

Estimation de la biomasse générée par les activités de récolte prévues aux possibilités forestières 2023-2028

Méthodologie



Estimation de la biomasse générée par les activités de récolte prévues aux possibilités forestières 2023-2028 – Méthodologie

Rédaction

Frédérique Saucier, ing.f., M.Sc.

Collaboration

Annie Boucher-Roy, ing.f.

Helin Dura, ing.f., M.Sc.

Révision

Lucie Bertrand, ing.f., Ph.D.

Approbation

Jean Girard, ing.f., M.Sc.

Louis Pelletier, ing.f., Forestier en chef

Référence

Forestier en chef, 2023. Estimation de la biomasse générée par les activités de récolte prévues aux possibilités forestières 2023-2028 - Méthodologie, Roberval, Québec, 20 pages.

Le 21 décembre 2023

Forestier en chef

845, Boulevard Saint-Joseph

Roberval (Québec) G8H 2L6

Téléphone : 418 275 7770

Courriel : bureau@fec.gouv.qc.ca

Internet : www.forestierenchef.gouv.qc.ca

Table des matières

Introduction	4
Définition et encadrement légal	4
Cadre général d'analyse	6
Méthodologie	8
Source des données	11
Discussion et conclusion	11
Annexe 1. Exemple de calcul	13
Étape 1. Convertir les possibilités forestières en m ³ /ha	13
Étape 2. Associer les essences avec leurs paramètres des modèles Volume-Biomasse correspondants	13
Étape 3. Calculer la proportion de la biomasse associée à la tige, à l'écorce, aux branches et au feuillage	14
Étape 4. Calculer la biomasse en tonnes métriques anhydres (tma/ha)	14
Étape 5. Faire les réductions pour la souche laissée en forêt	15
Étape 6. Convertir les tonnes métriques anhydres en tonnes métriques vertes	15
Étape 7. Assembler et répartir les résultats par groupe d'essences résineuses ou feuillues	16
Annexe 2. Table de pilotage du calcul de biomasse	17
Références	18



Introduction

La biomasse forestière est une ressource renouvelable qui est à la base de plusieurs filières industrielles pour la production de bioénergie, de bioproduits ou encore de matériaux biosourcés. L'utilisation de la biomasse pour produire chaleur et énergie est reconnue par l'*Agence internationale de l'énergie* comme la forme d'énergie renouvelable qui progressera le plus à l'horizon 2030 comme alternative aux carburants fossiles. Le *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* identifie également la biomasse comme un substitut aux énergies fossiles pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre les changements climatiques.

Le terme « biomasse » peut être utilisé pour plusieurs types de produits. Au sens de la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier*, la biomasse forestière correspond aux résidus des activités d'aménagement forestier et aux plantations spécifiques à la production d'énergie.

Le Québec présente un important potentiel de production de biomasse forestière pour approvisionner ces filières en développement. La valorisation de la biomasse forestière est aussi un moyen de diversifier les marchés des produits du bois, ce qui offre une perspective de développement économique pour les régions. Devant l'intérêt croissant pour cette ressource, le Forestier en chef s'est fait confier le mandat de déterminer la quantité de biomasse forestière qui peut être prélevée annuellement dans le cadre des activités d'aménagement forestier prévues au calcul des possibilités forestières de chaque unité d'aménagement.

Plusieurs recherches et stratégies sont présentement en cours afin d'accroître la mobilisation de cette ressource dans la chaîne d'approvisionnement. Les principaux défis sont d'ordre opérationnel et visent une meilleure intégration de la récolte de biomasse forestière avec la récolte des produits forestiers existants afin d'en réduire les coûts d'exploitation.

D'autres recherches s'intéressent également aux enjeux écologiques liés à l'extraction de la biomasse en forêt. Ces enjeux concernent la biodiversité, l'eau et les zones riveraines, la productivité du sol, la productivité du peuplement et les émissions de carbone. Les chercheurs tentent, entre autres, de déterminer les taux de prélèvement et les saines pratiques à adopter en fonction des caractéristiques ou de la sensibilité des sites d'extraction.

Ce document explique la méthodologie utilisée pour estimer la quantité de biomasse forestière disponible annuellement en fonction des possibilités forestières déterminées pour la période 2023-2028.

Définition et encadrement légal

Le terme « biomasse » désigne le matériel biologique provenant de plantes vivantes ou de plantes récemment vivantes, y compris les arbres – des racines aux branches, à l'écorce, aux aiguilles, aux feuilles et jusqu'aux fruits. La biomasse forestière peut provenir de plusieurs sources :

- ▶ Les résidus primaires générés pendant les opérations forestières (souches, racines, branches, feuillage, bois d'éclaircies)
- ▶ Les résidus secondaires générés par la transformation du bois (sciures, écorces, copeaux)
- ▶ Les bois non marchands (gaulles, régénération, essences non commerciales)
- ▶ Le bois mal aimé (faible qualité, essence non désirée, défauts majeurs, bois sans preneur)
- ▶ Le bois de récupération après une perturbation naturelle (feux de forêt, insectes et maladies ou chablis)
- ▶ Les plantations pour la production de biomasse (saules ou peupliers à croissance rapide)
- ▶ Les résidus tertiaires qui proviennent de la récupération des déchets de construction et de démolition.



Au Québec, la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier* restreint la définition de la biomasse forestière à la matière ligneuse non marchande issue des activités forestières ainsi qu'à la biomasse issue de plantations à courte rotation prévues à cet effet.

