



UNIVERSITÉ DE MONCTON  
EDMUNDSTON MONCTON SHIPPAGAN  
Chaire K.-C.-Irving en développement durable

# ATLAS DE LA RESSOURCE ÉNERGÉTIQUE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE AU NOUVEAU-BRUNSWICK

Stéphane Bouchard, Mathieu Landry et Yves Gagnon

Chaire K.-C.-Irving en développement durable  
Université de Moncton  
Septembre 2012

Le présent rapport a été préparé par la Chaire K.-C.-Irving en développement durable de l'Université de Moncton. L'évaluation de la ressource énergétique de la biomasse forestière a été basée sur les données forestières afin de déterminer la récolte annuelle potentielle de la biomasse forestière ainsi que le potentiel technique exploitable de cette dernière pour la production d'électricité et de chaleur dans chaque aire d'approvisionnement. La Chaire K.-C.-Irving en développement durable a exécuté l'analyse avec assiduité, tout en suivant les normes de l'industrie. La Chaire K.-C.-Irving en développement durable n'assume aucune responsabilité en ce qui concerne l'utilisation des résultats présentés dans ce rapport.

## SOMMAIRE EXÉCUTIF

La Chaire K.-C.-Irving en développement durable de l'Université de Moncton, en partenariat avec le Ministère de l'énergie du Nouveau-Brunswick, a développé un atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière au Nouveau-Brunswick. L'atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière est constitué d'un ensemble de cartes représentant la ressource annuelle potentielle en biomasse forestière ainsi que le potentiel de la puissance technique de la biomasse forestière pour la cogénération d'électricité et de chaleur dans des centrales industrielles de cogénération (CHP).

Les résultats du développement de l'atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière du Nouveau-Brunswick démontrent que la récolte annuelle totale potentielle de la biomasse forestière dans la province du Nouveau-Brunswick est de 15 518 829 tonnes métriques vertes (T.M.V.). De ce total, 8 955 290 T.M.V. proviennent d'espèces de bois mous, tandis que 6 563 538 T.M.V. proviennent d'espèces de bois de feuillus. La récolte annuelle potentielle la plus élevée, estimée à 1 646 573 T.M.V., se retrouve dans l'aire d'approvisionnement de Plaster Rock tandis que la récolte annuelle potentielle la plus faible, estimée à 240 106 T.M.V., se retrouve dans l'aire d'approvisionnement de Tracadie-Sheila. La moyenne provinciale est de 912 872 T.M.V. par aire d'approvisionnement avec un écart-type de 355 457 T.M.V. Les résultats indiquent que 63% de la récolte annuelle totale potentielle proviendrait du bois marchand (9 765 545 T.M.V.), 27% proviendrait de la biomasse forestière résiduelle (4 252 376 T.M.V.), tandis que 10% proviendrait de l'écorce (1 500 907 T.M.V.).

Pour sa part, le potentiel énergétique annuel qui serait disponible à partir de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce au niveau de la province est d'environ 58,4 pétajoules (PJ). De ce total, 43,2 PJ proviendrait de la biomasse forestière résiduelle, tandis que l'écorce contribueraient 15,2 PJ.

En termes de potentiel électrique et de potentiel thermique, les résultats montrent que si toute la biomasse forestière résiduelle et l'écorce récoltées annuellement dans la province seraient utilisées comme combustible dans des centrales de CHP, un total de 463 MW<sub>e</sub> d'électricité et de 1 111 MW<sub>th</sub> d'énergie thermique pourrait être généré à partir de ces centrales. La répartition de l'énergie électrique et thermique annuelle potentielle par type de biomasse forestière montre que la biomasse forestière résiduelle pourrait fournir 343 MW<sub>e</sub> et 823 MW<sub>th</sub>, tandis que l'écorce pourrait fournir 120 MW<sub>e</sub> et 288 MW<sub>th</sub>.

Enfin, l'atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière du Nouveau-Brunswick démontre que la province du Nouveau-Brunswick est dotée d'une bonne ressource renouvelable qui doit être développée non seulement pour ses bénéfices et attributs environnementaux, mais aussi pour les bénéfices sociaux et économiques des citoyens et citoyennes du Nouveau-Brunswick.

## EXECUTIVE SUMMARY

The K.C. Irving Chair in Sustainable Development of the Université de Moncton, in partnership with the New Brunswick Department of Energy, produced a forest biomass to energy atlas of New Brunswick. The forest biomass to energy atlas consists of a set of maps presenting the annual forest biomass resource potential and the forest biomass technical power potential for the cogeneration of heat and power for the entire province of New Brunswick.

Results from the development of the New Brunswick forest biomass to energy atlas show that the total annual potential harvest of forest biomass in the province of New Brunswick is 15,518,829 green metric tonnes (GMT). From this total, 8,955,290 GMT would come from softwood species and 6,563,538 GMT from hardwood species. The highest annual potential harvest is located in the Plaster Rock procurement area and is estimated at 1,646,573 GMT, while the lowest is found in the Tracadie-Sheila procurement area with a total of 240,106 GMT. The provincial average is 912,872 GMT per procurement area with a standard deviation of 355,457 GMT. Results also indicate that 63% of the total annual potential harvest would come from merchantable wood (9,765,545 GMT), 27% would come from residual forest biomass (4,252,376 GMT), while the remaining 10% would come from the bark (1,500,907 GMT).

For its part, the province's total annual energy potential that would be available from residual forest biomass and bark is approximately 58.4 Petajoules (PJ). Of this total, residual forest biomass would provide 43.2 PJ, while bark would provide 15.2 PJ, respectively.

In terms of electric and thermal power potential, results show that if all the residual forest biomass and bark harvested annually in the province was to be used as fuel input in dedicated CHP plants, a total of 463 MW<sub>e</sub> of electricity and 1,111 MW<sub>th</sub> of thermal heat could be produced. A breakdown of the total annual potential electric and thermal energy by forest biomass type shows that the residual forest biomass could provide 343 MW<sub>e</sub> and 823 MW<sub>th</sub>, while the bark could provide 120 MW<sub>e</sub> and 288 MW<sub>th</sub>.

Finally, the New Brunswick forest biomass to energy atlas shows that the province of New Brunswick's forest biomass resource has a good potential for the cogeneration of heat and power in industrial-sized forest biomass-fired combined heat and power (CHP) plants. This New Brunswick renewable resource should be developed not only for its environmental benefits and attributes, but also for the social and economic benefits of the residents of the province.

**TABLE DES MATIÈRES**

Sommaire exécutif .....	2
Executive Summary .....	3
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	5
Contexte .....	6
La forèsterie au Nouveau-Brunswick .....	7
Méthodologie.....	9
Emplacement potentiel des centrales de cogénération, des aires d’approvisionnement et des zones de transport.....	9
Catégories et sources d’approvisionnement de la biomasse forestière.....	12
Conversion de la biomasse forestière en énergie (électricité et chaleur).....	13
Résultats .....	16
Récolte annuelle potentielle de la biomasse forestière .....	16
Potentiel de production annuelle d’énergie électrique et thermique.....	16
Distribution spatiale de la biomasse forestière dans les zones de transport.....	17
Validation .....	17
Analyse des résultats et discussion générale des résultats.....	26
Remerciements .....	28
Références .....	29

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Propriété terrienne au Nouveau-Brunswick (forêts et terres non boisées) .....	7
Figure 2: Emplacements potentiels des centrales de cogénération et des aires d’approvisionnement correspondantes.....	11
Figure 3: Zones de transport des aires d’approvisionnement .....	11
Figure 4: Carte de la récolte annuelle potentielle de la biomasse forestière totale dans la province du Nouveau-Brunswick par aire d’approvisionnement.....	20
Figure 5: Carte de la récolte annuelle potentielle de la biomasse forestière résiduelle et écorce dans la province du Nouveau-Brunswick par aire d’approvisionnement.....	21
Figure 6: Carte du potentiel technique exploitable annuel d’énergie électrique et thermique pour l’ensemble des aires d’approvisionnement .....	24

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Composantes de la biomasse forestière par catégories.....	12
Tableau 2: Méthodologie utilisée pour estimer les PAC de chaque catégorie de biomasse forestière et pour attribuer ces données aux aires d’approvisionnement .....	15
Tableau 3: Chaleurs calorifiques de la biomasse forestière basées sur une teneur en humidité de 50 %.....	13
Tableau 4: Total de la récolte annuelle potentielle en biomasse forestière (T.M.V.) avec une teneur en humidité de 50 % .....	18
Tableau 5: Récolte annuelle potentielle en biomasse forestière résiduelle et en écorce (T.M.V.) avec une teneur en humidité de 50% .....	19
Tableau 6: Détail du potentiel de production annuelle d’énergie électrique et thermique venant de la biomasse forestière résiduelle et de l’écorce pour l’ensemble des aires d’approvisionnement....	22
Tableau 7: Total du potentiel de production annuelle d’énergie électrique et thermique venant de la biomasse forestière résiduelle et de l’écorce dans l’ensemble des aires d’approvisionnement ...	23
Tableau 8: Distribution spatiale de la biomasse dans les zones de transport.....	25

## CONTEXTE

La Chaire K.-C.-Irving en développement durable de l'Université de Moncton, avec le Ministère de l'énergie du Nouveau-Brunswick, a développé un atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière au Nouveau-Brunswick.

La bioénergie, une forme d'énergie renouvelable, offre généralement une production d'énergie à la fois constante et contrôlable et peut contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serres (GES) venant de la production d'énergie, à condition que la biomasse soit exploitée de manière durable et que des systèmes de bioénergie efficaces soient utilisés [1]. Pour ces raisons, la biomasse forestière a reçu une attention croissante au cours de la dernière décennie dans des pays ayant une ressource forestière importante.

Plusieurs voies technologiques peuvent être utilisées pour exploiter la biomasse forestière comme source d'énergie; parmi celles-ci, la conversion de la biomasse forestière dans les centrales de cogénération d'électricité et de chaleur (CHP) est actuellement considérée comme l'une des meilleures options, en raison de sa haute efficacité énergétique [2].

À cette fin, la Chaire K.-C.-Irving en développement durable de l'Université de Moncton a développé un atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière pour la province du Nouveau-Brunswick à l'aide d'outils de cartographie de pointe et de données forestières. Ces cartes constituent un outil pour faciliter l'enquête initiale des sites afin de déterminer l'emplacement potentiel des centrales de cogénération. De plus, étant donné que ces cartes sont du domaine public, ils fournissent un moyen d'informer le public, les communautés, l'industrie et les entreprises au sujet de la ressource en biomasse forestière qui existe dans leurs régions.

Ainsi, l'objectif du projet est de déterminer le potentiel technique exploitable de la biomasse forestière pour la cogénération d'électricité et de chaleur au Nouveau-Brunswick. L'atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière est constitué d'un ensemble de cartes représentant la ressource annuelle potentielle en biomasse forestière ainsi que le potentiel technique exploitable de la biomasse forestière pour la cogénération d'électricité et de chaleur dans l'ensemble de la province.

Ce rapport présente la méthodologie, les données d'entrée, les résultats et l'analyse des résultats pour ce projet.

## LA FORÊTERIE AU NOUVEAU-BRUNSWICK

Au Nouveau-Brunswick, les forêts couvrent près de 85% du paysage, avec environ 6,0 millions d'hectares (14,8 millions d'acres) de forêts productives [3]. En raison de cette ressource forestière importante, la foresterie joue un rôle important dans l'économie de la province. Avec plus de 16 500 personnes travaillant directement dans des emplois liés à la foresterie, le secteur forestier est responsable de 30% de la production manufacturière totale de la province, ce qui fait de ce secteur le plus important au Nouveau-Brunswick [4].

