

# Résultats dendrométriques au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Analyse comparative des produits de la Direction  
des inventaires forestiers

Septembre 2021

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS



## RÉDACTION

Jean-Gabriel Élie, ing.f., M. Sc.<sup>1</sup>

Martin Riopel, ing.f., Ph. D.<sup>1</sup>

Carl Bergeron, ing.f., M. Sc.<sup>1</sup>

Hakim Ouzennou, M. Sc.<sup>1</sup>

Antoine Lebœuf, ing.f., Ph. D.<sup>1</sup>

Dave Munger, analyste en géomatique et LiDAR<sup>2</sup>

## COORDINATION

Martin Riopel, ing.f., Ph. D.<sup>1</sup>

Isabelle Legault, ing.f., M. Sc.<sup>1</sup>

## ILLUSTRATIONS ET CARTES

Marie-Soleil Fradette, ing.f., M. Sc.<sup>1</sup>

Valérie Roy, tech. géo.<sup>1</sup>

## PHOTOGRAPHIE DE LA PAGE COUVERTURE

Robin Lefrançois, techn. forest.<sup>1</sup>

## RÉVISION LINGUISTIQUE

Pierre Senéchal, réviseur linguistique

## MISE EN PAGE

Carl Bergeron, ing.f., M. Sc.<sup>1</sup>

Mélanie Major, ing.f., M. Sc.<sup>1</sup>

Valérie Roy, technicienne en géomatique<sup>1</sup>

## REMERCIEMENTS AUX COLLABORATEURS

Les analyses présentées dans ce document n'auraient pu être réalisées sans l'implication d'un grand nombre de personnes dont il serait trop long de présenter la liste complète. Notamment, nous voulons souligner l'apport de différentes instances du Ministère telles que le Bureau de mise en marché des bois et le personnel de plusieurs régions et unités de gestion. Merci aussi aux compagnies forestières qui se sont impliquées dans l'estimation des volumes de bois dans les chantiers de récolte.

Pour obtenir des renseignements additionnels, veuillez communiquer avec le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec :

### Direction des inventaires forestiers

5700, 4<sup>e</sup> Avenue Ouest, local A-108

Québec (Québec) G1H 6R1

Téléphone : 418 627-8669

Sans frais : 1 877 936-7387

[inventaires.forestiers@mffp.gouv.qc.ca](mailto:inventaires.forestiers@mffp.gouv.qc.ca)

[mffp.gouv.qc.ca/les-forets/inventaire-ecoforestier/](http://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/inventaire-ecoforestier/)

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Dépôt légal – Bibliothèque et archives nationales du Québec, 2021

ISBN 978-2-550-90144-0

<sup>1</sup> Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

<sup>2</sup> Direction de la gestion des forêts du Saguenay–Lac-Saint-Jean, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

## Table des matières

---

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
Contexte et objectif de l'analyse .....	1
Résultats dendrométriques comparés.....	2
Compilations associées à la carte écoforestière originale.....	2
Compilations associées à la carte dendrométrique LiDAR .....	4
<b>Méthodologie .....</b>	<b>5</b>
Sources de données de référence .....	5
Chantiers de récolte (données de mesurage).....	5
Chantiers BMMB (données de placettes d'intervention avant récolte).....	5
Préparation des données.....	6
Validations statistiques et analyses .....	7
<b>Résultats .....</b>	<b>8</b>
Chantiers de récolte.....	8
Chantiers BMMB.....	11
<b>Constatations et recommandations .....</b>	<b>13</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>14</b>
<b>Références.....</b>	<b>15</b>
<b>Annexe 1   Conversion du volume marchand brut en volume brut utilisable.....</b>	<b>16</b>



# Introduction

---

## Contexte et objectif de l'analyse

Un des mandats de la Direction des inventaires forestiers (DIF) est de produire des résultats de compilations forestières dans tous les peuplements de 7 m et plus de hauteur qui sont situés sur le territoire couvert par l'inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM). Les méthodes de travail pour la production de ces résultats ont beaucoup évolué au cours des dernières années et ont permis de prendre en compte l'arrivée de nouvelles technologies dans le domaine de la télédétection. Par conséquent, les résultats associés à la carte écoforestière originale<sup>3</sup> ont été obtenus avec des approches méthodologiques différentes en fonction de l'année de diffusion et des variables disponibles. Certains territoires ont donc été compilés en utilisant une approche d'estimation par strates regroupées (4<sup>e</sup> IEQM jusqu'en 2010), alors que d'autres l'ont été en utilisant une approche de prédiction de type non paramétrique par peuplement (4<sup>e</sup> IEQM depuis 2011 et 5<sup>e</sup> IEQM). Dans ce dernier cas, il s'agit de la méthode *k*-NN qui est décrite dans MFFP (2017). Enfin, pour certaines portions de territoires, des résultats de compilations ont également été produits avec la même méthode *k*-NN que précédemment, mais à une résolution plus fine que l'on nomme « *forel* » (pixel de 20 m × 20 m). Cette échelle nettement plus fine que celle des peuplements écoforestiers permet d'exploiter davantage le potentiel des données d'imagerie satellitaire et LiDAR, et de mieux répondre aux besoins plus opérationnels de certains utilisateurs. Pour connaître les territoires couverts par les différentes méthodes de compilation associées à la carte écoforestière originale, consultez le [tableau de disponibilité des produits de l'IEQM](#).

Par ailleurs, avec l'arrivée des survols LiDAR qui ont permis de développer de nouvelles variables explicatives utilisées dans les compilations récentes de l'IEQM, une nouvelle méthodologie a été élaborée afin de produire des résultats dendrométriques basés principalement sur des couches matricielles issues du LiDAR et d'attributs de la carte écoforestière. Ce produit, la carte dendrométrique LiDAR (MFFP, 2021a), propose des polygones créés de façon automatisée de plus petites superficies que ceux de la carte écoforestière. Jusqu'à présent, les efforts se sont concentrés sur les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau à papier et de la pessière à mousses. Veuillez consulter la [carte de disponibilité du produit](#) pour plus de détails.

Comme tous ces résultats ont été produits en utilisant des approches différentes, il est inévitable que, pour un même territoire, les prédictions découlant d'une approche ne soient pas parfaitement cohérentes avec les prédictions d'une autre. Du point de vue de l'utilisateur, il peut donc y avoir une certaine hésitation à savoir quels résultats de compilations devraient être privilégiés pour répondre aux besoins particuliers de chacun. Une comparaison des différents produits disponibles est donc nécessaire pour faciliter la prise de décisions.

