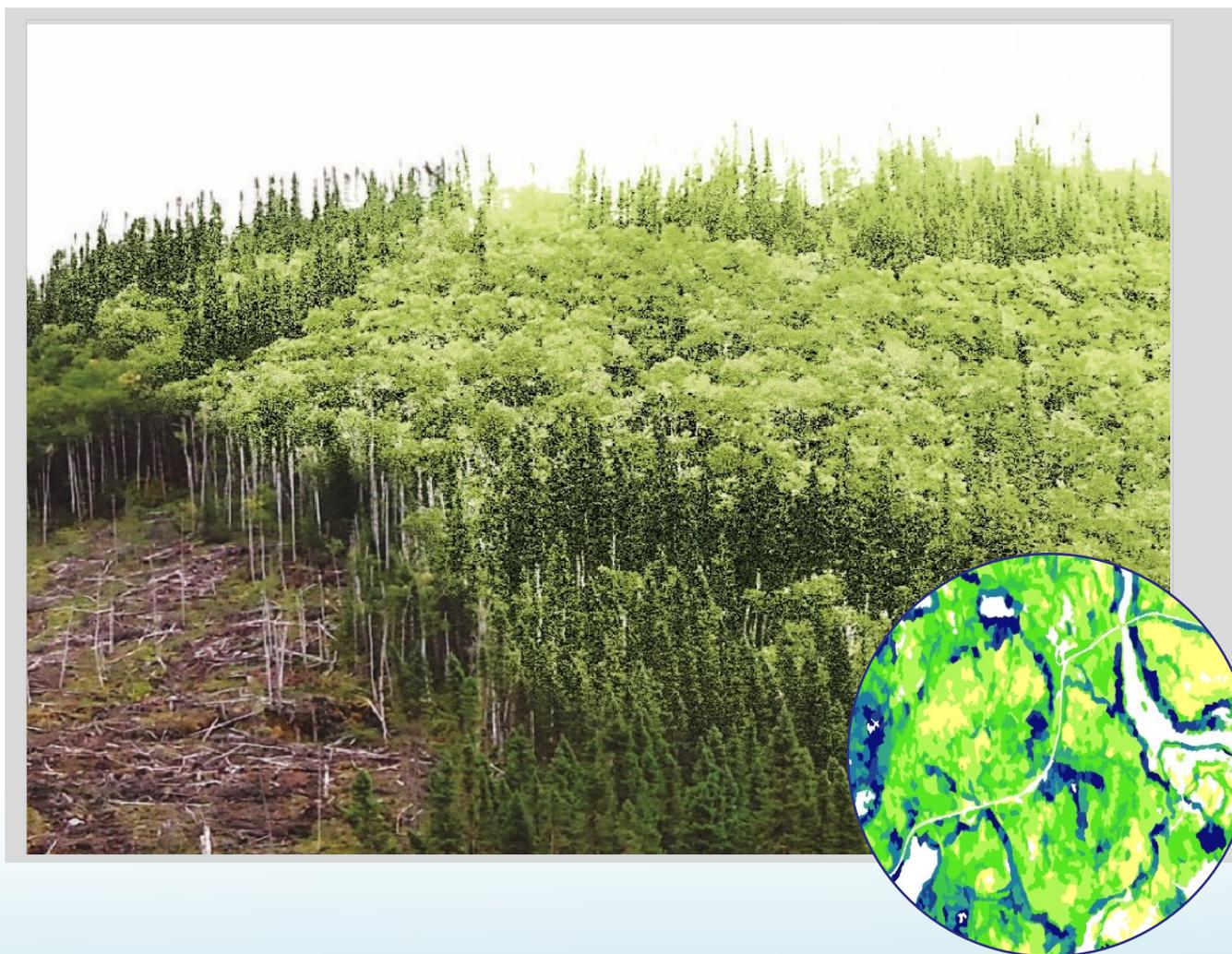


Carte dendrométrique LiDAR

Méthode et utilisation

Juin 2025

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DES FORÊTS



Rédaction

Martin Riopel, ing. f., Ph. D.