Selon le système de Classification canadienne des écosystèmes forestiers, la plupart des terres forestières au Nouveau-Brunswick appartiennent à la région de la forêt acadienne, avec l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg), le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill), les érables (*Acer* L.) et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton) étant les espèces dominantes [5]. De petites sections de la forêt boréale et de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent peuvent également être trouvées dans la partie nord-ouest de la province.

En ce qui concerne la propriété, les terres forestières du Nouveau-Brunswick peuvent être séparées en quatre grandes catégories: les terres de la Couronne, les lots boisés privés, les tenures industrielles et les terres fédérales (Figure 1). La répartition de ces catégories, en fonction de la superficie de terres forestières productives qu'elles renferment, est la suivante: 51% pour les terres de la Couronne, 29% pour les lots boisés privés, 18% pour les tenures industrielles et 2% pour les terres fédérales. Étant donné que chaque catégorie est gérée de façon distincte, il est essentiel d'avoir une bonne compréhension de ces particularités lorsqu'on cherche à déterminer la ressource potentielle que représente la biomasse forestière.

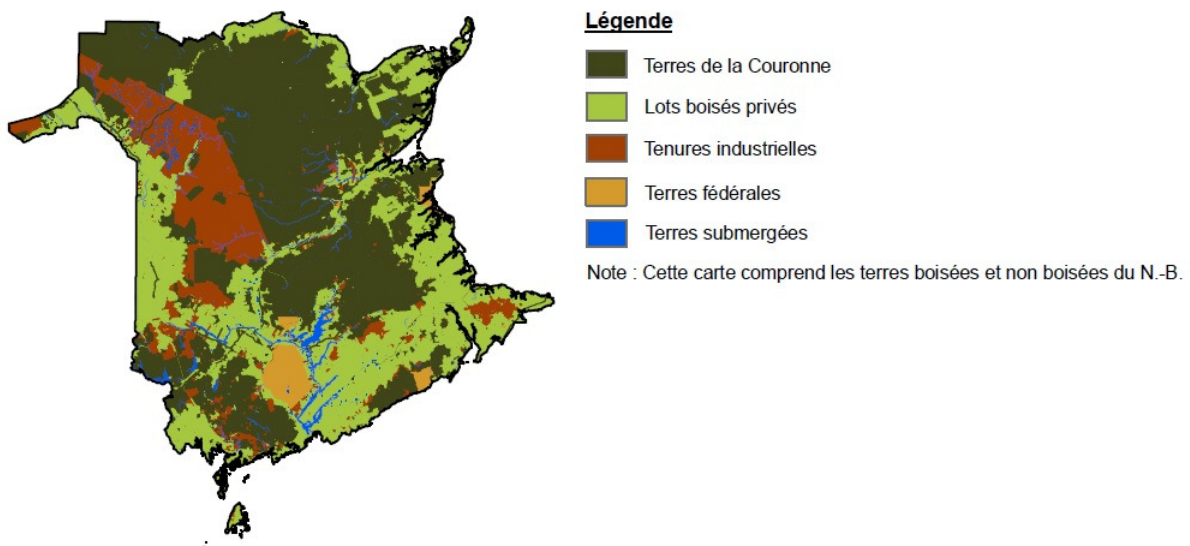


Figure 1: Propriétés terriennes au Nouveau-Brunswick (forêts et terres non boisées).

Les terres de la Couronne représentent les terres forestières publiques détenues par les citoyens de la province du Nouveau-Brunswick. Elles sont administrées par le gouvernement du Nouveau-Brunswick par l'intermédiaire du Ministère des ressources naturelles. En ce qui concerne leur gestion, les terres de la



Couronne sont divisées en six zones ayant chacune leur propre permis de coupe, et donc des Possibilités annuelles de coupes (PAC) différentes.

Les lots boisés privés sont généralement de petites terres forestières privées qui sont utilisées pour une variété de fins. Celles-ci ne comprennent pas les grandes terres industrielles appartenant aux entreprises forestières. Dans la province du Nouveau-Brunswick, il y a environ 42 000 propriétaires de lots boisés privés qui se partagent près de 1,7 millions d'hectares (4,2 millions d'acres) de terres forestières productives [6]. Afin de représenter leurs intérêts auprès du gouvernement et des scieries locales qui achètent leur bois, les propriétaires de lots boisés au Nouveau-Brunswick ont mis en place sept (7) associations régionales, soit les Offices de commercialisation des produits forestiers, qui couvrent l'ensemble de la province.

Dans la même veine, les tenures industrielles comprennent les terres forestières appartenant à de grandes entreprises forestières. L'un des principaux objectifs poursuivis par ces sociétés est la production de bois par le biais de la sylviculture et de l'aménagement forestier. Chaque propriétaire de tenure industrielle est responsable de l'élaboration d'un plan d'aménagement forestier pour sa région. Actuellement, il existe cinq (5) grandes tenures industrielles dans la province du Nouveau-Brunswick.

Enfin, les terres fédérales représentent les terres détenues par le gouvernement du Canada, y compris les parcs nationaux, les zones de conservation, les bases militaires, etc. Au Nouveau-Brunswick, la seule terre détenue par le gouvernement fédéral qui peut être exploitée pour son bois sur une base commerciale est située dans la base des Forces canadiennes de Gagetown. Bien que la production de bois ne soit pas l'objectif principal de cette base militaire, des analyses d'approvisionnement en bois sont réalisées à des intervalles de 10 ans, tandis que des opérations de récolte se produisent sur une base annuelle.

## MÉTHODOLOGIE

Le cadre de cette étude suit trois étapes principales. La première étape consiste à déterminer les emplacements possibles de centrales de cogénération ainsi que leurs aires d'approvisionnement et les zones de transport correspondantes pour la biomasse forestière. La deuxième étape est d'estimer les quantités de biomasse forestière disponibles qui existent (bois marchand, biomasse forestière résiduelle et l'écorce) pour chaque catégorie de propriété terrienne et d'attribuer ces montants aux aires d'approvisionnement. Enfin, en se basant sur les quantités disponibles de biomasse forestière qui peuvent être récoltées annuellement dans chaque aire d'approvisionnement, il est possible d'estimer la quantité de chaleur et d'électricité qui pourrait être produite à partir de cette biomasse forestière dans des centrales de cogénération.

### **Emplacement potentiel des centrales de cogénération, des aires d'approvisionnement et des zones de transport**

L'emplacement des centrales de cogénération est un facteur important quand on évalue le potentiel technique exploitable de la biomasse forestière pour la production d'électricité et de chaleur, et cela pour deux raisons principales, soit (i) afin de minimiser le coût du transport de la biomasse forestière (incluant le coût dû aux émissions de carbone) et (ii) afin de maximiser l'utilisation de la chaleur résiduelle. Puisque le coût du transport est une préoccupation majeure dans la planification de nouvelles centrales industrielles de cogénération alimentées à la biomasse forestière, de nombreuses études ont été faites dans le but d'optimiser l'emplacement des centrales [7, 8]. Cependant, dans une étude réalisée par Schimdt *et al.* [9] pour évaluer le potentiel de cogénération d'électricité et de chaleur, un modèle fut développé afin d'optimiser le positionnement des centrales de bioénergie en considérant non seulement la distribution spatiale de la biomasse forestière et ses coûts reliés de transport, mais aussi la distribution spatiale de la demande en énergie thermique. Le modèle fut appliqué afin d'estimer le potentiel des centrales de cogénération en Autriche. Les résultats ont démontrés que la distribution spatiale de la demande en énergie thermique a un impact important sur la production d'électricité et de chaleur venant des centrales de cogénération. Les emplacements optimaux pour ces centrales sont principalement concentrés autour des grandes villes parce que la distribution de l'énergie thermique dans les réseaux de chauffage urbain est rentable. L'étude a également indiqué que la distance par rapport à l'approvisionnement en biomasse forestière et les coûts résultant du transport de la biomasse forestière jusqu'à la centrale sont des facteurs moins importants dans le choix de l'emplacement. Pouvoir utiliser la chaleur résiduelle est donc primordial dans la production combinée d'électricité et de chaleur en cogénération et permettra non seulement de rendre les centrales de cogénération plus efficaces, mais aussi de les rendre plus rentable sur le plan économique.

Bien qu'aucun modèle mathématique pour optimiser l'emplacement des centrales de cogénération ne soit utilisé dans cette étude, la sélection de sites potentiels appropriés pour des centrales de cogénération est effectuée en fonction de critères spécifiques. Tout d'abord, les villes et les villages de la province du Nouveau-Brunswick ont été identifiés en raison de leur potentiel d'utilisation de la chaleur résiduelle. Puis, les localités ayant une usine de transformation du bois (usine de pâtes à papier, scierie ou autre installation) ont été identifiées. En étant responsable de la récolte, du transport et de la transformation du bois au Nouveau-Brunswick, ces localités ont développé une main-d'œuvre qualifiée, un savoir-faire local et l'infrastructure nécessaire pour utiliser cette ressource. Ces localités constituent donc des emplacements de choix lorsque l'on considère utiliser la biomasse forestière pour produire de la chaleur et de l'électricité dans des centrales de cogénération. Enfin, les installations déjà existantes dans la province qui utilisent du bois à base de combustible pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité ont également été identifiées.

Finalement, le réseau de lignes de transport a été pris en considération afin de réduire les coûts potentiels de l'intégration des centrales au réseau électrique.

En ce qui concerne le nombre de centrales de cogénération potentielles qui utiliseraient la biomasse forestière comme combustible, des études similaires effectuées au Portugal [10] et aux États-Unis [11] démontrent que les aires d'approvisionnement en bois pour les centrales doivent avoir des superficies entre environ 3 800 à 5 000 km<sup>2</sup>. Étant donné que la province du Nouveau-Brunswick a une superficie de 72 908 km<sup>2</sup>, ces chiffres semblent suggérer qu'entre 15 et 19 centrales de cogénération de taille industrielle pourraient être créées au sein de ses frontières. Suivant ces données, et en utilisant les quatre critères mentionnés précédemment, 17 sites ont été retenus pour les besoins de cette étude.

Une fois que le nombre de centrales de cogénération et leurs emplacements ont été déterminés, l'étape suivante consiste à établir leurs aires d'approvisionnement correspondantes. À cette fin, et en supposant que la biomasse forestière serait transportée par camion à partir de son point de chargement jusqu'aux centrales, le réseau routier est utilisé pour délimiter les aires d'approvisionnement autour de chaque emplacement d'une centrale de cogénération. De plus, afin de réduire les coûts de transport, les aires d'approvisionnement sont délimitées par le choix du trajet le plus court possible pour chaque centrale correspondante (c'est-à-dire l'itinéraire le plus court tout en empruntant des routes diverses et interreliées).

Il est également important de mentionner que les méthodes utilisées pour identifier l'emplacement des centrales de cogénération et les frontières des aires d'approvisionnement ne tiennent pas compte de la distribution spatiale de la biomasse forestière. La distribution spatiale de la biomasse forestière est cependant prise en considération au niveau des aires d'approvisionnement à une étape ultérieure, c'est à dire lors de la détermination des quantités de biomasse forestière disponibles dans chacune des zones de transport.

Pour sa part, le réseau routier de la province du Nouveau-Brunswick est composé de nombreux types de routes (autoroutes, routes, routes forestières, etc.) Dans cette étude, les voies publiques de catégories primaires (P1), secondaires (P2), tertiaires (P3) et les routes forestières de catégories primaires (F1), secondaires (F2) et tertiaires (F3), ont été utilisées pour établir toutes les aires d'approvisionnement. Pour leur part, les chemins forestiers (« logging roads ») F4, F5 et F6 n'ont pas été inclus dans l'analyse, car ils sont uniquement conçus pour l'extraction de bois dans une zone de récolte. De plus, contrairement aux routes forestières, ils ne sont pas destinés à fournir un passage adéquat à long terme.