« [...] constitue de la biomasse forestière, la matière ligneuse non marchande issue des activités d'aménagement forestier ou issue de plantations à courtes rotations réalisées à des fins de production d'énergie, excluant les souches et les racines. »

Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier, chapitre A-18.1, a.86.2

Conformément à cette définition, la biomasse forestière évaluée par le Forestier en chef correspond uniquement aux résidus primaires, c'est-à-dire ce qui reste en forêt après la coupe. Les autres sources de biomasse ne sont pas considérées dans le calcul puisqu'elles :

1. sont déjà en grande partie valorisées dans différents sous-produits ou projets de cogénération pour la production d'électricité ou d'énergie thermique (résidus de la transformation du bois)
2. font partie du volume marchand brut des possibilités forestières déterminées par le Forestier en chef (bois mal aimés, bois de récupération)
3. ne sont pas comptabilisées dans les essences et les actions de récolte associées aux possibilités forestières servant à estimer la biomasse (bois d'éclaircies précommerciales et d'éducation des jeunes peuplements, gaules, régénération, plantations pour la production de biomasse, essences non commerciales).

La biomasse forestière évaluée est aussi considérée résiduelle parce qu'elle ne comprend pas les parties des arbres qui sont déjà utilisées par les industries traditionnelles de transformation du bois. Par exemple, la biomasse en provenance des écorces est exclue puisqu'elle est majoritairement exportée avec les troncs des tiges récoltées et que les usines les utilisent comme produits de cogénération. Les souches et les racines ne font également pas partie de la biomasse forestière présentée dans ce document parce qu'elles ne sont pas récoltées. Ainsi, seule la biomasse en provenance des branches et du feuillage est estimée. Les branches comptabilisées dans la biomasse constituent la portion non marchande du houppier, ce qui correspond aux branches de moins de 9 centimètres avec écorce (en blanc sur la figure 1).

La récolte de la biomasse est un droit forestier qui nécessite l'obtention d'un permis spécifique à cette opération. Toute personne ou tout organisme qui souhaite récolter de la biomasse forestière peut obtenir un permis en faisant une demande au ministère des Ressources naturelles et des Forêts.

« Seuls sont admissibles à l'obtention d'un permis pour la récolte de bois aux fins d'approvisionner une usine de transformation du bois, les personnes morales ou les organismes qui ne sont pas titulaires d'un permis d'exploitation d'usine de transformation du bois et ne sont pas liés, au sens de la Loi sur les impôts (chapitre I-3), à un titulaire d'un tel permis. »

« Les conditions d'admissibilité prévues au premier alinéa ne s'appliquent pas lorsque le permis demandé ne vise que la récolte de biomasse forestière. »

Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier, chapitre A-18.1, a.86.2

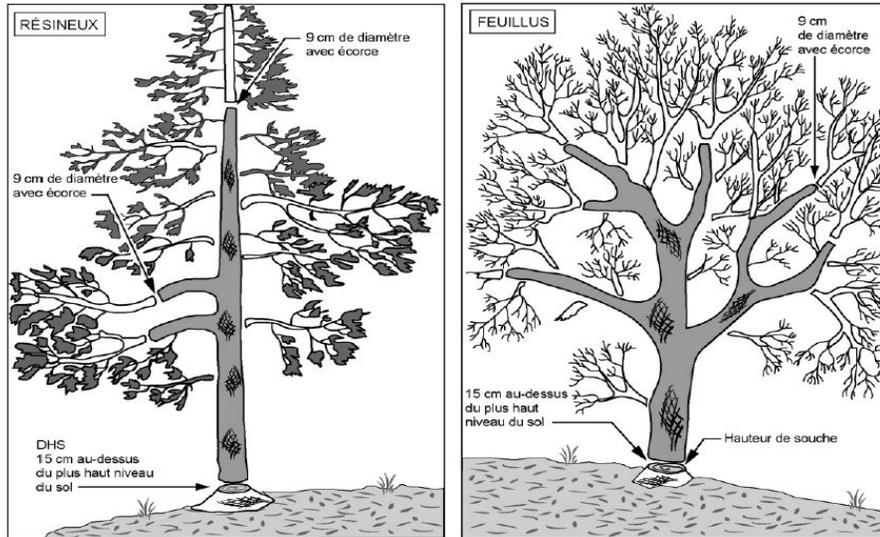


Figure 1. Volume non marchand (blanc) et volume marchand brut (gris foncé) (tiré de Perron, 2003)

Le *Règlement sur l'aménagement durable des forêts* prévoit un article spécifiquement consacré à la récolte de la biomasse forestière. Cet article est un ajout par rapport au *Règlement sur les normes d'interventions dans le milieu forestier*. Ainsi, en vertu de l'Annexe 3 du *Règlement sur l'aménagement durable des forêts*, certains peuplements, dans certaines régions écologiques, sont exemptés de la récolte de leur biomasse forestière pour des raisons de fertilité des sols à long terme. Cette restriction est prise en compte *a priori* dans l'évaluation de la biomasse forestière résiduelle disponible annuellement.

« Dans les peuplements forestiers appartenant aux sous-régions écologiques et aux types écologiques indiqués à l'annexe 3, les branches doivent être laissées sur les lieux de l'abattage, à proximité de la souche, afin de prévenir une perte de fertilité du sol à long terme. »

Règlement sur l'aménagement durable des forêts, a.46

La production d'énergie à base de biomasse forestière résiduelle comme moyen de lutte contre les changements climatiques fait également partie de la *Stratégie d'aménagement durable des forêts* ainsi que de la *Politique énergétique du gouvernement du Québec 2030*.

Cadre général d'analyse

Le Forestier en chef évalue la biomasse associée au volume (m³/an) et à la superficie de récolte (ha/an) qui sous-tendent les possibilités forestières¹ déterminées pour chacune des unités d'aménagement. En vertu de *Loi*, seule la biomasse primaire qui est issue des bois marchands et des essences commerciales contribuant aux possibilités forestières est considérée (figure 2). Les portions résiduelles des arbres à récolter (branches non marchandes et feuillage) constituent un potentiel biophysique brut de la biomasse disponible à un niveau stratégique. Les résultats bruts sont ensuite transmis à la *Direction de la gestion de l'approvisionnement en bois* du ministère des Ressources naturelles et des

¹ Les possibilités forestières représentent le volume maximum des récoltes annuelles à perpétuité sans nuire à la capacité productive du milieu forestier.