L'objectif principal poursuivi par les analyses ici présentées est de comparer et de valider les résultats de variables dendrométriques disponibles à la DIF afin d'évaluer la qualité et d'en définir la portée d'utilisation. Les produits ont été validés à l'échelle de chantiers en fonction de critères statistiques reconnus. Ce document est le complément d'une autre publication (MFFP, 2021c) qui présente synthétiquement une description des méthodes de compilation, leurs avantages et leurs inconvénients de même que leurs utilisations recommandées.

---

<sup>3</sup> Carte écoforestière qui fournit le portrait de la forêt au moment de l'année d'acquisition de la photographie aérienne.

## Résultats dendrométriques comparés

Dans le cadre de cette analyse, deux types de résultats sont comparés, soit : 1) les compilations associées à la carte écoforestière originale (IEQM); et 2) les compilations associées à la carte dendrométrique LiDAR. Dans le cas des compilations associées à la carte originale, les méthodes utilisées ont évolué au cours des années, d'où les différents types de compilations suivants.

### *Compilations associées à la carte écoforestière originale*

#### Compilations par strates regroupées

Il s'agit de la méthode de compilation utilisée jusqu'en 2012. Elle consiste essentiellement à calculer des moyennes de placettes par strate d'échantillonnage (agences de mise en valeur de la forêt privée — 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> inventaire) ou par strates regroupées (unité d'aménagement [UA] — 4<sup>e</sup> inventaire seulement), ce deuxième terme étant utilisé dans la suite du document afin d'alléger le texte. Lorsque le résultat est par strate d'échantillonnage, il s'agit seulement de placettes de l'inventaire courant et les résultats couvrent tout le territoire compilé sans autres étapes. Dans le cas de la méthode par strates regroupées (MFFP, 2011), il faut d'abord regrouper les strates cartographiques telles qu'elles sont définies dans la planification du sondage. Une partie seulement des strates regroupées obtenues contiennent des placettes-échantillons du 4<sup>e</sup> inventaire, d'où la nécessité d'autres sources de données. Ainsi, les strates cartographiques comprises dans les strates regroupées les plus rares (environ 5 % des superficies) sont affectées aux autres strates regroupées : elles hériteront des résultats finaux de ces dernières. Le recrutement de placettes est ensuite effectué dans les strates regroupées ayant moins de 10 placettes établies ou actualisées. Puis, les strates regroupées ayant moins de cinq placettes au total après le processus de recrutement obtiennent des résultats par association à des strates regroupées similaires, mais ayant un échantillonnage suffisant. Cette méthode fait que tous les peuplements formant une même strate regroupée ont les mêmes résultats de compilations. C'est en 2025 que les dernières UA compilées par strates regroupées seront recompilées dans le cadre du 5<sup>e</sup> IEQM selon l'approche *k*-NN à l'échelle du *forel*, telle qu'elle est décrite ci-après.

#### Compilations par peuplement

L'implantation de l'approche d'inventaire par peuplement forestier (AIPF) en 2010 s'est manifestée concrètement par une bonification substantielle de plusieurs variables de la carte écoforestière d'une part et, d'autre part, par une révision complète des compilations forestières, et ce, autant sur le plan de la méthode que de l'échelle de prédiction. Cette dernière est alors passée à celle du peuplement de la carte écoforestière. L'approche statistique *k*-NN (*k* plus proches voisins, telle qu'elle est décrite dans MFFP, 2017) a ainsi été retenue pour la production des prédictions. Cette approche non paramétrique consiste à associer à chaque peuplement de la carte écoforestière *k* peuplements sondés (*k* varie d'un territoire à l'autre) qui sont considérés comme les plus similaires sur la base de diverses variables explicatives. Les prédictions pour un peuplement donné sont obtenues en calculant la moyenne des placettes-échantillons retenues (situées dans les *k* peuplements sondés), pondérées par leur mesure de similarité. Les placettes ainsi sélectionnées proviennent de l'inventaire courant (4<sup>e</sup> ou 5<sup>e</sup> inventaire) et elles sont toutes localisées dans l'unité de sondage.

À cause des bonifications apportées aux normes de photo-interprétation de la carte écoforestière au cours du 4<sup>e</sup> inventaire, les compilations par peuplement ont été produites selon deux grands types de stratification. Ces différentes stratifications écoforestières peuvent être décrites ainsi :

- *Stratification par essences détaillées*

Depuis le milieu du 4<sup>e</sup> inventaire, les compilations par peuplement bénéficient d'une composition en essences détaillée en nombre (jusqu'à 7 essences distinctes) et quantitativement en évaluant leur importance relative par plage de valeurs de 10 %. De plus, la densité est évaluée par plage de valeurs de 10 %, donnant 8 valeurs possibles (de 25 à 95 %) et des hauteurs évaluées par mètre. Cette méthode de stratification couvre plus de 80 % de la superficie de la carte écoforestière originale courante de juillet 2021 (tableau 1).

- *Stratification par groupement d'essences*

Il s'agit de la stratification initiale du 4<sup>e</sup> IEQM, soit celle des cartes écoforestières rendues disponibles avant 2012. Outre la caractérisation de la composition en essences par des groupements selon une méthode hiérarchique, la densité et la hauteur des peuplements de 7 m et plus de hauteur sont évaluées en seulement 4 classes (densité en A, B, C, D; hauteur en 1, 2, 3, 4), donnant des plages de valeurs couvertes relativement larges (15 à 20 % pour la densité; 5 m pour la hauteur). Certains territoires en Mauricie utilisent aussi cette méthode de stratification par groupement d'essences, mais en ajoutant les bonifications associées à la densité et à la hauteur (version de programme appelée « Mixte »).

**Tableau 1** Importance relative de chaque type de stratification dans la carte écoforestière version 2021 (forestier productif)

Carte écoforestière		Superficie	
Type de stratification	Inventaire	ha	%
<b>Groupement d'essences</b>	<b>4<sup>e</sup></b>	<b>8 171 687*</b>	<b>19,2</b>
<b>Essences détaillées</b>	4 <sup>e</sup>	17 285 957	40,6
	5 <sup>e</sup>	17 113 397	40,2
	<b>Sous-total</b>	<b>34 399 354</b>	<b>80,8</b>
<b>Total</b>		<b>42 571 042</b>	<b>100,0</b>

\* Cette superficie diminue chaque année avec l'avancement du 5<sup>e</sup> inventaire.