Une fois que le réseau routier a été évalué, les aires d'approvisionnement ont été déterminées autour de chaque emplacement potentiel de centrale de cogénération en utilisant l'outil « Network Analyst », du système d'information géographique (SIG), ArcGIS [12]. La figure 2 montre les superficies résultantes d'approvisionnement de la biomasse forestière pour chaque emplacement potentiel de centrale de cogénération dans l'ensemble de la province du Nouveau-Brunswick.

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour déterminer le coût moyen pour le transport de la biomasse forestière à partir de son point de récolte envers les différentes centrales de cogénération de la province. L'une d'elles est d'établir des zones de transport à l'intérieur de chacune des aires d'approvisionnement. Chaque aire d'approvisionnement serait alors divisée en plusieurs zones représentant des distances diverses. Les distances sont calculées à partir du point de récolte de la biomasse forestière jusqu'à la centrale de cogénération correspondante. Dans le cas du Nouveau-Brunswick, cinq (5) zones de transport ont été mises en place, par tranches de 25 km (1 à 25 km, 26 à 50 km, 51 à 75 km, 76 à 100 km, et 101 à 125 km). En déterminant un tarif pour le transport et en connaissant le volume de biomasse forestière disponible dans chacune des zones, le coût moyen pour le transport peut être déterminé pour chaque aire d'approvisionnement. Une fois que le nombre de zones de transport et les tranches souhaitées ont été déterminés, les plages de distance et les limites spatiales de ces zones peuvent être déterminées. Ceci est

fait en utilisant le même outil SIG qui avait été utilisé dans l'établissement des aires d'approvisionnement, soit « Network Analyst » de ArcGIS. En utilisant l'option « Service Area » de cet outil, les zones de transport des 17 aires d'approvisionnement ont été obtenues (figure 3).

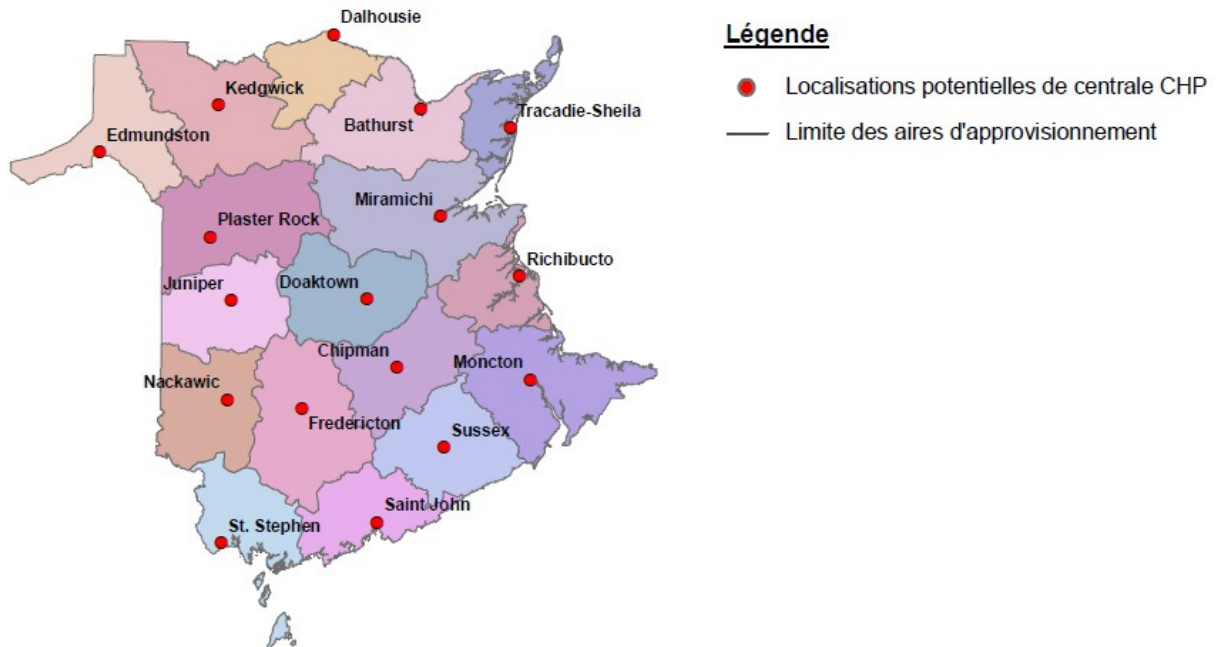


Figure 2: Emplacements potentiels des centrales de cogénération et des aires d'approvisionnement correspondantes.

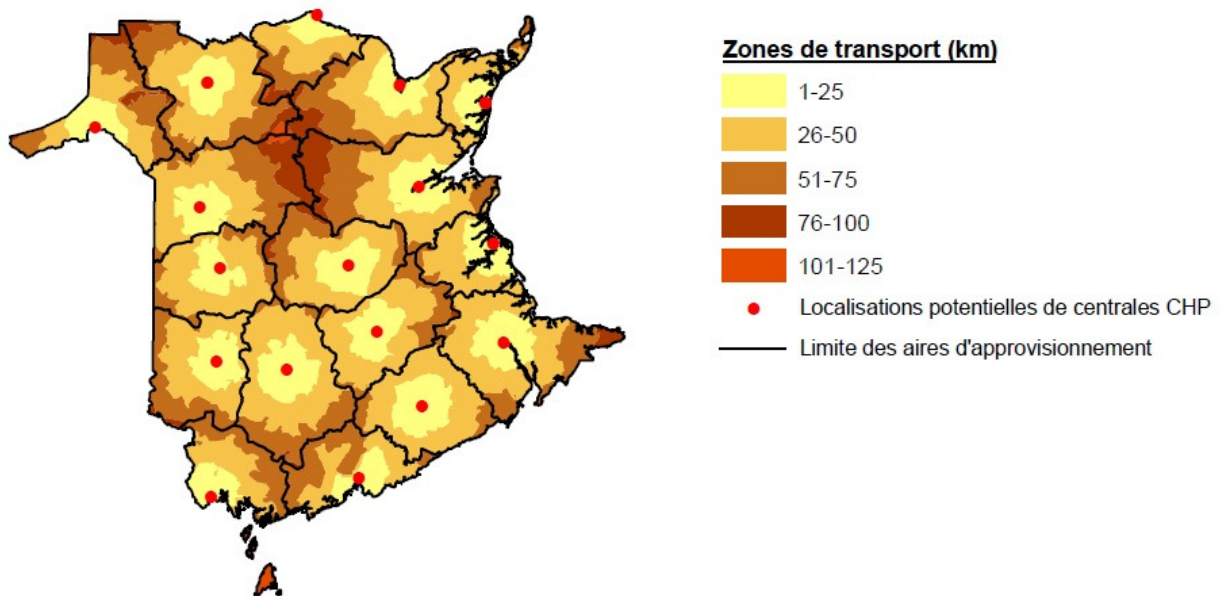


Figure 3: Zones de transport des aires d'approvisionnement.

## Catégories et sources d'approvisionnement de la biomasse forestière

Dans cette étude, la biomasse forestière est divisée en trois catégories distinctes, ou composantes: le bois de qualité marchande, la biomasse forestière résiduelle et l'écorce. Comme on peut le voir dans le tableau 1, le bois marchand représente le tronc de l'arbre; la biomasse forestière résiduelle comprend les branches, les feuillages et la cime sans valeur commerciale; tandis que l'écorce représente l'écorce du tronc (excluant la souche ainsi que la cime non commerciale). Dans le cadre de cette étude, comme il l'est précisé dans la Politique de la biomasse forestière du Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick (MRN) [13], les systèmes racinaires et les souches ne sont pas considérés comme de la biomasse forestière, et ne peuvent donc pas être récoltés.

Pour sa part, l'évaluation de l'approvisionnement en biomasse forestière provenant du bois marchand est basée sur les possibilités annuelles de coupe (PAC) définies dans les plans de gestion. Dans les pratiques traditionnelles de gestion des forêts, la PAC représente la quantité de bois qui peut être récoltée dans un délai d'un an et est utilisée comme base pour régler les niveaux de récolte afin d'assurer un approvisionnement durable en bois [14]. Avec l'aide de modèles de croissance forestière, les gestionnaires sont en mesure de déterminer la PAC d'une zone boisée tout en tenant compte des objectifs et contraintes environnementaux, sociaux et économiques.

Pour les autres composantes de l'arbre (branches, tiges, écorce, souche, feuillage et cime sans valeur commerciale), l'inventaire de la biomasse forestière est estimé en utilisant des données basées sur des équations allométriques. Lorsque des données sur la biomasse forestière ne sont pas disponibles, des ratios du bois marchand à la biomasse forestière résiduelle ou à l'écorce sont utilisés. Parce que les différents types de propriétés terriennes (fédérale, provinciale, privée, industrielle) ont leurs propres distinctions et particularités quant à la façon dont les terres sont gérées et quant aux types de données disponibles, une combinaison de différentes méthodes a été utilisée pour estimer l'inventaire de la biomasse forestière. Une fois que l'inventaire de la biomasse forestière est connu, le potentiel de la puissance technique de la biomasse forestière pour la cogénération d'électricité et de chaleur peut être déterminé.

Tableau 1. Composantes de la biomasse forestière par catégories.

Catégorie de biomasse forestière	Composantes de l'arbres
Bois marchand	Tronc de l'arbre (excluant les branches, les feuilles, la cime non commerciale et l'écorce)
Biomasse forestière résiduelle (résidus de l'exploitation forestière)	Branches, feuillage et cime non commerciale
Écorce	Écorce du tronc (excluant l'écorce de la souche et l'écorce des cimes non commerciales)

De plus, parce que les arbres feuillus et résineux ont leurs propres propriétés physico-chimiques (par exemple, la densité et la chaleur calorifique) et puisqu'ils ont généralement aussi des physiologies

différentes (par exemple, la formation de la couverture), deux PAC distinctes, soit une pour les feuillus et une pour les résineux, sont estimées pour chaque type de propriété terrienne et ce pour l'ensemble de la province du Nouveau-Brunswick.

Enfin, puisque le but de cette étude est de déterminer la puissance technique de la biomasse forestière pour la cogénération d'électricité et de chaleur depuis des systèmes et des pratiques actuels de gestion forestière, toute l'approvisionnement en biomasse forestière est supposée provenir d'opérations forestières traditionnelles. Des cultures dédiées à la biomasse forestière, comme l'exploitation à courte rotation du saule (*Salix spp.*) et du peuplier (*Populus spp.*), représentent une option intéressante à la foresterie traditionnelle; mais étant donné que ces méthodes de production de la biomasse forestière sont encore largement au stade expérimental au Canada [2], elles ne sont pas considérées dans cette étude.

Une fois que les aires d'approvisionnement des centrales de cogénération ont été établies, et que toutes les propriétés terriennes ont été identifiées, l'étape suivante consiste à déterminer les PAC pour chacune des catégories de biomasse forestière et de les attribuer aux aires d'approvisionnement appropriées. Étant donné que chaque type de propriété a ses propres distinctions et particularités, la méthodologie utilisée est différente selon chaque catégorie de biomasse forestière et de propriété terrienne. Le tableau 2 présente un aperçu de la méthodologie mise au point pour estimer les PAC de toutes les catégories de biomasse forestière et pour attribuer ces données aux aires d'approvisionnement, tandis que les détails sur la méthodologie se trouvent dans Bouchard *et al.* [15].