Forêts qui assure l'arrimage avec le volume attribuable, c'est-à-dire avec les droits forestiers² consentis dans les forêts du domaine de l'État. Cette étape permet d'ajuster la biomasse disponible avec le volume effectivement récoltable à court terme. Par la suite, d'autres évaluations de niveau opérationnel viendront établir le potentiel technique de récupération de la biomasse sur les parterres de coupe.

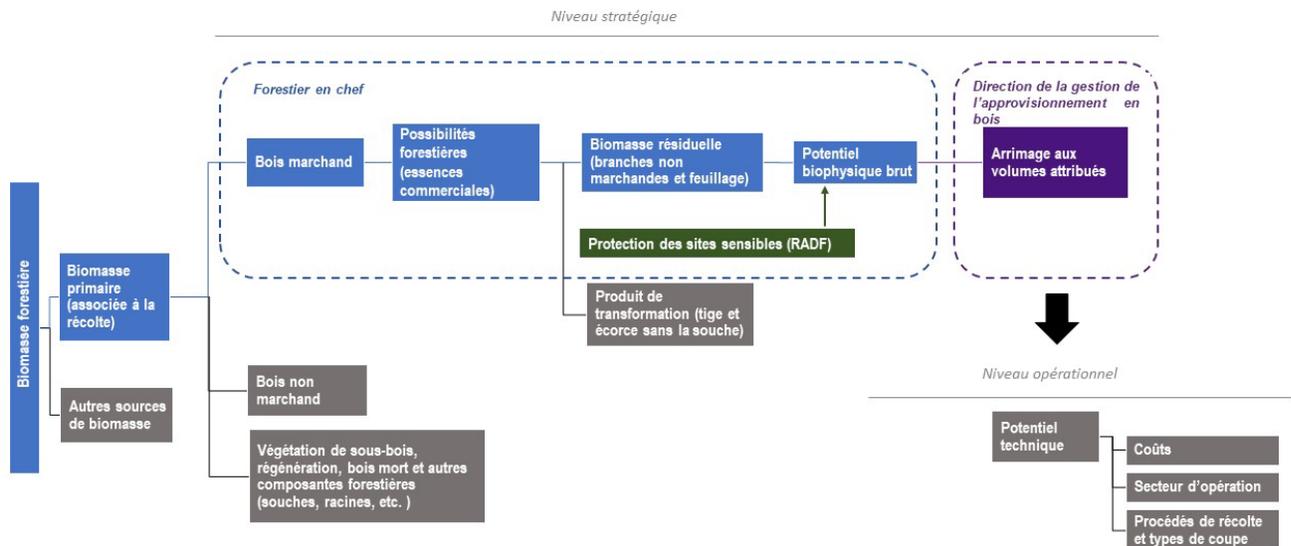


Figure 2. Cadre général d'analyse

Les évaluations ne tiennent pas compte du coût d'exploitation, de la rentabilité des opérations, des contraintes opérationnelles spécifiques, ni des enjeux écologiques ou sociaux propres à l'exploitation de la biomasse. La prise en compte de ces éléments doit se faire à l'échelle opérationnelle puisque le calcul du Forestier en chef est stratégique et non spatialement explicite. En d'autres mots, il n'est pas possible de savoir à ce niveau de planification stratégique où le volume sera véritablement prélevé sur le territoire et donc quels enjeux seront à considérer lors des chantiers d'opérations. Il faut voir le calcul du Forestier en chef comme un maximum théorique de la biomasse primaire pouvant alimenter les projets de bioénergie ou de bioproduits. Ce calcul est le premier d'une série d'étapes nécessaires pour documenter les approvisionnements et établir le potentiel technique comme le démontre la figure 2.

Les calculs de biomasse sont des estimations. Des biais peuvent se produire en particulier lorsque les modèles sont appliqués à de petites unités géographiques ou lorsque les informations de l'inventaire forestier utilisées contiennent des niveaux élevés d'incertitude (communication personnelle, Byron, Smiley 2022). Pour cette raison, la biomasse est calculée à l'échelle de l'unité d'aménagement. Les résultats sont aussi arrondis à la centaine afin d'être cohérents avec le niveau de précision d'une estimation à vaste échelle couvrant l'ensemble du Québec forestier aménagé.

² Garantie d'approvisionnement (GA) ou permis de récolte aux fins d'approvisionner une usine de la transformation de bois (PRAU)



Méthodologie

Pour associer un volume de branches et de feuillage aux possibilités forestières, le Forestier en chef se base principalement sur les travaux de Boudewyn *et coll.* (2007). Leurs modèles empiriques Volume-Biomasse pour les terrains forestiers du Canada sont régionalisés par province et par écozone. La biomasse évaluée est spécifique à chacune des espèces et se répartit selon la proportion contenue dans la tige, l'écorce, les branches et le feuillage. Les équations ont été développées à partir des données de placettes permanentes et temporaires. Le Québec est la juridiction qui a fourni le plus grand nombre de données (100 260/133 786) et le plus grand nombre de tiges mesurées individuellement (5 853 192/11 306 607), ce qui rend les équations et leurs paramètres localement robustes. Depuis la publication de 2007, les paramètres publiés par Boudewyn *et coll.* ont été révisés en 2016 pour intégrer des données supplémentaires ainsi que différentes mises à jour.

Les modèles empiriques utilisés établissent d'abord la proportion de biomasse de chacune des composantes (tige, écorce, branches, feuillage) en fonction de l'espèce et de son écozone. Il s'agit de la biomasse associée au volume marchand seulement. La biomasse des tiges non marchandes, des plantes de sous-bois ainsi que du bois mort n'est pas comptabilisée dans cet exercice.