Dave Munger, analyste en géomatique

Carl Bergeron, ing. f., M. Sc.

Coordination

Victoria Chaguala, ing.f., M. Sc.

Mise en page

Victoria Chaguala, ing.f., M. Sc.

Illustrations et cartes

Dave Munger, analyste en géomatique

Étienne Cyr, techn. forest.

Robin Lefrançois, techn. forest.

Valérie Roy, techn. géo.

Martin Riopel, ing. f., Ph. D.

Révision linguistique

Benoît De Bellefeuille-Vigneau

Remerciements aux collaborateurs

Jean Bégin, ing. f., D. Sc.

Antoine Leboeuf, ing. f., Ph. D.

Hakim Ouzennou, M. Sc.

Jean-Gabriel Élie, ing. f., M. Sc.

Filip Havreljuk, ing. f., Ph. D.

David Gauthier, ing. f.

Marie-Soleil Fradette, ing. f., M. Sc.

Réalisation

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Direction des inventaires forestiers

5700, 4^e Avenue Ouest, A-108

Québec (Québec) G1H 6R1

Téléphone : 418 627-8669

Sans frais : 1 877 936-7387

Courriel : inventaires.forestiers@mrf.gouv.qc.ca

<https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/forets/recherche-connaissances/inventaire-forestier>

Diffusion

Cette publication est accessible en ligne uniquement à l'adresse :

<https://mrf.gouv.qc.ca/ministere/publications/>

Photographie

Dave Munger, analyste en géomatique et lidar

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025

ISBN 978-2-555-01344-5 (3^e édition, 2025)

ISBN 978-2-550-88865-9 (2^e édition, 2021)

ISBN 978-2-550-78837-9 (1^{re} édition, 2017)

Avant-propos

Pour le domaine forestier, diverses caractéristiques dendrométriques doivent être évaluées. Les plus utilisées sont le volume marchand brut et la surface terrière. La Direction des inventaires forestiers (DIF) produit diverses compilations forestières dans le cadre de l'inventaire écoforestier du Québec méridional (MFFP 2021). Parmi celles-ci, la méthode statistique non paramétrique *k*-NN (MFFP 2017) est utilisée afin de produire des résultats à fine échelle, soit le *forel* (MFFP 2018), une unité matricielle. Une des innovations majeures introduite récemment est l'ajout de variables déduites de données lidar aérien aux autres variables explicatives utilisées jusqu'ici. Les analyses réalisées démontrent que ces variables sont parmi les plus efficaces pour expliquer le volume des arbres dénombrés dans des placettes-échantillons.

La méthode *k*-NN n'est pas la seule qui permet d'exploiter le potentiel de données lidar à prédire des variables dendrométriques. Diverses méthodes paramétriques peuvent aussi être utilisées. C'est dans ce contexte que, depuis quelques années, la DIF développe une autre approche de compilation qui permet de produire la carte dendrométrique LiDAR dont il est ici question. Le développement de cette approche, qui a vu le jour en 2011, est en fait une initiative de la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean et qui a bénéficié de l'apport de l'Université Laval. La collaboration de cette région avec la DIF a permis d'apporter plusieurs améliorations afin d'augmenter la fiabilité du produit et d'élargir le domaine d'applicabilité. La méthode s'appuie sur un ensemble de modèles paramétriques où les données lidar sont parmi les plus importantes pour prédire diverses caractéristiques dendrométriques d'intérêt. Ensuite, ces modèles sont appliqués à très fine échelle (10 m x 10 m) et, finalement, un produit vectoriel est créé.

Les polygones définis dans la carte dendrométrique LiDAR sont à une échelle plus fine (moyenne de 0,8 ha) que celle de la carte écoforestière (moyenne de 6,6 ha), mais plus grande que celle du *forel* (20 m x 20 m). Ce produit vise à répondre à des besoins plus spécifiques que ceux des autres compilations forestières; il servira essentiellement d'assise optimale pour la planification opérationnelle des activités d'aménagement forestier. Les principales caractéristiques qui le démarquent sont (1) l'introduction d'une nouvelle définition du volume brut que l'on qualifie d'« utilisable », (2) la prédiction de volumes par produit et (3) la prédiction des variables d'intérêt dans certains peuplements écoforestiers de moins de 7 m de hauteur et certaines superficies forestières improductives.