### Conversion de la biomasse forestière en énergie (électricité et chaleur)

Une fois que les quantités de biomasse forestière sont déterminées et réparties dans les aires d'approvisionnement appropriées, l'étape suivante consiste à trouver la quantité d'énergie que cette biomasse forestière pourrait produire, sous forme d'électricité et de chaleur, si elle était utilisée comme combustible dans une centrale de cogénération. Afin d'atteindre cet objectif, plusieurs mesures sont effectuées. Premièrement, la chaleur calorifique des résineux et de feuillus pour toutes les catégories correspondantes de biomasse forestière est déterminée. Pour cette étude, les chaleurs calorifiques des résineux et des feuillus pour toutes les composantes de la biomasse forestière sont prises à partir du modèle FPJoule - FPIinnovations [23] et sont présentées dans le tableau 3. Les données sont basées sur une teneur en humidité de 50% et tiennent donc compte de la quantité d'énergie qui est consommée au cours de la vaporisation de l'eau, ce qui est communément désigné sous le terme chaleur calorifique inférieure (« Low Heating Value », LHV). La teneur en humidité de la biomasse varie considérablement selon le type de biomasse ainsi que la façon dont elle est entreposée [24]. La teneur en humidité normale du bois fraîchement coupé varie de 45 à 58% [25] avec une moyenne de 50% pour les copeaux de bois des résineux et de feuillus [24]. Dans le cadre de cette étude, la teneur en humidité moyenne pour tous les types de biomasse forestière est fixée à 50%.

Tableau 3. Chaleurs calorifiques de la biomasse forestière basées sur une teneur en humidité de 50%.

Catégorie de biomasse forestière	Résineux (MJ/kg)	Feuillus (MJ/kg)
Bois marchand	10,25	9,99
Biomasse forestière résiduelle	10,29	9,99
Écorce	10,31	9,81

L'étape suivante consiste à estimer le contenu énergétique total de chaque catégorie de biomasse forestière pour toutes les aires d'approvisionnement:

$$E = 1\,000\,m \text{ [ LHV ]} \quad (1)$$

où E est le contenu énergétique de la biomasse forestière (MJ), m est la quantité de biomasse forestière (tonne métrique verte (T.M.V.) à 50% de teneur en humidité) et LHV est la chaleur calorifique inférieure de la biomasse forestière (MJ / kg), tandis que la constante 1 000 fait référence à la conversion des T.M.V. en kilogrammes.

Une fois que la quantité d'énergie a été déterminée, la puissance électrique d'une centrale de cogénération alimentée à la biomasse forestière est calculée:

$$P_e = ( E / t ) \eta_e \quad (2)$$

où  $P_e$  est la puissance électrique ( $MW_e$ ), E est le contenu énergétique de la biomasse forestière (MJ) tel que déterminé dans l'équation (1), t est le temps (en secondes) et  $\eta_e$  est le rendement électrique de la centrale de cogénération.

Pour sa part, la puissance thermique de la centrale de cogénération est donnée par :

$$P_{th} = ( E / t ) \eta_{th} \quad (3)$$

où  $P_{th}$  est la puissance thermique ( $MW_{th}$ ), E est le contenu énergétique de la biomasse forestière (MJ) tel que déterminé dans l'équation (1), t est le temps (en secondes) et  $\eta_{th}$  est le rendement thermique de la centrale de CHP.

Richardson *et al.* [25] décrivent le rendement d'une centrale de cogénération comme « la proportion de l'énergie contenue dans le carburant qui peut être convertie en chaleur et en électricité ». Les propriétés du carburant, le type de chaudière et le facteur de charge joueront également un rôle dans l'efficacité de la centrale.

Le rendement électrique ( $\eta_e$ ) d'une centrale de cogénération alimentée à la biomasse forestière peut varier entre 20 et 30% [24, 25]. Dans cette étude, le rendement électrique est établi à 25%. Quant au rendement thermique ( $\eta_{th}$ ), les centrales de cogénération modernes peuvent convertir entre 55 et 70% de leur apport énergétique en chaleur [25]. Pour cette étude, le rendement thermique est établi à 60%.

Ainsi, le rendement global d'une centrale de cogénération alimentée à la biomasse forestière est obtenu par l'équation suivante:

$$\eta_{tot} = \eta_e + \eta_{th} \quad (4)$$

où  $\eta_{tot}$  est le rendement total,  $\eta_e$  est le rendement électrique et  $\eta_{th}$  est le rendement thermique. Par conséquent, dans cette étude, le rendement global de la centrale de cogénération alimentée à la biomasse forestière se situe à 85%.

Tableau 2. Méthodologie utilisée pour estimer les PAC de chaque catégorie de biomasse forestière et pour attribuer ces données aux aires d'approvisionnement.

Propriété terrienne	Bois marchand		Biomasse forestière résiduelle		Écorce	
	PAC (SW & HW)	PAC pour chaque aire d'approvisionnement	PAC (SW et HW)	PAC pour chaque aire d'approvisionnement	PAC (SW & HW)	PAC pour chaque aire d'approvisionnement
Terre de la Couronne	Plan d'aménagement 2007-2012 (Forêt générale) [16]	Ratio des volumes des blocs de récolte (période 2012-2032) [17]	Ministère des ressources naturelles (N.-B.) [22]	Ratio de la biomasse forestière résiduelle des blocs de récolte (période 2012-2032) [17]	Ratio entre les volumes de bois marchand et d'écorce dans les blocs de récolte (période 2012-2032)	
Lots boisés privés	Rapport du Groupe de travail sur les forêts privées [6]	Ratio des volumes des regroupements matures [18]	Ratio entre les volumes de bois marchand et de biomasse forestière résiduelle dans les regroupements matures		Ratio entre les volumes de bois marchand et d'écorce dans les regroupements matures	
Terres fédérales (CFB Gagetown)	BFC Gagetown Wood Supply Analysis 2008 [19]	Ratio des superficies des regroupements matures (couvertures SW, HW, MX)	Ratio moyen entre les volumes de bois marchand et de biomasse forestière résiduelle dans les regroupements matures des Terres de la Couronne et des lots boisés privés (couvertures SW, HW, MX)		Ratio moyen entre les volumes de bois marchand et d'écorce dans les regroupements matures des Terres de la Couronne et des lots boisés privés (couvertures SW, HW, MX)	
Tenures industrielles (avec données d'inventaire forestier et PAC)	Fourni par l'industrie					
Tenures industrielles (sans données d'inventaire forestier et PAC)	Timber Utilization Survey (2000-2011) [20]	Ratio des superficies (couvertures SW, HW, MX) [21]	Ratio moyen entre les volumes de bois marchand et de biomasse forestière résiduelle dans les regroupements des Terres de la Couronne et des lots boisés privés (couvertures SW, HW, MX)		Ratio moyen entre les volumes de bois marchand et d'écorce dans les regroupements des Terres de la Couronne et des lots boisés privés (couvertures SW, HW, MX)	

Notes: PAC = Possibilité annuelle de coupe; SW = *Softwood* (arbres résineux); HW = *Hardwood* (arbres feuillus) ; MX = *Mixedwood* (arbres mixtes).



## RÉSULTATS

### Récolte annuelle potentielle de la biomasse forestière

Les résultats de l'étude indiquent que le total de la récolte annuelle potentielle de biomasse forestière dans la province du Nouveau-Brunswick est de 15 518 829 T.M.V., tel qu'indiqué dans le tableau 4. De ce total, 8 955 290 T.M.V. proviendraient d'arbres résineux et 6 563 538 T.M.V. d'arbres feuillus. Le volume de récolte annuelle potentielle le plus élevé se trouve dans l'aire d'approvisionnement de Plaster Rock, et ce total est estimé à 1 646 573 T.M.V., tandis que le plus faible se trouve dans l'aire d'approvisionnement de Tracadie-Sheila, soit de 240 106 T.M.V. (figure 4). La moyenne provinciale est de 912 872 T.M.V. par aire d'approvisionnement avec un écart-type de 355 457 T.M.V. Les résultats indiquent également que 63% du total de la récolte annuelle potentielle proviendrait du bois marchand (9 765 545 T.M.V.), 27% proviendrait de la biomasse forestière résiduelle (4 252 376 T.M.V.), tandis que 10% proviendrait de l'écorce (1 500 907 T.M.V.). Pour leur part, le tableau 5 et la figure 5 présentent la récolte annuelle potentielle en biomasse forestière résiduelle et en écorce dans la province du Nouveau-Brunswick.

### Potentiel de production annuelle d'énergie électrique et thermique

Présentement, au Nouveau-Brunswick, le bois marchand est déjà utilisée à d'autres fins, tels que la production de produits en bois, les pâtes et papiers, le bois d'œuvre et autres. Puisque la situation actuelle au Nouveau-Brunswick fait en sorte que le bois marchand n'est pas disponible pour être converti en énergie, les tableaux 6 et 7 présentent le potentiel de production annuelle d'énergie électrique et thermique venant de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce pour toutes les aires d'approvisionnement. D'après les tableaux 6 et 7, on peut voir que le total du potentiel de production annuelle d'énergie pour l'ensemble de la province à partir de la biomasse forestière est d'environ 58,4 pétajoules (PJ). Sur ce total, la biomasse forestière résiduelle permettrait de produire 43,2 PJ, tandis que l'écorce permettrait de produire 15,2 PJ.

En termes de potentiel de production d'énergie électrique et thermique, les résultats indiquent que si toute la biomasse forestière résiduelle et l'écorce récoltées chaque année dans la province étaient utilisées comme combustible dans des centrales de cogénération, un total de 463 MW<sub>e</sub> d'électricité et 1 111 MW<sub>th</sub> de chaleur pourraient être produites. En divisant le total de production annuelle d'énergie électrique et thermique de la biomasse forestière par catégorie, nous voyons que la biomasse forestière résiduelle pourrait fournir 343 MW<sub>e</sub> et 823 MW<sub>th</sub>, tandis que l'écorce pourrait fournir 120 MW<sub>e</sub> et 288 MW<sub>th</sub> (tableau 8).

Tel qu'indiqué dans le tableau 7, une centrale de cogénération alimentée à la biomasse forestière située dans l'aire d'approvisionnement de Plaster Rock produirait la plus grande quantité d'énergie électrique et thermique à 51 MW<sub>e</sub> et 122 MW<sub>th</sub> respectivement, tandis qu'une centrale de cogénération à la biomasse forestière située dans l'aire d'approvisionnement de Tracadie-Sheila produirait la plus faible quantité d'énergie, soit 7 MW<sub>e</sub> et 17 MW<sub>th</sub>. Les moyennes provinciales dans les 17 aires d'approvisionnement sont de 27 MW<sub>e</sub> et 65 MW<sub>th</sub>, avec des écarts-types de 10 MW<sub>e</sub> et 25 MW<sub>th</sub>, respectivement.

La figure 6 présente la carte du potentiel technique exploitable annuel (venant de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce) d'énergie électrique et thermique pour l'ensemble des aires d'approvisionnement au Nouveau-Brunswick. Il donne un aperçu visuel du potentiel électrique (MW<sub>e</sub>) et thermique (MW<sub>th</sub>) dans l'ensemble des 17 aires d'approvisionnement. D'après la figure 6, on peut voir que la plupart des

aires d'approvisionnement situées dans la partie nord de la province ont un potentiel électrique élevé. Cela peut s'expliquer en partie par leur plus grande superficie, toutefois, il faut noter que leurs territoires renferment plus de forêts que les aires d'approvisionnements situées dans la partie sud de la province et que le développement urbain et agricole occupe moins d'espace dans le nord de la province.

D'après la figure 6, on peut également constater que les aires d'approvisionnement situées le long des côtes de la province (par exemple, Dalhousie, Tracadie-Sheila, Richibucto et Saint-Jean) ont un potentiel électrique plus petit que celles situées dans l'intérieur (par exemple, Kedgwick, Plaster Rock, Doaktown, Moncton). C'est ainsi que les zones d'approvisionnement ayant des centrales de cogénération centralisées sont avantagées en ayant un plus grand approvisionnement de biomasse forestière et un potentiel technique plus élevé.

