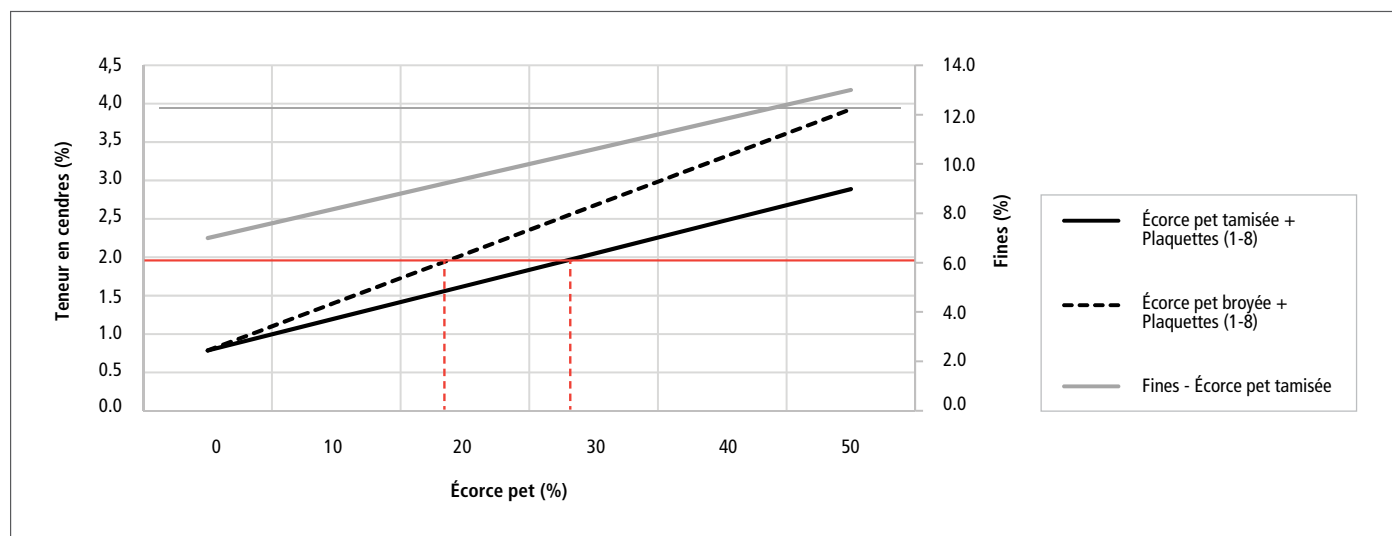


Figure 3 - Effet de l'ajout d'écorces de tremble (pet) sur la teneur en cendres et la teneur en fines.

- **Ajout d'écorce de tremble et de plaquettes de cèdre**: le plafond de 2 % est atteint avec un ajout d'environ 30 % d'écorce de tremble broyée et de 10 % de plaquettes de cèdre ou avec un ajout d'environ 40 % d'écorce de tremble tamisée et de 10 % de plaquettes de cèdre.

4. COMPORTEMENT EN CHAUFFERIE

Le mélange avec des **plaquettes de dosses de cèdre** ont occasionné des arrêts plus fréquents du système d'alimentation de la chaudière en raison de sa faible densité et de son contenu élevé en fines et en fibres laineuses. L'ajout de **plaquettes d'écorce de tremble** dans le mélange courant a généré une combustion efficace mais a occasionné des arrêts plus fréquents du système d'alimentation dus à la présence de sable et de roches. La teneur en cendres mesurée des écorces était de 7,1 %. Une utilisation accrue et continue d'écorce dans le mélange entraînerait des nettoyages de la chaudière plus fréquents. La coopérative estime que le nombre de nettoyage annuel passerait de 4 à 5 ou 6 si une proportion d'écorce était ajoutée au mélange courant à l'année longue.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Avec les résultats obtenus il est possible d'émettre quelques **recommandations** pour chaque étape d'ajout de plaquettes d'écorce et de dosses dans le mélange courant.

Pour le **dimensionnement de l'écorce en plaquettes**, l'ajout d'un broyeur à la ligne de production de l'usine permettrait d'obtenir la granulométrie désirée et éliminerait l'étape de transformation au centre de conditionnement de la coopérative.

Pour le **séchage au soleil**, étant donné la variabilité des résultats observés, il sera important d'évaluer les risques associés à des investissements importants tels que l'installation d'un abri ou l'utilisation d'une plus grande surface asphaltée. D'autres essais seraient nécessaires pour valider les observations et confirmer l'efficacité de cette méthode. De plus, des épaisseurs supérieures à 60 cm pourraient être testées dans le cadre de futurs essais. Il serait aussi pertinent de valider le séchage sur une période d'ensoleillement plus longue et d'évaluer le temps nécessaire pour l'obtention d'un produit ayant une TH uniforme.

L'entreposage de plaquettes d'écorce avec une TH inférieure à 30 % permettrait de diminuer les risques de combustion spontanée. Toutefois, cette valeur reste à valider dans le cadre de futurs essais. De plus, une réduction du pourcentage de particules fines permettrait une meilleure aération de l'empilement et diminuerait les conditions anaérobies propices à la combustion spontanée.

Le **mélange optimal** est celui qui maximise l'ajout d'écorce et/ou de dosses dans le mélange de plaquettes courant tout en respectant les critères de qualités exigés par la chaudière. Tout dépendamment de la source de plaquettes forestières utilisées pour le mélange, la proportion maximale d'écorce et/ou de dosses peut varier. Ainsi, lorsque le mélange est composé de plaquettes courantes avec :

- **L'ajout d'écorce de tremble tamisée**, la proportion maximale d'écorce doit être inférieure à **30 - 40 %**;
- **L'ajout d'écorce de tremble broyée**, la proportion maximale d'écorce doit être inférieure à **20 - 30 %**;
- **L'ajout d'écorce de tremble tamisée et de plaquettes de dosses de cèdre**, la proportion maximale d'écorce de tremble et de dosses de cèdre doit être inférieure à **30 - 40 %** et à **10 %**, respectivement;
- **L'ajout d'écorces de tremble broyées et de plaquettes de dosses de cèdre**, la proportion maximale d'écorce de tremble et de dosses de cèdre doit être inférieure à **20 - 30 %** et **10 %**, respectivement.

Par ailleurs, les plaquettes d'écorce ont un pouvoir calorifique semblable et parfois supérieur aux plaquettes de bois, ce qui les rend intéressantes d'un point de vue énergétique. Toutefois, il est opportun de rappeler que les matières inorganiques n'ont aucune valeur calorifique. Ainsi, des plaquettes avec un teneur en cendres de 5 % auront un pouvoir calorifique de 4 % inférieur à des plaquettes avec une teneur en cendres de 1 %. Les observations recueillies en **chaufferie** indiquent qu'il serait préférable d'éviter les dosses de cèdre dans les mélanges. L'écorce de tremble a un potentiel intéressant pour la production de chaleur. Toutefois, il serait important de s'assurer que la matière soit libre de toute contamination (sable, roches, etc.). D'autres essais seraient nécessaires afin de valider les observations recueillies par le personnel de la CFM et confirmer le potentiel d'utilisation de cette source de biomasse pour la production de chaleur.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. Les auteurs tiennent à remercier la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et la Coopérative forestière de la Matapédia pour leur soutien technique et matériel.

RÉFÉRENCES

Comité européen de normalisation. CEN/TS 14961 – Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles. 41 p.

Micko, M. M. 1987. Alberta aspen vs. black poplar wood quality differences.

Nader, J. 2006. Pouvoirs calorifiques supérieurs. Document Excel. 1 p.

Organisation internationale de normalisation. ISO TC238 – Solid biofuels. <http://www.iso.org/>.

Serra, R. et Desrochers, L. 2016. Valorisation énergétique de plaquettes d'écorce et de dosses. Fédération québécoise des coopératives forestières; FPInnovations. 30 p.

Volpé, S. et Friesen, C. 2012. Gestion des piles de résidus forestiers. Techniques efficaces de gestion des piles de biomasse forestière broyée pour prévenir la combustion et la dégradation. FPInnovations. Rapport Avantage Vol. 13. No. 13. Octobre 2012. Guide de référence.



PHOTO : YVES BERNARD

1.10

ESSAIS LABORATOIRE DE SÉCHAGE BIOLOGIQUE DE BIOMASSE FORESTIÈRE¹

Yves Bernard

DANS CETTE SECTION

Introduction	53
Séchage biologique	54
Résultats	54
1. Caractérisation des sources de biomasse forestière	54
2. Effet du rapport C/N	55
3. Perte de masse et évolution de la TEE	55
4. Débit d'aération et ajout de chaleur	55
Conclusion et recommandations	56
Remerciements	57
Références	57

MOTS CLÉS

Plaquettes
Écorces
Séchage biologique
Rapport C/N
Auto-échauffement
Teneur en eau
Perte de masse
Débit d'aération

RÉSUMÉ

Contrairement au séchage naturel de la biomasse sous forme de bois rond, le séchage biologique aurait le potentiel de sécher la biomasse sous forme de plaquettes sur une période de temps relativement courte. Cette stratégie permettrait donc d'assurer la disponibilité de biomasse lors de l'arrivée de nouveaux clients. Ce projet vise à évaluer la faisabilité et le potentiel relié à l'utilisation du séchage biologique pour déshydrater la biomasse forestière, avant de la valoriser énergétiquement. Pour ce faire, des essais laboratoires de séchage biologique ont été réalisés sur différentes sources de biomasse forestière sous forme de plaquettes ainsi que sur des écorces. Il a été constaté que selon le type de biomasse utilisée, la montée de température est plus ou moins rapide. De plus, selon les résultats de l'évolution de la teneur en eau (TEE) de la biomasse, le séchage biologique s'est révélé être un procédé efficace. En effet, des pertes allant de 10 à 20 points de pourcentage ont été observées durant une période de séchage de 1 à 2 mois. La mise en place d'un projet pilote permettrait de tester la procédure à pleine grandeur.

INTRODUCTION

La biomasse forestière est souvent très humide et de qualité très variable, ce qui entrave sa valorisation énergétique. La variabilité de l'humidité, ou de la teneur en eau (TEE), de la biomasse forestière est également une caractéristique qui doit être mieux contrôlée, car cela permettrait à l'entreprise, d'assurer une qualité de produit et un prix plus représentatif de sa vraie valeur énergétique. La Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) désire introduire le séchage biologique comme

1 Document de référence: Bernard (2016)

procédé pour déshydrater la biomasse forestière **sous forme de plaquettes** avant de la mettre en marché pour la chauffe. Cette stratégie lui permettrait de :

- Sécher les plaquettes sur une période de temps relativement courte comparativement au séchage naturel de la biomasse sous forme de bois rond;
- Assurer la disponibilité de biomasse avec la TEE requise lors de l'arrivée de nouveaux clients;
- Réduire les stocks importants de biomasse sous forme de bois rond dans la cours pendant la période de séchage, car cela occasionne des coûts de financement et affecte la liquidité.

Pour être en mesure d'offrir une solution intéressante et d'en connaître davantage sur les paramètres impliqués dans le processus de séchage biologique, des essais laboratoires ont été réalisés par le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ). Cette étape préalable est essentielle avant l'implantation d'un procédé pleine grandeur. Ce projet vise à évaluer la faisabilité et le potentiel reliés à l'utilisation du séchage biologique pour déshydrater la biomasse forestière sous forme de plaquettes, et ce, avant de la valoriser énergétiquement. Pour ce faire, des essais laboratoires de séchage biologique ont été effectués sur différentes sources de biomasse forestière.

Tout d'abord, une description du séchage biologique est présentée. Ensuite, les résultats sont synthétisés selon quatre volets, soit la caractérisation des différentes sources de biomasse forestière, l'effet du rapport C/N, la perte de masse et l'évolution de la TEE, le débit d'aération et l'ajout de chaleur. Afin de pouvoir effectuer une mise à l'échelle de cette approche, des recommandations sont suggérées.

LE SÉCHAGE BIOLOGIQUE

Le séchage biologique utilise les principes de l'oxydation de la matière organique, afin de produire de la chaleur dans la biomasse à conditionner et ainsi évaporer le maximum d'eau. La biomasse est donc déshydratée par un moyen passif. Pour le séchage biologique de la biomasse forestière, l'aération est utilisée pour maximiser l'évaporation de l'eau. Pour ce faire, la biomasse forestière doit être aérée en continu. L'aération permet, sous l'action des microorganismes aérobies, d'assurer une augmentation de la température à l'intérieur de

la biomasse et, par le fait même, d'assurer la déshydratation de celle-ci. De plus, il faut parfois ajouter un intrant azoté pour favoriser l'amorce du processus de séchage biologique. L'utilisation de chaleur externe pourrait également accélérer le déroulement du processus. De son côté, la hauteur d'empilement semble être une variable critique pour l'amorce du séchage biologique de la biomasse forestière.

RÉSULTATS

1. CARACTÉRISATION DES SOURCES DE BIOMASSE FORESTIÈRE

CARACTÉRISTIQUES DES SOURCES DE BIOMASSE

En comparant les caractéristiques des **plaquettes d'élagage** avec les **écorces** et les **plaquettes issues de résidus forestiers**, il est constaté que la principale différence se trouve dans la teneur en azote totale sur base sèche (N_{tot} b.s) qui est beaucoup plus élevée dans les plaquettes d'élagage. Le rapport C/N des plaquettes d'élagage se situe entre 44 et 84 alors que des valeurs d'environ 150 ont été mesurées pour les écorces. Pour les plaquettes, le rapport C/N est plus variable et plus élevé, soit entre 229 et 762. La teneur en matière organique sur base sèche (MOT b.s.) est toujours très élevée, et ce, à des valeurs de 90 % et plus (la plupart du temps entre 96 et 99 %). En ce qui concerne la masse volumique apparente sur base humide (M_{va} b.h.) elle n'est pas considérée comme un paramètre sensible pouvant indiquer l'amorce ou non du séchage biologique. Le pouvoir calorifique se situe la plupart du temps à des valeurs d'environ 20 MJ/kg.

Il semble qu'un pH acide de 5,4 et une TEE de 56 %, assez élevé pour de la biomasse forestière, ne soient pas des freins au démarrage rapide du séchage biologique et à une production de chaleur importante.

AUTO-ÉCHAUFFEMENT DE LA BIOMASSE

Un protocole d'essais en **thermos** a été développé et plusieurs tests ont été réalisés afin de mieux comprendre le phénomène de l'auto-échauffement de la biomasse forestière. Ainsi, un simple test, ne nécessitant qu'une petite quantité de matière et réalisable en 48 heures, permettait d'estimer le potentiel

2 Dans le cadre de l'étude, les copeaux correspondent à de la biomasse forestière résiduelle qui a été transformée en copeaux (plaquettes).

du séchage biologique. Si l'amorce est rapide en thermos, il y a lieu de penser que le phénomène de séchage biologique pourra facilement se reproduire à grande échelle.

Les résultats des divers tests d'auto-échauffement en thermos mesurent le taux d'évolution de la température en fonction du temps, ce qui permet de comparer la «réactivité» des différentes sources de biomasse testées. Pendant le projet, les valeurs d'auto-échauffements, qui se calculent selon la différence de degré Celsius par heure (C/h), ont été établies pour les différentes sources de biomasse.

Un auto-échauffement de 1 C/h est considéré comme étant rapide. Les plaquettes d'élagage ont eu un auto-échauffement rapide. Un auto-échauffement inférieur pourrait être problématique pour faire du séchage biologique performant.

Il a également été déterminé que l'ajout de **substrat azoté** à des plaquettes ou à des écorces était une façon d'abaisser le rapport C/N et d'assurer un auto-échauffement plus important. Dans tous les cas, les plaquettes forestières ne s'auto-échauffent pas aussi rapidement que les plaquettes d'élagage. Ce résultat est probablement expliqué par le fait que les plaquettes proviennent des parties de la tige non marchande alors que les copeaux d'élagage proviennent des branches et houppiers et contiennent une proportion de feuilles.

2. EFFET DU RAPPORT C/N

Les résultats des essais montrent que le rapport C/N est un paramètre critique pour l'amorce de l'auto-échauffement. Avec des matières telles que des plaquettes d'élagage, une montée de température rapide et une évaporation assez importante ont été observées.

Pour être en mesure de tester l'effet du rapport C/N, des essais avec des réacteurs optimisés ont été effectués. Ces essais ont mieux fonctionné dans le cadre du projet puisqu'ils ont été réalisés avec des réacteurs dont la température de la paroi et les pertes de chaleur sont contrôlables. La température des diverses sources de biomasse à l'essai a été suivie de très près. Trois essais ont été effectués :

1. Écorces seules;
2. Écorces plus substrat azoté;
3. Plaquettes de peuplier faux-tremble (tremble) plus substrat azoté.

De ces essais, résulte l'observation d'une différence de performance du séchage biologique des plaquettes et des écorces. Cependant, l'ajout de substrat azoté dans les plaquettes semble compenser, puisque c'est cette matière qui a donné les meilleurs résultats sur le plan du démarrage et de la montée de température mais aussi sur la perte de TEE, soit de 23 % comparé à 10 % pour les deux essais avec les écorces.

L'ajout de substrat azoté ne représenterait pas une problématique particulière puisqu'il est disponible à faible coût par rapport à la faible quantité nécessaire. D'autres essais devraient être effectués pour déterminer le dosage adéquat pour un séchage biologique efficace.

3. PERTE DE MASSE ET ÉVOLUTION DE LA TEE

Les résultats les plus probants, du séchage biologique des diverses combinaisons de plaquettes et d'écorces qui ont été testées, montrent une **perte de masse d'environ 20 à 25 %** pour une **période de 4 à 7 semaines de séchage biologique**. Une perte de TEE de 10 à 20 % a été observée pendant cette période. En effet, initialement la TEE se situait à une valeur entre 35 et 50 % et, après un mois de séchage, la TEE est tombée à de valeurs entre 25 et 35 %. De plus, il semble que la perte de masse est principalement associée à la perte par évaporation d'eau. Des pertes de 35 à 50 % d'eau ont été mesurées alors que la **perte de masse sèche** se situait à des valeurs beaucoup plus faibles, soit de **1 à 10 %**. À titre de comparaison, des pertes de masse sèche comprises entre 1 et 6 % par mois sont observées dans la littérature, et ce, lors du séchage d'empilements de plaquettes en conditions contrôlées comme à l'air libre, pour des volumes variés et pour des essences résineuses ou feuillues (revue par Garstang et coll. 2002). Cependant, plus de recherches ainsi que la mise en place de projets pilotes seraient nécessaires pour confirmer ces résultats.

4. DÉBIT D'AÉRATION ET AJOUT DE CHALEUR

Durant les essais laboratoires il a été établi que **l'injection d'air** était nécessaire et que celle-ci permettait d'optimiser les processus d'évaporation. Le taux d'aération estimé dans ce projet devra être validé pour des hauteurs d'empilement élevées. Selon les résultats obtenus, il ne semble pas que l'aération à un débit 2 ou 3 fois plus élevé, sur une période de

quelques jours, soit une approche qui permette d'évaporer des quantités d'eau plus importantes.

Les essais effectués n'ont pas permis de simuler l'**effet de la hauteur** sur le déroulement du processus de séchage biologique. De façon générale, dans un amas de plaquettes, sauf pour des matières comme les plaquettes d'élagage qui sont plus réactives, il faut des hauteurs de plus de 4 à 5 m pour que la température atteigne des valeurs intéressantes pour le séchage biologique. À titre d'exemple, l'étude de Jirjis (2005) sur le séchage d'empilements de plaquettes de saule à l'air libre, montre une réduction de TEE de 11 % avec une hauteur de pile de 6 m tandis qu'avec une hauteur de 3 m, la réduction est presque nulle. Toutefois il semble que la hauteur de pile ne devrait pas dépasser les 7-8 m pour éviter l'autocombustion (Office of the Fire Marshal 1998).

Plus de recherches doivent être effectuées pour savoir comment se transposent, du laboratoire à la grande échelle, les résultats obtenus sur le plan du débit d'aération optimal ainsi que sur la hauteur de pile optimale au séchage biologique de la biomasse forestière. Il faudra également s'assurer d'éviter les risques d'autocombustion dont le seuil se situe à 80°C (Volpé et Friesen 2012).