La carte dendrométrique LiDAR utilise une approche innovante, unique au monde, qui permet à la DIF d'accroître sa gamme de produits et services. Tous les documents et les bases de données associés à celle-ci peuvent être téléchargés gratuitement en accédant à la fiche descriptive sur Données Québec :

https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/carte_dendrometrique_lidar.

Table des matières

Avant-propos	III
Introduction	1
1. Méthodologie	2
1.1 Préparation des intrants	2
1.2 Création des modèles d'attributs forestiers	3
1.3 Cartographie des attributs forestiers	4
1.4 Validation avec des bases de données indépendantes	5
2. Description du produit	6
2.1 Territoire cartographié	6
2.2 Description de la base de données géographiques	6
2.3 La projection.....	7
2.4 Attributs forestiers du polygone (table CMP_).....	7
2.4.1 Caractéristiques forestières	7
2.4.2 Caractéristiques dendrométriques	10
2.5 Métadonnées relatives au polygone (table META_).....	12
3. Exemples d'utilisation	14
Cas 1 : détecter la variabilité de la hauteur du couvert forestier	14
Cas 2 : détecter la variabilité à l'intérieur des peuplements écoforestiers	16
Cas 3 : détecter des zones boisées dans les improductifs.....	18
Références	20
Annexe I. Production d'un tarif de cubage de volume brut utilisable	23
Annexe II. Description des essences individuelles et des agrégations	25

Liste des figures

Figure 1 Étapes de production de la carte dendrométrique LiDAR.....	3
Figure 2 Chemins forestiers et peuplements de la carte écoforestière	14
Figure 3 Hauteur dominante (m) des polygones de la carte dendrométrique LiDAR	15
Figure 4 Photographie aérienne du secteur représenté sur les figures 2 et 3.....	15
Figure 5 Contour des peuplements écoforestiers et symbologie du volume brut utilisable toutes essences commerciales confondues (m ³ /ha).....	16
Figure 6 Contour des peuplements écoforestiers et symbologie du volume brut utilisable en SEPM de qualité sciage (m ³ /ha)	17
Figure 7 Densité du couvert estimée avec le lidar d'un secteur avec un peuplement forestier productif entouré de zones cartographiées comme étant improductives (DS et DH)	19
Figure 8 Photographie aérienne et délimitation des zones d'au moins 50 m ³ /ha de volume brut utilisable (orange) et d'un peuplement forestier productif (vert)	19
Figure 9 Illustration des parties d'un arbre pour les essences résineuses et feuillues qui entrent dans le calcul du volume marchand brut.	23

Liste des tableaux

Tableau 1 Densité du couvert estimée par le lidar (DENSITE).....	7
Tableau 2 Principales essences observées et leur regroupement selon le niveau d'agrégation.....	9
Tableau 3 Description des essences individuelles et des agrégations	25

Modifications apportées à la carte dendrométrique LiDAR depuis la première parution en décembre 2020

Le fait d'utiliser une version de carte plus récente permet de bénéficier d'un produit basé sur la donnée lidar la plus récente possible et dont la répartition en essences repose sur une carte écoforestière plus actuelle. Le processus de la carte dendrométrique LiDAR est aussi en constante amélioration. Voilà un résumé des bonifications apportées en fonction des versions. Les informations sur la version sont indiquées dans la table de META_DENDRO_LIDAR des GDB/GPKG via les variables nommées DATE_PROD et VER_MODEL.

Versions de décembre 2020 (DIF 5.0)

Premières cartes diffusées officiellement à grande échelle. Les seules versions avec UPAYS_REG et SDOM_BIO, deux variables abandonnées dans la META dans les versions suivantes.