### **Distribution spatiale de la biomasse forestière dans les zones de transport**

La distribution spatiale de la biomasse forestière dans les zones de transport est présentée dans le tableau 8. D'après le tableau 8, on peut constater que, à l'échelle provinciale et dans une perspective cumulative, les résultats indiquent que 21,7 % de toute la biomasse forestière pourrait provenir de l'intérieur d'un rayon de 25 km des emplacements des centrales de cogénération identifiés dans cette étude, 72,3 % dans un rayon de 50 km, 95,4 % dans un rayon de 75 km, 99,5 % dans un rayon de 100 km et de 100 % dans un rayon de 125 km. Cette information est nécessaire afin de déterminer le coût moyen pour le transport de la biomasse forestière vers les centrales de cogénération.

### **Validation**

Un comité consultatif scientifique, composé d'experts de divers ministères du Nouveau-Brunswick qui ont une connaissance approfondie de la topographie, de l'utilisation des terres ainsi que du climat au Nouveau-Brunswick, de même que des experts de l'industrie forestière et des énergies renouvelables au Nouveau-Brunswick, ont été demandés d'orienter l'équipe de recherche et de participer à la validation des résultats de l'atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière au Nouveau-Brunswick. Le comité consultatif scientifique a également été demandé de valider les données d'entrée et la méthodologie utilisées dans l'élaboration du projet. Il a été convenu par le comité consultatif scientifique que les données d'entrée et la méthodologie utilisées dans l'élaboration du projet sont à la fois solides et fiables. Enfin, il a été convenu par le comité consultatif scientifique que les résultats de l'atlas de la ressource énergétique de la biomasse forestière au Nouveau-Brunswick étaient conformes à leurs connaissances du territoire et du secteur forestier au Nouveau-Brunswick.

Bien que le comité consultatif scientifique, ainsi que d'autres intervenants, ont été consultés au cours de différentes parties de ce projet et pour la validation des résultats, il demeure que les résultats engagent seulement les auteurs.

Tableau 4. Total de la récolte annuelle potentielle en biomasse forestière (T.M.V.<sup>1</sup>) avec une teneur en humidité de 50%.

Aire d'approvisionnement	Bois marchand <sup>2</sup>			Biomasse forestière résiduelle <sup>3</sup>			Écorce <sup>4</sup>			Total		
	SW <sup>5</sup>	HW <sup>6</sup>	SW + HW	SW	HW	SW + HW	SW	HW	SW + HW	SW	HW	SW + HW
Dalhousie	176 726	189 393	366 119	71 170	72 464	143 634	27 434	26 814	54 248	275 329	288 671	564 001
Bathurst	382 846	221 899	604 745	158 289	91 046	249 335	57 817	32 777	90 594	598 952	345 722	944 674
Tracadie-Sheila	92 962	56 848	149 810	44 057	23 960	68 017	14 136	8 142	22 278	151 155	88 950	240 106
Miramichi	559 581	241 929	801 510	237 552	100 389	337 942	84 324	34 964	119 287	881 457	377 282	1 258 739
Richibucto	176 435	124 859	301 295	86 361	52 008	138 368	29 674	17 501	47 174	292 470	194 368	486 837
Doaktown	415 820	236 076	651 896	169 035	91 505	260 541	65 881	35 515	101 396	650 735	363 097	1 013 832
Moncton	378 857	282 983	661 840	201 352	121 620	322 973	63 322	41 222	104 544	643 531	445 825	1 089 356
Chipman	327 708	175 456	503 164	115 108	62 397	177 056	54 407	26 094	80 501	497 223	263 947	761 170
Sussex	302 602	234 440	537 041	158 336	103 656	261 992	49 333	35 276	84 609	510 271	373 371	883 642
Saint-Jean	219 158	133 413	352 571	111 279	60 960	172 239	34 652	19 228	53 880	365 090	213 601	578 690
St. Stephen	259 671	192 773	452 443	113 954	76 035	189 989	42 050	28 222	70 273	415 675	297 030	712 705
Fredericton	314 910	259 895	574 805	150 713	110 103	260 816	51 016	37 823	88 839	516 639	407 821	924 460
Nackawic	277 586	265 372	542 958	128 326	113 542	241 868	42 748	39 705	82 453	448 660	418 619	867 279
Juniper	299 870	259 746	559 616	153 757	104 136	257 893	46 265	39 928	86 193	499 892	403 810	903 702
Plaster Rock	536 864	476 042	1 012 906	275 698	206 518	482 217	81 992	69 458	151 450	894 555	752 018	1 646 573
Edmundston	355 446	367 703	723 149	174 098	147 498	321 596	56 779	56 368	113 146	586 323	571 569	1 157 892
Kedgwick	467 592	502 084	969 676	185 608	179 843	365 451	74 133	75 909	150 043	727 333	757 837	1 485 170
<b>Provincial</b>	<b>5 544 635</b>	<b>4 220 910</b>	<b>9 765 545</b>	<b>2 534 694</b>	<b>1 717 682</b>	<b>4 252 376</b>	<b>875 961</b>	<b>624 947</b>	<b>1 500 907</b>	<b>8 955 290</b>	<b>6 563 538</b>	<b>15 518 829</b>
<b>Pourcentage du total</b>	<b>62%</b>	<b>64%</b>	<b>63%</b>	<b>28%</b>	<b>26%</b>	<b>27%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

<sup>1</sup>Une tonne métrique équivaut à 1 000 kilogrammes.<sup>2</sup>Tronc de l'arbre excluant la souche, les branches, le feuillage, la cime non commerciale et l'écorce.<sup>3</sup>Inclue les branches, le feuillage, et la cime non commerciale.<sup>4</sup>Écorce du tronc excluant l'écorce de la souche et l'écorce de la cime non commerciale.<sup>5</sup>Softwood ou arbres résineux (ex. épinette, sapin, pin gris, etc.).<sup>6</sup>Hardwood ou arbres feuillus (ex. érable, bouleau, peuplier, etc.).

Tableau 5. Récolte annuelle potentielle en biomasse forestière résiduelle et en écorce (T.M.V.<sup>1</sup>) avec une teneur en humidité de 50%.

Aire d'approvisionnement	Biomasse forestière résiduelle <sup>2</sup>			Écorce <sup>3</sup>			Totale de la biomasse forestière résiduelle et l'écorce		
	SW <sup>4</sup>	HW <sup>5</sup>	SW + HW	SW	HW	SW + HW	SW	HW	SW + HW
Dalhousie	71 170	72 464	143 634	27 434	26 814	54 248	98 604	99 278	197 882
Bathurst	158 289	91 046	249 335	57 817	32 777	90 594	216 106	123 823	339 929
Tracadie-Sheila	44 057	23 960	68 017	14 136	8 142	22 278	58 193	32 102	90 295
Miramichi	237 552	100 389	337 941	84 324	34 964	119 288	321 876	135 353	457 229
Richibucto	86 361	52 008	138 369	29 674	17 501	47 175	116 035	69 509	185 544
Doaktown	169 035	91 505	260 540	65 881	35 515	101 396	234 916	127 020	361 936
Moncton	201 352	121 620	322 972	63 322	41 222	104 544	264 674	162 842	427 516
Chipman	115 108	62 397	177 055	54 407	26 094	80 501	169 515	88 491	258 006
Sussex	158 336	103 656	261 992	49 333	35 276	84 609	207 669	138 932	346 601
Saint-Jean	111 279	60 960	172 239	34 652	19 228	53 880	145 931	80 188	226 119
St. Stephen	113 954	76 035	189 989	42 050	28 222	70 272	156 004	104 257	260 261
Fredericton	150 713	110 103	260 816	51 016	37 823	88 839	201 729	147 926	349 655
Nackawic	128 326	113 542	241 868	42 748	39 705	82 453	171 074	153 247	324 321
Juniper	153 757	104 136	257 893	46 265	39 928	86 193	200 022	144 064	344 086
Plaster Rock	275 698	206 518	482 216	81 992	69 458	151 450	357 690	275 976	633 666
Edmundston	174 098	147 498	321 596	56 779	56 368	113 147	230 877	203 866	434 743
Kedgwick	185 608	179 843	365 451	74 133	75 909	150 042	259 741	255 752	515 493
<b>Provincial</b>	<b>2 534 693</b>	<b>1 717 680</b>	<b>4 252 373</b>	<b>875 963</b>	<b>624 946</b>	<b>1 500 909</b>	<b>3 410 656</b>	<b>2 342 626</b>	<b>5 753 282</b>
<b>Pourcentage du total</b>	<b>74%</b>	<b>73%</b>	<b>74%</b>	<b>26%</b>	<b>27%</b>	<b>26%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

<sup>1</sup>Une tonne métrique équivaut à 1 000 kilogrammes.<sup>2</sup>Inclue les branches, le feuillage, et la cime non commerciale.<sup>3</sup>Écorce du tronc excluant l'écorce de la souche et l'écorce de la cime non commerciale.<sup>4</sup>Softwood ou arbres résineux (ex. épinette, sapin, pin gris, etc.).<sup>5</sup>Hardwood ou arbres feuillus (ex. érable, bouleau, peuplier, etc.).

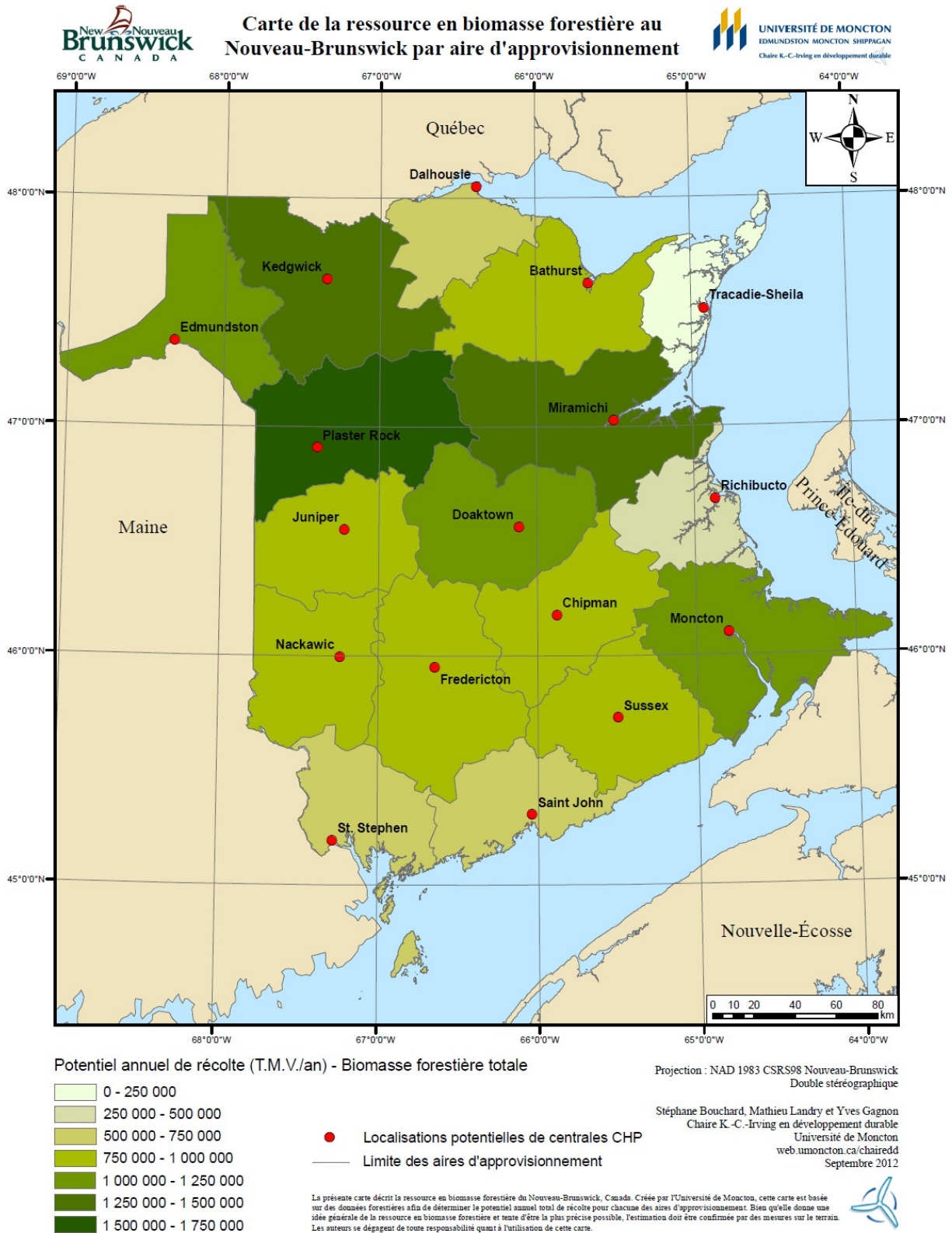


Figure 4: Carte de la récolte annuelle potentielle de la biomasse forestière totale dans la province du Nouveau-Brunswick, par aire d'approvisionnement.