Quant à l'**ajout de chaleur**, les essais laboratoires réalisés n'ont pas permis de démontrer que l'utilisation d'un élément chauffant permettrait d'accélérer la montée de température de la biomasse et de sécher biologiquement celle-ci de manière encore plus efficace. L'ajout de chaleur à travers un élément chauffant n'est pas efficace pour transférer la chaleur dans la biomasse. L'ajout de chaleur dans l'air de ventilation de la biomasse pourrait être beaucoup plus efficace car elle assurerait une meilleure répartition de la chaleur.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les essais laboratoires ont permis d'en connaître plus sur le déroulement du processus de séchage biologique de diverses sources de biomasse forestière et sur le potentiel de cette approche. En effet, l'étude a permis de constater que les plaquettes d'élagage sont plus réactives que les plaquettes provenant des tiges non marchandes et que l'ajout de substrat azoté serait une façon d'assurer un auto-échauffement plus important. De plus, les résultats les plus probants révèlent que le

séchage biologique engendre une réduction de la teneur en eau de la biomasse de 10 à 20 % sur un horizon d'un à deux mois. Cette étude a permis d'estimer le débit d'aération optimal pour assurer un déroulement efficace du séchage. Toutefois les essais laboratoires n'ont pas permis de simuler l'effet de la hauteur sur le déroulement du processus de séchage biologique. La hauteur de l'empilement aura sans doute un effet important lors du séchage à grande échelle. En effet, il faut s'interroger sur la possibilité de transposer ces résultats à une plus grande échelle sur le terrain. C'est pourquoi il semble opportun de proposer des essais pilotes contrôlés qui simuleront de manière réaliste le comportement d'un procédé pleine grandeur. Ces essais à l'échelle pilote, accompagnés d'essais laboratoire, complèteraient la démarche de développement d'un procédé optimisé de séchage biologique. Plus précisément les **recommandations** suivantes sont formulées, et ce, avant de pouvoir procéder à l'implantation d'un procédé pleine grandeur :

- Définir et réaliser des tests pilotes en parallèle à d'autres tests laboratoires pour préciser la hauteur optimale de l'empilement d'un procédé de séchage biologique pleine grandeur;
- Faire d'autres tests pilotes pour déterminer les paramètres de contrôle qui permettent d'optimiser le séchage biologique mais, en même temps, d'éviter des problématiques d'autocombustion;
- Réaliser d'autres essais laboratoires pour déterminer plus précisément les paramètres, tels que le rapport C/N, qui permettent de contrôler les caractéristiques de la biomasse à conditionner lors d'un procédé de séchage biologique et qui assurent le démarrage à 100 % du temps;
- Réaliser une revue de littérature plus exhaustive sur ce sujet pour savoir si d'autres recherches ne pourraient pas apporter un éclairage complémentaire sur le séchage biologique.

La technologie du séchage biologique semble être une approche très intéressante et dont le développement doit se poursuivre, car elle permettrait de conditionner facilement de la biomasse forestière à l'aide d'infrastructures élémentaires déjà disponibles sur le marché. Par exemple, une plateforme avec plancher aéré dans un hangar pour éviter la reprise d'humidité de la biomasse associée aux précipitations serait suffisante. D'autres analyses et des évaluations

techno-économiques devraient être effectuées pour venir confirmer l'intérêt du séchage biologique comme mode de conditionnement. Enfin, plusieurs coopératives membres de la FQCF, considèrent que l'utilisation du séchage actif résiduel provenant des chaudières de biomasse disponibles sur le site (usine) en combinaison au séchage biologique permettrait d'optimiser encore plus la déshydratation des plaquettes. D'ailleurs, le rapport suivant traite du séchage actif qui est aussi un procédé pour déshydrater la biomasse forestière.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce au soutien technique et matériel de la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et des coopératives participantes à l'étude, soit la Coopérative forestière de la Matapédia, la Coopérative forestière de St-Dominique, la Coopérative forestière de Petit Paris, la Coopérative de gestion forestière des Appalaches et le Groupe Forestra Coopérative forestière.

RÉFÉRENCES

- Bernard, Y. 2016. Essais laboratoires de séchage biologique de biomasses forestières. Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ); Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF). 32 p.
- Garstang, J., Weekes, A., Poulter, R. et Bartlett, D. 2002. Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale, non ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. DTI/Pub URN, 2, 1535.
- Jirjis, R. 2005. Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted *Salix viminalis*. Biomass and Bioenergy, 28(2), 193–201. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.08.014>.
- Office of the Fire Marshal. 1998. Storage of wood chips. Gouv. de l'Ontario. 5 p.
- Volpé, S. et Friesen, C. 2012. Gestion des piles de résidus forestiers. Techniques efficaces de gestion des piles de biomasse forestière broyée pour prévenir la combustion et la dégradation. FPInnovations. Rapport Avantage Vol. 13. No. 13. Octobre. 2012. Guide de référence.



PHOTO : LUC DESROCHERS

SÉCHAGE ACTIF DE PLAQUETTES DE BOIS¹

Charly Loiseau

1.11

DANS CETTE SECTION

Introduction	59
Séchage biologique	60
Résultats	60
1. Paramètres d'analyse	60
2. Revue des systèmes de séchage actif	62
3. Solution technique proposée	62
Conclusion	63
Remerciements	63
Références	63

MOTS CLÉS

Séchage actif
Puissance disponible
Puissance nécessaire
Teneur en humidité
Évaporation d'eau
Température d'air de séchage
Débit spécifique
Épaisseur de couche optimale
Conteneur

RÉSUMÉ

L'Association Coopérative forestière de St-Elzéar (ACF St-Elzéar) souhaite trouver une solution pour diminuer les problèmes relatifs au conditionnement et à l'entreposage de plaquettes fraîches devant être séchées jusqu'à une teneur en humidité désirée. La solution proposée serait d'utiliser, via le principe du séchage actif, la production de chaleur excédentaire produite par les équipements en place utilisés pour le séchage du bois de sciage. La chaleur excédentaire (puissance disponible de la chaudière pouvant être utilisée pour produire cette chaleur) permettrait de sécher les plaquettes. Cette étude évalue la capacité réelle de la chaudière à la biomasse de l'ACF St-Elzéar à fournir de l'énergie excédentaire pour le séchage du volume de plaquettes destinées à ses clients énergétiques. D'après les résultats obtenus, l'énergie excédentaire disponible répond aux besoins en énergie nécessaires au séchage des plaquettes fraîches. Finalement, une solution technique concernant les installations pour un conditionnement efficace des plaquettes est aussi suggérée. Celle-ci repose sur l'utilisation d'un système de séchage sous forme de conteneurs.

INTRODUCTION

L'ACF St-Elzéar destine une partie de sa production de plaquettes au chauffage de bâtiments commerciaux et institutionnels. Ces plaquettes sont produites lors du sciage des billes de petites dimensions. Pour produire des plaquettes à une teneur en humidité (TH) adéquate, des lots de bois sont laissés à l'extérieur pendant plusieurs mois pour leur permettre de sécher. Puisque la capacité d'entreposage des plaquettes de la scierie est limitée, les billots secs sont sciés selon la demande et les plaquettes

1 Document de référence : Loiseau (2015)

produites sont livrés directement aux clients. Cependant, le sciage de bois sec à faible diamètre et l'entreposage des lots de bois dans la cours entraînent les problématiques suivantes :

- **Augmentation du coût de sciage**: les billes de petits diamètres se brisent plus facilement à l'étape de l'écorçage, entraînant des arrêts de production pour retirer le bois brisé de l'écorceuse. Le bois sec usiné peut également perdre de la valeur (déclassement) à cause du fendillement aux extrémités.
- **Augmentation du coût d'entreposage**: l'entreposage d'un volume important de bois entraîne également des coûts. La valeur du bois entreposé dans la cour pendant la période de conditionnement (séchage) occasionne des coûts de financement et affecte la liquidité de l'entreprise.

De ce fait, l'alternative au sciage de bois sec est le sciage de bois vert et la production de plaquettes à une TH d'environ 50 %. Toutefois, une TH de l'ordre de 30 à 35 % est souvent exigée par les fabricants de chaudières destinées au chauffage. Il est donc nécessaire de sécher les plaquettes pour répondre à ce marché. Une des stratégies existantes est le séchage biologique des plaquettes. Toutefois, l'entreposage de grandes quantités de plaquettes fraîches exige des infrastructures particulières (abri) et demande plus de manutention qui peuvent compromettre la qualité des plaquettes obtenues. Ainsi, avec sa chaudière aux écorces de 3,9 MW (400 HP) utilisée pour ses séchoirs à bois, l'ACF St-Elzéar disposerait d'une capacité de production de chaleur dépassant les besoins de séchage du bois de sciage. Cette chaleur excédentaire pourrait être utilisée pour sécher les plaquettes fraîches et atteindre la TH désirée. Cette stratégie correspond au séchage actif de plaquettes. Voici les principaux avantages associés au **séchage actif**² :

- Diminue le temps de séchage et permet une meilleure maîtrise de la TH;
- Permet de diminuer les inventaires dans la cours;
- Permet d'obtenir un produit ayant des propriétés constantes et uniformes;
- Permet de réduire la TH jusqu'à 20 %;
- Évite les problèmes de gel lors de l'entreposage et du transport.

Le but de l'étude est de trouver une solution pertinente pour le séchage actif des plaquettes. Les objectifs du projet sont :

- D'évaluer la capacité réelle de la chaudière à la biomasse de l'ACF St-Elzéar à fournir de l'énergie excédentaire au besoin en séchage du bois scié;
- D'évaluer la quantité d'énergie nécessaire pour sécher 10 voyages de plaquettes par semaine ou 1100 m³ apparents et voir si la disponibilité d'énergie répond à cette demande;
- De faire une revue des systèmes de séchage actif des plaquettes et de proposer une méthode adaptée aux conditions de la coopérative;
- De proposer une solution technique de séchage actif des plaquettes.

RÉSULTATS

1. PARAMÈTRES D'ANALYSE

Tout d'abord, les paramètres nécessaires à prendre en considération pour évaluer la capacité de la chaudière à fournir de l'énergie excédentaire sont :

- La quantité d'eau à évaporer;
- La température de l'air de séchage;
- Le débit spécifique ou débit de renouvellement d'air;
- La puissance nécessaire;
- L'épaisseur de couche optimale.

Les hypothèses énoncées par l'ACF St-Elzéar pour combler ses besoins en séchage actif se trouvent dans le tableau 11.

Tableau 1 - Paramètres des besoins en séchage actif

Nb de voyage camion à sécher / semaine	10	
Volume par camion	110	m ³ app/h
Volume à sécher / semaine	1 110	m ³ app/h
Quantité à sécher / semaine	366	tmv (H50 %)
Quantité à sécher / heure	2,2	tmv (H50 %)
Volume à l'heure	6,5	m ³ app/h
Taux humidité initial	50	%
Taux humidité final	35	%
Quantité d'eau à évaporer	327	kg d'eau/h

2 Le rôle du séchage actif est de déshydrater rapidement les plaquettes jusqu'à une TH voulue. Le séchage se fait à travers l'air qui apporte l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau contenue dans les plaquettes.

QUANTITÉ D'EAU À ÉVAPORER

La puissance évaporatoire d'un séchoir se mesure par la quantité d'eau qu'il évapore en une heure. Elle s'exprime en kilogrammes d'eau évaporés par heure. Lorsque la puissance évaporatoire est donnée et lorsque l'on connaît la quantité d'eau à évaporer par heure, il est possible de déduire le **débit du séchoir**.

D'après les hypothèses ci-dessus, le séchoir doit être capable d'évaporer 327 kg d'eau/h, soit l'équivalent de 8,5 m³ app./h de biomasse humide.

TEMPÉRATURE DE L'AIR DE SÉCHAGE

La température de l'air a un impact direct sur la performance d'un séchoir. En effet, plus la température est élevée plus l'humidité absolue augmente, ce qui entraîne une augmentation de la **capacité évaporatoire du séchoir**. En d'autres mots, plus l'air est chaud, plus les plaquettes sèchent rapidement. D'après la figure 1, la température optimale serait de 60°C.

DÉBIT SPÉCIFIQUE OU DÉBIT DE RENOUVELLEMENT D'AIR

Le débit spécifique est le volume d'air qui traverse une unité de volume de matière pendant une unité de temps donnée. Il est exprimé en m³ air/h/m³ de matière (pour simplifier, l'unité m³/h a été utilisée).

Les forts débits d'air permettent d'augmenter la vitesse de séchage, mais consomment plus d'énergie tandis que les débits plus faibles prolongent la vitesse de séchage, mais sont moins énergivores. Dans le cas présent, le **débit spécifique idéal** d'air chaud à souffler serait de 43 000 m³/h.

ÉPAISSEUR DE COUCHE OPTIMALE

Les plaquettes seront disposées sur une grille perforée, traversée du bas vers le haut par l'air de séchage. L'épaisseur de la couche de plaquettes serait, dans un premier temps, estimée à 60 cm, ce qui correspond à un compromis entre deux paramètres :

- le désir d'utiliser au maximum la capacité du séchoir et
- l'augmentation de la résistance au passage de l'air avec l'épaisseur, ce qui ne permet pas d'assurer l'uniformité de séchage.

C'est la raison pour laquelle cette épaisseur de couche devrait faire l'objet d'ajustements au niveau expérimental, car la résistance au passage de l'air dépend de la granulométrie des plaquettes et de la densité apparente (Karaj et coll. 2011).

PUISSANCE

La **puissance disponible** est un élément déterminant dans un projet de séchage actif. Lorsqu'elle est quantifiée, on peut ainsi évaluer quelle pourrait être la quantité de biomasse séchée. Dans le cas présent, l'énergie disponible provient d'une chaudière à la biomasse fonctionnant aux écorces résultant de la transformation du bois de scierie. La puissance disponible est tout simplement la soustraction entre la capacité maximale de la chaudière (3,9 MW) et la demande. En moyenne, la puissance disponible est de l'ordre de 1 900 kW. Cela représente 2,9 tonnes métriques/h de vapeur, susceptibles d'être déviées pour le séchage actif. Cette énergie sera valorisée à travers un échangeur vapeur/air permettant de réchauffer l'air soufflé dans le séchoir à la température et pression adéquates.

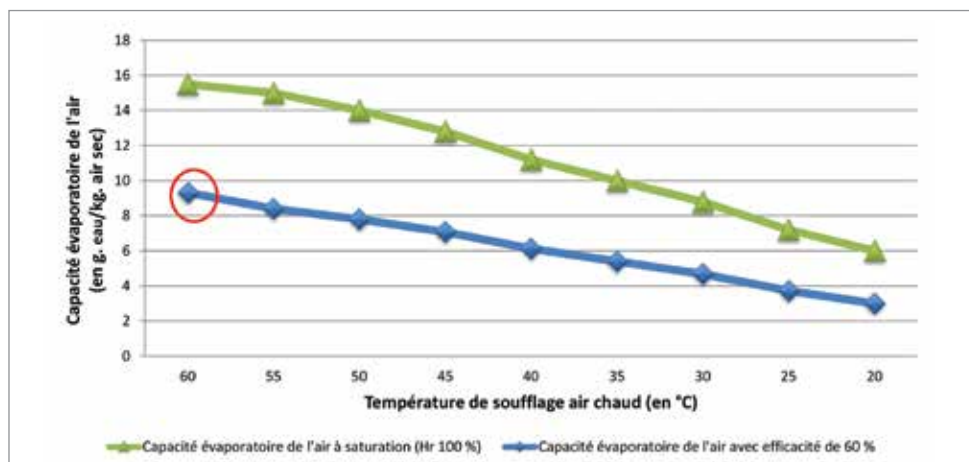


Figure 1 - Influence de la température de l'air sur sa capacité évaporation.

La **puissance nécessaire** pour chauffer l'air extérieur de -35°C à 60°C avec un débit d'air de 43 000 m³/h est de 1 400 kW, soit plus de 2 tm/h de vapeur soutirées à la chaudière. Cette donnée est importante pour dimensionner l'échangeur de chaleur vapeur/air.

2. REVUE DES SYSTÈMES DE SÉCHAGE ACTIF

Les systèmes de séchage actif qui existent dans le marché peuvent être classifiés en fonction de leur échelle :

- Échelle industrielle: il s'agit de systèmes très performants, qui possèdent une technologie bien maîtrisée mais dont le coût est très élevé. Exemple de séchoirs: rotatif, tubulaire, à vapeur surchauffée, à bande et à basse température;
- Moyenne à petite échelle: il s'agit de systèmes moins coûteux et souvent plus adaptables aux conditions particulières d'un site. Exemple de séchoirs: camion, bâtiment, conteneur.

Ainsi, le système qui satisfait les besoins de l'ACF St-Elzéar, par sa conception relativement facile, sa capacité de séchage (volume) et son coût raisonnable, est le conteneur.

3. SOLUTION TECHNIQUE PROPOSÉE

Dans un souci d'ergonomie, de coût associé et de simplicité d'installation, la solution qui répond aux besoins de l'ACF St-Elzéar a été conçue sous forme de conteneurs (Figure 1).

La biomasse humide est déversée à l'aide d'un convoyeur dans la partie haute du conteneur appelée aussi réserve (1). Par la suite, la biomasse est acheminée par l'intermédiaire d'un racleur hydraulique jusqu'à la zone de séchage (2), matérialisée par un plancher perforé où circule de l'air chaud à 60°C. Une fois arrivés à l'extrémité du séchoir, les plaquettes tombent dans une réserve prévue à cet effet.

Afin de satisfaire les besoins de l'ACF St-Elzéar et de garantir une biomasse ayant des caractéristiques homogènes, voici une liste des paramètres à maîtriser (Figure 2) :

- Débit et vitesse de l'air chaud: ventilateur centrifuge (9);
- Épaisseur de couche de la biomasse dans la zone de séchage: paroi amovible (3);

- TH de la biomasse: sonde hygrométrique dans la zone de séchage;
- Humidité relative de l'air après séchage;
- Température de l'air chaud: ventilateur centrifuge (9) et échangeur vapeur/air (7);
- Vitesse de séchage: racleur hydraulique (5).

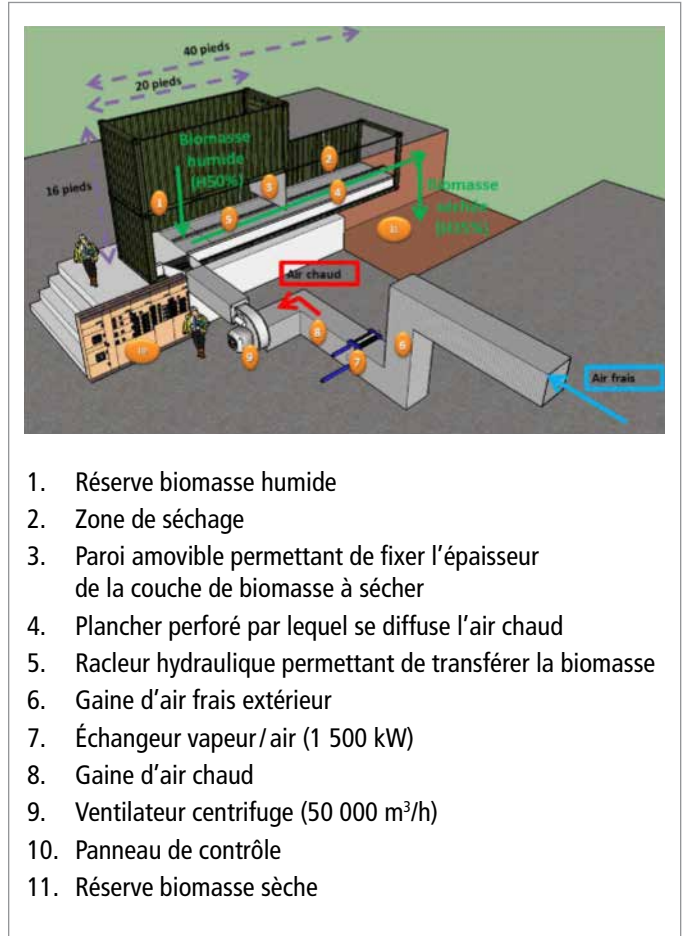


Figure 2 - Schéma de la solution technique proposée et ses composantes.

CONCLUSION

La capacité réelle de la chaudière à la biomasse de l'ACF St-Elzéar à fournir de l'énergie excédentaire pour le séchage de plaquettes de bois a été évaluée. La puissance disponible est de 1 900 kW tandis que la puissance nécessaire maximale pour chauffer le débit d'air de 43 000 m³/h est de 1 400 kW. La revue des systèmes de séchage actif existants dans le marché a permis de faire un choix éclairé quant au système qui s'adapterait le mieux aux besoins de la coopérative. Enfin, la solution technique proposée qui répond aux besoins de l'ACF St-Elzéar a été conçue sous forme de conteneurs.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. L'auteur tient à remercier la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et l'Association Coopérative forestière de St-Elzéar pour leur soutien technique.

RÉFÉRENCES

Karaj, S., Barfuss, I., Schalk, J., Reisinger, G., Pude, R., & Müller, J. 2011. Modelling of air resistance during drying of wood-chips. 5 p.

Loiseau, C. 2015. Séchage actif de plaquettes de bois. Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF); Service forêt énergie (SFE) Québec (Québec). 14 p.