### Compilations par *forel*

Dans un contexte où les utilisateurs cherchent des produits qui répondent davantage à des enjeux opérationnels, des résultats de compilations à une échelle nettement plus fine que le peuplement sont dorénavant produits. La méthode statistique utilisée est la même que celle des compilations par peuplement (*k*-NN). La différence fondamentale est qu'elle est appliquée à l'échelle d'une unité matricielle nommée *forel*, un nom créé à partir des mots « *forêt* » et « *pixel* ». Le *forel* a pour dimension 20 m x 20 m et couvre donc 400 m<sup>2</sup>, soit la même superficie que celle d'une placette circulaire de 11,28 m de rayon. Cette approche consiste donc à associer *k* placettes-échantillons pour chaque *forel* touchant à un peuplement de 7 m et plus de hauteur de la carte écoforestière. Le produit matriciel diffusé est constitué de plusieurs fichiers, soit un raster par variable d'intérêt. Un guide a été produit pour expliquer comment les manipuler (MFFP, 2018).

Il est à noter que, lorsque disponible, des variables explicatives déduites des données du LiDAR sont utilisées dans les analyses *k*-NN. L'apport positif de ce type de variables a déjà été démontré dans le cadre des deux projets de développement de la méthode de compilation *k*-NN. En 2021, les seuls territoires compilés par *forel* avec une donnée LiDAR étaient l'UA 02451 (aujourd'hui incluse dans l'UA 02471) et les territoires publics de l'Abitibi-Témiscamingue compilés en 2021. Cependant, les acquisitions de données LiDAR étant dorénavant synchronisées avec la production de la carte écoforestière, toutes les compilations par *forel* à venir bénéficieront de données LiDAR disponibles pour optimiser les résultats.

#### *Compilations associées à la carte dendrométrique LiDAR*

Plus récemment, une autre approche de compilation a été développée, mais cette fois sans être intimement associée à la carte écoforestière de l'IEQM. Tout comme les compilations par *forel*, elle vise à répondre à des besoins plus opérationnels. Celle-ci, appelée « carte dendrométrique LiDAR », consiste à utiliser la hauteur et la densité extraites des données du LiDAR comme principales variables servant d'intrants à un modèle de prédiction de variables dendrométriques développé à partir des milliers de placettes-échantillons disponibles à la DIF (MFFP, 2021a). Les prédictions de base sont obtenues à l'échelle d'un fichier matriciel comme le *forel*, mais avec une résolution encore plus fine de 10 m x 10 m. Le produit diffusé est toutefois vectoriel, les polygones étant créés par agrégation de pixels ayant des hauteurs et des densités similaires. Il en résulte des polygones dont la superficie moyenne est d'environ 1 ha et dont la géométrie est complètement indépendante de la carte écoforestière. Cependant, les essences de la carte écoforestière originale sont utilisées comme intrants dans le processus de la carte dendrométrique LiDAR afin de répartir par essence ou groupe d'essences les variables dendrométriques prédites par les modèles.

Une des caractéristiques particulières de ce produit est de fournir des prédictions de volumes bruts utilisables au lieu de volumes marchands bruts (voir [annexe 1](#)). Le produit propose également une répartition des volumes par produit. Par ailleurs, la carte dendrométrique LiDAR peut prédire des volumes où les compilations forestières par peuplement ou par *forel* n'en prédisent pas, comme dans les peuplements improductifs et certaines portions de peuplements de moins de 7 m de hauteur.

## Méthodologie

---

### Sources de données de référence

Pour évaluer la qualité des résultats des différents produits, il faut être en mesure de comparer ces résultats avec un ensemble de données de référence qui se rapproche le plus possible de la réalité sur le terrain. Dans la présente analyse, deux sources de données principales ont été utilisées, soit : 1) des données de mesurage des bois abattus provenant de chantiers de récolte; et 2) des données de placettes d'intervention avant coupe dans des chantiers mis aux enchères par le Bureau de mise en marché des bois (BMMB). Il est à noter que, dans certains chantiers, les deux sources de données provenant à la fois du mesurage des bois abattus et des placettes d'intervention étaient disponibles. Ces deux bases de données ont l'avantage d'être complètement indépendantes des données de placettes utilisées pour prédire les caractéristiques des différentes méthodes de compilation analysées dans ce rapport. Il faut également noter que les peuplements considérés sont pour la plupart assez matures pour être récoltés. L'analyse ne permet donc pas d'étudier les peuplements en prématurité.