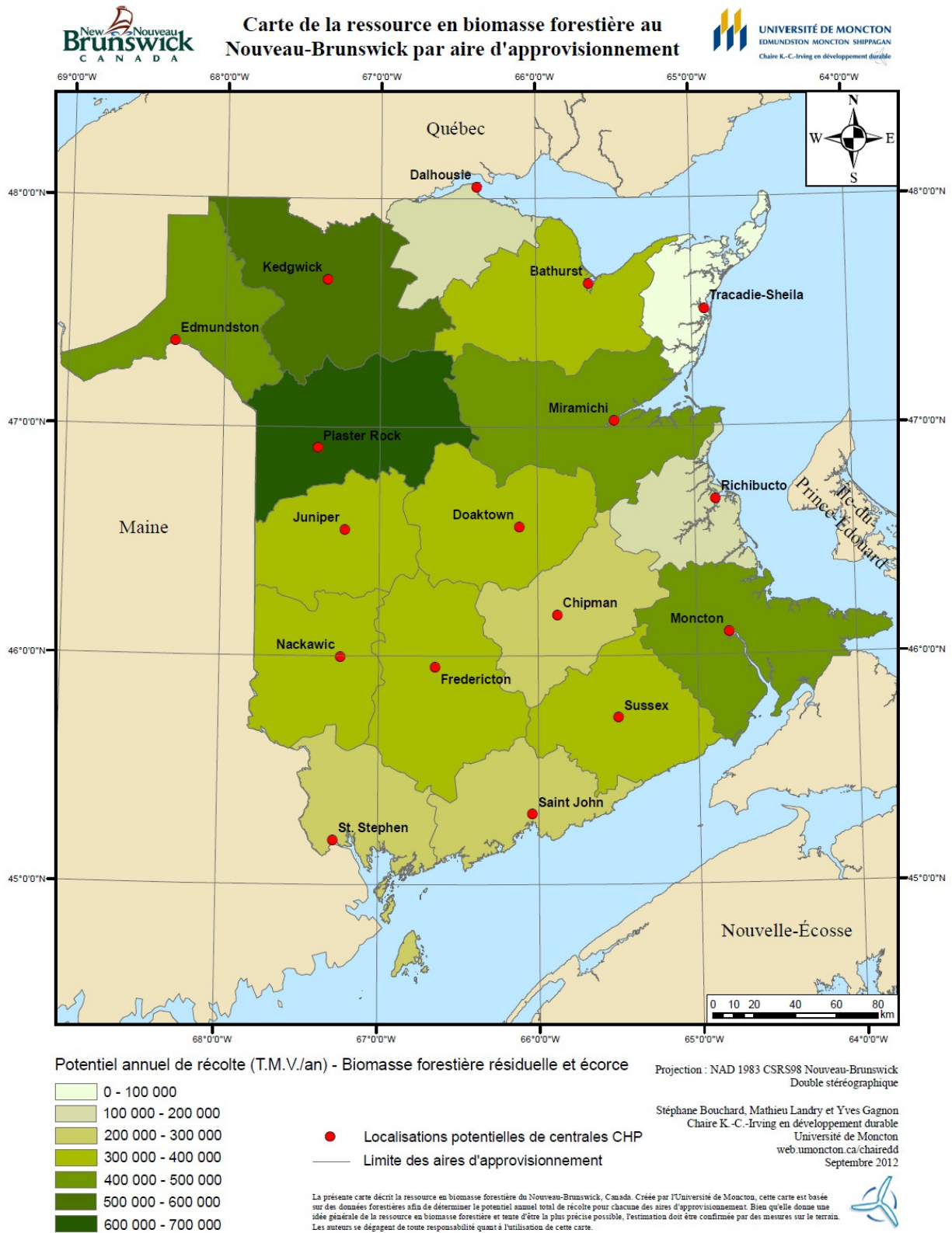


Figure 5: Carte de la récolte annuelle potentielle de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce dans la province du Nouveau-Brunswick, par aire d'approvisionnement.

Tableau 6. Détail du potentiel de production annuelle d'énergie électrique et thermique venant de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce pour l'ensemble des aires d'approvisionnement.

Aire d'approvisionnement	Biomasse forestière résiduelle <sup>1</sup>									Écorce <sup>2</sup>									Totale de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce								
	SW <sup>3</sup>			HW <sup>4</sup>			SW + HW			SW			HW			SW + HW			SW			HW			SW + HW		
	Énergie <sup>5</sup>	Électricité <sup>6</sup>	Chaleur <sup>7</sup>	Énergie	Électricité	Chaleur	Énergie	Électricité	Chaleur	Énergie	Électricité	Chaleur	Énergie	Électricité	Chaleur	Énergie	Électricité	Chaleur	Énergie	Électricité	Chaleur	Énergie	Électricité	Chaleur	Énergie	Électricité	Chaleur
	(PJ) <sup>8</sup>	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ)	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )
Dalhousie	0,7	6	14	0,7	6	14	1,5	12	28	0,3	2	5	0,3	2	5	0,5	4	10	1,0	8	19	1,0	8	19	2,0	16	38
Bathurst	1,6	13	31	0,9	7	17	2,5	20	48	0,6	5	11	0,3	3	6	0,9	7	17	2,2	18	42	1,2	10	23	3,4	27	65
Tracadie-Sheila	0,5	4	9	0,2	2	5	0,7	5	13	0,1	1	3	0,1	1	2	0,2	2	4	0,6	5	12	0,3	3	7	0,9	7	17
Miramichi	2,4	19	47	1,0	8	19	3,4	27	66	0,9	7	17	0,3	3	7	1,2	10	23	3,3	26	64	1,3	11	26	4,6	37	89
Richibucto	0,9	7	17	0,5	4	10	1,4	11	27	0,3	2	6	0,2	1	3	0,5	4	9	1,2	9	23	0,7	5	13	1,9	15	36
Doaktown	1,7	14	33	0,9	7	17	2,7	21	50	0,7	5	13	0,3	3	7	1,0	8	20	2,4	19	46	1,2	10	24	3,7	29	70
Moncton	2,1	16	39	1,2	10	23	3,3	26	63	0,7	5	12	0,4	3	8	1,1	8	20	2,8	21	51	1,6	13	31	4,4	34	83
Chipman	1,2	9	23	0,6	5	12	1,8	14	34	0,6	4	11	0,3	2	5	0,8	6	16	1,8	13	34	0,9	7	17	2,6	20	50
Sussex	1,6	13	31	1,0	8	20	2,7	21	51	0,5	4	10	0,3	3	7	0,9	7	16	2,1	17	41	1,3	11	27	3,6	28	67
Saint John	1,1	9	22	0,6	5	12	1,8	14	33	0,4	3	7	0,2	1	4	0,5	4	10	1,5	12	29	0,8	6	16	2,3	18	43
St. Stephen	1,2	9	22	0,8	6	14	1,9	15	37	0,4	3	8	0,3	2	5	0,7	6	14	1,6	12	30	1,1	8	19	2,6	21	51
Fredericton	1,6	12	30	1,1	9	21	2,7	21	50	0,5	4	10	0,4	3	7	0,9	7	17	2,1	16	40	1,5	12	28	3,6	28	67
Nackawic	1,3	10	25	1,1	9	22	2,5	19	47	0,4	3	8	0,4	3	7	0,8	7	16	1,7	13	33	1,5	12	29	3,3	26	63
Juniper	1,6	13	30	1,0	8	20	2,6	21	50	0,5	4	9	0,4	3	7	0,9	7	17	2,1	17	39	1,4	11	27	3,5	28	67
Plaster Rock	2,8	22	54	2,1	16	39	4,9	39	93	0,8	7	16	0,7	5	13	1,5	12	29	3,6	29	70	2,8	21	52	6,4	51	122
Edmundston	1,8	14	34	1,5	12	28	3,3	26	62	0,6	5	11	0,6	4	11	1,1	9	22	2,4	19	45	2,1	16	39	4,4	35	84
Kedgwick	1,9	15	36	1,8	14	34	3,7	29	71	0,8	6	15	0,7	6	14	1,5	12	29	2,7	21	51	18,7	20	48	5,2	41	100
<b>Provincial</b>	<b>26,1</b>	<b>207</b>	<b>496</b>	<b>17,2</b>	<b>136</b>	<b>326</b>	<b>43,2</b>	<b>343</b>	<b>823</b>	<b>9,0</b>	<b>72</b>	<b>172</b>	<b>6,1</b>	<b>49</b>	<b>117</b>	<b>15,2</b>	<b>120</b>	<b>288</b>	<b>35,1</b>	<b>279</b>	<b>668</b>	<b>23,3</b>	<b>185</b>	<b>443</b>	<b>58,4</b>	<b>463</b>	<b>1 111</b>

<sup>1</sup>Inclue les branches, le feuillage, et la cime non commerciale.<sup>2</sup>Écorce du tronc excluant l'écorce de la souche et l'écorce de la cime non commerciale.<sup>3</sup>Softwood ou arbres résineux (ex. épinette, sapin, pin gris, etc.).<sup>4</sup>Hardwood ou arbres feuillus (ex. érable, bouleau, peuplier, etc.).<sup>5</sup>Potentiel de production d'énergie en tenant compte de la chaleur calorifique inférieure.<sup>6</sup>Basé sur un rendement électrique de 25 %.<sup>7</sup>Basé sur un rendement thermique de 60 %.<sup>8</sup>Un pétajoule équivaut 10<sup>15</sup> joules.

Tableau 7. Total du potentiel de production annuelle d'énergie électrique et thermique venant de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce dans l'ensemble des aires d'approvisionnement.