La figure 3 présente les équations qui permettent de quantifier le pourcentage de la biomasse totale associée à chacune des différentes parties de l'arbre. La variable *vol* correspond aux possibilités forestières en volume marchand brut de chaque essence exprimées en m³/ha en divisant le volume (m³) par la superficie de récolte (ha/an) prévue par la stratégie forestière. Les coupes totales et les coupes partielles sont prises en compte dans la superficie de récolte, puisqu'elles génèrent toutes deux du volume aux possibilités forestières de l'unité d'aménagement. Les paramètres (*a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1, c2, c3*) proviennent des tables conjointes aux modèles Volume-Biomasse.

$$(4) P_{stemwood} = \frac{1}{1 + e^{a1+a2 \times vol + a3 \times lvol} + e^{b1+b2 \times vol + b3 \times lvol} + e^{c1+c2 \times vol + c3 \times lvol}}$$

$$(5) P_{bark} = \frac{e^{a1+a2 \times vol + a3 \times lvol}}{1 + e^{a1+a2 \times vol + a3 \times lvol} + e^{b1+b2 \times vol + b3 \times lvol} + e^{c1+c2 \times vol + c3 \times lvol}}$$

$$(6) P_{branches} = \frac{e^{b1+b2 \times vol + b3 \times lvol}}{1 + e^{a1+a2 \times vol + a3 \times lvol} + e^{b1+b2 \times vol + b3 \times lvol} + e^{c1+c2 \times vol + c3 \times lvol}}$$

$$(7) P_{foliage} = \frac{e^{c1+c2 \times vol + c3 \times lvol}}{1 + e^{a1+a2 \times vol + a3 \times lvol} + e^{b1+b2 \times vol + b3 \times lvol} + e^{c1+c2 \times vol + c3 \times lvol}} \quad \text{where}$$

$P_{stemwood}$, $P_{stembark}$, $P_{branches}$, $P_{foliage}$ = proportion of total tree biomass in stemwood, stembark, branches, and foliage, respectively.
vol = gross merchantable volume per ha (net in B.C.)
lvol = natural logarithm of (*vol* + 5)
a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1, c2, c3 = model parameters fit separately by jurisdiction, ecozone and lead tree species (Table 6).

Figure 3. Équations des modèles empiriques, Volume-Biomasse, tirées de Boudewyn *et coll.* (2007)

La biomasse de la tige des arbres marchands, sans aucune réduction pour le bois de la souche, est ensuite calculée en tonne métrique anhydre (sèche) par hectare (tma/ha) à l'aide de l'équation présentée à la figure 4. La biomasse des différentes parties de l'arbre (tige, écorce, branches, feuillage) peut finalement être déduite à partir de la biomasse de la tige, en s'appuyant sur les proportions préalablement évaluées.



(1) $b_m = a \times volume^b$ where

volume = gross merchantable volume/ha (net in B.C.) of all live trees (volume does not include stumps, tops, or trees < merchantable DBH), in m³/ha.

b_m = total stem wood biomass of merchantable-sized live trees (biomass includes stumps and tops), in metric tonnes per ha.

a, b = non-linear model parameters fit separately by jurisdiction, ecozone, and lead tree species (Table 3).

Figure 4. Équation de la biomasse de la tige des arbres marchands

Pour tenir compte du bois et de l'écorce contenus dans la souche, la biomasse de la tige est ajustée afin de déduire cette source de biomasse laissée en forêt. Pour ce faire, les paramètres développés par Alemdag (1983) sont utilisés. Ils estiment le pourcentage moyen de la masse anhydre totale de la tige (tige + écorce) constitué par une souche de 30 centimètres. Les pourcentages moyens de la figure 5a sont spécifiques à l'essence ou à un groupe d'essences.

a) Tableau 7. Pourcentage moyen de la masse anhydre totale de la tige constitué par une souche de 30 cm

Espèces	Pourcentages moyens de la masse totale		Bois de la souche	Bois de la souche avec écorce	
	Bois de la souche	Écorce de la souche		Écart-type [†]	Erreur-type de la moyenne [‡]
Pin rouge	4,41	0,77	5,18	1,123	0,053
Pin gris	4,19	0,83	5,02	0,802	0,055
Épinette noire	5,66	0,78	6,44	1,412	0,126
Épinette blanche	5,90	0,82	6,72	2,110	0,160
Sapin baumier	5,03	0,87	5,90	1,874	0,160
Peuplier faux-tremble	3,53	0,80	4,33	1,078	0,049
Peuplier à grandes dents	3,34	0,88	4,22	0,862	0,059
Bouleau à papier	5,16	0,88	6,04	1,573	0,089
Chêne rouge	5,84	1,03	6,87	1,244	0,120
Résineux*	5,10	0,83	5,93	1,734	0,068
Feuillus	4,17	0,86	5,03	1,556	0,465
Résineux et feuillus*	4,51	0,85	5,36	1,681	0,040

*Pin rouge exclu.

†SD = Écart-type; SE = Erreur-type de la moyenne.

b)

Tableau 8. Pourcentages du volume (et de la masse) total d'une souche de 30 cm à diverses hauteurs de la souche

Hauteur de la souche (cm)	%
5	17,95
10	35,28
15	52,07
20	68,36
25	84,45
30	100,00

Figure 5. Paramètres tirés d'Alemdag (1983)

Comme la hauteur moyenne de souche est de 15 centimètres au Québec, un ajustement est nécessaire par rapport au 30 centimètres utilisé par Alemdag (1983). Il faut donc compléter l'analyse en se basant sur la figure 5b qui présente la proportion de la masse totale d'une souche de 30 centimètres à diverses hauteurs. Le facteur de 52,07 % permet ainsi de multiplier les valeurs obtenues pour une souche de 30 centimètres et d'appliquer la réduction nécessaire. Les proportions du bois et de l'écorce contenues dans la souche sont ainsi calculées pour chaque essence à l'aide des formules suivantes :

$$P_{\text{souche bois}} = \text{Pourcentage moyen (bois)} / 100 * 52,07 / 100$$

$$P_{\text{souche écorce}} = \text{Pourcentage moyen (écorce)} / 100 * 52,07 / 100$$