#### *Chantiers de récolte (données de mesurage)*

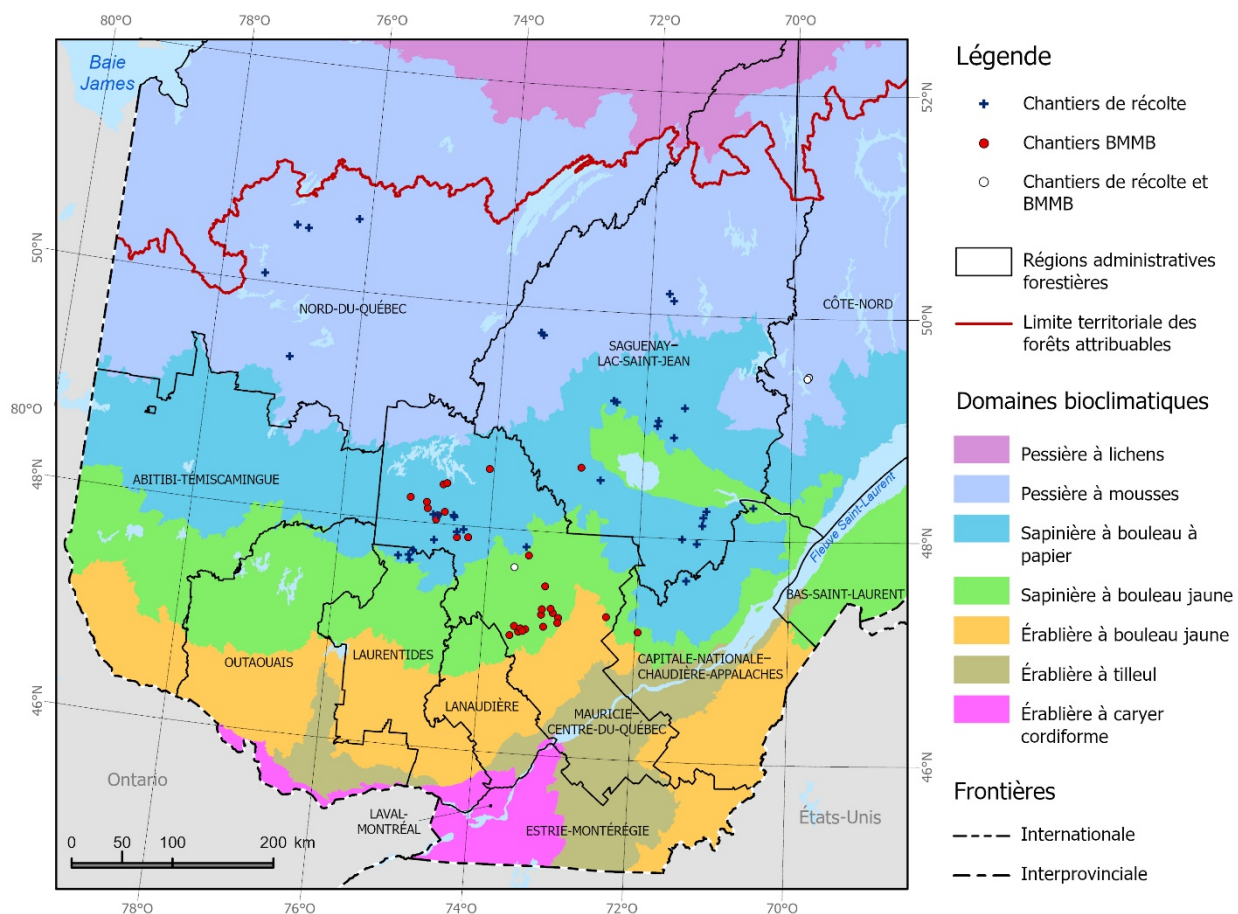
La compilation des données de référence dans les chantiers de récolte a été réalisée en récupérant les données de mesurage masse-volume compilées dans le cadre du mesurage officiel des bois abattus (MFFP, 2021b). De plus, les inventaires de la matière ligneuse non utilisée (IMLNU) (MRN, 1999) ou d'évaluation du volume affecté par les opérations de récolte (EVAOR) (MRNF, 2005) ont permis de tenir compte du volume laissé sur le terrain. Pour les traitements sylvicoles où une partie des tiges sont protégées durant la coupe (p. ex., récolte partielle dans les lisières boisées), un pourcentage de rétention a dû être appliqué si l'inventaire après coupe ne portait pas sur les arbres vivants sur pied. Les contours des chantiers ont été déterminés précisément à partir de données d'imagerie disponibles afin d'en connaître la superficie exacte. Les valeurs de référence ont donc été estimées à l'échelle de chaque chantier en volume net. Ce dernier correspond au volume brut utilisable en excluant la carie. Les chantiers retenus avaient une précision acceptable du volume mesuré que pour le groupe d'attribution SEPM (sapin baumier, épinettes, pin gris et mélèzes), les autres groupes d'attribution étant généralement estimés avec un facteur de conversion fixe au lieu d'être basé sur des échantillons. Au total, c'est donc 38 chantiers de récolte qui ont été retenus pour les analyses.

#### *Chantiers BMMB (données de placettes d'intervention avant récolte)*

Les données des placettes d'intervention localisées dans les chantiers BMMB ont, quant à elles, été récupérées auprès du BMMB (<https://bmmmb.gouv.qc.ca/>). Ces placettes étaient situées dans des chantiers de récolte soumis aux enchères. Pour que les données d'un chantier soient utilisables, il fallait minimalement que les données dendrométriques des placettes de même que le fichier de formes présentant leur localisation soient disponibles. Dans le cas de ces chantiers, les valeurs de référence ont été estimées en surface terrière et non en volume, car, contrairement à ce dernier, la surface terrière est dérivée directement du diamètre de l'arbre mesuré. Cela évite donc d'ajouter l'erreur inévitable qu'induisent les modèles de prédiction de la hauteur et du tarif de cubage dans les données de référence durant le calcul du volume. Au total, 32 chantiers BMMB ont été retenus pour les analyses.

La figure suivante présente la répartition des chantiers de récolte et BMMB dans les différentes régions du Québec.





**Figure 1 Répartition des chantiers de récolte et BMMB dans les régions administratives du Québec et les domaines bioclimatiques**

### Préparation des données

Pour qu'un chantier soit retenu pour les analyses, il fallait d'abord que des résultats de compilations associés à la carte originale et à la carte dendrométrique LiDAR soient disponibles. Il fallait aussi que l'écart entre l'année de référence (année de la coupe ou du sondage des placettes BMMB) et l'année de prédiction (année de sondage dans le cas des compilations forestières de la carte originale ou année du survol LiDAR dans le cas de la carte dendrométrique LiDAR) soit raisonnable afin de ne pas altérer les résultats. Il a donc été décidé que la valeur absolue de cet écart devait être d'au plus cinq ans.

Dans le cas de la carte dendrométrique LiDAR, des modifications ont pu être apportées aux données LiDAR lorsque les années de référence et de prédiction différaient. En effet, des modèles ont été développés afin de faire « croître » (ou « décroître »), en amont des prédictions de variables dendrométriques, la donnée LiDAR jusqu'à une année donnée. Dans le cas des compilations par peuplement et par *forel*, il n'est pas possible de faire de telles modifications. Les prédictions pour ces méthodes de compilation représentent donc le volume ou la surface terrière à l'année du sondage de l'IEQM.

Par ailleurs, le contour de chaque chantier a été défini précisément à l'aide de données d'imagerie ou du LiDAR (modèle numérique de la hauteur de la canopée) afin de n'inclure que les portions de territoires qui ont été réellement traitées (chantiers de récolte) ou qui ont été sondées (chantiers BMMB).

Concernant les résultats de volumes tirés des compilations associées à la carte écoforestière originale, une partie du volume marchand brut prédit n'est pas considéré comme utilisable. Une réduction doit donc être appliquée par le biais de régressions linéaires produites spécialement à cette fin (voir [annexe 1](#)).

### Validations statistiques et analyses

Afin de comparer les valeurs prédites des différentes méthodes de compilation avec les valeurs estimées de référence, les statistiques d'écarts (différence moyenne entre les prédictions et les valeurs de référence), de précision (MAE : moyenne de la valeur absolue des erreurs) et de  $T^2$  ont été calculées comme suit :

$$Ecart_i = (\hat{y}_i - y_i) \quad (\text{équation 1})$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y_i|}{n} \quad (\text{équation 2})$$

$$T^2 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}\right) * 100 \quad (\text{équation 3})$$

où  $i = (1, \dots, n)$  correspond au chantier cible,  $\hat{y}_i$  est la valeur prédite,  $y_i$  la valeur estimée de référence et  $\bar{y}$  est la moyenne des valeurs estimées de référence.