Versions de février 2022 (DIF 5.1)

Des feuillets cartographiques 1/20 000 ont été refaits pour des zones avec du nouveau lidar ou des corrections apportées;

Améliorations de la création des polygones pour tenir compte de l'indice de densité relative;

Nouveaux modèles avec 7 208 placettes supplémentaires du 5^e inventaire.

Versions de novembre 2022 (DIF 5.1b)

Prise en compte de la délimitation des territoires (limites d'unités d'aménagement ou d'agences) dans la création des polygones.

Versions de 2024 (DIF 5.2a)

Détection des bâtiments afin de les exclure du modèle de hauteur de canopée;

Importantes bonifications dans la création des polygones pour tenir compte de l'hydrographie et mieux regrouper, avec des polygones adjacents similaires, ceux ne respectant pas l'aire minimale. Algorithmes prenant en compte la hauteur, la densité et l'indice de densité relative pour trouver les regroupements de polygones les plus efficaces;

Prise en compte de l'information d'hydrographie pour éviter la prédiction de volumes sur pied;

Nouveaux modèles avec 6 923 placettes supplémentaires du 5^e inventaire;

Ajout de plusieurs étapes de validation au cours du processus de création des cartes;

Élimination de micro-trous et de micro-superpositions qui pouvaient survenir dans les versions précédentes.

Versions de 2025 (DIF 5.3)

Ajout de HT_DOMI (hauteur dominante de toutes les cellules du polygone forestier) fourni pour tous les polygones dont la hauteur dominante est de 1 m et plus;

Modification à la variable DENSITE (classe de densité du couvert forestier) qui est maintenant calculée pour tous les polygones de HT_DOMI de 2 m et plus, alors qu'avant, n'était calculée que s'il y avait présence de tiges marchandes;

Ajout de PC_NUL permettant d'avoir une information supplémentaire de métadonnées représentant le pourcentage de cellules de 1 m² n'ayant aucun retour lidar.

Introduction

L'arrivée de nouvelles technologies dans le monde forestier d'aujourd'hui ouvre de nombreuses avenues pour améliorer la précision des données d'inventaire produites. La carte dendrométrique¹ lidar² est l'exemple parfait des possibilités offertes par ces technologies.

L'approche de la carte dendrométrique LiDAR repose sur l'hypothèse qu'il est possible d'estimer de façon précise les caractéristiques dendrométriques à partir de la hauteur dominante, d'une variable représentant la densité du couvert ainsi que d'autres caractéristiques de site. Grâce à la précision du lidar ($\pm 5-30$ cm en X, Y et Z), les deux premiers éléments peuvent être mesurés avec une précision jusqu'à maintenant inégalée comparativement aux approches classiques d'inventaire forestier. Par exemple, la hauteur estimée peut être évaluée à une échelle fine (couche matricielle de 10 m x 10 m) sur de larges territoires survolés par un lidar aéroporté. Il est également possible de mettre à contribution les informations de la carte écoforestière pour prendre en compte l'effet de la composition en essences. Enfin, la classification écologique du territoire québécois (notamment l'unité de paysage régional) permet de considérer les variations interrégionales dans les caractéristiques de peuplements.

Ce document présente (1) les méthodes de production des cartes dendrométriques, (2) les bases de données géographiques produites et (3) des exemples d'utilisation du produit.

¹ Qualifie le type de variables associées aux polygones de la carte produite. La dendrométrie est une branche de la foresterie qui traite de la connaissance de la forme, des dimensions, de l'accroissement et de l'âge des arbres et des peuplements forestiers, ainsi que des dimensions et des formes de leurs produits (Côté, 2003).

² Lidar: *Light detection and ranging*. La référence au lidar dans le nom du produit est liée à l'utilisation de la hauteur et de la densité du couvert évaluées à partir de données lidar pour prédire des variables dendrométriques. Il est important de noter que d'autres méthodes d'estimation peuvent utiliser des données lidar, comme c'est le cas des compilations forestières originales.