La biomasse comprise dans la souche peut ensuite être soustraite de la biomasse de la tige et de l'écorce calculée précédemment par les modèles Volume-Biomasse. Les formules générales suivantes sont donc appliquées :

$$\text{Biomasse tige sans souche} = \text{biomasse tige} - (\rho \text{ souche bois}^* (\text{biomasse totale de la tige}))$$

$$\text{Biomasse écorce sans souche} = \text{biomasse écorce} - (\rho \text{ souche écorce}^* (\text{biomasse totale de la tige}))$$

**La biomasse totale de la tige est la biomasse de la tige + la biomasse de l'écorce*

Par la suite, la quantité de biomasse en tonne métrique anhydre à l'hectare (tma/ha) est multipliée par la superficie totale de récolte (ha) prévue à la stratégie d'aménagement du calcul des possibilités forestières. La biomasse sèche (tma) sera finalement convertie en tonnes métriques vertes (tmv) selon des facteurs de conversion fournis par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts. Les facteurs diffèrent selon les essences en fonction de la densité de leur bois.

Les réductions pour les sites sensibles sont effectuées à partir de la quantité de stations ciblées par l'Annexe 3 du *Règlement sur l'aménagement durable des forêts* pour chacune des unités d'aménagement. Seules les stations qui sont incluses au calcul des possibilités forestières et qui contiennent des peuplements à maturité sont comptabilisées. En effet, seules les stations susceptibles d'être récoltées pour du volume marchand pour la période quinquennale influencent le potentiel biophysique brut. Le ratio de leurs superficies sur la superficie incluse au calcul des possibilités forestières permet de faire les ajustements appropriés.

Le tableau final des résultats est conforme aux exigences de la *Loi* et ne présente que la portion de biomasse associée à la partie non marchande des branches et au feuillage. Une distinction est faite entre la biomasse résineuse et feuillue pour considérer les propriétés techniques du bois et aussi parce que le feuillage est à rejeter dans certains contextes comme la récolte hivernale des essences feuillues ou la dessiccation du feuillage en été.

L'annexe 1 présente un exemple détaillé de la méthode. L'annexe 2 fournit, quant à elle, une table de pilotage qui regroupe les valeurs de certains des paramètres que le Forestier en chef a associées à chacune des essences en fonction de leur source de données.



Source des données

L'analyse est produite en utilisant les données spécifiques à chacune des unités d'aménagement. Le tableau 1 présente les sources de données utilisées.

Tableau 1. Données utilisées pour l'évaluation de la biomasse forestière et leur source

Données	Unités	Sources
Possibilités forestières déterminées	(m ³ /an)	Forestier en chef
Superficie totale récoltée annuellement dans le calcul des possibilités forestières (incluant les coupes totales et les coupes partielles)	(ha/an)	Forestier en chef
Modèles Volume-Biomasse et proportion du volume marchand qui se retrouve dans la tige, les branches, l'écorce et les feuilles (paramètres du modèle de la version actuelle (2016) pour les peuplements marchands)	Tma/ha	Inventaire forestier national du Canada
Paramètres pour les réductions du bois et de l'écorce de la souche	Tma	Alemdag (1983)
Facteurs de densité en fonction des essences ou du groupe d'essences	Tma/Tmv	Bureau de mise en marché des bois

Discussion et conclusion

Le calcul du Forestier en chef reflète le potentiel biophysique brut de la biomasse résiduelle associée aux possibilités forestières. Une série de réductions doivent ensuite être appliquées afin de se rapprocher du volume techniquement disponible. D'un autre côté, l'estimation du Forestier en chef ne considère que la biomasse des portions non marchandes des arbres, alors qu'en réalité plusieurs branches ou parties de l'arbre de dimensions commerciales sont laissées en forêt suite aux opérations de récolte. En effet, les sections de tiges cariées ou les branches avec des défauts majeurs sont des exemples de résidus qui ne satisfont pas les critères d'une utilisation commerciale et qui pourraient aussi contribuer à la biomasse forestière sur le terrain.

Plusieurs travaux de recherche se penchent également sur l'utilisation des arbres sans preneur (aucune issue commerciale) ou encore des arbres dégradés (par exemple après feu, épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ou chablis) comme source complémentaire de biomasse. Bien que la Loi ne le permette pas dans sa définition actuelle, le Forestier en chef a émis un avis pour considérer certains volumes de bois de dimension commerciale faisant partie des possibilités forestières comme source de biomasse³. L'écoulement de ce volume via la filière Biomasse pourrait permettre, dans certains cas, des aménagements sylvicoles visant une meilleure régénération, une éducation ou un meilleur rendement des peuplements forestiers successifs. Pour ces peuplements dégradés ou perturbés, l'exploitation de leur biomasse pourrait aussi faciliter la remise en production des sites. Enfin, comme la masse volumique est différente pour chaque section de l'arbre, l'utilisation de biomasse provenant de la tige pourrait permettre de soutenir la rentabilité d'avenues commerciales comme la fabrication de biocombustibles.

³ « Prévisibilité, stabilité et augmentation des possibilités forestières ». Avis du Forestier en chef. (12 décembre 2017)



En ce qui concerne la sensibilité des sites à la récolte de biomasse, le *Règlement sur l'aménagement durable des forêts* prévoit une liste de stations exclues en raison de leur fragilité. Ces exclusions sont intégrées par le Forestier en chef et les réductions sont comprises dans le calcul de la biomasse disponible. Avec les résultats des récentes recherches sur la sensibilité des sites à la récolte de biomasse 30 ans après intervention, la liste des sites à éviter pourrait être amenée à changer. En effet, le ministère des Ressources naturelles et des Forêts a prévu un mécanisme de suivi afin de juger des effets à long terme de cette récolte sur le milieu forestier. Les premiers résultats obtenus par Ouimet (2022), de la Direction de la recherche forestière du ministère, montrent que l'exportation de biomasse peut affecter le rendement des peuplements de seconde venue et peut aussi affecter la qualité des réservoirs de carbone dans le sol. Si des changements importants surviennent, la méthode et le calcul de biomasse devront être mis à jour.