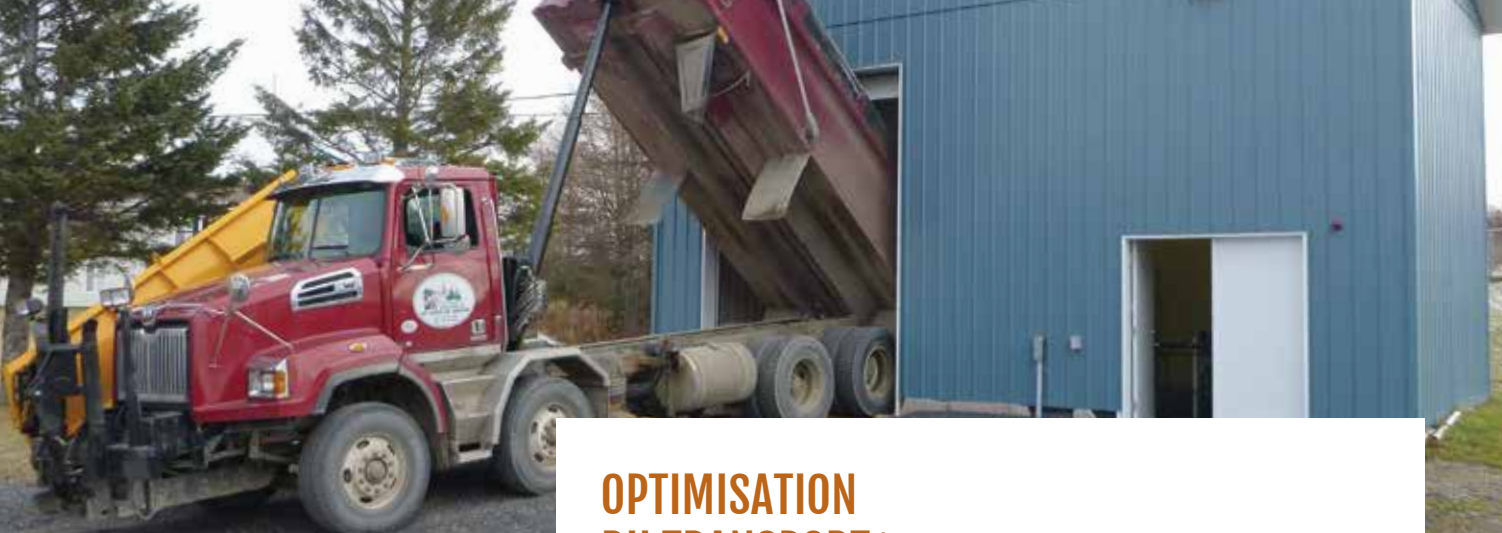


PHOTO : LUC DESROCHERS

1.12

OPTIMISATION DU TRANSPORT¹

Louka Thibeault et Eugène Gagné

DANS CETTE SECTION

Introduction	65
Résultats	66
1. Coûts de transport	66
2. Coûts de la réserve	67
3. Coûts de fonctionnement	68
4. Système de transport optimal	69
Conclusion et recommandations	70
Remerciements	71
Références	71

MOTS CLÉS

Coûts de transport
Temps de cycle
Distance de livraison
Coûts de réserve
Volume utile
Puissance de chaudière
Consommation annuelle

RÉSUMÉ

Les coûts de fonctionnement pour le transport de copeaux entre le centre de transformation et de conditionnement de la biomasse (CTCB) jusqu'à la chaufferie sont principalement liés aux coûts de transport et à ceux de la réserve. Le volume utile minimal de la réserve est de 1,25 à 1,5 fois plus grand que le volume transporté (Kofman 2007). Les coûts de construction d'une réserve sont d'environ 1000 \$ par mètre cube utile et varient selon la capacité du système de transport à remplir la réserve. Une réserve surdimensionnée pour satisfaire le système de transport engendre donc des frais non négligeables au cours de la période d'amortissement. Il devient alors important de sélectionner le système de transport adéquat. Cette étude a pour but d'optimiser les coûts de fonctionnement pour le transport de copeaux entre le centre de transformation et de conditionnement jusqu'à la chaufferie. Des analyses ont été effectuées avec les systèmes de transport les plus pertinents. Parmi les 12 systèmes de transport étudiés, aucun ne s'est révélé optimal pour alimenter des chaufferies entre 100 et 1000 kW. Il faut plutôt faire une sélection de deux ou trois systèmes de transport. Enfin, un calculateur sera développé pour évaluer les coûts de fonctionnement des systèmes de transport selon différentes conditions, dont la distance de livraison et la puissance de la chaudière.

INTRODUCTION

Le transport tertiaire se réfère au transport des copeaux de bois jusqu'à la chaufferie. Ce transport est couramment réalisé avec un camion semi-remorque à plancher mobile ayant une capacité d'environ 110 m³ apparents (app.). Pour optimiser l'effi-

¹ Document de référence: Thibeault et Gagné (2016)

capacité de ce système de transport, la semi-remorque doit être chargée à sa pleine capacité et le chargement doit être livré au même endroit. Cela implique que les installations des chaufferies doivent être configurées de façon à recevoir un volume de copeaux relativement important. Une solution intermédiaire acceptable, mais plus coûteuse, consiste à effectuer la livraison à plusieurs chaufferies sur le même parcours. C'est le cas des petites et moyennes chaufferies où le réservoir de celles-ci n'est pas conçu pour recevoir tout le volume transporté. En effet, un réservoir de grande capacité, capable de recevoir une livraison de 110 m³ app. en plus de maintenir un certain volume tampon s'avère un investissement trop dispendieux et difficilement justifiable en regard du faible volume annuel consommé. Une autre difficulté rencontrée réside dans le fait que chaque chaufferie possède son propre design de réservoir qui n'est pas nécessairement adapté aux systèmes de livraison qui seraient les plus appropriés, en tenant compte des équipements de livraison disponibles chez le fournisseur ou chez des sous-traitants de transport en vrac de la même région.

Afin d'atteindre l'objectif principal qui consiste à identifier et analyser les coûts de fonctionnement de différents systèmes de transport, les étapes suivantes ont été réalisées :

- Recherche documentaire des différents systèmes et modèles de transport;
- Assister à deux livraisons de copeaux pour bien saisir les problématiques en jeu;
- Visiter et réaliser une revue des différents modèles de réservoirs;
- Identifier les systèmes de transport les plus pertinents;
- Évaluer les coûts de fonctionnement des systèmes de transport pour déterminer celui ayant le plus de potentiel.

Par ailleurs, un outil de calcul sera développé pour déterminer les coûts de fonctionnement des systèmes de transport. Cet outil permettra de réaliser différentes simulations et de déterminer les coûts de fonctionnement spécifique à un projet. Par ailleurs, des **essais terrains** seraient nécessaires afin de valider la **performance du système de transport sélectionné**.

RÉSULTATS

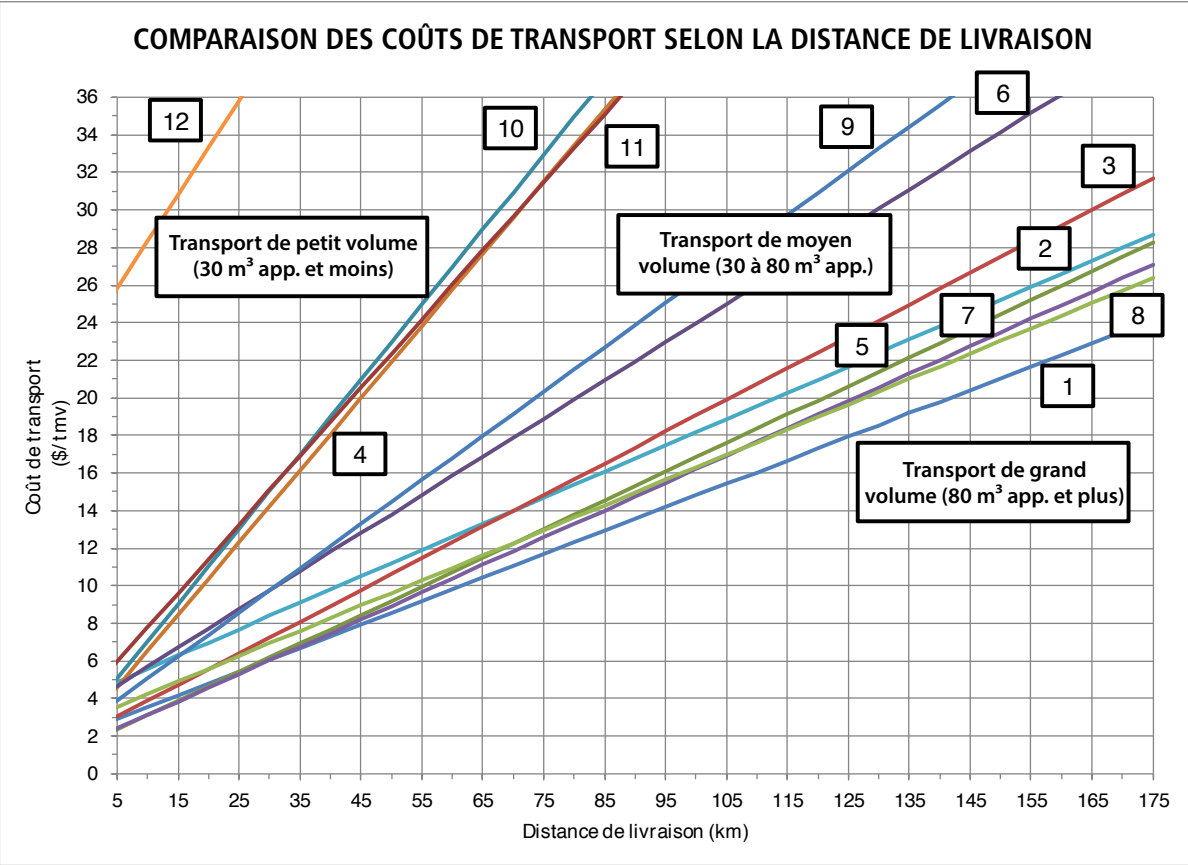
Les principaux critères pour la sélection d'un système de transport sont les suivants :

- Volume transporté
- Temps de cycle
- Carburant
- Contrainte de la réserve
- Coûts de transport

Une sélection des systèmes de transport les plus pertinents a été réalisée avec l'aide des coopératives. Ces systèmes de transport sont, pour la plupart, disponibles et couramment utilisés tant dans le secteur forestier, de la construction ou de l'agriculture. Un total de douze systèmes de transport ont été analysés afin de comparer les coûts de fonctionnement de chacun.

1. COÛTS DE TRANSPORT

Pour établir les coûts de transport, un chiffrier développé par FPIInnovations a été adapté pour calculer les coûts d'opération d'un système de transport. Pour chaque système de transport, les coûts ont été déterminés tout en utilisant les paramètres propres à chacun. Le coût du carburant a été fixé à 1,00 \$/litre et le taux horaire du chauffeur a été fixé à 40,00 \$/heure incluant les avantages sociaux. Le graphique suivant permet de comparer les systèmes de transport selon la distance de livraison :



#	Ligne	Type de transport	#	Ligne	Type de transport
1	—	Semi-remorque avec plancher mobile	7	—	Semi-remorque à paroi mobile Trout River
2	—	Semi-remorque avec plancher mobile et module de déchargement	8	—	Semi-remorque à courroie
3	—	Semi-remorque benne 40'	9	—	Semi-remorque benne 28'
4	—	Camion "pick-up" avec une remorque	10	—	Camion benne 12 roues (avec ridelle)
5	—	Semi-remorque de forage Meyer	11	—	Camion conteneur (roll off)
6	—	Camion conteneur avec remorque (roll off)	12	—	Livraison par "big bag"

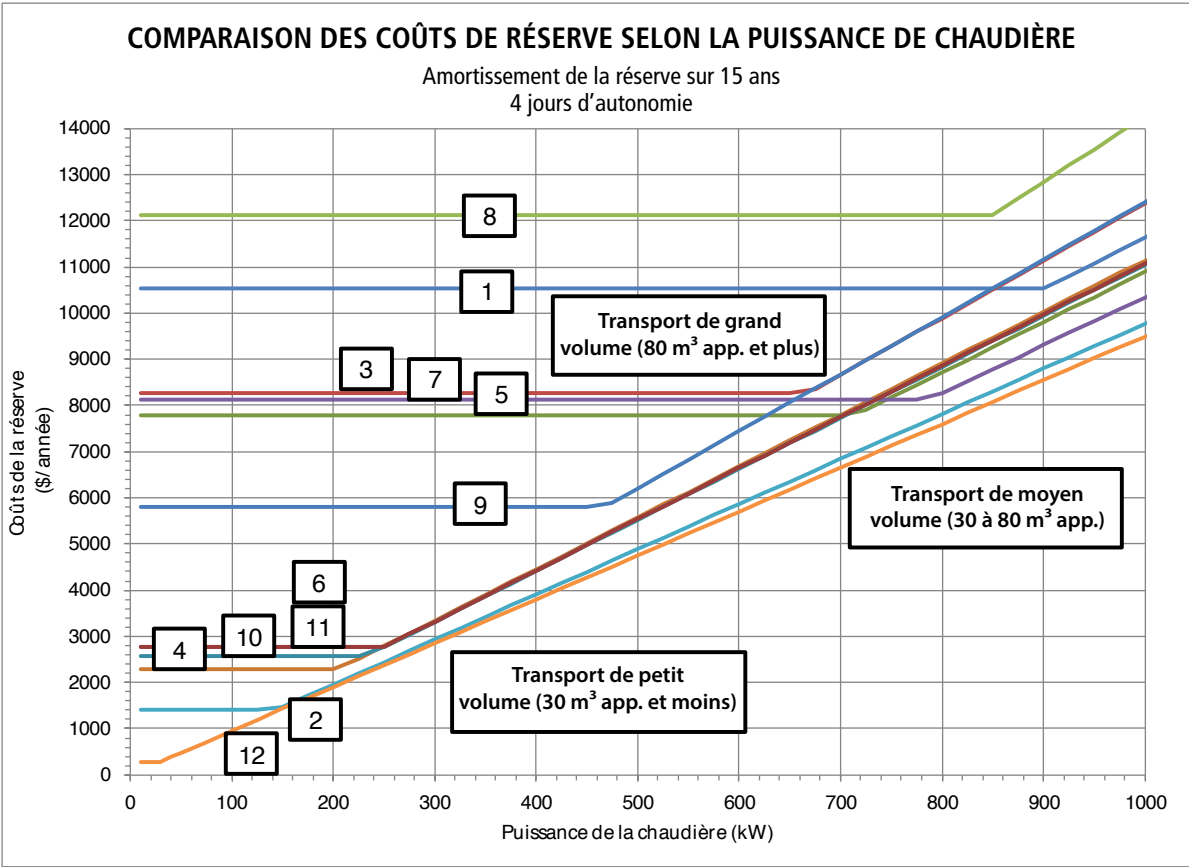
Graphique 1 - Comparaison des coûts de transport (en \$/tmv²) selon la distance de livraison (en km).

2. COÛTS DE LA RÉSERVE

Les dimensions et les coûts pour la construction de la réserve requise pour chaque système de transport ont été déterminés. Le volume du réservoir a été estimé à 143 % de la capacité du système de transport (p. ex. : un système de transport de 80 m³ app. demanderait un réservoir avec un volume utile de ± 115 m³ app. de plaquettes). Aussi, selon la puissance

de la chaudière installée, le volume utile minimum a été établi pour satisfaire 4 jours d'autonomie. Un coût de réserve a été établi en dollars par mètre cube utile (\$/m³ app.) pour chaque système de transport. D'après les informations fournies par Gestion Conseils PMI, le coût de la réserve peut varier entre 650 et 3000 \$/m³ app., et ce, selon le concept et la finition extérieure. Pour l'analyse, le coût moyen a été fixé à 1000 \$/m³ app.

2 tmv = tonnes métriques vertes.



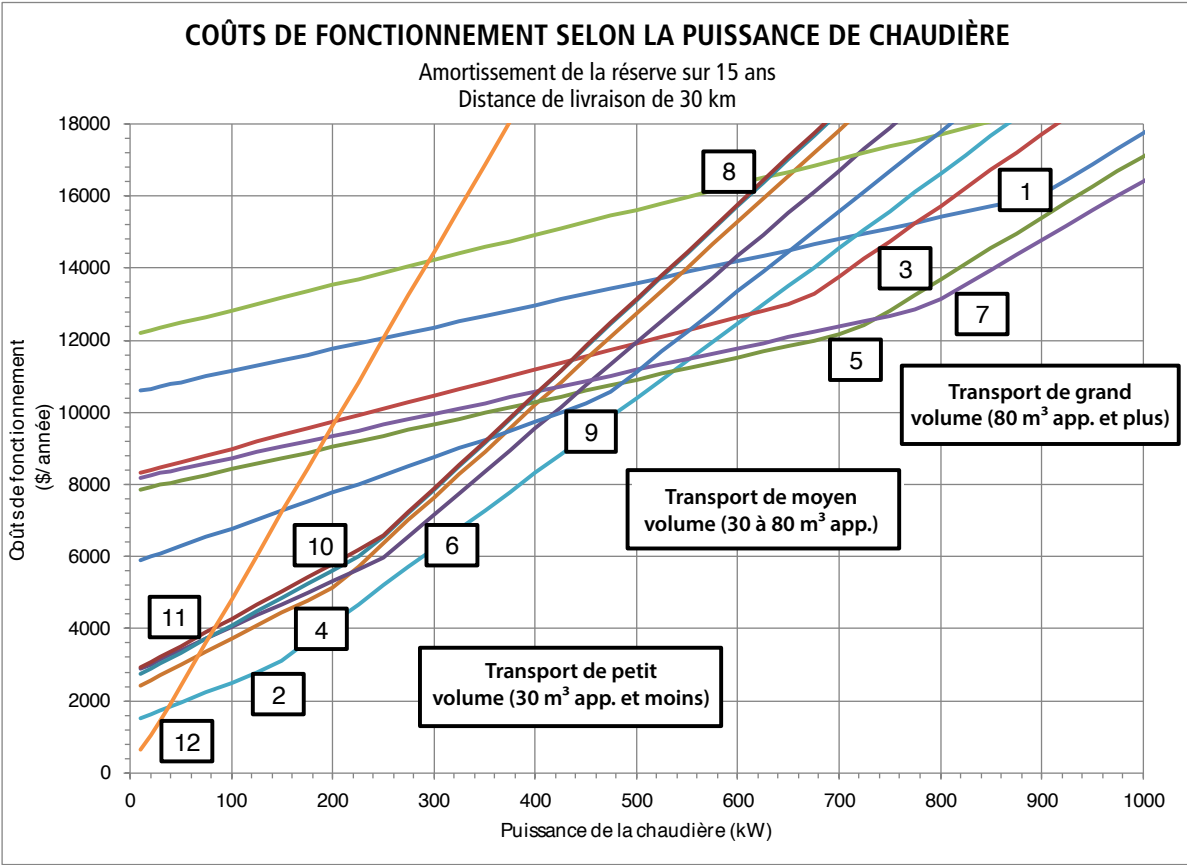
#	Ligne	Type de transport	#	Ligne	Type de transport
1	—	Semi-remorque avec plancher mobile	7	—	Semi-remorque à paroi mobile Trout River
2	—	Semi-remorque avec plancher mobile et module de déchargement	8	—	Semi-remorque à courroie
3	—	Semi-remorque benne 40'	9	—	Semi-remorque benne 28'
4	—	Camion "pick-up" avec une remorque	10	—	Camion benne 12 roues (avec ridelle)
5	—	Semi-remorque de forage Meyer	11	—	Camion conteneur (roll off)
6	—	Camion conteneur avec remorque (roll off)	12	—	Livraison par "big bag"

Graphique 2 - Comparaison des coûts de la réserve (en \$/année) selon la puissance de la chaudière (en kW).

3. COÛTS DE FONCTIONNEMENT

Lorsqu'on combine les coûts annuels de transport et de la réserve on obtient les coûts de fonctionnement. Les coûts de fonctionnement augmentent en fonction de la distance de

livraison et de la quantité de biomasse consommée qui est liée la puissance de la chaudière. Le graphique suivant présente les coûts de fonctionnement selon la puissance de la chaudière et pour une distance de livraison de 30 km.



Graphique 3 - Coûts de fonctionnement (en \$/année) selon la puissance de la chaudière (en kW).

4. SYSTÈME DE TRANSPORT OPTIMAL

Un seul système de transport optimal dans toutes les circonstances pour alimenter des chaufferies entre 100 et 1000 kW n'existe pas. Bien qu'une semi-remorque à plancher mobile avec un module de déchargement semble être une solution intéressante à développer, à court terme, il s'agit plutôt de faire une sélection de 2 ou 3 systèmes de transport disponibles. Le tableau 1 présente un exemple de sélection du

système de transport optimal en fonction de la distance et de la consommation de biomasse. Pour cet exemple, les systèmes de transport sont chargés à leur pleine capacité et livrés à la même chaufferie. Une alternative pour optimiser davantage le système de transport serait d'utiliser la semi-remorque de forage Meyer pour livrer à plus d'une chaufferie et d'éliminer l'utilisation du camion «pick-up» munie d'une remorque. Toutefois, cette approche implique l'utilisation d'une cellule de charge («load cell») sur la semi-remorque.

Tableau 1 - Système de transport optimal

SYSTÈME DE TRANSPORT OPTIMAL																
Amortissement de la réserve sur 15 ans Autonomie de la réserve de 4 jours																
Puissance chaudière	Consommation de biomasse	Distance de livraison (km)														
kW	tmv/année	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
100	100	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
200	200	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5
300	300	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
400	400	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
500	500	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
600	600	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
700	700	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1
800	800	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1	1
900	900	5	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1000	1000	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

1	Semi-remorque avec plancher mobile
4	Camion "pick-up" avec une remorque
5	Semi-remorque de forage Meyer

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'analyse réalisée a porté sur 12 systèmes de livraison de la biomasse et sur des réserves dont la configuration répond à ces systèmes de livraison ainsi qu'à une autonomie en combustible minimale de 4 jours. Comme la filière est en développement dans les différentes régions du Québec et que les volumes de biomasse consommés dans chaque région sont relativement faibles, il n'est pas possible d'envisager l'utilisation de nombreux systèmes de livraison par région. Par ailleurs, on constate qu'un système de grand volume (> 80 m³ app.) est incontournable pour tout projet de chaufferie de plus de 1 MW. Ce système de base devient alors une solution acceptable dans des projets un peu moins importants, soit des projets qui consomment entre 700 et 900 tmv annuellement. On pourrait même le considérer intéressant dès la consumma-

tion de 500 tmv si la distance entre la chaufferie et le CTCB dépassait les 50 - 60 km. Toutefois, lorsque la distance diminue et que la consommation annuelle est plutôt faible (100 à 300 tmv), il apparaît évident qu'un système de livraison à faible volume (< 30 m³ app.) offrirait une solution plus intéressante, et ce, considérant les économies réalisées au niveau des investissements dans la réserve.