Le  $T^2$  (McRoberts, 2012) est une statistique qui s'apparente au  $R^2$  dans une régression. Il permet d'apprécier la qualité de la prédiction; plus le  $T^2$  est près de 1, meilleur est le résultat. Notez que, dans le cas du  $R^2$ , la valeur prédite provient d'une droite de régression, tandis que, dans le cas du  $T^2$ , la valeur prédite a été obtenue à partir d'une autre méthode de prédictions (LiDAR ou IEQM).

Des analyses de régression ont aussi été réalisées afin de vérifier dans quels contextes (type de peuplements, localisation, essences dominantes, hauteur dominante, etc.) les prédictions divergent le plus des données de référence. Toutefois, ces analyses n'ont pas été concluantes et ne sont pas présentées dans ce rapport.

## Résultats

---

À des fins de simplification, les termes « prédictions LiDAR » et « prédictions IEQM » sont respectivement utilisés dans ce rapport comme synonymes de « prédictions tirées de la carte dendrométrique LiDAR » et « prédictions tirées des compilations forestières associées à la carte écoforestière originale de l'inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM) ».

### Chantiers de récolte

Les analyses réalisées à partir des données des 38 chantiers de récolte ne concernent que le volume net du groupe d'attribution SEPM. Il importe de noter que les données de mesurage, même si elles sont considérées comme données de référence, sont le résultat d'un échantillonnage. Elles représentent cependant les données les plus proches des observations faites sur le terrain. Le volume de référence dans les chantiers de récolte étant du volume net (volume brut utilisable duquel est enlevée la carie), il a été nécessaire d'appliquer un facteur de réduction aux volumes prédits par les différentes méthodes de compilation. Les taux de carie appliqués sont ceux estimés pour les peuplements matures durant les calculs d'attribution (moyenne par unité d'aménagement).

Les résultats montrent que la qualité des prédictions obtenues à partir de la carte dendrométrique LiDAR est généralement supérieure à celle obtenue avec les méthodes de compilation associées à la carte écoforestière originale (IEQM). Cependant, comme l'approche des compilations IEQM a beaucoup évolué au cours des années et a bénéficié des nombreuses bonifications apportées à la carte écoforestière (type de stratification) et au processus de sondage, il est d'intérêt de prendre en considération ces bonifications dans les analyses. On remarque ainsi une sous-estimation systématique des prédictions IEQM dans le cas des compilations par strates regroupées et par peuplement, qui peut s'expliquer en partie par le fait que les analyses portent seulement sur les peuplements matures (tableau 2A). Par ailleurs, on observe une amélioration constante de la qualité des résultats obtenus suivant l'évolution des approches de compilation IEQM (tableau 2A et figure 2). En effet, l'approche par strates regroupées produit les moins bons résultats, suivi de la méthode par peuplement avec les stratifications par groupement d'essences, de la méthode par peuplement avec la stratification par essence détaillée et de l'approche par *forel* qui permet d'obtenir les meilleures prédictions. La précision associée aux prédictions LiDAR est, quant à elle, relativement stable, et ce, peu importe le type de stratification utilisé (tableau 2A et figure 2).

**Tableau 2 Comparaison des statistiques retenues entre les différentes méthodes de compilation**

*A) Validation du **volume net** dans les chantiers de récolte*

Agrégations d'essences <sup>§</sup>	Méthode de compilation associée à la carte originale (IEQM)	Nombre de chantiers	Moyenne des valeurs estimées de référence (m <sup>3</sup> /ha)	Prédictions LiDAR			Prédictions IEQM		
				Écart moyen (m <sup>3</sup> /ha)	MAE <sup>†</sup> (m <sup>3</sup> /ha)	T <sup>2</sup>	Écart moyen (m <sup>3</sup> /ha)	MAE <sup>†</sup> (m <sup>3</sup> /ha)	T <sup>2</sup>
SEPM	FOREL	6	84,9	6,6	14,3	62,1 %	2,6	9,8	72,9 %
	PEE - ESS *	11	120,7	-6,7	10,5	84,3 %	-13,0	16,5	62,0 %
	PEE - GR_ESS *	11	111,4	-4,0	11,0	60,8 %	-17,5	19,4	0,0 %
	STRATES REGROUPÉES	10	111,7	-7,7	9,9	83,8 %	-34,5	34,5	0,0 %

*B) Validation des **surfaces terrières marchandes** avec les placettes d'exploitation des chantiers BMMB*