Pour conclure, la biomasse forestière associée aux possibilités forestières indique un grand potentiel à l'échelle provinciale. Si la quantité ne semble pas être le facteur limitant, il faut continuer les essais afin de mobiliser la biomasse et sécuriser un approvisionnement stable pour le développement de projets. Une première étape serait de spatialiser la biomasse potentielle pour chaque peuplement afin de guider les efforts de récolte et les arrimages opérationnels récolte/biomasse. Avec les développements probables de la filière biomasse comme alternative aux carburants fossiles, les recherches sur la rentabilité des opérations sont incontournables. La récolte de la biomasse concentrée dans les secteurs les plus accessibles et les moins coûteux pourrait générer un impact localement plus fort et faire naître de nouveaux enjeux (écologiques, fauniques, acceptabilité sociale, etc.). Le Forestier en chef doit rester informé sur l'évolution de ce dossier afin que son calcul reflète adéquatement un niveau d'exploitabilité durable de cette ressource.



Annexe 1. Exemple de calcul

Selon la méthode, le calcul de la biomasse est réalisé en 7 étapes distinctes à l'aide d'un script R (4.2.1) développé par l'équipe du Forestier en chef.

L'exemple présenté se trouve dans la région du Bas-Saint-Laurent, dans l'unité d'aménagement 011-71. Les paramètres utilisés pour les modèles Volume-Biomasse sont régionalisés pour l'écozone 7 (Maritimes de l'Atlantique). L'exemple présente seulement les résultats pour les essences du groupe d'essences Sapin, Épinettes, Pin gris et Mélèzes (SEPM).

Les étapes suivantes permettent de calculer la biomasse en tonnes métriques vertes (tmv) à partir des possibilités forestières (m^3/an) pour chacune des essences.

Étape 1. Convertir les possibilités forestières en m^3/ha

Les possibilités forestières pour les essences du groupe SEPM de l'unité d'aménagement 011-71 sont présentées au tableau 2. La superficie totale récoltée (coupe totale et coupes partielles) pour cette unité d'aménagement est de 3 410 hectares. Les possibilités forestières sont converties en volume récolté par hectare (m^3/ha) en divisant les possibilités forestières de chaque essence (m^3/an) par la superficie totale récoltée (ha) prévue à la stratégie forestière de l'unité d'aménagement.

Tableau 2. Volume récolté par hectare (m^3/ha)

Essences	Possibilités forestières (m^3/an)	Volume récolté (m^3/ha)
Sapin	114 898	33,694
Épinettes	73 539	21,566
Pin gris	154	0,045
Mélèzes	709	0,208

Exemple pour le sapin :

$$\text{Volume récolté (m}^3/\text{ha)} = 114\,898 / 3\,410 = 33,694 \text{ (m}^3/\text{ha)}$$

Étape 2. Associer les essences avec leurs paramètres des modèles Volume-Biomasse correspondants

Chacune des essences est ensuite associée au code d'essence de Boudewyn *et coll.* (2007) dont les paramètres sont spécifiques à la province de Québec et à l'écozone (7). Le tableau 3 présente la table des paramètres qui sont utilisés dans les modèles d'estimation Volume-Biomasse pour les essences du groupe SEPM.

Tableau 3. Paramètres de Boudewyn et coll. (2007) en fonction de l'essence

Essences	Code	a	b	a1	a2	a3	b1	b2	b3	c1	c2	c3
Sapin	302	1,0602	0,8285	-1,514654	0,000046	-0,052143	-1,564564	-0,000465	0,034327	-1,684396	-0,000217	-0,096231
Épinettes	101	0,9004	0,8549	-1,763384	0,000346	-0,046884	-0,780536	-0,000025	-0,105040	-1,023842	-0,000831	-0,121017
Pin gris	203	1,4655	0,7626	-1,960622	-0,000285	-0,059203	-1,995684	-0,000083	0,104166	-3,173064	-0,000254	0,191957
Mélèzes	602	0,9898	0,8494	-1,888174	-0,000153	-0,038207	-0,856573	0,001556	-0,238644	-2,859623	-0,002222	0,108230



Étape 3. Calculer la proportion de la biomasse associée à la tige, à l'écorce, aux branches et au feuillage

Les paramètres obtenus à l'étape 2 permettent de calculer la proportion de la biomasse contenue dans la tige, l'écorce, les branches non marchandes et le feuillage. Les proportions (P) pour chacune des essences sont quantifiées en utilisant les formules spécifiques présentées à la figure 3 de la méthodologie. Le volume récolté par hectare (m³/ha) de l'étape 1 correspond à la variable *vo* des équations. Le tableau 4 présente les résultats calculés pour les essences SEPM.

Tableau 4. Proportions tige, écorce, branches et feuilles par essence

Essences	Volume récolté (m ³ /ha)	Proportion de la tige (P _{stemwood})	Proportion de l'écorce (P _{bark})	Proportion des branches (P _{branches})	Proportion du feuillage (P _{foliage})
Sapin	33,694	0,647231699	0,117799561	0,15110367	0,083865071
Épinettes	21,566	0,584849571	0,086631337	0,18976677	0,138752319
Pin gris	0,045	0,742987984	0,095033712	0,11953085	0,042447458
Mélèzes	0,208	0,667982482	0,094917412	0,19136909	0,045731019

Exemple pour le sapin :

Proportion de la tige (P_{stemwood}) = 0,647231699 =

$$\frac{1}{1 + e^{-1,514654 + 0,000046 * 33,694 - 0,052143 * \ln(33,694 + 5)} + e^{-1,564564 + -0,000465 * 33,694 + 0,034327 * \ln(33,694 + 5)} + e^{-1,684396 - 0,000217 * 33,694 - 0,096231 * \ln(33,694 + 5)}}$$

Étape 4. Calculer la biomasse en tonnes métriques anhydres (tma/ha)

À l'aide de l'équation de la biomasse de la tige (figure 4), la biomasse en tonnes métriques anhydres à l'hectare (tma/ha) est évaluée. La biomasse totale est déduite à partir de la proportion qu'occupe la tige dans l'ensemble de l'arbre en se basant sur les résultats du tableau 4. Une fois la biomasse totale connue, les proportions des branches et du feuillage sont aussi évaluées. Le tableau 5 présente les résultats de cette étape.