Cette analyse permet de faire les recommandations suivantes :

- La coopérative forestière impliquée dans l'approvisionnement de chaufferies à la biomasse forestière devrait localiser son CTCB le plus près possible du marché et, en particulier, de la concentration de marché de projets de petite et moyenne taille;

- À court terme, un choix de deux systèmes de livraison par CTCB apparaît incontournable pour répondre aux différents besoins de la clientèle régionale, soit un système à fort volume ($> 80 \text{ m}^3$ app.) et un système à faible volume ($< 30 \text{ m}^3$ app.);
- Les promoteurs de projets doivent être informés des contraintes des systèmes de transport que le CTCB aura retenu. Les systèmes à fort ou à faible volume exigeront des réserves dont les volumes utiles seront adaptés aux capacités volumétriques et physiques de ces systèmes.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. Les auteurs tiennent à remercier particulièrement Renaud Savard de Gestion Conseils PMI et Luc Desrochers de FPInnovation, ainsi que la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et la Coopérative forestière de la Matapédia (CFM) pour leur participation à la collecte d'informations sur les systèmes de transport et les réserves.

RÉFÉRENCES

Kofman, P. D. 2007. Delivery and storage of wood chip fuel COFOR connect: Processing / Products No. 9. Dublin 18, Ireland. 6 p.

Thibeault, L. et Gagné, E. 2016. Optimisation du transport. FPInnovations; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec (Québec). 44 p.



PHOTO : RUT SERRA

2.1

LA RÉCOLTE DE BIOMASSE FORESTIÈRE : SAINES PRATIQUES ET ENJEUX ÉCOLOGIQUES DANS LA FORÊT BORÉALE CANADIENNE¹

Evelyne Thiffault, Amélie St-Laurent Samuel et Rut Serra

DANS CETTE SECTION

Introduction	73
Enjeux de la récolte de biomasse	74
1. Biodiversité	74
2. Eau et zones riveraines	74
3. Productivité du sol	75
4. Productivité du peuplement	76
5. Émissions de CO ₂	77
Encadrement des pratiques de récolte de biomasse	78
1. Lignes directrices et aménagement forestier adaptatif	78
2. Certification	78
Conclusion	78
Remerciements	79
Références	79

MOTS CLÉS

Biodiversité
Eau et zones riveraines
Productivité du sol
Productivité du peuplement
Émissions de carbone
Lignes directrices
Certification

RÉSUMÉ

L'étude présente les principaux enjeux écologiques associés aux impacts potentiels de la récolte des résidus de coupe totale sur l'écosystème forestier dans les forêts boréales. Le gradient de sensibilité qui témoigne des impacts de cette pratique sur la biodiversité se traduit par la présence et la qualité de bois mort. En effet, plus il y a de bois mort laissé sur le parterre de coupe moins les oiseaux, les invertébrés et les champignons polypores sont sensibles à la récolte de la biomasse. Il est donc recommandé de conserver des débris ligneux et des chicots lors de la récolte. Pour minimiser les impacts sur l'eau, les zones riveraines et la productivité du sol, il est recommandé de minimiser l'exposition des sols, ainsi que le compactage, l'orniérage et l'érosion lors des travaux de récolte. Selon les sites, la récolte de biomasse peut influencer positivement ou négativement la croissance des arbres et la productivité du peuplement. Cette influence est associée aux conditions microclimatiques et à la disponibilité en éléments nutritifs. Finalement, pour les impacts sur les émissions de carbone, l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques a un effet bénéfique à plus ou moins long terme dépendamment de la source de biomasse forestière utilisée, du mode de conversion de la biomasse en énergie et du type de combustible fossile remplacé.

INTRODUCTION

Le présent document contient les principales connaissances actuellement disponibles concernant les impacts potentiels de la récolte de biomasse forestière et, plus précisément, la récolte des résidus de coupe totale (branches et houppiers)

¹ Document de référence: Thiffault et coll. (2015)

sur les écosystèmes forestiers boréaux. L'information y est présentée selon les principaux enjeux écologiques associés à ces pratiques en forêt boréale, soit la biodiversité, l'eau et les zones riveraines, la productivité du sol, la productivité du peuplement et les émissions de carbone.

Les connaissances de ces enjeux sont d'abord synthétisées. Des recommandations sont aussi formulées pour assurer une récolte durable de la biomasse forestière pour chaque enjeu. Finalement, un encadrement des pratiques de récolte est nécessaire afin de minimiser les impacts négatifs qui peuvent découler de la récolte de la biomasse. Ainsi, la mise en place de lignes directrices et d'une certification permettraient d'encadrer la pratique et d'assurer un développement durable de la production de biomasse dans le contexte des forêts canadiennes et québécoises.

ENJEUX DE LA RÉCOLTE DE BIOMASSE

1. BIODIVERSITÉ

Le **bois mort** est un facteur clé en ce qui concerne la biodiversité des forêts naturelles (Schuck et coll. 2004). Le prélèvement, à des fins de bioénergie, du bois habituellement laissé sur le parterre de coupe peut donc avoir un impact sur la biodiversité du site. On rapporte notamment les effets suivants :

Oiseaux et invertébrés : la diversité et l'abondance sont moins élevées dans les traitements où une plus petite quantité de débris ligneux grossiers est laissée au sol ou encore où une petite quantité de chicots sont laissés sur pieds (Riffell et coll. 2011).

Champignons polypores : une réduction de la quantité et de la qualité des débris ligneux peut avoir un effet négatif sur leur abondance et leur diversité. En effet, ils utilisent particulièrement le bois mort ayant un petit diamètre comme hôte pour leur propre développement. Il est donc nécessaire de prendre en considération non seulement les débris ligneux grossiers, mais aussi les débris ligneux fins lors du prélèvement de biomasse (Juutilainen et coll. 2011).

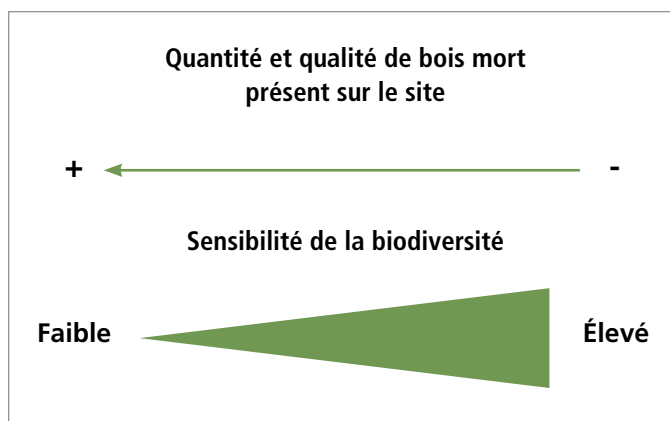


Figure 1 - Gradient de sensibilité pour l'enjeu biodiversité.

Ainsi, le prélèvement de la biomasse réduit la quantité de bois mort laissé habituellement sur un parterre de coupe ce qui influence la biodiversité d'un site. À long terme, cela pourrait entraîner la disparition d'espèces menacées qui jouent un rôle fondamental sur la préservation des écosystèmes forestiers (Toivanen et coll. 2012). Les principales recommandations permettant d'atténuer les impacts de la récolte de biomasse sur la biodiversité sont :

- Conserver du bois mort (débris ligneux grossiers, débris ligneux fins, billes et chicots);
- Conserver des arbres à vocation faunique (arbres semenciers, arbres vivants, arbres à cavité, etc.);
- Conserver la couverture morte (humus), les souches et les racines;
- Éviter les sites qui ont une grande valeur de conservation;
- Éviter la récolte près des habitats des espèces menacées et en danger.

2. EAU ET ZONES RIVERAINES

Les principales connaissances de l'influence de la récolte de la biomasse sur l'eau et les zones riveraines concernent la sédimentation, la concentration en éléments nutritifs, la température de l'eau et l'apport en eau vers les cours d'eau (Stewart et coll. 2010).

Sédimentation : l'effet des résidus sur la quantité d'eau dans le sol est souvent faible ou inexistant (Zabowski et coll. 2000; Trottier-Picard et coll. 2014).

Concentration en éléments nutritifs : lorsque les résidus ligneux sont prélevés sur les sites où les bandes riveraines ne sont pas maintenues, il y a un risque d'augmentation de la turbidité associées aux matières en suspension dans les cours d'eau (Hornbeck et coll. 1986). La turbidité trouble les cours d'eau.

Température de l'eau : l'ombrage apporté aux cours d'eau par les débris ligneux permettrait aussi de modérer les fortes augmentations de la température moyenne de l'eau (Jackson et coll. 2001).

L'apport en eau vers les cours : la récolte de biomasse contribuerait à la régulation du débit des cours d'eau (Buttle et Murray 2011).

Enfin, la récolte des résidus de coupe représente des risques potentiels à la qualité de l'eau et des zones riveraines. Cependant, puisque très peu d'études empiriques confirment ces risques, nous en sommes encore qu'au stade d'hypothèses. Afin d'appliquer des mesures préventives, voici quelques **recommandations** :

- Planifier et construire les routes avec soin;
- Minimiser l'exposition des sols;
- Assurer un retour rapide de la végétation;
- Maintenir des zones tampons adjacentes aux cours d'eau;
- Conserver des résidus de coupe et des arbres sur pied;
- Sélectionner l'équipement de récolte afin d'éviter de perturber le sol.

3. PRODUCTIVITÉ DU SOL

Les principales connaissances de l'influence de la récolte de la biomasse sur la productivité du sol concernent le contenu du sol en matière organique, azote, phosphore et en cations basiques tels que le potassium, le calcium et le magnésium.

Matière organique : les sols à texture très sableuse et grossière, dont le contenu en matière organique est faible, sont considérés comme sensibles à la récolte de biomasse (Page-Dumroese et coll. 2010).

Azote (N) : il n'y a pas de tendance nette de l'effet du prélèvement de résidus forestiers sur la disponibilité de l'azote dans les sols (Brandtberg et Olsson 2012; Klockow et coll. 2013).

Phosphore (P) : dans les sites où les sols sont particulièrement pauvres en phosphore, le prélèvement de résidus de coupe entraîne une réduction du phosphore disponible et donc de la croissance des arbres.

Cations basiques (K, Ca, Mg) : la récolte des résidus de coupe peut contribuer à diminuer la disponibilité des cations basiques. Par contre, cela se traduit rarement par une perte de croissance des arbres, mais peut possiblement diminuer leur vigueur et augmenter leur susceptibilité aux stress environnementaux (McLaughlin et Wimmer 1999; DeHayes et coll. 1999; Schaberg et coll. 2001).

Ainsi, chaque élément du sol est influencé différemment par la récolte des résidus de coupe.

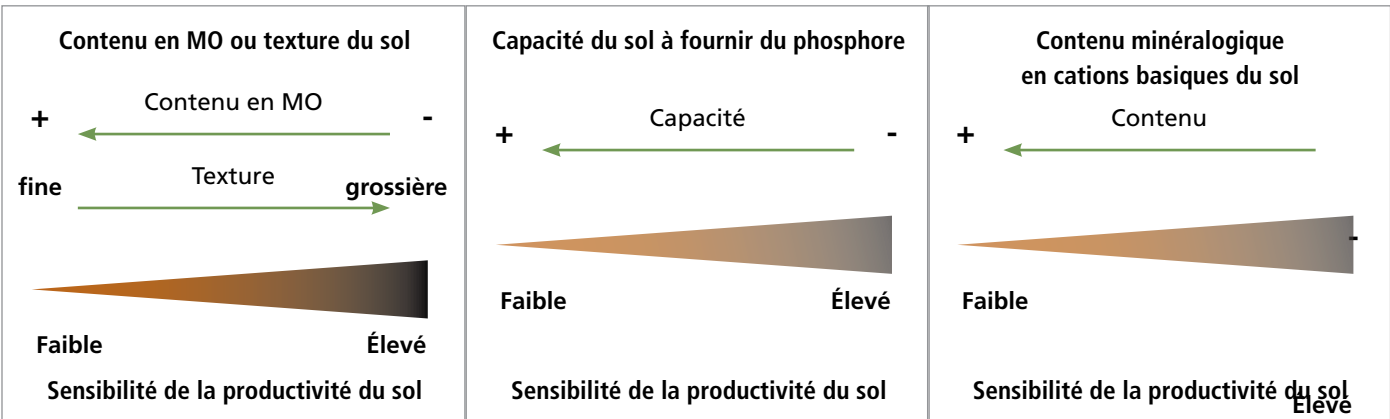


Figure 2 - Gradients de sensibilité pour l'enjeu productivité du sol.

Voici les **recommandations** pour minimiser l'impact de la récolte de la biomasse forestière sur la productivité du sol.

- Conserver la couverture morte (humus), les souches et le système racinaire sur le site;
- Conserver une proportion de résidus de coupe sur le site;
- Limiter les perturbations liées à la construction de routes ou de jetées;
- Minimiser les perturbations du sol incluant le compactage, l'orniérage et l'érosion.

4. PRODUCTIVITÉ DU PEUPEMENT

Les différentes conséquences de la récolte des résidus sur la croissance des arbres et la productivité des peuplements sont liées, d'une part aux **conditions microclimatiques** créées par ce type de pratique et, d'autre part, à son effet sur la **disponibilité en éléments nutritifs** (Thiffault et coll. 2011).

Conditions microclimatiques créées par la récolte des résidus de coupe: la récolte des résidus de coupe entraîne des perturbations et un brassage du sol qui peuvent favoriser l'établissement de la régénération naturelle, créer de meilleures conditions de reboisement (Mann 1984; Hendrickson 1988; McInnis et Roberts 1994; Waters et coll. 2004; Fleming et coll. 2006) et augmenter la survie et la croissance des jeunes semis (Morris et Miller 1994). L'absence de résidus au sol réchauffe le sol plus tôt au printemps, ce qui allonge la saison de croissance, un effet qui pourrait être bénéfique dans les régions froides (Proe et coll. 1994; Zabowski et coll. 2000).

Conditions microclimatiques créées par la présence de résidus de coupe: Les résidus peuvent fournir une protection physique au semis et les protéger du vent, de l'insolation, du gel et de la dessiccation (Proe et coll. 1994).

Plus tard dans la révolution du peuplement, la croissance et la productivité dépendent aussi de la **disponibilité en éléments nutritifs**, qui est influencée par le type de récolte effectué. L'espèce régénérée après coupe détermine la réponse de la croissance et la productivité du peuplement, car les différentes espèces ne réagissent pas toutes de façon semblable aux traitements de récolte (Thiffault et coll. 2011).

Les **espèces de fin de succession**, ou celles ayant une croissance juvénile de modérée à lente, maintiennent une nutrition et une croissance relativement stables, peu importe les conditions du sol (Thiffault et coll. 2011).

Les **espèces de début de succession**, ou celles ayant une croissance juvénile rapide, pourraient être plus sensibles aux différences dans la disponibilité en éléments nutritifs. Pour ces espèces la récolte de biomasse pourrait donc avoir un effet négatif marqué (Thiffault et coll. 2011).

Ainsi, les résidus de coupe influencent les conditions microclimatiques essentielles à l'établissement des semis. Dans un horizon de temps plus grand, ils influencent aussi la disponibilité en éléments nutritifs du sol essentiels à la croissance des arbres. Cependant, chaque espèce répond à sa façon à la disponibilité en éléments nutritifs.

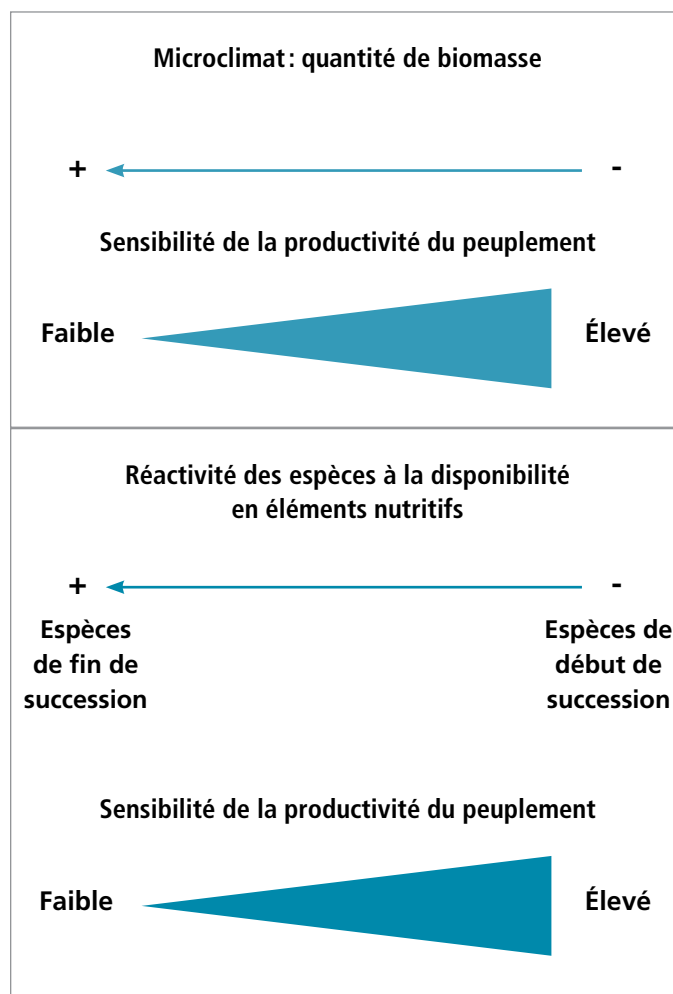


Figure 3 - Gradients de sensibilité pour l'enjeu productivité du peuplement.

Les **recommandations** pour minimiser les impacts négatifs de la récolte des résidus de coupes sur la productivité des peuplements forestiers sont les suivantes :

- Éviter de convertir les forêts naturelles en plantations;
- Limiter le nombre d'entrées dans le peuplement;
- Utiliser la récolte de biomasse afin d'atteindre divers objectifs d'aménagement: opération de récupération et d'hygiène du peuplement, augmentation de l'esthétisme, etc.

5. ÉMISSIONS DE CO₂

La chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière pour la production de bioénergie entraîne l'émission de CO₂ dans chacune des étapes du processus d'obtention de bioénergie: récolte, transport, entreposage, conditionnement et la combustion. Cependant, le CO₂ émis dans l'atmosphère lors de la production d'énergie serait capturé par la forêt grâce à la photosynthèse. La recapture du CO₂ se fait sur une période plus ou moins longue à mesure que les arbres repoussent. Donc, à plus ou moins long terme, l'utilisation de la bioénergie a un **effet bénéfique** sur les **concentrations de GES** dans l'atmosphère, d'autant plus qu'elle est une **énergie renouvelable**.

Le délai et la certitude des réductions d'émissions de carbone créées par l'utilisation de la bioénergie forestière dépendent de la **source de biomasse** forestière utilisée, du **mode de conversion de la biomasse en énergie** (efficacité à produire de l'énergie) et du **type de combustible fossile remplacé**.

Les principales **recommandations** qui permettent de réduire l'émission de CO₂ sont :

- Éviter la conversion des forêts en un autre système d'utilisation des terres;
- Prioriser les structures non équiennes des forêts aux structures équiennes. Quand les structures équiennes sont recommandées, encourager la régénération préétablie ou bien conserver les composantes résiduelles du peuplement initial;
- Conserver des arbres ou retarder leur moment de récolte pour élargir la période de rotation;
- Utiliser en priorité les débris ligneux pour la production d'énergie et limiter l'utilisation d'arbres verts;
- Prioriser la récolte des arbres malades ou qui ont une durée de vie courte à la récolte d'arbres sains.

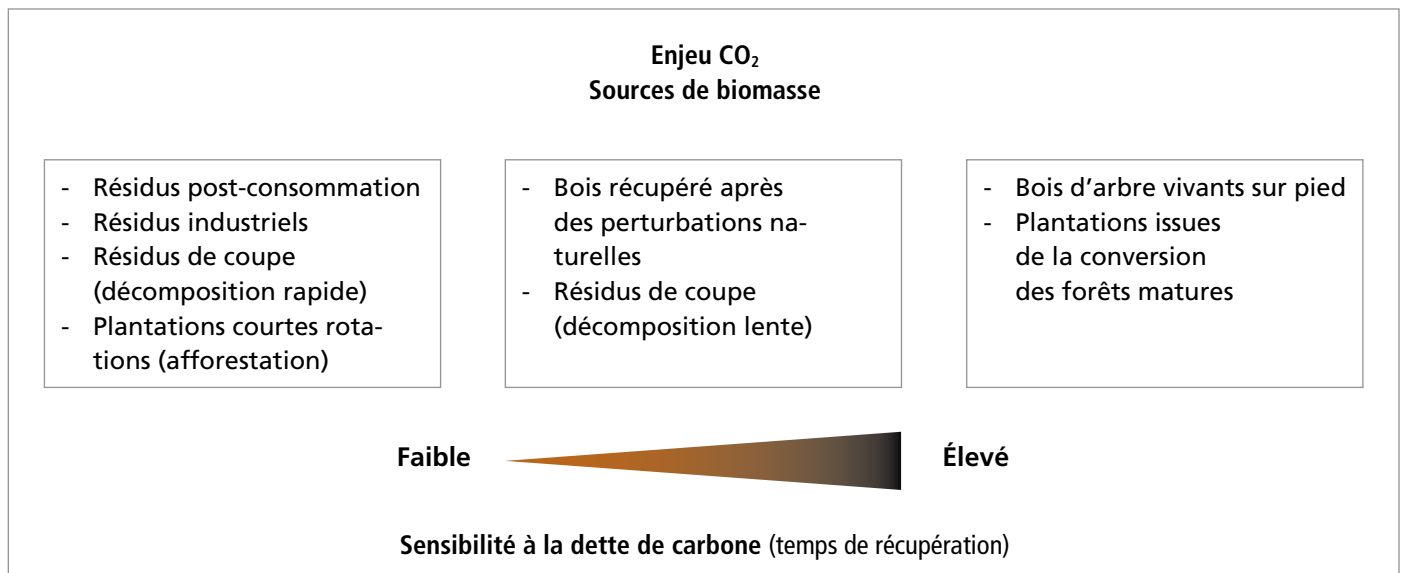


Figure 4 - Gradient de sensibilité pour l'enjeu émission de CO₂.