1. Méthodologie

La méthodologie est subdivisée en quatre grandes étapes :

1. Préparation des intrants;
2. Création des modèles d'attributs forestiers;
3. Cartographie des attributs forestiers;
4. Validation avec des bases de données indépendantes.

Ces étapes sont présentées dans l'organigramme de la [figure 1](#) par des traits pointillés rouges. Les pastilles rondes représentent les principaux intrants alors que les boîtes rectangulaires arrondies représentent les étapes de modélisation. Les images rectangulaires sont des données géospatiales préliminaires (matricielles) ou finales (vectorielles). Chacune des étapes est détaillée dans les sections suivantes³.

1.1 PRÉPARATION DES INTRANTS

La première étape consiste à collecter les données brutes du lidar et à les organiser en un nombre limité de couches matricielles. Pour réaliser ces dernières, une correction à la hausse de la hauteur des points du relevé lidar doit être appliquée. Cette correction varie notamment selon la densité de points lidar (pts/m²) et est directement attribuable à la probabilité que le faisceau atteigne précisément le dessus de la cime des arbres sur le terrain. Pour la carte dendrométrique LiDAR, les équations proposées par Fradette et autres (2019) sont utilisées pour réaliser cette correction à l'échelle d'un pixel de 1 m x 1 m.

Les nuages de points lidar corrigés ont été convertis afin de produire quatre couches matricielles représentant les variables fondamentales de la présente méthode : une matrice de hauteur dominante (HD), une matrice de la hauteur moyenne du couvert forestier (HM), une matrice de densité du couvert forestier (DC) et une couche matricielle d'altitude provenant du modèle numérique de terrain (MNT). Ces matrices sont générées à l'échelle d'un pixel de 10 m x 10 m.

Afin de conserver des valeurs de hauteurs dominantes représentatives, des modèles d'accroissement annuel en hauteur ont été développés par essence à partir de données d'analyses de tiges de Laflèche et autres (2013). Ces modèles ont été appliqués à la matrice de HD afin que les hauteurs soient rapportées à une année de référence (p. ex. 2019) qui est unique pour tous les pixels d'un feuillet 1/20 000. Une correction à la baisse de l'accroissement prédit a été appliquée dans le cas particulier de pixels affectés par des défoliations sévères.

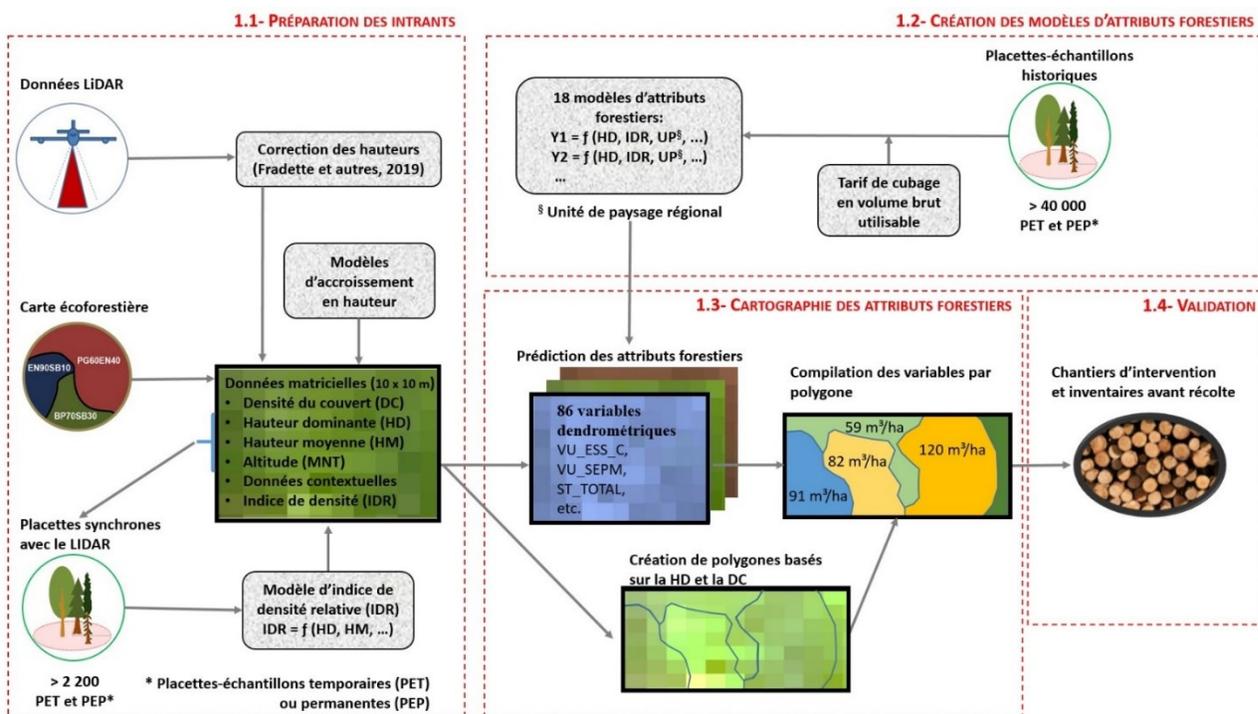
Pour compléter la préparation des intrants, deux autres couches matricielles doivent être produites. La couche matricielle de l'indice de densité relative (IDR) a été produite par modélisation à partir de plus de 2 200 placettes-échantillons dont l'année de mesure est relativement synchrone⁴ avec celle du survol lidar. Ce modèle est basé principalement sur les variables HD, HM et MNT. Enfin, une couche matricielle de données contextuelles est produite à partir de la carte écoforestière originale. Ainsi, pour chaque cellule de 10 m x 10 m, toutes les