Tableau 5. Biomasse anhydre (tma/ha)

Essences	Biomasse tige (B _m) (tma/ha)	Biomasse écorce (tma/ha)	Biomasse branches (tma/ha)	Biomasse feuillage (tma/ha)	Biomasse totale (tma/ha)
Sapin	19,538	3,556	4,561	2,532	30,187
Épinettes	12,436	1,842	4,035	2,950	21,263
Pin gris	0,138	0,018	0,022	0,008	0,185
Mélèzes	0,261	0,037	0,075	0,018	0,390

Exemple pour le sapin :

$$B_m = 1,0602 * 33,694^{0,8285} = 19,538 \text{ (tma/ha)}$$

La biomasse de la tige représente 0,647231699 % de la biomasse totale selon le paramètre du Tableau 4. La biomasse totale peut ainsi être calculée :

$$\text{Biomasse totale} = 19,538 \text{ (tma/ha)} / 0,647231699 * 100 = 30,187 \text{ (tma/ha)}$$

Les autres estimations de biomasse sont une proportion du total, par exemple pour l'écorce :

$$\text{Biomasse de l'écorce} = 0,117799561 * 30,187 \text{ (Biomasse totale)} = 3,556 \text{ (tma/ha)}$$



Étape 5. Faire les réductions pour la souche laissée en forêt

Les équations de Boudewyn *et coll.* (2007) évaluent l'ensemble de la biomasse de l'arbre incluant la souche. Comme la souche des arbres récoltés demeure en forêt il est nécessaire de faire des réductions de souche d'une hauteur de 15 centimètres. Le tableau 6 présente le calcul des proportions de la biomasse contenue dans le bois et l'écorce de la souche ($P_{\text{souche bois}}$ et $P_{\text{souche écorce}}$) ainsi que le résultat des réductions appliquées (biomasse de la tige sans la souche, biomasse de l'écorce sans la souche). Les proportions tirées d'Alemdag (1983) sont présentées dans la méthodologie à la figure 5. L'association entre les essences et les facteurs de la figure 5 sont présentés à l'annexe 2 dans une table de pilotage utilisée par les scripts du Forestier en chef.

Tableau 6. Réductions pour la souche laissée en forêt

Essences	% moyen de la masse anhydre totale (figure 5a)		% du volume d'une souche de 30 cm (figure 5b)	à 15 cm	$P_{\text{souche bois}}$	$P_{\text{souche écorce}}$	Biomasse tige (B_m) (tma/ha)	Biomasse écorce (tma/ha)	Biomasse tige sans souche (tma/ha)	Biomasse écorce sans souche (tma/ha)
	Bois de la souche	Écorce de la souche								
Sapin	5,03	0,87		52,07	0,026	0,005	19,538	3,556	18,933	3,451
Épinettes	5,66	0,78		52,07	0,029	0,004	12,436	1,842	12,015	1,784
Pin gris	4,19	0,83		52,07	0,022	0,004	0,138	0,018	0,134	0,017
Mélèzes	5,1	0,83		52,07	0,027	0,004	0,261	0,037	0,253	0,036

Exemple pour le sapin :

$$P_{\text{souche bois}} = 5,03/100 * 52,07/100 = 0,026$$

$$P_{\text{souche écorce}} = 0,87/100 * 52,07/100 = 0,005$$

$$\text{Biomasse tige sans souche} = 19,538 \text{ biomasse tige} - (0,026 \text{ psouche bois} * (19,538 \text{ biomasse tige} + 3,556 \text{ biomasse écorce})) = 18,93756$$

$$\text{Biomasse écorce sans souche} = 3,556 \text{ biomasse écorce} - (0,005 \text{ psouche écorce} * (19,538 \text{ biomasse tige} + 3,556 \text{ biomasse écorce})) = 3,451$$

Étape 6. Convertir les tonnes métriques anhydres en tonnes métriques vertes

Les modèles Volume-Biomasse estiment le volume de la biomasse anhydre. Toutefois, les permis délivrés pour la récolte de biomasse en forêt se basent sur la matière fraîche en tonnes métriques vertes (tmv). Pour convertir les résultats, la quantité totale anhydre de biomasse associée à la stratégie de récolte du calcul des possibilités forestières est d'abord calculée. Il suffit de multiplier les tonnes métriques anhydres par hectare (tma/ha) par la superficie totale récoltée (ha) prévue au calcul des possibilités forestières (3 410 hectares dans le cas de l'unité d'aménagement 011-71).

Le tableau 7 est une consolidation des résultats combinés de l'étape 4 (branches et feuillage) et de l'étape 5 (tige sans souche et écorce sans souche). Le tableau 8 est le résultat des colonnes de biomasse (tma/ha) multipliées par 3 410 hectares.