ENCADREMENT DES PRATIQUES DE RÉCOLTE DE BIOMASSE

L'intégration de la récolte de biomasse à l'ensemble des activités forestières suppose, pour les différentes juridictions impliquées, le développement de lignes directrices qui permet la prise en compte des impacts de cette nouvelle pratique. La certification est aussi un moyen d'assurer à la population que la production de biomasse est durable.

1. LIGNES DIRECTRICES ET AMÉNAGEMENT FORESTIER ADAPTATIF

La création de lignes directrices s'effectue par différentes approches. De manière idéale, ce processus s'effectue selon un processus d'aménagement forestier adaptatif (Thiffault et coll. 2010). Basé sur la littérature scientifique, l'aménagement adaptatif implique un ajustement constant des lignes directrices, selon les données produites grâce au suivi et à la recherche. Plus précisément, les lignes directrices sont généralement des recommandations permettant de prévenir des impacts négatifs de la récolte de biomasse sur les écosystèmes. Elles peuvent aussi être prescriptives, c'est-à-dire qu'elles établissent un gradient de conditions de site pour lesquels le risque environnemental posé par la récolte de biomasse est faible, modéré ou élevé. Ainsi, sur les sites à risque faible, la récolte de biomasse est permise avec peu ou pas de restrictions. Au contraire, plus le niveau de risque est élevé, plus le prélèvement de résidus de coupe devrait être limité, et ce, jusqu'à une interdiction totale. Avec les principes d'aménagement adaptatif, ces seuils sont continuellement ajustés afin de favoriser la création de lignes directrices plus élaborées, plus précises et plus efficaces dans une optique de récolte de biomasse qui respecte différents enjeux environnementaux. Pour ce faire, les efforts de recherche pourraient être orientés davantage sur l'identification de seuils associés à des niveaux de risques environnementaux.

2. LA CERTIFICATION

Actuellement, aucun système de certification assurant spécifiquement la production durable de la biomasse pour la bioénergie n'est disponible pour les forêts. Par contre, des efforts sont menés à l'échelle internationale afin de créer des critères et des indicateurs sur lesquels pourra s'appuyer

le développement de ce type de certification à l'avenir. Au Canada, l'initiative gouvernementale la plus concrète dans l'optique d'un processus de certification de la biomasse forestière est le programme Écologo qui permet de distinguer les produits/services qui sont préférablement écologiques (Écologo 2011). Cependant, plusieurs projets peuvent servir d'exemples pour la certification canadienne en bioénergie. En effet, plusieurs organisations internationales ont des projets concernant la production durable de bioénergie, d'autant plus que plusieurs systèmes de certification volontaires et obligatoires sont déjà mis en place en Europe.

CONCLUSION

Ce qui ressort de la littérature scientifique est que les cinq principaux enjeux de la récolte de biomasse forestière sont la biodiversité, l'eau et les zones riveraines, la productivité des sols, la productivité du peuplement et les émissions de CO₂. Ainsi, la sensibilité de la biodiversité dépend majoritairement de la quantité, de la qualité et de la répartition spatiale du bois mort laissé en forêt. Pour sa part, la sensibilité de la productivité du sol est principalement fonction de la texture du sol, de son contenu en matière organique, de sa capacité à fournir du phosphore et de son contenu minéralogique en cations basiques. La sensibilité de la productivité du peuplement est liée à la physiologie des espèces, au climat et au microclimat du site. La récolte de la biomasse affecte aussi l'eau et les zones riveraines par ses effets sur la sédimentation, la concentration en éléments nutritifs, la température des cours d'eau et l'apport en eau. Bien que la récolte de la biomasse entraîne l'émission de CO₂ issu principalement des différentes opérations de récolte, de transport, d'entreposage et de la combustion de la biomasse forestière, cet enjeu représente aussi un grand avantage. En effet, l'utilisation de la biomasse forestière contribue à la diminution des gaz à effet de serre et ainsi à l'atténuation du réchauffement global, grâce à la substitution des combustibles fossiles dans un cadre de production d'énergie. Cependant, le manque de connaissances terrain en ce qui a trait aux impacts de la récolte de la biomasse est encore important. Finalement, il y a deux moyens pour encadrer la récolte de biomasse; ériger des lignes directrices continuellement ajustables en fonction des nouvelles connaissances scientifiques et élaborer une certification.

REMERCIEMENTS

La production de ce document a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Initiative circumboréale du Réseau international des forêts modèles, du Service canadien des forêts

de Ressources naturelles Canada, de l'Initiative écoÉNERGIE pour l'innovation de Ressources naturelles Canada, de la Fédération québécoise des coopératives forestières, de Nature Québec et du Fonds d'action québécois pour le développement durable.

RÉFÉRENCES

Brandtberg, P.-O.; Olsson, B.A. 2012. Changes in the effects of whole-tree harvesting on soil chemistry during 10 years of stand development. *Forest Ecology and Management* 277:150–162.

Buttle, J.M.; Murray, C.D. 2011. Hydrological Implications of Forest Biomass Use. Final report prepared for Environment Canada, 51 p.

DeHayes, D.H.; Shaberg P.G.; Hawley, G.J.; Strimbeck, G.R. 1999. Acid rain impacts on calcium nutrition and forest health. *BioScience* 49:789–800.

Écologo. 2011. DCC 003 : Produits de l'électricité renouvelable à faible impact version 2, [http://www.environmentalchoice.com/common/assets/criterias/normesccd003finalesnov2010_2_.pdf] (consultée le 2 février 2011).

Fleming, R.L.; Morris, D.M.; Hazlett, P.W. Assessing temporal response to forest floor removal: Evolving constraints on initial stand development. *Soumis à Forest Science*.

Hendrickson, O.Q. 1988. Biomass and nutrients in regenerating Woody Vegetation following whole-tree and conventional harvest in a northern mixed forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 18:1427– 1436.

Hornbeck, J.W.; Martin, C.W.; Smith, C.T. 1986. Protecting Forest Streams During Whole-Tree Harvesting. *Northern Journal of Applied Forestry* 3:97–100.

Jackson C.R.; Sturm, C.A.; Ward, J.M. 2001. Timber harvest impacts on small headwater stream channels in the coast ranges of Washington. *Journal of the American Water Resources Association* 37:1533–1549.

Juutilainen, K.; Halme, P.; Kotiranta, H.; Mönkkönen, M. 2011. Size matters in studies of dead wood and wood-inhabiting fungi. *Fungal Ecology*, 4(5):342–349.

Klockow, P.A.; D'Amato, A.W.; Bradford, J.B. 2013. Impacts of post-harvest slash and live-tree retention on biomass and nutrient stocks in *Populus tremuloides* Michx.-dominated forests, northern Minnesota, USA. *Forest Ecology and Management* 291:278–288.

Mann, L.K. 1984. First-year regeneration in upland hardwoods after two levels of residue removal. *Canadian Journal of Forest Research* 14:336–342.

McLaughlin, S.B.; Wimmer, R. 1999. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New Phytologist* 142:373–417.
McInnis, B.G.; Roberts, M.R. 1994. The effects of full-tree and tree-length harvests on natural regeneration. *Northern Journal of Applied Forestry* 11:131-137.

Morris, L.A.; Miller, R.E. 1994. Evidence for long-term productivity change as provided by field trials. Dans *Impacts of Forest Harvesting on Long-Term Site Productivity*. Edited by W.J. Dyck, D.W. Cole and N.B. Comerford. Chapman and Hall, London, UK, p. 41-80.

- Page-Dumroese, D.S.; Jurgensen, M.; Terry, T. 2010. Maintaining soil productivity during forest or biomass-to-energy thinning harvests in the Western United States. *Western Journal of Applied Forestry* 25(1):5–11.
- Proe, M.F.; Dutch, J.; Griffiths, J. 1994. Harvest residue effect on micro-climate, nutrition, and early growth of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) seedling on a restock site. *New Zealand Journal of Forestry Science* 24:390–401.
- Riffell, S.; Verschuyt, J.; Miller, D.; Wigley, T.B. 2011. Biofuel harvest, coarse woody debris, and biodiversity – A meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 261:878–887.
- Schaberg, P.G.; DeHayes, D.H.; Hawley, G.J. 2001. Anthropogenic calcium depletion: a unique threat to forest ecosystem health? *Ecosystem Health* 7:214–228.
- Schuck, A.; Meyer, P.; Lier, M.; Linder, M. 2004. Forest biodiversity indicator: Dead wood – A proposed approach towards operationalising the MCPFE Indicator. In Marco Marchetti (ed.), *Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality*. EFI Proceedings No. 51. Joensuu, Finlande, p. 49-77.
- Stewart, W.; Powers, R.F.; McGown, K.; Chiono, L.; Chuang T. 2010. Potential Positive and Negative Environmental Impacts of Increased Woody Biomass Use for California. Center for Forestry, College of Natural Resources, University of California, Berkeley, CA. DRAFT.
- Thiffault, E.; Hannam, K.D.; Paré, D.; Titus, B.D.; Hazlett, P.W.; Maynard, G.; Brais, S. 2011. The effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forest – A review. *S. Environ. Rev.* 19:278-309.
- Thiffault, E.; Paré D.; Brais, S.; Titus, B.D. 2010. Intensive biomass removals and site productivity in Canada: A review of relevant issues. *The Forestry Chronicle* 86:36–42.
- Thiffault, E., St-Laurent Samuel, A. et Serra, R. 2015. Saines pratiques et enjeux écologiques dans la forêt boréale canadienne. RNCAN, SCF, Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec); Nature Québec; Fédération québécoise des coopératives forestières. 87 p.
- Toivanen, T.; Markkanen, A.; Kotiaho, J.S.; Halme, P. 2012. The effect of forest fuel harvesting on the fungal diversity of clear-cuts. *Biomass and Bioenergy* 39:84–93.
- Trottier-Picard, A.; Thiffault, E.; DesRochers, A.; Paré D.; Thiffault, N.; Messier, C. 2014. Amounts of logging residues affect planting microsites: A manipulative study across northern forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* 312:203-215.
- Waters, I.; Kembel, S.W.; Gingras, J.-F.; Shay, J.M. 2004. Short-term effects of cut-to-length versus full- tree harvesting on conifer regeneration in jack pine, mixedwood, and black spruce forests in Manitoba. *Canadian Journal of Forest Research* 34:1938–1945.
- Zabowski, D.; Java B.; Scherer, G.; Everett, R.L.; Ottmar, R. 2000. Timber harvesting residue treatment: Part 1. Responses of conifer seedlings, soils and microclimate. *Forestry Ecology and Management* 126:25–34. [doi : 10.1016/S0378-1127(99)00081-X]



PHOTO : RUT SERRA

2.2

LE BILAN DE CARBONE DU CHAUFFAGE LOCAL À LA BIOMASSE FORESTIÈRE : LE CAS DES COOPÉRATIVES FORESTIÈRES DU QUÉBEC ¹

Rut Serra, Evelyn Thiffault et Jérôme Laganière

DANS CETTE SECTION

Introduction	81
Bilan de carbone	82
Méthode d'évaluation du bilan de carbone	82
Résultats	84
1. Coopérative forestière de la Matapédia (CFM)	84
2. Coopérative forestière de St-Dominique (CFST-DO)	85
3. Coopérative forestière de la Petite-Nation (CFPN)	85
4. Coopérative de gestion forestière des Appalaches (CGFA)	86
Recommandations générales	87
Conclusion	87
Remerciements	87
Références	87

MOTS CLÉS

Biomasse forestière résiduelle
Production de chaleur
Bilan de carbone
Horizon de temps
Carbo-neutre
Scénario de référence
Scénario de bioénergie
Émissions de GES

RÉSUMÉ

La biomasse forestière est une source d'énergie renouvelable permettant de réduire les émissions de carbone à l'atmosphère. À la différence des carburants fossiles, l'utilisation des résidus de coupes forestières pour produire de la chaleur est un projet qui atteint sa carbo-neutralité rapidement. Ainsi, la présente étude évalue différents scénarios de chauffage à la biomasse afin de quantifier l'horizon de temps nécessaire pour obtenir des bénéfices à l'atmosphère en termes de quantité d'émissions de carbone évitées. Les résultats suggèrent que pour certains scénarios, la carbo-neutralité est atteinte sur une période inférieure à 10 ans. Les résultats permettent aussi d'identifier les carburants fossiles à remplacer en priorité par la biomasse forestière. En ordre croissant, soit du plus polluant au moins polluant, voici quels devraient être en priorité les carburants fossiles à substituer par la biomasse forestière : Mazout – Propane – Huile récupérée – Gaz naturel. Quant à l'hydroélectricité, l'horizon de temps pour atteindre la carbo-neutralité lors de l'utilisation de biomasse forestière est trop long, ce qui ne justifie pas sa conversion vers des systèmes à la biomasse.

INTRODUCTION

Cette étude vise à évaluer localement l'enjeu des émissions de carbone de la biomasse forestière. Le bilan de carbone sommaire de différents scénarios de production de chaleur, à partir de différentes chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière, est quantifié. L'approche par étude de cas a été utilisée et quatre coopératives forestières ont participé à l'étude.

¹ Document de référence : Serra et coll. (2016)

Tout d'abord, il importe de bien comprendre ce qu'est un bilan de carbone. Ensuite, la méthode d'évaluation du bilan de carbone, selon les caractéristiques du scénario de bioénergie du combustible fossile remplacé et de la source de biomasse forestière utilisée, est présentée. Les résultats obtenus de l'évaluation du bilan de carbone sont décrits. Finalement, des recommandations concernant les scénarios qui procurent les plus grands bénéfices à l'atmosphère rapidement, sont formulées.

BILAN DE CARBONE

Les forêts ont la capacité de séquestrer du CO₂ atmosphérique, via le processus de la photosynthèse. D'autre part, les forêts sont aussi des sources de CO₂, via la respiration des végétaux, la respiration des autres organismes et par l'entremise des perturbations anthropiques ou naturelles qui modifient les stocks et les flux de carbone. Le **bilan de carbone** se traduit donc comme la différence entre la quantité de carbone émise à l'atmosphère et la quantité absorbée dans l'écosystème. Ainsi, lorsqu'un site forestier émet plus de CO₂ que ce qu'il en absorbe, le bilan de ce site est négatif. Ce site forestier est alors vu comme une **source de carbone**. Par contre, lorsqu'il absorbe plus de CO₂ que ce qu'il émet, le bilan de ce site devient positif et il est alors vu comme un **puits de carbone**.

Dans le cas d'un projet de bioénergie, il faut considérer non seulement le site forestier, mais aussi toute la chaîne d'approvisionnement forestière jusqu'à l'utilisation finale des produits forestiers. Lorsque les arbres croissent, ils accumulent du carbone dans leurs composantes physiques. Quand la matière ligneuse est récoltée, ce carbone est stocké dans le produit final durant toute sa durée de vie. Cependant, cet arbre récolté cesse d'accumuler le carbone. C'est seulement lorsque la forêt se régénère que l'accumulation de CO₂ recommence. Le bois peut aussi être considéré comme une **source d'énergie renouvelable**, puisque la biomasse récoltée et utilisée pour produire de l'énergie est remplacée lors de la régénération de la forêt. En utilisant la biomasse forestière comme source d'énergie, le carbone qu'elle contient est rapidement émis à l'atmosphère lors de la combustion. À court terme, la faible densité énergétique de la biomasse, comparativement aux combustibles fossiles, engendre une plus grande émission de CO₂, par quantité d'énergie produite, qu'un scénario où un combustible fossile est utilisé. On dit donc que l'utilisation de la biomasse forestière en remplacement d'un combustible

fossile crée une dette de carbone en raison de cette différence dans la quantité de CO₂ émise par unité d'énergie; cette dette est remboursée au fur et à mesure que la forêt se régénère et que les arbres séquestrent à nouveau le carbone dans la masse végétale. Après un certain temps, le projet de biomasse est dit **carbo-neutre**. C'est-à-dire que, après un temps variant entre un bénéfice immédiat à quelques siècles, la dette de carbone est complètement remboursée; c'est à ce moment que la bioénergie procure des bénéfices nets à l'atmosphère en termes de réduction des émissions de CO₂, par rapport au scénario de référence basé sur les carburants fossiles. Par contre, la bioénergie permet de remplacer d'autres sources d'énergie non renouvelables telles que les carburants fossiles. De façon générale, les facteurs qui influencent le temps de remboursement de la dette de carbone sont :

- Le combustible fossile remplacé (mazout, gaz, charbon, propane, etc.);
- Le mode de conversion en énergie (chaleur, électricité, co-génération);
- La source de biomasse forestière (résidus de coupe, bois de récupération, etc.).

Ainsi, pour les cas présentés, les types de combustibles fossiles remplacés varient pour chaque coopérative. Pour tous les cas à l'étude, le mode de conversion en énergie est la chaleur. De plus, la source de biomasse utilisée est issue des résidus primaires tels que les arbres de faible qualité, les résidus de coupe finale ou les résidus d'éclaircie.

MÉTHODE D'ÉVALUATION DU BILAN DE CARBONE

Pour établir le bilan de carbone d'un projet de bioénergie, il faut tout d'abord définir le scénario de référence, c'est-à-dire celui dans lequel les besoins en chauffage sont comblés par une source de production de chaleur autre que la biomasse forestière. Les sources d'énergies utilisées dans les scénarios de références sont: le mazout, le propane, l'hydroélectricité, l'huile récupérée et le gaz naturel.

Par la suite, on estime dans le temps, et ce, pour le scénario de référence comme pour le scénario de bioénergie :

- Les échanges entre l'écosystème forestier et l'atmosphère, soient: la séquestration de CO₂ par les arbres, et les émissions de CO₂ par les débris ligneux en décomposition;

- Les émissions de CO₂ lors de la production de l'énergie;
- Les émissions de CO₂ lors de l'utilisation de l'énergie pour une même quantité d'énergie produite, soit un gigajoule (GJ).

Enfin, la comparaison des deux scénarios, **bioénergie** et **référence**, est effectuée pour une période de temps donné de 100 ans.

Toutes les coopératives ont des scénarios différents qui se distinguent notamment par :

Les installations de chauffage :

- Source d'énergie remplacée;
- Type de bâtiment chauffé et puissance installée;
- Efficacité de conversion de la chaudière remplacée versus la chaudière à la biomasse.

Le type d'opérations forestières :

- Opérations prescrites;
- Type de récolte (p. ex. coupe totale, éclaircie, etc.);
- Procédé de récolte et de transport;
- Volume de bois prélevé, de biomasse et de débris ligneux restant sur le parterre de coupe;
- Distance de transport.

Les caractéristiques du peuplement et du site :

- Espèces d'arbres;
- Volume du peuplement initial;
- Âge;
- Localisation;
- Température annuelle moyenne.

Les paramètres qui ont un impact majeur sur le résultat final du bilan de carbone et leurs valeurs qui ont été testés pour prendre en considération la variabilité sont :

- La distance de transport (± 50 km);
- L'efficacité de conversion de la biomasse en chaleur ($\pm 5\%$);
- L'efficacité de conversion de la source d'énergie remplacée en chaleur ($\pm 5\%$);
- Le taux de décomposition de la biomasse laissée sur le site ($\pm 5\%$ et $\pm 2,5\%$ pour la Coopérative forestière de la Petite Nation).

Puisque ces paramètres ont une grande influence sur les calculs du bilan de carbone, ce n'est pas une valeur fixe qui sert aux calculs du bilan de carbone, mais plusieurs valeurs à l'intérieur d'une fourchette de valeurs. De ce fait, les résultats obtenus par scénario correspondent à une plage de valeurs possibles pour le bilan de carbone, exprimé en nombre d'années nécessaires pour que la bioénergie procure des bénéfices à l'atmosphère par rapport au scénario de référence utilisant des carburants fossiles ou de l'hydroélectricité. Voici comment se présente alors les résultats des gradients, ou des plages de valeurs, pour le bilan de carbone du projet bioénergie (Figure 1).