³ Le processus associé à la production des données matricielles a été publié dans la revue *Forests* (Leboeuf et autres, 2022).

⁴ Par « synchrone », on entend que l'année d'acquisition du lidar est au plus 5 ans avant ou 5 ans après la date de mesure de la placette-échantillon.

informations pertinentes provenant de la carte écoforestière et de la classification écologique du territoire québécois sont recueillies.

Figure 1 Étapes de production de la carte dendrométrique LiDAR



1.2 CRÉATION DES MODÈLES D'ATTRIBUTS FORESTIERS

Cette étape vise à générer des modèles d'attributs forestiers qui s'appliqueront aux couches matricielles générées à la première étape (Préparation des intrants). Afin de produire ces modèles, les données suivantes ont été utilisées :

- Les placettes-échantillons temporaires des 4^e (MFFP, 2016) et 5^e (MRNF, 2025b) inventaires;
- Les placettes-échantillons permanentes du premier réseau implanté entre 1970 et 1977⁵;
- Les essences de la carte écoforestière originale la plus récente;
- Les caractéristiques écologiques du territoire.

Plus de 40 000 placettes ont servi à calibrer les modèles statistiques des domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune (4), de la sapinière à bouleau blanc (5) et de la pessière à mousses (6).

⁵ En ligne : <https://mrfn.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/Reseaux-PEP.pdf>

Les caractéristiques dendrométriques ont été compilées pour chaque placette-échantillon en ne tenant compte que des arbres vivants de dimensions marchandes⁶. Le volume brut utilisable (sans écorce) a été évalué à partir de l'essence, du DHP⁷ et de la hauteur prédite pour chaque arbre à l'aide d'une nouvelle équation de tarif de cubage à deux entrées permettant d'estimer le volume brut utilisable ([annexe I](#)). Il est à noter que ce tarif est différent de celui utilisé pour les compilations forestières de l'inventaire écoforestier du Québec méridional (IEQM), ces dernières ayant des volumes dits « sur pied ». Ce volume distinct est ici qualifié d'« utilisable » et il exclut la matière ligneuse comprise entre 9,0 cm de diamètre sans écorce et 9,0 cm avec écorce. Cela permet d'obtenir des valeurs qui sont comparables à celles mesurées après récolte. Enfin, il s'agit de volume « brut », c'est-à-dire sans exclusion de la carie, à l'exception des variables réparties par produit (sciage, sciabie, et pâte) de groupes d'attribution d'essences feuillues qui sont du volume « net », donc excluant la carie.