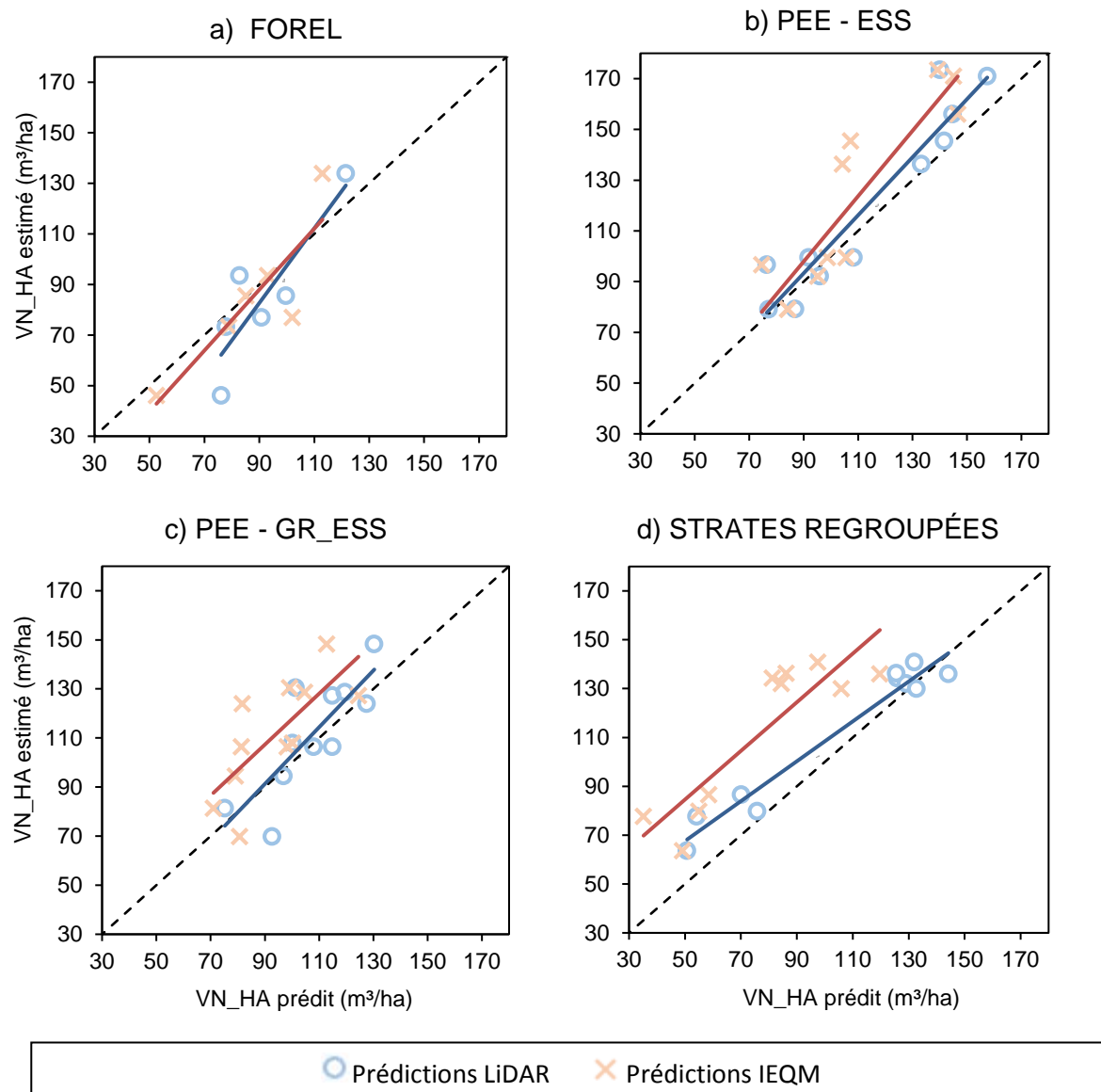
Agrégations d'essences <sup>§</sup>	Méthode de compilation associée à la carte originale (IEQM)*	Nombre de chantiers	Moyenne des valeurs estimées de référence (m <sup>2</sup> /ha)	Prédictions LiDAR			Prédictions IEQM		
				Écart moyen (m <sup>2</sup> /ha)	MAE <sup>†</sup> (m <sup>2</sup> /ha)	T <sup>2</sup>	Écart moyen (m <sup>2</sup> /ha)	MAE <sup>†</sup> (m <sup>2</sup> /ha)	T <sup>2</sup>
SEPM	PEE - ESS	17	14,5	-0,1	1,5	74,4 %	-0,7	1,5	74,7 %
BOU			5,4	0,7	1,1	76,4 %	0,0	1,3	70,2 %
TOT			25,2	0,2	1,6	74,9 %	-2,1	2,7	0,0 %
SEPM	PEE - GR_ESS	15	20,0	-1,3	2,0	76,2 %	-1,1	2,2	65,8 %
BOU			3,4	-0,2	0,7	83,2 %	-0,4	0,9	70,2 %
TOT			25,6	-0,4	1,8	26,8 %	-1,1	2,2	0,0 %

N. B. Les écarts moyens inscrits en **rouge** sont significativement différents de zéro. Les cellules colorées indiquent le produit ayant la statistique la plus favorable (comparaison des prédictions LiDAR et IEQM).

<sup>§</sup>SEPM : Groupe sapin baumier, épinettes, pin gris et mélèzes; BOU : groupe des bouleaux; TOT : total toutes essences commerciales.

\*PEE - ESS : Compilations par peuplement avec les essences détaillées; PEE - GR\_ESS : Compilations par peuplement avec les groupements d'essences.

<sup>†</sup>MAE : Moyenne des valeurs absolues des écarts.



**Figure 2** Comparaison du volume net SEPM (VN\_HA) estimé de référence avec celui prédit selon diverses méthodes de compilation, considérant l'approche de compilations IEQM : a) par *forel*; b) par peuplement — carte avec essences détaillées; c) par peuplement — carte avec groupements d'essences; d) par strates regroupées

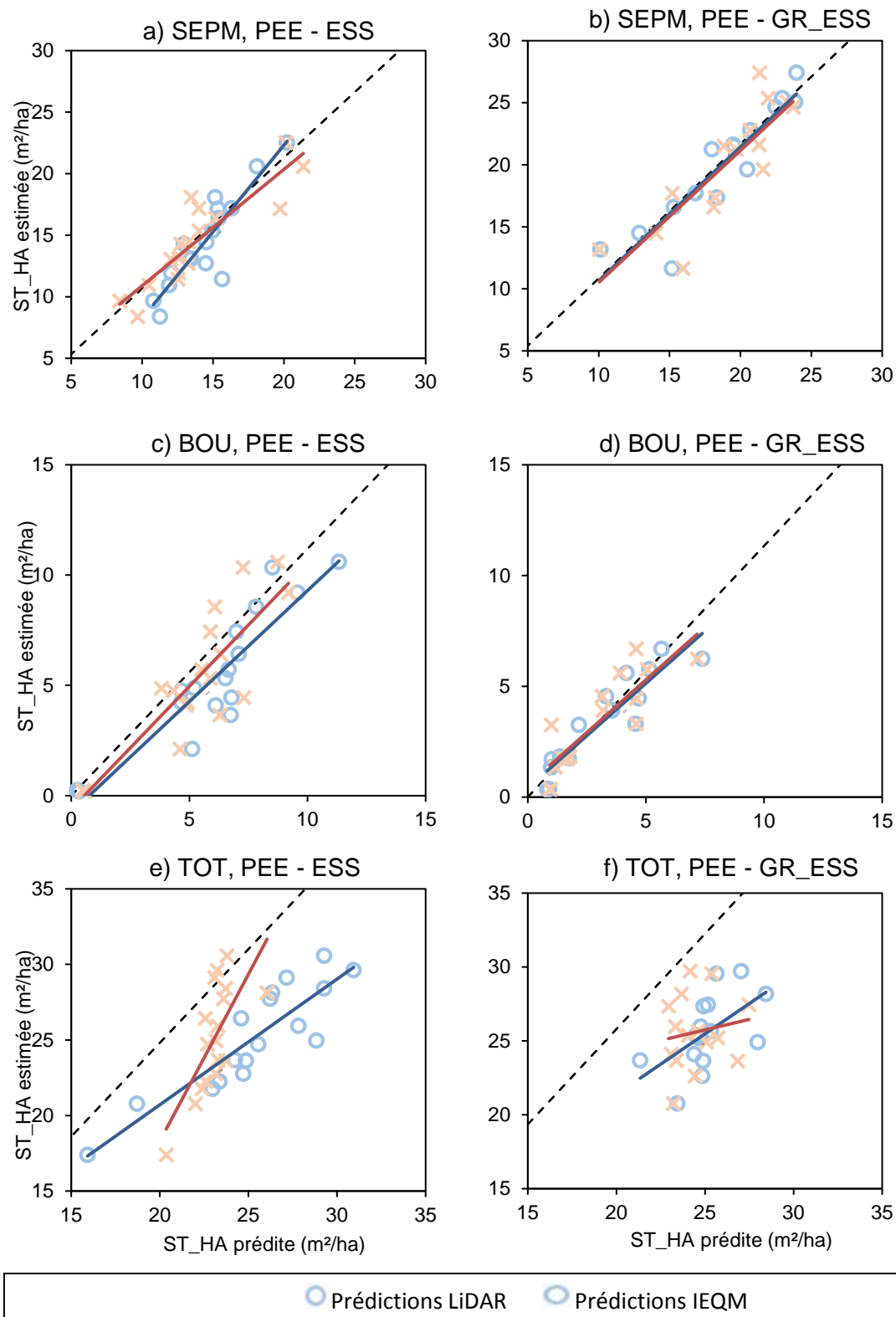
On note par ailleurs que la carte dendrométrique LiDAR permet presque toujours d'obtenir de meilleures prédictions que la compilation IEQM, sauf à fine échelle, c'est-à-dire dans le cas de l'approche par *forel* (tableau 2A). Dans ce cas, la méthode par *forel* semble plus précise et moins biaisée. Il faut cependant être prudent avec ces résultats, car seulement six chantiers, tous localisés dans l'UA 02471 (anciennement 02451), étaient disponibles pour l'analyse.