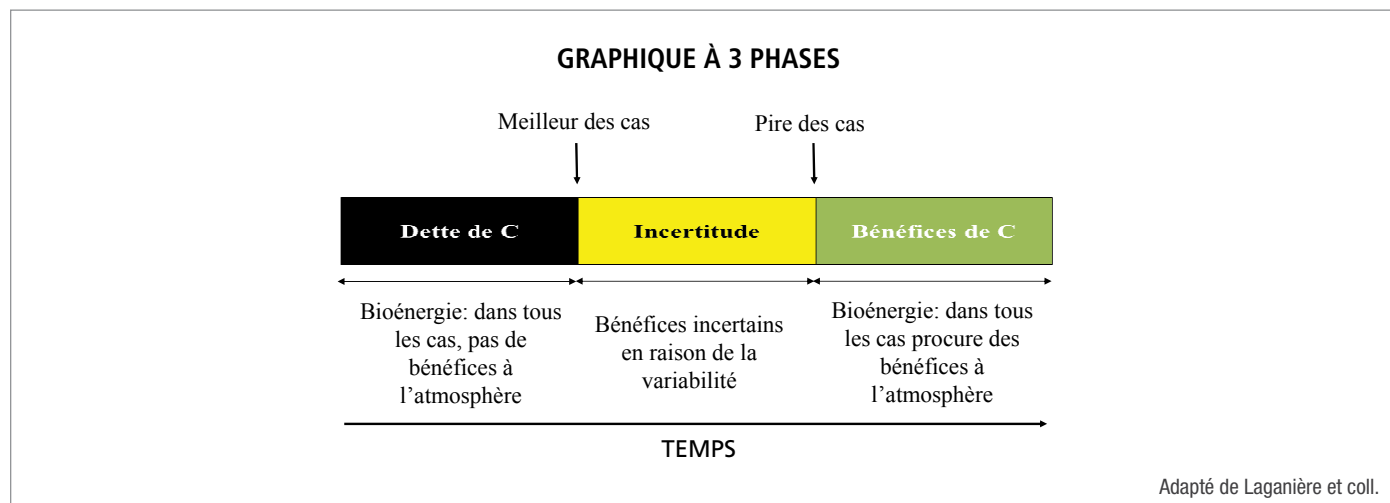


Figure 1 - Graphique qui illustre les 3 phases lors de l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre (GES) du scénario bioénergie versus le scénario de référence.

La **phase en noir** correspond à l'horizon de temps au cours duquel la dette de carbone n'est pas encore remboursée et le scénario bioénergie émet plus de CO₂ à l'atmosphère que le scénario de référence. La **phase en jaune** traduit un horizon de temps au cours duquel, selon la valeur des intrants utilisés dans le modèle, la dette de carbone peut, ou pas, être remboursée; il s'agit de la phase d'incertitude. Finalement, la **phase en vert** représente le moment à partir duquel la dette de carbone est remboursée et la bioénergie procure des bénéfices certains à l'atmosphère. C'est alors dans cette phase symbolisée en vert que le projet est réellement carbo-neutre.

RÉSULTATS

Le taux de croissance de la forêt influence le taux de séquestration du carbone et donc le bilan de carbone des scénarios de bioénergie. Il faut donc tenir compte du taux de croissance de la forêt dans le scénario de référence, par rapport au taux de croissance des peuplements subissant la récolte de biomasse forestière dans le scénario de bioénergie. Dans le scénario de référence (sans récolte de biomasse), la forêt peut soit être conservée telle quelle, ou être soumise à des opérations forestières (mais sans récolte de biomasse dédiée à la production de bioénergie). Le scénario de forêt conservée a un bon potentiel de séquestration de CO₂ atmosphérique, tandis que la forêt soumise à une opération forestière doit croître à un rythme plus ou moins long avant d'atteindre son plein potentiel de séquestration de CO₂ atmosphérique. Toutefois, lors de la récolte conventionnelle, le carbone est stocké dans les produits standards durant leur durée de vie ce qui n'est pas le cas de la forêt conservée. Le carbone stocké dans les produits de bois n'a pas été pris en considération dans le bilan. Ainsi, lorsque la référence est la conservation de la forêt, la récolte de biomasse forestière pour la bioénergie en remplacement

de carburants fossiles ou bien de l'hydroélectricité est souvent peu favorable. Cependant, en remplaçant les carburants fossiles ou l'hydroélectricité par la biomasse et en évaluant seulement les sites forestiers soumis à des opérations forestières, les bénéfices varient selon la source d'énergie remplacée. Voici alors les principales caractéristiques et les résultats des gradients du bilan de carbone obtenus pour chaque étude de cas dont la forêt de référence est soumise à des opérations forestières.

1. COOPÉRATIVE FORESTIÈRE DE LA MATAPÉDIA (CFM)

Le bâtiment chauffé dans le cas de la CFM est un bâtiment institutionnel (institutionnel 1). Les sources de chaleur de référence à comparer avec la biomasse sont :

- Le mazout lourd;
- Moitié-moitié le mazout lourd et l'hydroélectricité;
- L'hydroélectricité.

La biomasse récoltée est issue d'une éclaircie commerciale dans un peuplement de sapin baumier.

Les gradients du bilan de carbone pour la CFM sont présentés dans la figure 2. Les gradients traduisent, premièrement, que pour remplacer le **mazout lourd**, le scénario de bioénergie est nettement avantageux puisque la dette de carbone est nulle dès son utilisation. De plus, la phase d'incertitude est réduite à environ 12 ans, suite à quoi des bénéfices à l'atmosphère certains sont observés. Deuxièmement, pour remplacer un chauffage à base de **50 % de mazout lourd et 50 % d'hydroélectricité** par un chauffage à la biomasse, le bilan de carbone prend 17 ans avant d'entrer dans une phase incertaine

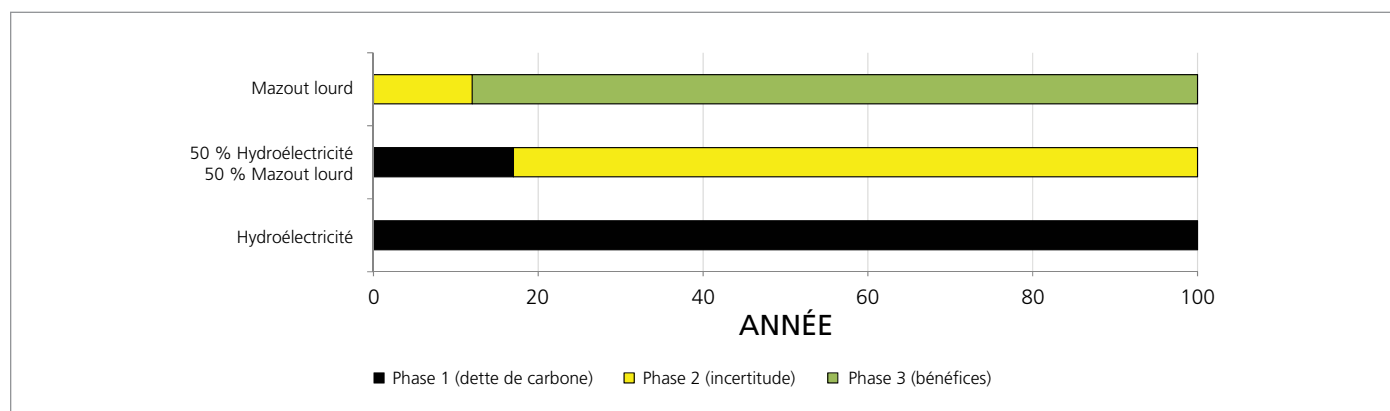


Figure 2 - Gradients d'horizon du bilan de carbone du scénario bioénergie versus les scénarios de référence de la CFM.

d'émissions de CO₂. Avant ces 17 ans le scénario de bioénergie émet davantage de CO₂ dans l'atmosphère par rapport au scénario de référence. Finalement, pour le remplacement de l'hydroélectricité par la biomasse, la dette de carbone s'étend à plus de 100 ans.

2. COOPÉRATIVE FORESTIÈRE DE ST-DOMINIQUE (CFST-DO)

Le bâtiment chauffé dans le cas de la CFSt-Do est une mine. Le combustible de référence à comparer avec la biomasse est

le propane. La biomasse récoltée est issue d'une coupe totale dans un peuplement de pin gris.

Les gradients du bilan de carbone pour la CFSt-Do sont présentés dans la figure 3. Le gradient d'horizon du bilan de carbone démontre qu'en remplaçant un chauffage au propane par un chauffage à la biomasse une dette de carbone est observée seulement pour les deux premières années. Suite à quoi une période incertaine de 23 ans est succédée par la phase de bénéfices nets à l'atmosphère.

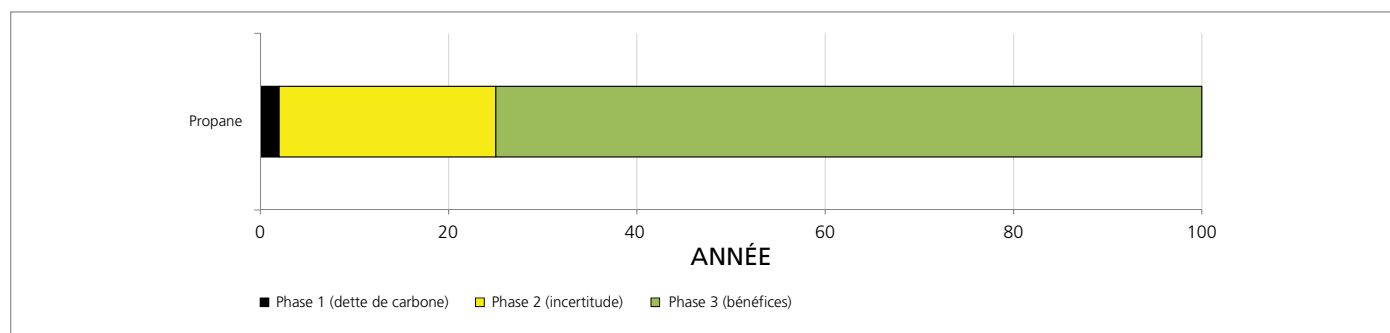


Figure 3 - Gradients d'horizon du bilan de carbone du scénario bioénergie versus le scénario de référence de la CFSt-Do.

3. COOPÉRATIVE FORESTIÈRE DE LA PETITE NATION (CFPN)

Les bâtiments chauffés pour les scénarios de la CFPN ainsi que les sources de chaleur de référence à comparer avec la biomasse sont :

- Serriculteur 1 / propane;
- Serriculteur 2 / huile récupérée, mazout léger, propane et hydroélectricité;
- Institutionnel 2 / mazout léger.

La biomasse récoltée est issue d'une opération de conversion de peuplement dans un peuplement de feuillus dégradés.

Les gradients du bilan de carbone pour la CFPN sont présentés dans la figure 4. En observant ces gradients, il est évident que remplacer le mazout léger par la biomasse dans le bâtiment institutionnel 2 est le scénario le plus avantageux. En effet, la dette de carbone est nulle et les bénéfices à l'atmosphère sont certains après 13 ans. Deuxièmement, le remplacement du propane dans le serriculteur 1 engendre une dette nulle et les bénéfices à l'atmosphère sont certains après 19 ans. Enfin, le remplacement du mazout léger, du propane et de l'huile récupérée dans le serriculteur 2 est aussi positif: le remplacement de ces carburants par la biomasse engendre aussi une dette nulle d'émissions de carbone à l'atmosphère mais avec une période d'incertitude plus ou moins longue selon le scénario. Cependant, ce n'est pas le cas pour remplacer l'hydroélectricité, où la dette de carbone s'étend sur un horizon de temps supérieur à 100 ans.

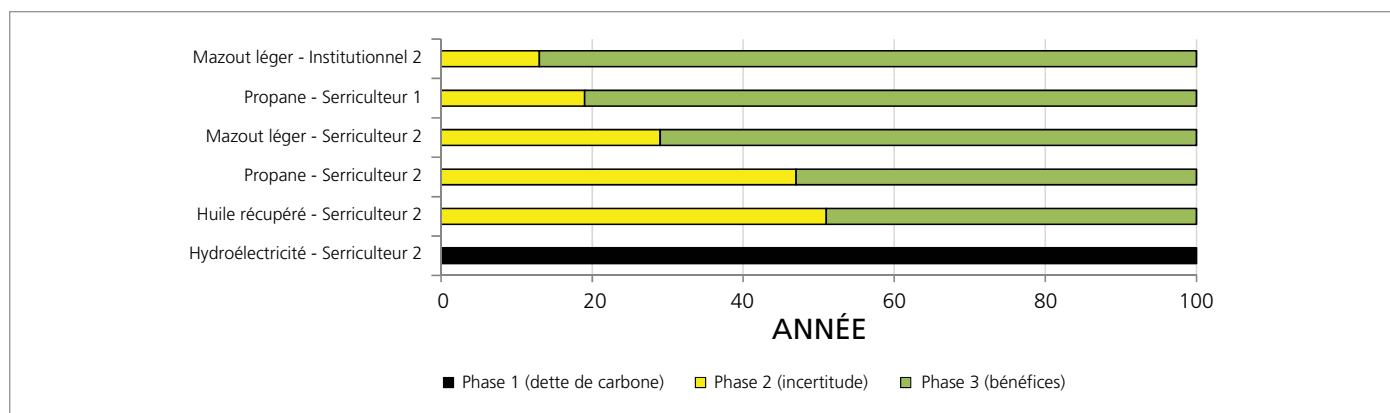


Figure 4 - Gradients d'horizon du bilan de carbone du scénario bioénergie versus les scénarios de référence de la CFPN.

4. COOPÉRATIVE DE GESTION FORESTIÈRE DES APPALACHES (CGFA)

Les bâtiments chauffés pour les scénarios de la CGFA sont un bâtiment institutionnel (bâtiment institutionnel 3) et un serriculteur (serriculteur 3). Les combustibles de référence à comparer avec la biomasse sont :

- Le mazout lourd;
- Le gaz naturel.

La biomasse récoltée est issue d'une éclaircie commerciale d'une plantation d'épinette de Norvège attaquée par le charançon du pin blanc

Les gradients du bilan de carbone pour la CGFA sont présentés dans la figure 5. D'une part, le remplacement du **mazout lourd** par de la biomasse dans le bâtiment institutionnel 3 est positif en termes de dette de carbone. En effet, après une phase d'incertitude relativement courte de 4 ans seulement, le scénario bioénergie est considéré comme un projet carbo-neutre et entre dans la phase des bénéfices à l'atmosphère. Le remplacement du **gaz naturel** dans le serriculteur 3, engendre une dette de carbone de 6 ans, suite à quoi une période incertaine se poursuit sur 11 ans. Après ces 17 premières années, la phase de bénéfices à l'atmosphère est atteinte et le projet devient carbo-neutre.

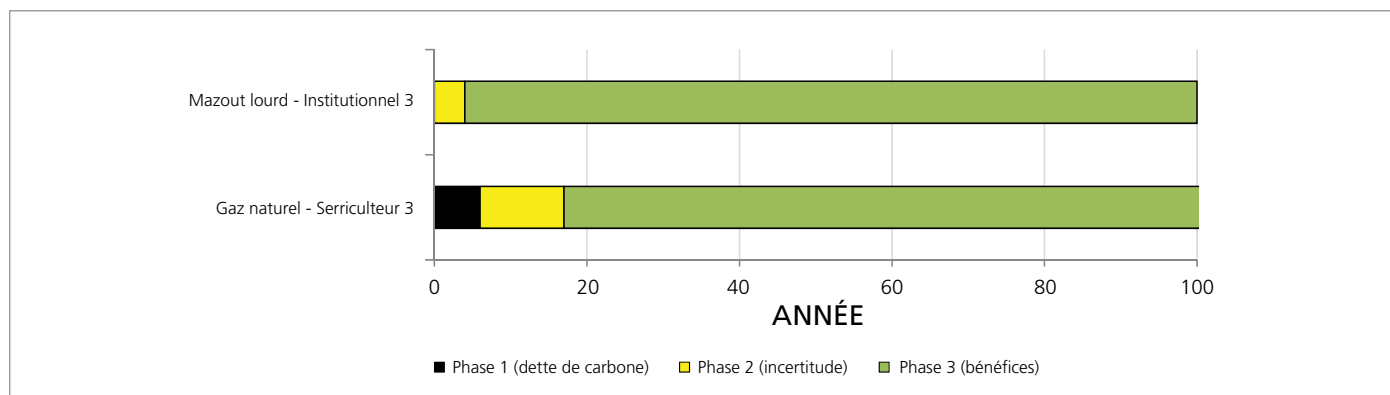


Figure 5 - Gradients d'horizon du bilan de carbone du scénario bioénergie versus les scénarios de référence de la CGFA.

RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Selon les résultats obtenus, il faudrait donc, en ordre croissant du plus polluant au moins polluant, prioriser la substitution des carburants fossiles suivants :

Mazout – Propane – Huile récupérée – Gaz naturel

La substitution de l'hydroélectricité génère des dettes de carbone trop longues, ce qui ne justifie pas sa conversion vers des systèmes à la bioénergie.

Par ailleurs, l'étude menée a aussi permis d'observer l'effet de la récolte de biomasse sur la remise en production de la forêt. Ce qui ressort de l'étude est que la proportion de microsites aptes à la plantation est en majorité supérieure à 85 %, ce qui est en accord avec les exigences du Ministère. Ainsi, dans certains cas, si la récolte de la biomasse permet d'accroître l'établissement et la croissance de la régénération du peuplement suivant, la bioénergie devient encore plus intéressante en termes de réduction de gaz à effet de serre (GES).

CONCLUSION

Cette étude est basée sur des données réelles provenant d'essais terrain réalisés avec les coopératives forestières du Québec. La source de biomasse utilisée est issue d'arbres de faible qualité, de résidus de coupe finale et de résidus d'éclaircie. Le mode de conversion en énergie est la chaleur. De façon générale, pour que la bioénergie engendre des conditions gagnantes en termes de réduction des GES, les facteurs majeurs à prendre en considération sont : la définition du scénario de référence, le carburant fossile remplacé et l'efficacité de conversion.

Il est finalement impossible de dire que l'utilisation de biomasse forestière pour la production de bioénergie est de facto carbo-neutre étant donné que cette carbo-neutralité n'est

atteinte que lorsque la dette de carbone est remboursée. Le temps nécessaire au remboursement de la dette est spécifique à chaque cas. Il demeure donc essentiel d'évaluer le bilan de carbone du système avant la mise en place d'un projet de biomasse forestière, pour ainsi comparer différentes options et identifier celles qui procurent les bénéfices à l'atmosphère les plus certains, les plus grands et/ou les plus rapides.

Cette étude démontre que les modèles de chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière résiduelle des coopératives forestières du Québec ont un potentiel de remboursement de la dette de carbone de moins de 10 ans dans certains cas et sont donc un outil important dans la lutte aux changements climatiques. Cependant, il faut prendre en considération que les coopératives forestières du Québec présentent des chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière qui ont des caractéristiques propres à leur milieu, donc un potentiel d'atténuation de GES variable. De ce fait, chaque projet mis en place devrait faire l'objet d'une analyse du bilan de carbone. Aussi, il serait intéressant d'évaluer l'effet sur le bilan de carbone lorsqu'il s'agit de résidus issus de perturbations naturelles telles que les épidémies et les incendies.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le programme de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation administrée par Ressources naturelles Canada. La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce au soutien technique et matériel de la Fédération québécoise des coopératives forestières (FQCF) et des coopératives participantes à l'étude, soit la Coopérative forestière de la Matapédia, la Coopérative forestière de St-Dominique, la Coopérative forestière de la Petite Nation et la Coopérative de gestion forestière des Appalaches. Les auteurs tiennent aussi à remercier la participation de Luc Desrochers, de FPInnovations et de Jimmy Pillant, stagiaire à l'Université Laval, pour la collecte des données sur le terrain.

RÉFÉRENCES

- Laganière, J., Paré, D., Thiffault, E. et Bernier, P. 2016. Range and uncertainties in estimating delays in greenhouse gas mitigation potential of forest bioenergy sourced from Canadian forests. GCB Bioenergy, sous presse.
- Serra, R., Thiffault, E., et Laganière, J. 2016. Le bilan de carbone du chauffage local à la biomasse forestière. Fédération québécoise des coopératives forestières; Université Laval, Département de sciences du bois et de la forêt; RNCAN, SCF, Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec). 57 p.

plan technique, économique, social, politique et environnemental. Pour y parvenir, des entrevues semi-dirigées ont été réalisées auprès des directeurs généraux de 6 coopératives forestières réparties dans différentes régions du Québec. Les résultats obtenus ont permis de mieux comprendre la chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière notamment en ce qui concerne les motivations et les intérêts des parties prenantes, les contraintes et les opportunités d'établir un tel projet, le soutien financier et l'engagement politique ainsi que les impacts socio-économiques et environnementaux.

En deuxième lieu, l'étude propose une série de **recommandations** pouvant servir de cadre pour élaborer une enquête de nature qualitative et quantitative qui visera à mieux comprendre les retombées socio-économiques de cette filière. .

RÉSULTATS

Grâce à la mise en commun des divergences et des convergences des chaînes d'approvisionnements identifiées, un modèle commun à toutes les coopératives à l'étude a été défini, soit la **chaîne bioénergie**. Cette chaîne d'approvisionnement comprend les différentes activités qui se déroulent du site forestier à la chaufferie, soit la planification forestière, la récolte, le transport, la transformation, la manutention, le conditionnement, l'entreposage et la livraison du produit final (copeaux ou vente d'énergie). La chaîne bioénergie est comparée avec la **chaîne conventionnelle** qui se réfère à la récolte de bois marchand et dans laquelle les besoins énergétiques sont comblés par une autre source d'énergie que la biomasse.

Par ailleurs, la première phase de l'étude a permis d'identifier les principaux thèmes à étudier. Voici les principaux résultats:

1. MOTIVATIONS ET INTÉRÊTS

La principale motivation qui incite les coopératives forestières à développer la filière du chauffage à la biomasse forestière est la **diversification**. Cette diversification prend diverses formes, soit sur le plan des activités de l'entreprise, des marchés ou des opérations forestières. Elle découle du besoin des coopératives de trouver des options de développement pour pallier aux difficultés de l'industrie des pâtes et papiers.