Ces données compilées par placette ont servi à produire les équations permettant d'estimer les caractéristiques dendrométriques.

1.3 CARTOGRAPHIE DES ATTRIBUTS FORESTIERS

Les attributs forestiers à l'échelle de 10 m x 10 m sont calculés en appliquant les 18 modèles d'attributs forestiers ([section 1.2](#)) aux données matricielles produites ([section 1.1](#)). Cela a permis la production de 86 attributs forestiers en format matriciel puisque certaines variables ont été déduites d'équations mathématiques et d'autres ventilées selon certains éléments, notamment les essences ou les groupes d'essences. Parmi ces attributs, certains sont obtenus en utilisant une matrice de répartition par produits des feuillus commerciaux de la Direction de la recherche forestière (Havreljuk et autres, 2015).

Afin de faciliter l'utilisation de ces données matricielles, une agrégation automatisée a été produite afin d'obtenir une carte en format vectoriel (polygones et tables associées). Les vecteurs ainsi produits représentent une agrégation de pixels similaires des deux couches matricielles HD et DC. Un découpage des zones dont la hauteur est inférieure à 50 cm (HD) ainsi que les lignes de transport d'énergie de la carte écoforestière sont intégrés à ces vecteurs afin de s'assurer de ne pas produire d'attributs forestiers dans ces zones. De façon générale, les polygones ainsi formés ne ressemblent donc pas à ceux de la carte écoforestière et sont beaucoup plus petits.

Quoiqu'il y ait eu des bonifications réalisées au fil des ans, le processus de création des polygones a, initialement, comme objectif de permettre de créer des zones homogènes d'au moins 1 600 m² (0,16 ha). Toutefois, lorsque les conditions sont très hétérogènes, un processus d'élimination des micro-polygones est appliqué pour regrouper des zones similaires pour une aire minimale de 900 m² (0,09 ha). Malgré tout, il peut exister des polygones allant jusqu'à 400 m² (0,04 ha) dans certaines circonstances comme pour les îles et les polygones découpés par la limite d'un feuillet 1/20 000.

Enfin, pour chaque polygone, une compilation des prédictions par pixel est réalisée afin d'obtenir la moyenne de chaque attribut forestier. Les résultats des prédictions sont inscrits dans la table attributaire. S'ajoute à cette dernière une couche ponctuelle formée à partir des centroïdes des entités polygonales. La table attributaire de celle-ci contient les métadonnées, soit différentes

⁶ Tiges marchandes : arbres d'un diamètre à hauteur de poitrine de plus de 9,0 cm.

⁷ DHP : diamètre à hauteur de poitrine, soit le diamètre d'un arbre mesuré à 1,3 m à partir du plus haut niveau du sol.

informations qualitatives essentiellement associées au survol lidar et aux informations cartographiques. Au total, 106 variables sont produites, en plus d'un identifiant unique de polygone.

1.4 VALIDATION AVEC DES BASES DE DONNÉES INDÉPENDANTES

Depuis le début du projet, des bases de données provenant de différents ensembles de référence ont été construites afin de valider les prédictions des attributs forestiers. Les deux principales sont les chantiers de récolte et les inventaires d'exploitation du Bureau de mise en marché des bois (BMMB).

Plus d'une cinquantaine de chantiers de coupe récoltés après l'acquisition lidar ont ainsi permis de comparer les volumes prédits avec les volumes récoltés et ceux laissés en forêt. Pour ce faire, le volume marchand provenant principalement du mesurage masse-volume a été utilisé (MFFP, 2020). De plus, les inventaires de la matière ligneuse non utilisée (IMLNU [MRN, 1999]) ou d'évaluation du volume touché par les opérations de récolte (EVAOR [MRNF, 2005]) ont permis de tenir compte du volume laissé sur le terrain. Dans le cas des traitements sylvicoles où une partie des tiges ont été protégées lors de la coupe, un pourcentage de rétention a dû être appliqué si l'inventaire après coupe ne portait pas sur les arbres vivants sur pied.