## Chantiers BMMB

Cette analyse vise à comparer les résultats obtenus à partir des différents produits de compilations avec les placettes d'intervention implantées dans 32 chantiers de récolte soumis aux enchères par le BMMB. Comme la localisation de ces placettes d'intervention n'est pas très précise, l'échelle de comparaison la plus fine qui a été considérée dans ce cas est celle des chantiers (moyenne des placettes). Les valeurs de référence en surface terrière par chantier ont été obtenues en calculant la moyenne des placettes pour un chantier donné. Il est à noter que seuls les groupes d'attribution BOU, SEPM et le total toutes essences commerciales (TOT) ont été comparés. Le groupe PE (peupliers) n'a pas été considéré, car ces espèces sont rares dans les chantiers retenus.

Les analyses démontrent que la qualité des prédictions est très semblable entre les produits (tableau 2B), sauf dans le cas des prédictions pour le groupe TOT. En effet, les écarts sont plus faibles et la précision nettement supérieure dans le cas des prédictions LiDAR. Les prédictions IEQM ne semblent pas en mesure de capter toute la variabilité pour le groupe TOT, alors que les prédictions LiDAR couvrent la presque totalité de l'étendue des valeurs de référence qui varient de 17 à 30 m<sup>2</sup>/ha pour les compilations avec essences détaillées (figures 3e et 3f). Il importe de noter que la méthode *k*-NN de compilations IEQM n'est pas optimisée en fonction du volume du groupe TOT, mais bien du volume des principales essences croissant sur le territoire.



**Figure 3** Comparaison des surfaces terrières marchandes (ST\_HA) estimées de référence avec celles prédites selon diverses méthodes de compilation, considérant le groupe d'attribution (SEPM, BOU et TOT) et deux approches de compilations IEQM par peuplement; avec les essences détaillées (PEE - ESS) et avec les groupements d'essences (PEE - GR\_ESS)

## Constatations et recommandations

---

- Les résultats des analyses comparatives sont applicables dans le cas de peuplements assez matures pour être récoltés des domaines bioclimatiques de la sapinière (domaines 4 et 5) et de la pessière à mousses (domaine 6).
- Généralement, la carte dendrométrique LiDAR permet d'obtenir les résultats les plus précis. Les analyses ont permis de démontrer que les résultats sont fiables avec cette méthode dans toutes les situations géographiques et dendrométriques analysées.
- Les résultats des analyses semblent démontrer que les prédictions IEQM par *forel* sont légèrement meilleures que celles de la carte dendrométrique LiDAR, mais l'analyse est basée sur un faible nombre de chantiers.
- Dans le cas du volume, les analyses semblent indiquer une sous-estimation généralisée de la méthode de compilation IEQM, soit pour les compilations par peuplement et par strates regroupées.
- Dans le cas de la surface terrière, les prédictions IEQM par peuplement sont analogues à celles de la carte dendrométrique LiDAR pour les groupes d'attribution SEPM et BOU. Toutefois, les prédictions de la compilation IEQM ont tendance à être moins précises lorsqu'elles sont produites pour le groupe TOT, c'est-à-dire pour le total toutes essences confondues.
- L'utilisation de la carte dendrométrique LiDAR devrait être privilégiée dans les domaines bioclimatiques 4, 5 et 6 pour bénéficier d'une meilleure précision des résultats dendrométriques dans les territoires qui n'ont pas encore été compilés selon la méthode *k*-NN avec les essences détaillées.
- Dans les autres situations, le choix du produit devrait davantage dépendre des besoins de l'utilisateur, car chaque produit possède ses forces et ses limitations. Pour un choix éclairé, consultez les fiches des différents résultats dendrométriques au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP, 2021c).

## Conclusion

---

La présente analyse a permis de mettre en lumière les forces et les limitations des différentes méthodes de compilation offertes par la DIF. Les bonifications apportées aux compilations IEQM au cours des années ont clairement amélioré la qualité des résultats obtenus. Par ailleurs, les nouvelles technologies ont permis de développer une nouvelle méthode de compilation, celle de la carte dendrométrique LiDAR, qui donne des résultats précis et stables. Comme les méthodes de compilation ne sont pas statiques dans le temps, elles sont sujettes à évoluer et d'autres adaptations seront possiblement nécessaires en fonction des nouvelles méthodes et technologies disponibles dans les prochaines années.