D'autres raisons en faveur du développement de cette filière ont été mentionnées au cours des entrevues. Certaines sont de nature **technique**, par exemple, « *parce que la récolte de*

biomasse s'intègre facilement aux opérations conventionnelles » et d'autres de nature **économique**, comme « *le coût élevé de certains combustibles fossiles* » et le fait de « *donner une valeur ajoutée aux produits ligneux* ». Une motivation de nature socio-économique a aussi été avancée puisque la filière bioénergie permettrait de « *contribuer à l'essor de la région* ». Enfin, une motivation **environnementale** a été soulevée et fait référence au fait que cette « *filière permet de produire une énergie verte* ».

2. CONTRAINTES ET OPPORTUNITÉS

La principale **contrainte** qui a été mentionnée au cours des entretiens est associée aux « clients ». D'après les réponses obtenues, il semble difficile de trouver des clients qui désirent utiliser la biomasse comme source d'énergie. Des clients peu informés par rapport au fonctionnement de cette énergie et, dans certains cas, le prix compétitif des carburants fossiles limitent les décisions en faveur de la biomasse forestière. De plus, contrairement aux carburants fossiles, les paramètres pour contrôler la qualité de la biomasse sont nombreux, ce qui complexifie la tâche pour satisfaire les besoins de la clientèle. Par exemple, la teneur en humidité et la granulométrie sont des paramètres à contrôler qui peuvent être contraignants puisqu'il est important que le système de chauffage soit alimenté par un produit de qualité. De ce fait, il serait pertinent de déterminer des stratégies et des mécanismes adéquats pour solliciter de nouveaux clients. Afin d'inciter de nouveaux clients à se convertir à la bioénergie forestière, les répondants proposent de :

- renforcer le réseau des coopératives et le partenariat avec des entreprises, des organismes ou des institutions impliqués dans la filière biomasse;
- favoriser le réseautage;
- développer des produits à valeur ajoutée en utilisant, par exemple, le bioraffinage, pour offrir la biomasse à un prix compétitif;
- développer une expertise dans le domaine.

De plus, les garanties d'approvisionnement pour la biomasse sont incertaines, puisqu'en forêt publique ce type d'approvisionnement n'est pas accordé à long terme. Plusieurs autres contraintes, de natures variées, ont aussi été mentionnées, telles que les suivantes : « *le manque de connaissances* », « *la mise en marché* », « *le manque de volume* » (la masse critique), « *le manque d'appui gouvernemental* », « *le financement* », « *la faible capacité de travailler en réseau* »,

«la compétition avec les sous-produits des scieries», «le manque d'une bourse structurée de carbone», «le temps nécessaire à développer un projet» et «l'accès à la ressource». Pour encourager le déploiement de la filière, des efforts doivent être faits pour contrer ces obstacles.

Tout comme pour le thème précédent, les **opportunités** associées au développement de la chaîne bioénergie sont le développement de marchés et la diversification du panier de produits. Voici une liste d'autres opportunités qui ont été mentionnées :

- l'opportunité de s'impliquer dans le Plan Nord;
- les projets de petite envergure qui permettent la répartition de la richesse et de diminuer le risque;
- la diversification de la clientèle. Les coopératives approvisionnent des clients dans les secteurs municipal, de la santé, du scolaire, de l'agroalimentaire et du minier. Cette diversification de la clientèle permet aussi de diminuer le risque d'un plan d'affaires comptant trop peu de clients.

Une des principales opportunités associées à la diversification du panier de produits est celle de la **vente d'énergie** ou de l'offre de **services clés en main**. Ainsi, la gestion de l'ensemble de la chaîne permettrait d'atteindre une économie d'échelle. La biomasse forestière peut aussi devenir intrant important pour le secteur industriel, ce qui représente aussi une opportunité pour la filière. D'après les réponses obtenues, la mise en œuvre de projets d'envergure permettrait à la coopérative d'atteindre la masse critique qui est nécessaire à la rentabilité de l'ensemble de la chaîne.

Enfin, un des répondants a mentionné la stabilisation opérationnelle des emplois dans la coopérative. Cette stabilisation est possible grâce à l'ajout d'une activité dans les opérations conventionnelles de la coopérative.

3. SOUTIEN FINANCIER ET ENGAGEMENT POLITIQUE

Les réponses des participants à ce sujet sont divergentes. La plupart des répondants ne sont pas informés des règlements, des politiques, des normes et des programmes qui appuient le développement de la filière. Les coopératives qui ont bénéficié des mesures d'accompagnement financières et techniques ont une opinion favorable à une politique gouvernementale spécifique à la bioénergie forestière. Par ailleurs, la suspen-

sion du programme du Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques, pour la conversion de chaufferies à la biomasse forestière résiduelle, a eu pour conséquence de freiner le développement des systèmes de chaufferies, entravant ainsi le déploiement de la filière. En effet, le manque d'investissements initiaux est la principale contrainte à la mise en œuvre de projets de biomasse, ce qui est aussi corroboré dans l'étude de Forbord et coll. (2012).

4. IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Les impacts socio-économiques sont évalués grâce aux **emplois**. Ce sont les emplois directs qui sont les plus faciles à évaluer par les répondants. Les indicateurs énoncés par les répondants sont: le nombre d'emplois par année ou par tonne de biomasse produite et le nombre d'heures additionnelles par année et par tâche de travail. Cette approche permettra de quantifier le nombre d'emplois de la chaîne conventionnelle par rapport à la chaîne bioénergie. Par ailleurs, l'évaluation des impacts socio-économiques comprend aussi une analyse des réseaux d'acteurs et de la perception des publics.

RÉSEAUX D'ACTEURS ET BIEN-ÊTRE COMMUNAUTAIRE

La chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière comprend des activités et des acteurs liés les uns aux autres et qui forment un **réseau d'acteurs** complexe. La structure du réseau social permet, entre autres, de déterminer indirectement les bénéfices du développement d'une activité économique pour la communauté. En effet, lorsque le réseau social est dense et qu'il possède une forte cohésion, le potentiel d'action collective s'accroît (Bodin et Crona 2009) ce qui renforce le **bien-être communautaire**. Ainsi, le concept de réseau social a été présenté sous forme de synergies. Les **synergies** avancées par les répondants qui forment le réseau d'acteurs participant à la chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière correspondent aux liens directs entre la coopérative et les autres acteurs. Ces acteurs sont principalement les coopératives (intercoopération), les clients, les entrepreneurs, les fournisseurs, les organismes et les institutions. De plus, un des répondants a mentionné que «*présentement les synergies sont beaucoup plus importantes avec la Fédération (FQCF)*». Ainsi, la FQCF joue un rôle important pour structurer la filière et elle pourrait agir comme un acteur central pour les acteurs satellites.

PERCEPTION DES PUBLICS

La perception des publics peut avoir une influence majeure lors du développement d'une nouvelle activité. Si cette perception est négative, la nouvelle activité aura de la difficulté à s'implanter au sein de la communauté et à l'inverse, une perception positive favorisera le développement de cette dernière. Les publics identifiés par les répondants correspondent aux membres de la coopérative et/ou de la filiale, aux clients, à la communauté de la région, aux citoyens québécois, aux élus et aux opérateurs de machinerie. Toutefois, la communauté et les citoyens ne seront pas retenus pour l'analyse étant donné qu'il s'agit de catégories trop générales.

5. ENVIRONNEMENT

L'impact positif qui a été soulevé par tous les répondants est celui des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, sans distinction pour le carbone ou les autres types de gaz. Par ailleurs, des **impacts négatifs** tels que, l'orniérage et la présence de lixiviats dans le centre de conditionnement ont été soulevés lors des entrevues. En effet, la récolte de biomasse accentue le nombre de passages sur le parterre de coupe, ce qui peut augmenter l'orniérage. Il est recommandé de restreindre et d'optimiser le nombre de voyages, de laisser certains débris ligneux qui protègent le sol et de préconiser la récolte en hiver (Thiffault et coll. 2015). En ce qui concerne les lixiviats, l'accumulation d'empilements de biomasse non-abrités peut provoquer la production de lixiviats, ce qui peut contaminer les nappes phréatiques. Les participants ont mentionné leur inquiétude quant à l'obligation de mettre en place des mécanismes de traitement des eaux pour traiter la biomasse forestière. Enfin, un **impact neutre** est aussi soulevé, soit que la récolte de biomasse forestière génère les mêmes impacts négatifs que la récolte du bois marchand en opération conventionnelle.

De façon générale, les répondants considèrent le développement de la biomasse forestière comme étant bénéfique pour l'environnement même s'ils sont conscients que des **lignes directrices environnementales** doivent être suivies. Toutefois, l'environnement est considéré, pour la plupart des répondants, comme un facteur moins important que les facteurs économique et social.

RECOMMANDATIONS POUR LA RÉALISATION DU SONDAGE

La réalisation d'un sondage durant la **deuxième phase** de l'étude permettra de décrire plus en profondeur les éléments identifiés lors des entrevues semi-dirigées et de quantifier les impacts socio-économiques dans des perspectives stratégiques et opérationnelles. Dans le cadre de ce sondage, il est suggéré de questionner les dix-huit coopératives membres de la FQCF qui font de la récolte des produits du bois standards et ce, qu'elles produisent ou non de la biomasse forestière. L'étude pourrait être enrichie par la participation des groupements forestiers qui ont une structure d'entreprise similaire et réalisent le même type d'activités, mais en forêt privée. Voici les recommandations qui peuvent encadrer l'élaboration du sondage :

MOTIVATIONS ET INTÉRÊTS

Pour connaître l'importance des raisons mentionnées, il est suggéré d'inclure dans le sondage une classification des ces raisons en ordre d'importance. Il serait ainsi possible de mieux comprendre quels sont les intérêts qui poussent un organisme à vouloir ou non développer la filière de la biomasse forestière résiduelle.

CONTRAINTES ET OPPORTUNITÉS

Plusieurs solutions aux contraintes identifiées ont été mentionnées lors des entrevues, mais il serait pertinent d'insérer dans le sondage des questions qui permettent d'approfondir ce sujet. Pour être en mesure d'évaluer l'importance de chaque contrainte et opportunité soulevée dans la première phase, il est suggéré de demander aux répondants de classer les contraintes et les opportunités selon leur importance relative. De cette façon, il sera possible d'identifier les plus significatives et de proposer des mécanismes pour favoriser le déploiement de la filière.

SOUTIEN FINANCIER ET ENGAGEMENT POLITIQUE

Afin d'identifier les mécanismes d'accompagnement à mettre en place par les gouvernements, il est nécessaire d'étudier les règlements, les normes, les politiques, les programmes et

les mesures existantes selon les différentes juridictions gouvernementales. De plus, pour évaluer les répercussions du soutien financier octroyé, il faudrait connaître le nombre de projets liés directement à la filière de la biomasse forestière à des fins énergétiques et qui ont été supportés par le gouvernement. La FQCF possède de l'information complémentaire concernant la nature et le nombre de projets ayant été mis en place ainsi que sur le soutien financier reçu par le gouvernement. Cette information pourra être utilisée pour mesurer l'implication des gouvernements quant au développement de la filière bioénergie.

IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Il est suggéré de réaliser la comparaison des deux chaînes, soit la chaîne conventionnelle et la chaîne bioénergie en matière de maintien et de création d'emplois (personnes/années). Les données à collecter seront choisies pour permettre aux participants de répondre au meilleur de leurs connaissances. Par ailleurs, il est aussi proposé d'évaluer la rentabilité économique par le biais d'une analyse coûts-bénéfices.

RÉSEAUX D'ACTEURS ET BIEN-ÊTRE COMMUNAUTAIRE

Pour déterminer la structure du réseau d'acteurs qui se développe grâce à la chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière, il est suggéré de quantifier le nombre de synergies, de classer ces synergies par type et par importance, d'attribuer un lien de proximité à chacune de ces synergies et de les qualifier en fonction de leur longévité, c'est-à-dire s'il s'agit d'une nouvelle synergie ou d'une synergie établie depuis un moment et appelant à des renforcements.

PERCEPTION DES PUBLICS

Pour déterminer la perception des publics identifiés, il sera nécessaire d'élaborer un sondage distinct dirigé à un échantillon de chaque public identifié.

ENVIRONNEMENT

Il est suggéré d'utiliser les trois niveaux de réponse identifiés lors des entrevues semi-dirigées, qui sont les suivants :

- 1) Les études d'impacts et les suivis environnementaux;
 - 2) L'importance attribuée à l'environnement;
 - 3) Les lignes directrices et les normes environnementales.
- De plus, l'analyse des aspects sociaux et environnementaux présentée dans le Plan directeur de la FQCF (Lemieux et coll. 2013) pourrait être utilisée pour faciliter l'élaboration du sondage.

CONCLUSION

La première phase de l'étude a permis de connaître la structure et les acteurs impliqués dans les chaînes d'approvisionnement en biomasse forestière des coopératives forestières et d'identifier les facteurs qui ont un impact sur le développement de la filière. Ces facteurs ont été abordés sous 5 thèmes, soit les motivations et les intérêts, les contraintes et les opportunités, le soutien financier et l'engagement politique, les aspects socio-économiques et l'environnement. Les résultats démontrent que la principale motivation pour développer la chaîne bioénergie est la diversification, soit des activités de l'entreprise, des marchés et/ou des opérations forestières. La principale contrainte de la chaîne bioénergie est associée à la mise en marché. De ce fait, il serait souhaitable de disposer d'un jeu élargi de stratégies et de mécanismes pour mieux aborder de nouveaux clients. Quant aux opportunités soulevées, il est principalement question du développement du marché et de la diversification du panier de produits. D'autre part, le développement d'une nouvelle technologie, peu importe le domaine, demande toujours une période de temps pour que l'activité devienne rentable. Ainsi, la section du soutien financier et de l'engagement politique permet de constater que le soutien gouvernemental accélérerait le déploiement de la filière. Les impacts socio-économiques, quant à eux, seraient à évaluer à partir des emplois, des réseaux d'acteurs et les perceptions de différents publics. En ce qui concerne l'aspect environnemental les répondants considèrent le développement de la biomasse forestière comme étant bénéfique pour l'environnement, même s'ils sont conscients que des lignes directrices environnementales doivent être suivies. Enfin, cette étude a permis d'émettre des recommandations afin d'élaborer une enquête permettant de mieux cerner les impacts socio-économiques dans des perspectives stratégiques et opérationnelles de la chaîne bioénergie.

REMERCIEMENTS

La production de ce document a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de Ressources naturelles Canada, de l'Université Laval, de la Fédération québécoise des coopératives forestières et des coopératives forestières participantes. Les auteurs tien-

nent à remercier la Coopérative forestière de la Matapédia, la Coopérative forestière de St-Dominique, la Coopérative forestière de Petit Paris, la Coopérative forestière de Ferland-Boilleau, l'Association coopérative forestière de St-Elzéar et le Groupe Forestra coopérative forestière pour leur participation aux entrevues.

RÉFÉRENCES

Bodin, Ö., et Crona, B. I. 2009. The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference? *Global Environmental Change*, 19(3), 366–374. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.05.002>

Forbord, M., Vik, J., et Hillring, B. G. 2012. Development of local and regional forest based bioenergy in Norway – Supply networks, financial support and political commitment. *Biomass and Bioenergy*, 47, 164–176. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.045>

Lemieux, D., Dutil, C., Gagné, E., St Onge, S., et Bourke, P. 2013. Filière de la biomasse forestière destinée à la production de chaleur. Plan directeur de la Fédération québécoise des coopératives forestières. Fédération québécoise des coopératives forestières. 69 p.

Serra, R., et Bouthillier, L. 2016. Aspects socio-économiques, politiques et environnementaux de la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle : le cas des coopératives forestières du Québec. Fédération québécoise des coopératives forestière; Université Laval. (Québec) Québec. 64 p.

Thiffault, E., St-Laurent Samuel, A., et Serra, R. 2015. La récolte de biomasse forestière: saines pratiques et enjeux écologiques dans la forêt boréale canadienne. RNCAN, SCF, Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec); Nature Québec; Fédération québécoise des coopératives forestières. 87 p.



PHOTO : DENNIS JARVIS / FLICKR 2010

3.2

ANALYSE SOCIO-ÉCONOMIQUE PRÉLIMINAIRE SUR LA MISE EN PLACE DE LA FILIÈRE DU CHAUFFAGE À LA BIOMASSE FORESTIÈRE RÉSIDUELLE.

PORTRAIT DE LA SITUATION EN 2016 ¹

Anne Bernard, Rut Serra et Nancy Gélinas

DANS CETTE SECTION

Introduction	96
Résultats	96
1. Volet 1	96
2. Volet 2	99
État de la situation	100
Conclusion et recommandations	101
Remerciements	101
Références	102

MOTS CLÉS

Biomasse forestière résiduelle
Chauffage
Retombées socio-économiques
Création d'emplois
Indicateurs
Clients
Clé en main

RÉSUMÉ

Depuis près de 10 ans, la production de biomasse forestière à des fins énergétiques occupe une place grandissante dans le monde forestier au Québec. Afin de comprendre les retombées socio-économiques de cette activité, une recherche exploratoire, en deux phases, a permis de définir les enjeux et les opportunités d'une telle filière. Suite aux résultats obtenus au cours de la première phase, et qui sont présentés dans la synthèse précédente, un sondage a été développé pour mieux comprendre la perception de la filière des organisations impliquées dans la chaîne d'approvisionnement en biomasse, mais aussi des organisations qui n'y sont pas encore impliquées. L'objectif de cette seconde phase de l'étude, faisant donc l'objet de cette synthèse, était donc de dresser un portrait de la filière afin d'en évaluer les perceptions des acteurs impliqués et les retombées socio-économiques. Les résultats de l'enquête démontrent que les efforts pour valoriser la biomasse forestière auprès des coopératives portent fruit puisque les acteurs impliqués sont positifs face à la mise en œuvre de tels projets. Néanmoins, il faut continuer à faire la promotion de la biomasse auprès des acteurs qui ne prennent pas encore part à la filière. Les résultats permettent aussi d'estimer le nombre d'emplois créés grâce à l'ajout de la filière biomasse au sein d'une organisation. Il faudra toutefois bonifier ces valeurs grâce aux données recueillies au moyen d'une grille d'indicateurs socio-économiques qui devra être complétée par les organisations impliquées dans la production de biomasse. De plus, la question du développement de la clientèle reste un enjeu important pour les producteurs. Il est donc proposé de les accompagner dans leur recherche de clients à une échelle locale. Finalement, le support du gouvernement est essentiel pour assurer la viabilité de la filière, et ce, afin de stimuler des projets qui viseront à offrir des services « clés en main » aux clients.

1 Document de référence : Bernard et coll. (2016)

INTRODUCTION

Au Québec, bien que la biomasse forestière soit depuis longtemps utilisée par les usines de sciage et de pâtes et papiers pour leurs besoins internes d'énergie, celle-ci demeure très peu exploitée par les autres secteurs industriels et les secteurs commercial et institutionnel. Pourtant, le chauffage à la biomasse forestière résiduelle est associé à de nombreux avantages tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la création d'emplois en région et la diversification de l'utilisation de la ressource forestière (Lemieux et coll. 2013, MRNF - CRIQ 2011). Depuis 2009, avec son plan d'action pour la valorisation de la biomasse forestière et sa nouvelle politique sur l'énergie, le Québec tente de mettre en œuvre une filière bioénergétique rentable, structurante et respectueuse de l'environnement.

Parmi les éléments mentionnés lors de la phase 1 de cette étude (Serra et Bouthillier 2016), les retombées socio-économiques de la filière constituent une thématique d'intérêt pour les acteurs. Dans ce contexte, les acteurs qui sont visés par de tels projets sont les coopératives forestières et les groupements forestiers. Ces deux types d'organisations sont les premiers à s'être engagés dans la production de biomasse forestière résiduelle dans le but d'approvisionner des chaufferies institutionnelles ou commerciales. Au Québec, on compte 18 coopératives de travailleurs qui font de la récolte de bois pour les produits conventionnels (sciage, pâte) et 42 groupements forestiers. La deuxième phase de l'étude vise à élargir le portrait de la production de biomasse forestière en effectuant un sondage auprès de ces coopératives et groupements. Pour ce portrait, l'emphase a été mise sur les enjeux sociaux, économiques et environnementaux tels que perçus par les dirigeants de ces organisations. Plus précisément, il était envisagé de faire ressortir la contribution de la filière biomasse à la création d'emplois et de revenus pour ces organisations.

Pour y parvenir, deux volets ont été effectués. Le premier volet comprenait une enquête en ligne distribuée aux directeurs

généraux ou les responsables des projets de biomasse forestière des acteurs ciblés, soit 18 coopératives et 42 groupements. Puisque l'objectif de l'étude était de faire un état des lieux de la mise en œuvre de la filière, toutes les organisations, qu'elles produisent ou non de la biomasse forestière, étaient invitées à participer à l'enquête. Le questionnaire était divisé en trois sections distinctes : une première section comprenant des questions en lien avec les informations générales de l'organisation, une deuxième section associée à la production de biomasse forestière et une troisième section comprenant une grille d'appréciation en lien avec une série d'arguments en faveur et en défaveur de la biomasse forestière. Cette grille avait comme objectif de mieux comprendre les perceptions et la position des différents types de répondants face à la mise en œuvre d'une filière de chauffage à la biomasse forestière résiduelle.

Le deuxième volet visait à obtenir des résultats plus précis concernant la création d'emplois. Pour ce faire, des entrevues dirigées ont été réalisées auprès des directeurs généraux ou du responsable du dossier biomasse au sein de trois coopératives forestières et d'une entreprise spécialisée dans la vente d'énergie à partir de la biomasse. Le nombre d'emplois a été évalué pour l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en biomasse forestière résiduelle, soit de la forêt jusqu'à la livraison du produit final (plaquettes/vente d'énergie). L'enquête portait sur la chaîne d'approvisionnement intégrée aux opérations de récolte conventionnelle.