Aire d'approvisionnement	Totale de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce								
	SW <sup>1</sup>			HW <sup>2</sup>			SW + HW		
	Énergie <sup>3</sup>	Électricité <sup>4</sup>	Chaleur <sup>5</sup>	Énergie <sup>3</sup>	Électricité <sup>4</sup>	Chaleur <sup>5</sup>	Énergie <sup>3</sup>	Électricité <sup>4</sup>	Chaleur <sup>5</sup>
	(PJ) <sup>6</sup>	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ) <sup>6</sup>	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )	(PJ) <sup>6</sup>	(MW <sub>e</sub> )	(MW <sub>th</sub> )
Dalhousie	1,0	8	19	1,0	8	19	2,0	16	38
Bathurst	2,2	18	42	1,2	10	23	3,4	27	65
Tracadie-Sheila	0,6	5	12	0,3	3	7	0,9	7	17
Miramichi	3,3	26	64	1,3	11	26	4,6	37	89
Richibucto	1,2	9	23	0,7	5	13	1,9	15	36
Doaktown	2,4	19	46	1,2	10	24	3,7	29	70
Moncton	2,8	21	51	1,6	13	31	4,4	34	83
Chipman	1,8	13	34	0,9	7	17	2,6	20	50
Sussex	2,1	17	41	1,3	11	27	3,6	28	67
Saint John	1,5	12	29	0,8	6	16	2,3	18	43
St. Stephen	1,6	12	30	1,1	8	19	2,6	21	51
Fredericton	2,1	16	40	1,5	12	28	3,6	28	67
Nackawic	1,7	13	33	1,5	12	29	3,3	26	63
Juniper	2,1	17	39	1,4	11	27	3,5	28	67
Plaster Rock	3,6	29	70	2,8	21	52	6,4	51	122
Edmundston	2,4	19	45	2,1	16	39	4,4	35	84
Kedgwick	2,7	21	51	18,7	20	48	5,2	41	100
<b>Provincial</b>	<b>35,1</b>	<b>279</b>	<b>668</b>	<b>23,3</b>	<b>185</b>	<b>443</b>	<b>58,4</b>	<b>463</b>	<b>1 111</b>

<sup>1</sup>Softwood ou arbres résineux (ex. épinette, sapin, pin gris, etc.).<sup>2</sup>Hardwood ou arbres feuillus (ex. érable, bouleau, peuplier, etc.).<sup>3</sup>Potentiel de production d'énergie en tenant compte de la chaleur calorifique inférieure.<sup>4</sup>Basée sur un rendement électrique de 25 %.<sup>5</sup>Basée sur un rendement thermique de 60 %.<sup>6</sup>Un pétajoule équivaut 10<sup>15</sup> joules.



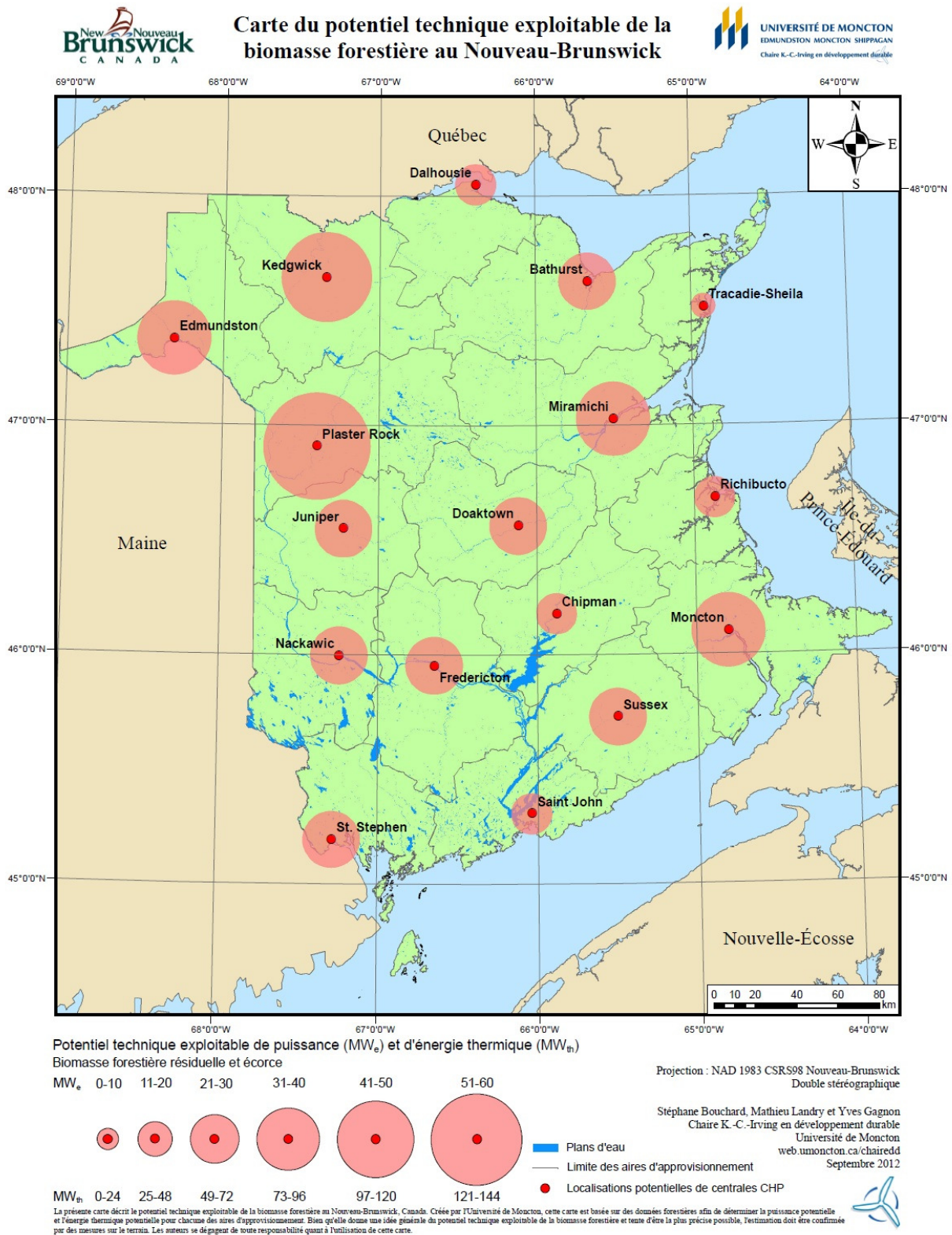


Figure 6: Carte du potentiel technique exploitable annuel d'énergie électrique et thermique pour l'ensemble des aires d'approvisionnement.

Tableau 8. Distribution spatiale de la biomasse dans les zones de transport.

Aire d'approvisionnement	1 à 25 km		26 à 50 km		51 à 75 km		76 à 100 km		101 à 125 km		Total
	T.M.V.	%	T.M.V.	%	T.M.V.	%	T.M.V.	%	T.M.V.	%	
Dalhousie	126 314	22,4	267 781	47,5	109 034	19,3	53 931	9,6	6 942	1,2	564 002
Bathurst	179 197	19,0	454 157	48,1	221 301	23,4	89 023	9,4	994	0,1	944 672
Tracadie-Sheila	59 196	24,7	174 388	72,6	6 481	2,7	42	0,0	0	0,0	240 106
Miramichi	250 819	19,9	537 638	42,7	316 513	25,1	150 476	12,0	3 296	0,3	1 258 743
Richibucto	137 103	28,2	316 149	64,9	33 590	6,9	0	0,0	0	0,0	486 842
Doaktown	246 709	24,3	445 355	43,9	275 905	27,2	45 860	4,5	0	0,0	1 013 828
Moncton	231 523	21,3	633 439	58,1	197 009	18,1	27 370	2,5	0	0,0	1 089 340
Chipman	186 784	24,5	412 812	54,2	159 113	20,9	2 453	0,3	0	0,0	761 162
Sussex	238 438	27,0	573 189	64,9	72 011	8,1	0	0,0	0	0,0	883 638
Saint-Jean	157 603	27,2	263 810	45,6	155 974	27,0	1 307	0,2	0	0,0	578 694
St. Stephen	150 269	21,1	331 025	46,4	163 955	23,0	20 753	2,9	46 707	6,6	712 708
Fredericton	234 005	25,3	495 556	53,6	186 631	20,2	8 262	0,9	0	0,0	924 454
Nackawic	188 656	21,8	445 273	51,3	229 665	26,5	3 383	0,4	308	0,0	867 284
Juniper	173 821	19,2	527 882	58,4	200 285	22,2	1 713	0,2	0	0,0	903 700
Plaster Rock	361 055	21,9	649 232	39,4	484 423	29,4	140 773	8,5	11 093	0,7	1 646 578
Edmundston	230 812	19,9	609 181	52,6	289 439	25,0	28 455	2,5	0	0,0	1 157 886
Kedgwick	218 121	14,7	717 749	48,3	481 791	32,4	66 457	4,5	1 054	0,1	1 485 172
<b>Total (T.M.V.)</b>	<b>3 370 425</b>		<b>7 854 616</b>		<b>3 583 118</b>		<b>640 256</b>		<b>70 395</b>		<b>15 518 810</b>
<b>Pourcentage du total (%)</b>	<b>21,7</b>		<b>50,6</b>		<b>23,1</b>		<b>4,1</b>		<b>0,5</b>		<b>100,0</b>
<b>Total cumulatif (T.M.V.)</b>	<b>3 370 425</b>		<b>11 225 041</b>		<b>14 808 159</b>		<b>15 448 415</b>		<b>15 518 810</b>		<b>15 518 810</b>
<b>Pourcentage cumulatif (%)</b>	<b>21,7</b>		<b>72,3</b>		<b>95,4</b>		<b>99,5</b>		<b>100,0</b>		

## ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION GÉNÉRALE

La méthodologie proposée dans cette étude est basée sur les données de l'inventaire forestier, les possibilités annuelles de coupe, les équations de la biomasse forestière et les facteurs d'expansion de la biomasse forestière. L'évaluation de l'approvisionnement en biomasse forestière provenant du bois marchand est basée sur les possibilités annuelles de coupe tandis que l'approvisionnement provenant de la biomasse forestière résiduelle et de l'écorce est estimé en utilisant des données basées sur des équations allométriques de biomasse forestière. Lorsque des données sur la biomasse forestière ne sont pas disponibles, des ratios du bois marchand à la biomasse forestière résiduelle ou à l'écorce sont utilisés. Parce que les différents types de propriétés terriennes (fédérales, provinciales, privées et industrielles) dans l'étude ont leurs propres distinctions et particularités quant à la façon dont leurs terres sont gérées et quant aux types de données qui sont disponibles, une combinaison de différentes méthodes est utilisée pour estimer la quantité disponible de biomasse forestière. Ces récoltes annuelles potentielles de biomasse forestière sont ensuite attribuées aux aires d'approvisionnement de chaque centrale de cogénération. Une fois que la ressource en biomasse forestière est évaluée pour chaque aire d'approvisionnement, la puissance technique des centrales de cogénération peut être déterminée. Cette méthodologie a été appliquée avec succès à la province du Nouveau-Brunswick, au Canada.

En terme d'application, il est supposé que seulement la biomasse forestière résiduelle et l'écorce disponibles annuellement dans la province du Nouveau-Brunswick, Canada seraient utilisées comme combustible dans des centrales de cogénération de taille industrielle réparties dans l'ensemble de la province. En réalité, puisqu'une grande partie du bois marchand est déjà utilisée à d'autres fins, telle que la production de produits en bois, les pâtes et papiers, le bois d'œuvre et autres, dans la province du Nouveau-Brunswick, il n'est pas prévu que cette catégorie de biomasse forestière serait disponible comme combustible dans des centrales de cogénération. Toutefois, comme la biomasse forestière provenant du bois marchand subit des transformations diverses dans les usines de transformation du bois, des sous-produits ou des résidus d'usines, tels que les copeaux de bois, la sciure et la liqueur noire/rouge, pourraient possiblement être utilisés en tant que combustible dans des centrales de cogénération.

En ce qui concerne la disponibilité de la biomasse forestière résiduelle, son utilisation a toujours été limitée et la majeure partie de la biomasse forestière résiduelle de la province reste inexploitée. Cette catégorie de biomasse forestière, avec un potentiel annuel estimé de plus de 4 millions T.M.V., est donc considérée comme ayant le plus de potentiel pour être utilisée comme combustible dans le développement de nouvelles centrales de cogénération, avec des potentiels électriques et thermiques des 343 MW<sub>e</sub> et 823 MW<sub>th</sub>, respectivement.

Pour sa part, l'écorce, avec un potentiel annuel estimé de plus de 1,5 millions T.M.V., possède aussi un potentiel pour être utilisée comme combustible dans le développement de nouvelles centrales de cogénération dans la province, avec des potentiels électriques et thermiques des 120 MW<sub>e</sub> et 288 MW<sub>th</sub>, respectivement.