Tableau 7. Biomasse (tma/ha) avec réductions de souche

Essences	Biomasse tige sans souche (tma/ha)	Biomasse écorce sans souche (tma/ha)	Biomasse branches (tma/ha)	Biomasse feuillage (tma/ha)
Sapin	18,933	3,451	4,561	2,532
Épinettes	12,015	1,784	4,035	2,950
Pin gris	0,134	0,017	0,022	0,008
Mélèzes	0,253	0,036	0,075	0,018

Tableau 8. Biomasse anhydre totale (tma)

Essences	Biomasse tige sans souche (tma)	Biomasse écorce sans souche (tma)	Biomasse branches (tma)	Biomasse feuilles (tma)
Sapin	64 562	11 769	15 554	8 633
Épinettes	40 972	6 084	13 760	10 061
Pin gris	458	58	76	27
Mélèzes	862	122	255	61

Exemple pour le sapin :

$$Tma \text{ de la tige sans souche} = 18,933 \text{ (tma/ha)} * 3\,410 \text{ ha} = 64\,562 \text{ tma}$$

Ensuite, pour avoir l'équivalent en tonnes métriques vertes, le facteur de conversion (tmv/tma) spécifique à chaque essence est appliqué. Les facteurs de conversion sont fournis par le *Bureau de mise en marché des bois*. Ils sont présentés à l'annexe 2 avec la table de pilotage générale. Le tableau 9 illustre les résultats de conversions obtenus.

Tableau 9. Biomasse en tonnes métriques vertes (tmv)

Essences	Facteur (tma/tmv)	Biomasse tige sans souche (tmv)	Biomasse écorce sans souche (tmv)	Biomasse branches (tmv)	Biomasse feuilles (tmv)
Sapin	0,5	129 124	23 538	31 108	17 266
Épinettes	0,5	81 944	12 168	27 520	20 122
Pin gris	0,5	916	116	152	54
Mélèzes	0,5	1 724	244	510	122

Exemple pour le sapin :

$$Tmv \text{ de la tige sans souche} = 64\,562 \text{ (tma)} / 0,5 \text{ (tma/tmv)} = 129\,124 \text{ tmv}$$

Étape 7. Assembler et répartir les résultats par groupe d'essences résineuses ou feuillues

Selon les directives édictées dans la *Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier*, seule la biomasse des branches non marchandes et du feuillage sont présentés dans la colonne intitulée Total légal. Le tableau final regroupe les résultats de biomasse en fonction de leur groupe d'essences (feuillues ou résineuses) pour chacune des unités d'aménagement. Les résultats pour la période en cours sont disponibles sur le site Internet du Forestier en chef.



Annexe 2. Table de pilotage du calcul de biomasse

Essence	code Boudewyn 2007	Essence dominante	genus	species	variety	facteur (tma/tmv)	Pourcentage moyen de la masse anhydre totale		% de la souche à 15 cm	Groupe d'essence
							bois de la souche	écorce de la souche		
Sapin	302	Sapin baumier	ABIE	BAL		0,5	5,03	0,87	52,07	R
Épinettes	101	Épinette noire	PICE	MAR		0,5	5,66	0,78	52,07	R
Pin gris	203	Pin gris	PINU	BAN		0,5	4,19	0,83	52,07	R
Melezes	602	Meleze laricin	LARI	LAR		0,5	5,1	0,83	52,07	R
Pins_PB_PR	202	Pin blanc	PINU	STR		0,5	4,41	0,77	52,07	R
Pruche	401	Pruche du Canada	TSUG	CAN		0,5	5,1	0,83	52,07	R
Thuya	701	Thuya occidental	THUJ	OCC		0,5	5,1	0,83	52,07	R
Autres_res	101	Épinette noire	PICE	MAR		0,5	5,1	0,83	52,07	R
Bouleau_a_papier	1303	Bouleau à papier	BETU	PAP		0,6	5,16	0,88	52,07	F
Peupliers	1201	tremble	POPU	TRE		0,6	3,53	0,8	52,07	F
Erables_ES_ERO	1401	Érable à sucre	ACER	SAH		0,6	4,17	0,86	52,07	F
	1405	Érable rouge	ACER	RUB		0,6	4,17	0,86	52,07	F
Autres_feuillus_in tolerants	1211	Peupliers baumier, à grandes dents et	POPU	BAL	GRA	0,6	4,17	0,86	52,07	F
Bouleau_jaune	1301	Bouleau jaune	BETU	ALL		0,6	4,17	0,86	52,07	F
Autres_feuillus_to lerants	1550	Bois francs indeterminés	GENH	SPP		0,6	4,17	0,86	52,07	F
Hetre	2000	hêtre à grandes feuilles	FAGU	GRA		0,6	4,17	0,86	52,07	F



Références

- ALEMDAG, I.S., (1983). Biomasse des parties marchandes et non marchandes de la tige, Environnement Canada, Service canadien des forêts, Institut forestier national de Petawawa, Chalk River, ON. Rapport d'information PI-X-020F [EN LIGNE] <https://scf.nrcan.gc.ca/publications?id=4497>, page consultée le 6 septembre 2022.
- BOUDEWYN, P, X. SONG, S. MAGNUSSEN et M.D. GILLIS, (2007). Model-based, volume-to-biomass conversion for forested and vegetated land in Canada, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service Pacific Forestry Centre British Columbia [EN LIGNE] <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=27434>, page consultée le 6 septembre 2022.
- FORESTIER EN CHEF, (2017). Prévisibilité, stabilité et augmentation des possibilités forestières. Avis du Forestier en chef [EN LIGNE] <https://forestierenchef.gouv.qc.ca/avis-conseils/>, page consultée le 6 septembre 2022.
- INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL DU CANADA, (2016). *Conversion, selon le modèle, du volume en biomasse pour les terres boisées et végétalisées au Canada* [EN LIGNE] https://nfi.nfis.org/fr/biomass_models, page consultée le 6 septembre 2022.
- OUMET, R., (2022). Sensibilité de la forêt boréale à la récolte de biomasse, Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Conférence Midi-Forêt du 27 janvier 2022.
- PERRON, J.-Y., (2003). Tarif de cubage : volume marchand brut, Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers [EN LIGNE] <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/tarif-cubage-volume-marchand-brut/>, page consultée le 6 septembre 2022.