RÉSULTATS

1. VOLET 1

Au total, 32 questionnaires ont été considérés dans l'analyse. L'échantillon était constitué de 21 groupements forestiers et de 11 coopératives forestières ce qui correspond à 53 % de la population totale (Tableau 1).

	Coopératives forestières	Groupements forestiers	TOTAL
Population totale	18	42	60
Produisant de la biomasse	8	Environ 4 ²	--
Échantillon	11	21	32
Produisant de la biomasse	6	2	8

Tableau 1 - Distribution des organisations en fonction de leur production de biomasse et de leur statut (groupement ou coopérative).

2 Communication personnelle - Marc Beaudoin, directeur général, RESAM.

La majorité des organisations (21/32) avaient un chiffre d'affaires inférieur à 5 millions de dollars. Les coopératives avaient majoritairement plus de 21 employés à temps plein (5/11), suivi de près par la classe des 5 employés et moins (3/11) et le nombre d'emplois saisonniers se répartissait dans les différentes classes (≤ 10 à ≥ 81 employés). La majorité des groupements possédait moins de 20 employés à temps plein (19/21), et dans la plupart des cas, moins de 20 employés saisonniers (10/21). En moyenne, les employés saisonniers travaillaient 23 semaines par année au sein des organisations enquêtées. Il est à noter que le nombre d'employés saisonniers comprend les emplois en travaux sylvicoles et en opérations forestières. Toutefois, les entrepreneurs de récolte, étant ceux impliqués dans l'activité biomasse, ont une période de chômage plus restreinte (de l'ordre de 1 à 2 mois par année) que celle des employés en travaux sylvicoles. En moyenne, la masse salariale, qui comprend aussi la main d'œuvre en travaux sylvicoles, représentait près de 40 % du chiffre d'affaire total mais celle-ci variait considérablement entre les organisations. Parmi les activités pratiquées, toutes les coopératives et les groupements forestiers sondés pratiquaient de la récolte de bois et presque la totalité effectuait des travaux sylvicoles (31/32). La production de biomasse était considérée marginale, c'est-à-dire pratiquée par moins de 10 organisations. En ce qui concerne la récolte de bois, la majorité des organisations (24/32) réalisaient un abattage mécanisé des tiges avec l'ébranchage directement sur le parterre de coupe.

ORGANISATIONS PRODUCTRICES DE BIOMASSE

Les organisations productrices de biomasse ont été questionnées par rapport aux éléments suivants :

- Procédé de récolte de biomasse, type de produits écoulés et distance de transport;
- Ancienneté, expérience et importance de la biomasse au sein de l'organisation;
- Emplois et rentabilité associés à la biomasse;
- Clients et stratégies de démarchage.

La récupération de biomasse se fait, majoritairement, de façon **intégrée aux opérations conventionnelles** (6/8). Le type

de produit écoulé qui a été mentionné le plus souvent est la **biomasse conditionnée et transformée en plaquettes**. Un seul répondant fait la distribution d'énergie dans le cadre de projets clés en main. Parmi les répondants, la distance de transport qui sépare les producteurs des clients était d'environ **85 km en moyenne**.

Le nombre d'années d'exploitation de la biomasse était majoritairement compris entre **moins d'un an et cinq ans** (6/8) et les répondants (5/8) considéraient avoir une **maîtrise moyenne** de la chaîne d'approvisionnement en biomasse. Parmi les répondants qui produisent de la biomasse forestière, l'activité de biomasse représentait moins de **10 %** des activités de leur organisation (7/8).

Trois répondants considéraient que la production de biomasse favorise l'**allongement des heures** travaillées par les employés saisonniers. Toutefois, même si l'activité de biomasse leur permettait de faire travailler leur personnel, pour l'ensemble des répondants, la rentabilité enregistrée se qualifiait entre **faible, nulle et déficitaire** et leur production se situait généralement en-dessous de la masse critique de rentabilité évaluée par l'organisation.

Pour le moment, les organisations approvisionnent entre **1 et 4 clients** avec des quantités qui varient grandement d'un client à l'autre, soit de moins de 100 tonnes métriques anhydres (tma) à plus de 10 000 tma annuellement. Six répondants sur huit ont souligné qu'il existe des clients potentiels dans leur région et les principales **stratégies de démarchage** qui ont été évoquées par les répondants sont via les réseaux des MRC et des CLD (5/8), en faisant du porte à porte (4/8), grâce au bouche à oreille (4/8) et via les services de la FQCF (4/8).

ORGANISATIONS NON PRODUCTRICES DE BIOMASSE

En ce qui concerne les organisations qui ne produisent pas de biomasse, elles ont été questionnées sur leur intérêt futur à produire de la biomasse forestière. La majorité étaient intéressées à le faire dans un **avenir plus ou moins rapproché** et pour celles qui ne désiraient pas en produire, il était possible que leur position change (Figure 1).

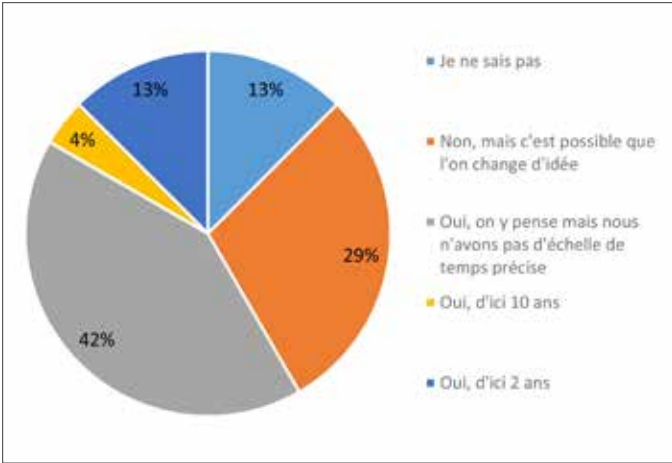


Figure 1 - Distribution des réponses des organisations qui ne produisent pas de biomasse pour le moment et leur intérêt à le faire dans le futur.

MATRICE DES ARGUMENTS EN FAVEUR ET DÉFAVEUR DE LA PRODUCTION DE BIOMASSE

Les répondants ont été invités à répondre à une grille d'appréciation des arguments **en faveur** et **en défaveur** de la biomasse forestière. Cette échelle a été bâtie en se basant sur les réponses obtenues lors de la première phase de l'étude (Serra et coll. 2016). Les figures 2 et 3 présentent l'importance relative des arguments en faveur et défaveur pour l'ensemble des répondants³.

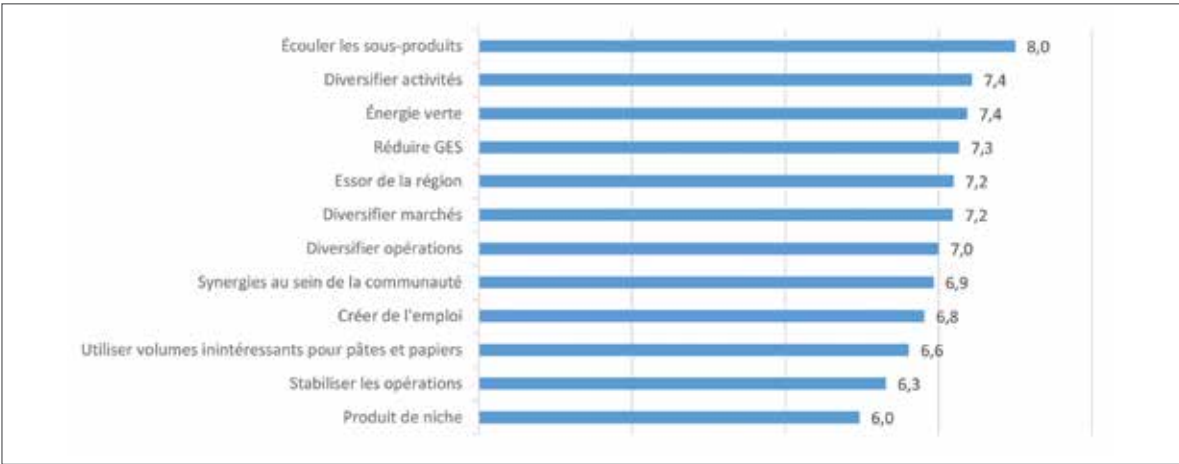


Figure 2 - Importance relative des arguments en faveur de la biomasse forestière pour l'ensemble des répondants.



Figure 3 - Importance relative des arguments en défaveur de la biomasse forestière pour l'ensemble des répondants.

3 Interprétation des valeurs numériques attribuées : 1 = pas du tout d'accord, 3 = Pas d'accord, 5 = ni en désaccord ni en accord, 7 = d'accord, 9 = tout à fait d'accord.

Le fait que la biomasse permet d'écouler les sous-produits du bois semblait être l'argument avec lequel l'ensemble des répondants étaient le plus en accord. De manière générale, les répondants sont en accord avec tous les autres arguments en faveur puisque les moyennes se situent au-delà de la valeur 5. En ce qui concerne les arguments en défaveur, les répondants ont des opinions plus variables puisque les moyennes se partagent entre 3,7 et 7,3. Cependant, les répondants sont en accord avec le fait que la biomasse forestière ne génère pas nécessairement de revenus intéressants mais ils sont en désaccord avec les arguments « ne génère pas d'emplois » et « nuit aux opérations conventionnelles », ce qui est cohérent avec les avantages reconnus de la filière biomasse.

Parmi les arguments qui se sont avérés significativement différents entre les groupes, les **coopératives et les producteurs** de biomasse sont plus en accord avec les arguments en faveur et moins en accord avec les arguments en défaveur, et ce, par rapport aux groupements et aux organisations qui ne produisent pas de biomasse.

2. VOLET 2

Avec une production de biomasse annuelle comprise entre 3 000 et 4 700 tma et une production annuelle moyenne des quatre organisations consultées d'environ 3 800 tma, le nombre d'emplois moyen a été estimé entre **1,0 et 2,8 personnes/année**. La coopérative 1 et l'entreprise spécialisée ont un nombre d'emplois plus élevé que les deux autres coopératives, ce qui pourrait s'expliquer par le fait qu'elles offrent des services clés en main (vente d'énergie). Pour la coopérative 3, le nombre d'emplois a été estimé à 0,6 personnes/année. Étant donné que cette coopérative est en charge d'une partie seulement de la chaîne, soit de la récolte jusqu'au transport routier de la biomasse sous forme de baguettes⁴, elle n'a pas de poste de travail dédié uniquement à la production de biomasse. D'après les résultats du laboratoire rural réalisé par la Coopérative forestière de la Matapédia (2013), le nombre d'emplois avait été estimé à 0,8 emploi/GWh. Dans le cadre de notre étude, celui-ci était compris entre **0,04 et 0,2 emploi/GWh**. Cet écart pourrait s'expliquer par le fait que dans l'étude du laboratoire rural, la valeur obtenue comprend aussi les postes dédiés aux services conseil, à la formation et au poste de chercheur spécialiste en combustion.

Tableau 2 - Description du profil de chaque organisation et de l'activité biomasse

DESCRIPTION	INDICATEUR	UNITÉ	COOPÉRATIVE 1	COOPÉRATIVE 2	COOPÉRATIVE 3	ENTREPRISE SPÉCIALISÉE
Profil organisation ¹	Chiffre d'affaires total	M\$	16	20	4,4	0,8-0,9
	Employés temps plein	Nbre	12	20	11	2
	Employés saisonniers	Nbre	86	150-200	35	2
Activité biomasse	Chiffre d'affaires biomasse	M\$	0,7	0,44	0,08	0,8-0,9
	Années de production	Ans	7	3	4	
	Proportion activité	%	4 %	2 %	2 %	100 %
	Clients	Nbre	6	2	1	
	Clé en mai	Oui / Non	Oui	Non	Non	Oui
	Volume	tma / année	3600	4700	3000	
	Emplois ²	personne / année ³	2,8	1,0	0,6	2,7
						3,3

1 Les valeurs prennent en considération l'ensemble des activités de l'organisation, ce qui inclut aussi les travaux sylvicoles.

2 Le nombre d'emplois estimé ne prend pas en considération les emplois créés dans la phase de démarrage et de construction d'un projet mais comprend les emplois permanents lorsque l'activité biomasse est établie.

3 Assomption: 1 personne/année = 1645 heures à temps plein.

4 Baguettes: terme utilisé par les opérateurs désignant une section de la partie non marchande de la tige, dont le diamètre est inférieur à 9,1 cm, et qui est donc déclassée et peut ainsi servir de biomasse pour la production de bioénergie. La baguette est façonnée par l'abatteuse-façonneuse et peut être de différentes longueurs.

ÉTAT DE LA SITUATION

À la lumière des résultats obtenus plusieurs constats peuvent être émis. Premièrement, nous constatons que l'importance accordée par les répondants aux **arguments en faveur** de la biomasse n'est pas négligeable. Le besoin d'écouler les sous-produits du bois, la diversification des activités au sein des organisations et le fait que l'activité biomasse permet de stabiliser les opérations forestières conventionnelles sont des exemples reconnus par les répondants. Tous les répondants accordent aussi une importance élevée à la production d'une énergie verte et à la réduction des émissions de GES ce qui cadre avec les avantages qui découlent de l'utilisation de la biomasse forestière. De plus, à la différence des groupements, les coopératives considèrent que l'ajout de la filière biomasse ne nuit pas aux opérations conventionnelles et que l'approvisionnement en matière première n'est pas incertain. Toutefois, l'écart observé entre les groupes indique qu'il faut continuer de promouvoir la biomasse auprès des organisations qui ne sont pas encore impliquées dans la filière. Les incertitudes associées aux faibles revenus de cette activité, aux coûts élevés de mise en œuvre et à la difficulté de distribuer les produits sur les marchés peuvent représenter des freins importants au déploiement de la filière.

Deuxièmement, la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle est toujours une **filière en phase de développement** à l'échelle régionale, principalement au sein des coopératives et des groupements forestiers. Les activités en lien avec la production de biomasse ne sont pas à une étape de consolidation, mais plutôt à une étape de structuration. Bien que certaines organisations pratiquent cette activité depuis une longue période (2/8), les revenus associés à la production de biomasse restent encore marginaux (moins de 10% des activités). Une majorité des répondants estime leur niveau de maîtrise de la filière comme étant moyen. Ce résultat permet de croire que les producteurs se situent à mi-chemin sur la courbe d'apprentissage.

Troisièmement, le nombre **d'emplois** créés dans la chaîne de production de la biomasse forestière résiduelle reste plutôt approximatif. Certes le second volet de cette étude a permis de mieux cerner le nombre d'emplois associés à la chaîne de production de bioénergie, mais il faudra continuer de compiler des informations en ce sens. Il serait pertinent de faire un lien entre les résultats des études de temps et mouvement déjà réalisées dans le domaine de la biomasse forestière par FPInnovations (2016) pour mieux comparer les résultats obtenus dans la présente étude. Afin de déterminer une manière de mieux quantifier les retombées socio-économiques de la

filière, l'étude propose de développer une liste **d'indicateurs socio-économiques** qui devraient être intégrés dans les rapports des producteurs de biomasse forestière. Un exemple de grille est disponible dans le rapport.

Quatrièmement, la question du développement de la **clientèle** reste un enjeu très important dans la mise en œuvre de projets de chauffage à la biomasse forestière résiduelle puisque l'atteinte rapide d'un volume d'affaires significatif est nécessaire à la mise en place d'infrastructures de production de combustible de qualité assurant la performance des installations de production de chaleur. Certes, les répondants qui produisent de la biomasse approvisionnent leurs clients, mais des études additionnelles sur les clients potentiels à une échelle régionale seraient nécessaires. De plus, l'accompagnement des organisations dans leur recherche de nouveaux clients permettraient certainement de réduire les craintes des organisations intéressées à produire de la biomasse dans un futur rapproché. La FQCF a identifié de grands groupes de clientèles potentielles dans son plan directeur, mais une meilleure connaissance des clients locaux et de leurs besoins permettrait d'orienter plus spécifiquement les producteurs de biomasse.

Cinquièmement, la suspension du **programme d'aide financière** pour des projets de conversion énergétique à la biomasse forestière résiduelle, mis en place par le Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétique, a freiné la substitution de chaudières vétustes qui fonctionnent avec du mazout nuisant ainsi au développement de la filière. Néanmoins, le renforcement de la confiance dans la technologie, dans un approvisionnement sécuritaire et de qualité et dans une opération simple et confirmée, permettront d'encourager les clients à convertir leurs installations par de la bioénergie (Lemieux et coll. 2013). Ainsi, la biomasse forestière résiduelle se place parmi les options à prendre en considération dans le portefeuille énergétique québécois.

Finalement, ce sont les **projets clés en main** qui semblent être la solution la plus intéressante pour les promoteurs de projets de chauffage à la biomasse forestière résiduelle. Les projets clés en main permettent de créer de nouveaux emplois, et ce principalement dans la phase de production d'énergie. Toutefois, les coûts associés au démarrage de tels projets sont importants. Des aides financières et des solutions de financement adaptées, tel que le propose le Fonds Biomasse Énergie, un partenariat de IQ, Fondation et la FQCF, permettraient de démarrer des initiatives du genre pour en favoriser la promotion.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les résultats issus de cette recherche permettent de tracer un **portrait préliminaire** puisque plusieurs éléments doivent être approfondis. Par exemple, il faudrait avoir une meilleure compréhension des coûts et des bénéfices associés à cette activité à l'échelle de l'entreprise, faire une étude plus approfondie des clients potentiels locaux et de leurs attentes et développer une liste d'indicateurs socio-économiques permettant de mesurer les retombées générées par cette filière et ainsi d'en justifier les investissements.

Les résultats suggèrent que les efforts mis par le regroupement Vision Biomasse Québec et la FQCF pour promouvoir les avantages de la biomasse forestière auprès des acteurs ciblés au détriment des énergies fossiles sont très importants. Toutefois, il faut poursuivre ces efforts pour réduire les craintes des acteurs qui ne sont pas encore familiers avec le chauffage à la biomasse forestière. De plus, la mise en œuvre de projets clés en main permettrait aux entrepreneurs de projets de chauffage à la biomasse forestière résiduelle de donner l'exemple à d'autres organisations intéressées à développer de telles initiatives. L'appui gouvernemental pour démarrer la filière est essentiel afin de développer une filière viable. Il s'agit certes de faire la promotion d'une énergie verte au détriment du mazout, mais également de démontrer que la production de biomasse est une option socio-économique non négligeable puisqu'elle stimule la création d'emplois dans des régions dévitalisées.

Il est difficile de poser un diagnostic clair sur l'avenir de la biomasse au Québec. Néanmoins, dans un contexte où les considérations énergétiques prennent de plus en plus d'ampleur sur la tribune publique, l'utilisation de la ressource forestière disponible pour répondre aux besoins énergétiques futurs doit faire partie de l'équation. Certes, le coût actuel du pétrole entraîne des périodes de retour de l'investissement qui entravent la conversion à court terme. Par contre, à plus longue échelle, il faut considérer la filière de la biomasse comme étant une solution environnementale, sociale et économiquement durable. C'est pourquoi les organisations impliquées dans la récolte de la ressource forestière doivent jouer un rôle d'avant plan dans la mise en œuvre de cette activité.

REMERCIEMENTS

La production de ce document a été rendue possible grâce au soutien financier de l'Initiative écoÉNERGIE sur l'innovation de Ressources naturelles Canada, du réseau des centres d'excellence BioFuelNet Canada, de l'Université Laval, de la Fédération québécoise des coopératives forestières et des coopératives forestières participantes. Les auteurs tiennent à remercier la Coopérative de gestion forestière des Appalaches pour sa participation dans l'élaboration du questionnaire. Cette recherche n'aurait été possible sans la participation des coopératives forestières et des groupements forestiers qui ont accepté de prendre leur temps pour compléter l'enquête. En espérant que les résultats futurs de cette étude permettront de mieux comprendre les impacts socio-économiques de la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle.

RÉFÉRENCES

Bernard, A., Serra, R., et Gélinas, N. 2016. Rapport Chauffage à la biomasse forestière résiduelle. Portrait de la situation en 2016. Analyse socioéconomique préliminaire sur la mise en place de la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle. Université Laval; Fédération québécoise des coopératives forestières. Québec (Québec). 29 p.

Coopérative forestière de la Matapédia 2013. Bois Énergie Matapédia Laboratoire rural 2008-2013.

Desrochers, L. 2016. Récolte intégrée de biomasse lors d'une première éclaircie commerciale dans un peuplement résineux naturel. Rapport de contrat 12187-1. FPInnovations. 60 p.

Lemieux, D., Dutil, C., St-Onge, S., Gagné, E. et Bourke, P. 2013. Plan directeur pour le développement et le financement de la filière de la biomasse forestière destinée à la production de chaleur. Rapport final. ÉcoRessources inc., Demers Beaulne et RNCREQ, pour la Fédération québécoise des coopératives forestières, 88 p.

MRNF – CRIQ 2011. Profil des produits forestiers – Technologies de bioénergies à base de biomasse forestière. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec, 190 p.

Serra, R. et Bouthillier, L. 2016. Aspects socio-économiques, politiques et environnementaux de la filière du chauffage à la biomasse forestière résiduelle: le cas des coopératives forestières du Québec. Fédération québécoise des coopératives forestière; Université Laval. Québec (Québec). 64 p.



L'innovation pour le bénéfice des communautés et de l'environnement



Fédération québécoise
des coopératives forestières

En collaboration avec