En ce qui concerne la production d'énergie à partir de la biomasse forestière, les résultats de cette étude indiquent que si toute la biomasse forestière résiduelle et l'écorce disponibles pour la récolte chaque année dans la province étaient utilisées comme combustible dans des centrales de cogénération, un total de 463 MW<sub>e</sub> d'électricité pourrait être généré. Pour mettre cela en perspective, cette quantité d'énergie coïncide à approximativement un tiers de la charge électrique de base de la province, soit 1 500 MW<sub>e</sub> [26].

En ce qui concerne la génération de chaleur (en conjonction avec la génération d'électricité), un total de près de 1 111 MW<sub>th</sub> d'énergie thermique peut être générée à partir de la biomasse forestière résiduelle et

de l'écorce dans des centrales de cogénération. En supposant que chaque ménage doit chauffer, en moyenne, un espace de 140 m<sup>2</sup>, ce qui représente une demande d'énergie thermique en moyenne de 16 725 kWh [27], cette quantité de chaleur est suffisante pour alimenter plus de 580 000 foyers. Étant donné que la province du Nouveau-Brunswick a près de 300 000 ménages [28], la quantité de chaleur produite à partir de centrales de cogénération utilisant uniquement la biomasse forestière résiduelle et l'écorce comme combustible serait, en théorie, plus que suffisant pour répondre à la demande résidentielle de chauffage pour l'ensemble de la province. Quoique ce scénario ne soit pas réaliste, puisqu'il exige que tous les ménages soient connectés à un réseau de chauffage urbain, les données montrent quand même l'ampleur et la valeur de la chaleur qui pourrait être produite par des centrales de cogénération alimentées à la biomasse forestière. En plus du chauffage résidentiel, l'énergie thermique produite à partir de centrales de cogénération peut être utilisée pour chauffer les bâtiments industriels, commerciaux et institutionnels. Les industries ayant des procédés industriels qui utilisent une grande quantité de chaleur, telles que l'industrie des pâtes et papiers et l'industrie agroalimentaire, pourraient également bénéficier de la chaleur résiduelle produite à partir de centrales de cogénération.

Il est important de noter que les estimations de la disponibilité de la biomasse forestière n'ont pas pris en compte le coût pour la récolte et la livraison de cette dernière. En réalité, certaines quantités de biomasse forestière pourraient ne pas être disponibles pour des raisons économiques. De plus, il est à noter qu'en raison de contraintes écologiques, cette catégorie de la biomasse forestière ne sera probablement jamais récoltée à son potentiel maximal théorique.

Un autre aspect à prendre en considération lorsque l'on examine les volumes potentiels de la biomasse forestière pour la production d'énergie est les quantités inconnues d'arbres et d'arbustes non-commerciales. Les espèces d'arbres comme l'érable de Pennsylvanie (*Acer pennsylvanicum*), l'érable de montagne (*Acer spicatum*) et le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*), ainsi que des espèces d'arbustes tels que les aulnes rugueux (*Alnus rugosa*) et les saules (*Salix spp.*) sont présents dans les forêts du Nouveau-Brunswick, mais ne sont pas inclus dans les inventaires forestiers. Pour cette raison, le volume total de la biomasse forestière estimée dans ce projet pourrait être légèrement plus grand si ces espèces non commerciales étaient prises en compte. Dans la même veine, les espèces d'arbres qui sont incluses dans les inventaires forestiers, mais qui n'ont pas une grande valeur commerciale, comme la pruche du Canada (*Tsuga canadensis*) et le mélèze laricin (*Larix laricina*) représenteraient également de la biomasse forestière supplémentaire pour la production d'énergie, car ils ne sont souvent pas inclus dans les calculs des PAC. Les études futures sur la biomasse forestière au Nouveau-Brunswick pourraient ainsi bénéficier de la prise en considération de ces espèces non commerciales et moins valorisées.

En ce qui concerne l'aspect temporel de l'étude, il est important de noter qu'étant donné que la méthode utilisée dans ce projet est basée sur les possibilités annuelles de coupe, les quantités résultantes de biomasse forestière potentielle représentent inévitablement les conditions actuelles. Dans le futur, les PAC peuvent changer en raison de nouveaux objectifs de gestion, de la mise à jour des inventaires forestiers, des informations plus à jour à partir d'enquêtes sur le développement forestier et de nouvelles projections de croissance des forêts. L'augmentation prévue des activités qui se déroulent dans les forêts aménagées comparativement aux forêts naturelles aura également un impact sur la quantité de biomasse forestière disponible ainsi que sur la distribution de la biomasse forestière selon chacune de ces catégories.

En bref, quoique la quantité de biomasse forestière peut être évaluée de façon relativement précise lorsqu'on a accès à des données complètes et fiables, la quantité de cette biomasse forestière facilement disponible, est, elle, beaucoup plus difficile à prévoir et des études plus détaillées devraient être menées, surtout au niveau des aires d'approvisionnement spécifiques, avant d'envisager le développement d'une nouvelle centrale de cogénération alimentée à la biomasse forestière.

Cette étude montre que la ressource en biomasse forestière dans la province du Nouveau-Brunswick pourrait fournir d'importantes quantités d'énergie sous forme d'électricité et de chaleur si elle était utilisée comme combustible dans des centrales de cogénération. En général, au Canada, l'un des principaux défis à relever dans le développement et l'exploitation d'une centrale de cogénération est de maximiser l'utilisation de la chaleur résiduelle. Cela permet à la centrale de fonctionner de façon plus efficace et d'avoir un meilleur rendement économique; ainsi, il est primordial de trouver des consommateurs pour la chaleur résiduelle. Identifier des emplacements stratégiques pour des centrales en ayant en tête les consommateurs potentiels de chaleur est donc important quand on vise le développement de nouvelles centrales de cogénération alimentées à la biomasse forestière. Les travaux futurs comprendront l'analyse des différentes possibilités pour l'utilisation de la chaleur produite à partir de centrales de cogénération, avec un accent particulier sur l'impact économique des différentes formes d'utilisation.

En résumé, les résultats de cette étude ont démontré que la ressource en biomasse forestière au Nouveau-Brunswick présente un bon potentiel pour la production d'énergie. Des quantités substantielles d'énergie électrique et thermique pourraient en effet se dégager de cette biomasse forestière si elle était utilisée comme combustible dans des centrales de cogénération. Tenant compte du fait que la plupart de la biomasse forestière qui est composée de bois marchand est déjà utilisée par les installations de transformation du bois, le développement de futures centrales de cogénération devrait accorder une attention particulière à la biomasse forestière résiduelle ainsi qu'à l'écorce, car ces dernières sont toujours largement inexploitées dans la province du Nouveau-Brunswick.

## **Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier le comité consultatif scientifique du projet, le Ministère de l'énergie et le Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick ainsi que les autres intervenants consultés dans le cadre de cette étude. Cette étude a été financée par le Fonds en fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick, le Ministère de l'énergie du Nouveau-Brunswick et la Fondation de l'innovation du Nouveau-Brunswick. Les travaux de la Chaire K.-C.-Irving en développement durable sont également financés par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG) du Canada.

## RÉFÉRENCES

- [1] IPCC. Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlömer S., von Stechow C. (eds)]. Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2011.
- [2] Paré D., Bernier P., Thiffault E., Titus B.D. The potential of forest biomass as an energy supply for Canada. *The Forestry Chronicle* 2011; 87: 71-76.
- [3] Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Gestion des forêts publiques du Nouveau-Brunswick. 2003.
- [4] Gouvernement du Nouveau-Brunswick. Vers une forêt économiquement durable au Nouveau-Brunswick. Rapport du Groupe de travail sur les terres de la Couronne au Nouveau-Brunswick. 2011.
- [5] Ressources naturelles Canada. Types de forêts et inventaire forestier. 2011. Disponible: <http://cfs.nrcan.gc.ca/pages/125>
- [6] Floyd D.W., Ritchie R., Rotherham T. De nouvelles approches pour les lots boisés privés – Recadrage du débat sur la politique forestière. Rapport du Groupe de travail sur les forêts privées. Province du Nouveau-Brunswick. 2012.
- [7] Shi X., Elmore A., Li X., Gorence N.J., Jin H., Zhang X. Using spatial information technologies to select sites for biomass power plants: A case study in Guangdong Province, China. *Biomass and Bioenergy* 2008; 32: 35-43.
- [8] Ranta T. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production—a GIS-based availability analysis in Finland. Proceedings of the joint IEA bioenergy task 30 and task 31 workshop sustainable bioenergy production systems: environmental, operational and social implications 2005; 28: 171-182.
- [9] Schmidt J., Leduc S., Dotzauer E., Kindermann G., Schmid E. Potential of biomass-fired combined heat and power plants considering the spatial distribution of biomass supply and heat demand. *International Journal of Energy Research* 2010; 34: 970-985.
- [10] Viana H., Cohen W.B., Lopes D., Aranha J. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. *Applied Energy* 2010; 87: 2551-2560.
- [11] Castellano P.J., Volk T.A., Herrington L.P. Estimates of technically available woody biomass feedstock from natural forests and willow biomass crops for two locations in New York State. *Biomass and Bioenergy* 2009; 33: 393-406.
- [12] Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). ArcGIS Software version 10.0. 2010.
- [13] Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Terres de la Couronne – Récolte de la biomasse forestière. 2008. Disponible: <http://www2.gnb.ca.proxy.cm.umoncton.ca/content/gnb/>

[en/services/services\\_renderer.201174.Crown\\_Lands\\_-\\_Harvest\\_Forest\\_Biomass\\_.html](#)

- [14] Ressources naturelles Canada. Termes. 2011. Disponible: [http://scf.rncan.gc.ca/termes/category/13?lang=fr\\_CA](http://scf.rncan.gc.ca/termes/category/13?lang=fr_CA)
- [15] Bouchard S., Landry M., Gagnon Y. Assessment of the Technical Power Potential of Forest Biomass in the Province of New Brunswick. Rapport de la Chaire K.-C.-Irving en développement durable, Université de Moncton. 2012.
- [16] Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Terres de la Couronne 2007-2012 Plans d'aménagement. 2011.
- [17] Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Récolte 2007-2032 – Base de données géospatiales. 2007.
- [18] Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Plan d'aménagement des lots boisés privés – Base de données géospatiales. 2011.
- [19] BFC Gagetown. 2008 Wood Supply Analysis. Communication personnelle.
- [20] Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Direction de la Gestion des forêts. Timber Utilization Surveys 2000-2011. Non publiée. 2001-2012.
- [21] Ressources naturelles Canada. Couverture du sol, circa 2000. 2010. Disponible: <http://www.geobase.ca/geobase/fr/data/landcover/index.html>
- [22] Ministère des ressources naturelles du Nouveau-Brunswick. Possibilité annuelle de coupe de la biomasse forestière venant des terres de la Couronne. 2011.
- [23] FPInnovations. FPJoule. 2012. Disponible: <http://www.fpinnovations.ca/FPJoule/Views/Welcome.aspx>
- [24] van Loo S., Koppejan J. The Handbook of Biomass Combustion & Co-firing. Washington, DC: Earthscan Ltd. 2008.
- [25] Richardson J., Björheden R., Hakkila P., Lowe A.T., Smith C.T. Bioenergy from Sustainable Forestry. Guiding Principles and Practice. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 2002.
- [26] ÉnergieNB. Rapport annuel 2010/11. 2011.
- [27] Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL). Habitations à faible incidence sur l'environnement – Maisons sans installation de chauffage (maisons passives) Suède. 2001.
- [28] Statistiques Canada. Recensement de la population de 2006. Logement et caractéristiques du logement. Ménages privés selon le type de construction résidentielle, par province et territoire, Recensement de 2006. 2007. Disponible: <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l01/cst01/famil55b-fra.htm>