## Références

---

- McROBERTS, R. E. (2012). *Estimating forest attribute parameters for small areas using nearest neighbors techniques*, *Forest Ecology and Management*, 272: 3-12.  
[<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.039>].
- MFFP (2011). *Guide d'utilisation des données des projets de compilation, Projets des unités de sondage des années 2004 à 2010, 4<sup>e</sup> inventaire écoforestier du Québec*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 81 p.  
[<https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/guide-utilisation-donnees.pdf>].
- MFFP (2017). *Méthodologie des compilations forestières du 4<sup>e</sup> inventaire écoforestier du Québec méridional – Cas particulier des estimations k-NN*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 35 p.  
[<https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/methodologie-compilations-forestieres-4e-inventaire-ecoforestier-qc-meridional.pdf>].
- MFFP (2018). *Résultats de compilations forestières par FOREL de l'inventaire écoforestier du Québec méridional – Guide d'utilisation*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 20 p. [[https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/Guide\\_forel.pdf](https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/Guide_forel.pdf)].
- MFFP (2021a). *Carte dendrométrique LiDAR – Méthode et utilisation – 2<sup>e</sup> édition*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 23 p.  
[<https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/carte-dendro-LiDAR.pdf>].
- MFFP (2021b). *Manuel de mesurage des bois récoltés sur les terres du domaine de l'État – Exercice 2021-2022*, Bureau de mise en marché des bois, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 315 p. [[https://bmmb.gouv.qc.ca/media/60370/manuel\\_de\\_mesurage\\_2021\\_v\\_20210407.pdf](https://bmmb.gouv.qc.ca/media/60370/manuel_de_mesurage_2021_v_20210407.pdf)].
- MFFP (2021c). *Résultats dendrométriques au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs – Méthodes de compilation et utilisations recommandées*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 16 p. [<https://mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/Resultats-dendrometriques-MFFP.pdf>].
- MRN (1999). *Inventaire de la matière ligneuse utilisable mais non récoltée dans les aires de coupe – Instructions*, Direction de l'assistance technique, ministère des ressources naturelles du Québec, 36 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/matli.pdf>].
- MRNF (2005). *Estimation des volumes de bois affectés par les opérations de récolte – Instructions*, Direction de l'assistance technique, ministère des ressources naturelles du Québec, 39 p.  
[[https://diffusion.mern.gouv.qc.ca/public/Biblio/Perio/0747799/2005\\_06.pdf](https://diffusion.mern.gouv.qc.ca/public/Biblio/Perio/0747799/2005_06.pdf)].



## Annexe I - Conversion du volume marchand brut en volume brut utilisable

---

Le volume marchand brut (VMB) est le type de volume de matière ligneuse évalué dans les différents produits de résultats dendrométriques associés aux compilations forestières de l'IEQM. Il correspond au volume prédit par un modèle que l'on nomme « tarif de cubage » qui considère le volume de bois entre le diamètre à hauteur de souche et un diamètre minimum d'utilisation de 9 cm avec écorce. Or, dans le mesurage des bois abattus au Québec, ce diamètre minimum est plutôt de 9 cm sous écorce. Pour cette raison, dans le cadre de l'estimation des volumes attribuables en forêt publique, des réductions sont appliquées aux volumes mesurés en inventaire pour tenir compte de cette différence dite « associée à la technique de prise de mesure (sur ou sous écorce) ». L'influence de cette différence de définition s'observe tout particulièrement pour les tiges de petit diamètre, puisque le volume de bois entre 9 cm sous écorce et 9 cm avec écorce représente une proportion du volume total nettement plus élevée que celle pour les arbres de grand diamètre.

Un tarif de cubage a donc été développé afin d'obtenir ce nouveau type de volume de matière ligneuse qui correspond davantage à celui du mesurage des bois abattus. Cette nouvelle caractéristique dendrométrique est nommée « volume brut utilisable » (VU). Tout comme le VMB, il s'agit d'un volume duquel la carie n'est pas exclue. Le VU est celui qui a été utilisé pour développer la carte dendrométrique LiDAR.

Afin de comparer la même variable de volume pour tous les produits de compilation, un modèle de prédiction du VU par tige a été développé à partir de placettes où les deux définitions de volume ont été compilées. Il s'agit d'un modèle linéaire très simple à deux paramètres dont la seule variable explicative est le VMB par tige (équation 4). Le volume brut utilisable à l'hectare est ensuite déduit de celui par tige et de la densité de tiges marchandes (équation 5). Les paramètres estimés (Tableau 3) varient en fonction du groupe d'agrégation des essences et de l'année de compilation. Ces équations ont donc servi pour convertir les VMB dans les compilations IEQM.

$$VU\_TIGE = \beta_0 + \beta_1 \cdot VMB\_TIGE \quad (\text{équation 4})$$

$$VU\_HA = VU\_TIGE \times \frac{TIGE\_HA}{1000} \quad (\text{équation 5})$$

où :

VU\_TIGE : volume brut utilisable par tige (dm<sup>3</sup>/tige)

$\beta_0$  et  $\beta_1$  : paramètres du modèle

VMB\_TIGE : volume marchand brut par tige (dm<sup>3</sup>/tige)

VU\_HA : volume brut utilisable à l'hectare (m<sup>3</sup>/ha)

TIGE\_HA : nombre de tiges marchandes à l'hectare (tiges/ha)

**Tableau 3** Estimés des paramètres du modèle de prédiction du volume brut utilisable par tige (équation 4)

Groupe d'agrégation (groupe d'attribution)	Période de diffusion de la compilation <sup>1</sup>	$\beta_0$	$\beta_1$
<b>Sapin baumier, épinettes, pin gris et mélèzes (SEPM)</b>	2005-2010	-3,3366	1,0105
	2011-2017	-4,9707	1,0301
	2018-2019	-4,9198	1,0118
<b>Thuya occidental (TO)</b>	2005-2010	-3,8271	0,9960
	2011-2017	-3,8271	1,0320
	2018-2019	-3,8271	1,0315
<b>Essences du genre pin qui sont autres que le pin gris (PBPR)</b>	2005-2010	-1,1786	0,9788
	2011-2017	-1,1786	1,0339
	2018-2019	-1,1786	1,0200
<b>Essences commerciales du genre bouleau (BOU)</b>	2005-2010	-9,7851	0,9995
	2011-2017	-4,9136	1,0342
	2018-2019	-10,4578	1,0260
<b>Essences du genre peuplier (PE)</b>	2005-2010	-2,0715	0,9984
	2011-2017	-2,0715	1,0043
	2018-2019	-2,0715	0,9953
<b>Feuillus commerciaux qui ne font pas partie des groupes BOU et PE</b>	2005-2010	-3,4967	0,9826
	2011-2017	-3,4967	1,0044
	2018-2019	-3,4967	1,0033

<sup>1</sup>L'année de diffusion de la compilation par territoire est disponible à l'adresse suivante :  
<https://mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/avancement-activites.pdf>.



**Forêts, Faune  
et Parcs**

**Québec**