Des données provenant des inventaires d'exploitation du BMMB ont également été utilisées afin de valider les prédictions de nombre de tiges et de surface terrière avec les données des placettes réalisées dans les chantiers de récolte soumis aux enchères. Pour que les données d'un chantier BMMB soient utilisables, il fallait que les données dendrométriques des placettes de même que leur localisation soient disponibles. Comme la localisation de ces placettes d'exploitation n'était pas très précise, les comparaisons n'ont pu se faire qu'à l'échelle des chantiers, et non pas à l'échelle des placettes individuelles.

Les résultats de validation ont été publiés dans le document : [Résultats dendrométriques au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs – Analyse comparative des produits de la Direction des inventaires forestiers](#)

2. Description du produit

2.1. TERRITOIRE CARTOGRAPHIÉ

Jusqu'à présent, les efforts se sont concentrés sur les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses. Afin de consulter le territoire actuellement disponible et ceux prévus, voir la carte accessible en ligne :

<https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/planification-LIDAR-dendrometrique.pdf>

2.2. DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

Pour ce produit, il n'y a pas de base de données provinciale, car le nombre élevé de polygones (plus de 32 millions) alourdirait les traitements géomatiques. Les polygones de la carte dendrométrique LiDAR sont donc extraits pour chaque territoire selon un contour d'extraction défini. Ces contours sont principalement définis selon les limites des unités d'aménagement, des agences régionales de mise en valeur des forêts privées ou du territoire forestier résiduel qu'est l'île d'Anticosti. Il ne s'agit pas d'un découpage, ce qui signifie que les polygones demeurent toujours complets et qu'ils peuvent déborder le contour d'extraction. Dans ces cas, ils se retrouveront dans deux bases de données attenantes.

Deux formats de bases de données géographiques sont disponibles : géodatabase fichier (GDB) et GeoPackage (gpkg). L'utilisateur peut choisir le format qui convient le mieux selon les outils géomatiques utilisés. Habituellement, les utilisateurs de ArcGIS ont tout avantage à utiliser le format GDB, soit le format propriétaire d'ESRI, alors qu'il est préférable d'utiliser le format ouvert *gpkg* pour tout autre outil géomatique ou d'exploitation de bases de données.

Les bases de données peuvent être téléchargées à partir de l'adresse suivante :

https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/carte_dendrometrique_lidar.

Il est possible également de consulter [l'index de téléchargement](#) du produit dans la carte interactive *Forêt ouverte* (<https://www.foretouverte.gouv.qc.ca/>).

Les variables de la carte dendrométrique LiDAR sont présentes à l'intérieur de deux classes d'entités distinctes dont le point en commun est l'identifiant unique de polygone nommé GEOC_DENLI. Une table relationnelle est incluse dans la géodatabase afin de faciliter la jointure des tables. Les attributs dendrométriques associés aux compilations se trouvent dans la classe d'entités dont le nom débute par « CMP_ » alors que les métadonnées sont présentes dans celle débutant par « META_ ». Le type de géométrie de la première classe d'entités est le polygone alors que celui de la deuxième est le point (situé à l'intérieur du polygone, près du centre géométrique).

La description détaillée des éléments de la base de données géographiques et des attributs est présentée dans le [LISEZ-MOI](#) disponible en ligne. Depuis décembre 2023, un [outil de préparation des données](#) a aussi été mis en ligne pour faciliter la compilation des résultats à différentes échelles (p. ex. un chantier de récolte).

2.3. LA PROJECTION

Le système de référence de la carte dendrométrique LiDAR est le NAD83 Québec Lambert avec une projection conique conforme de Lambert (EPSG 32198).

2.4. ATTRIBUTS FORESTIERS DU POLYGONE (TABLE CMP_)

La classe d'entités CMP_ contient de nombreux attributs forestiers que l'on peut regrouper en deux catégories d'information : les caractéristiques forestières et celles dendrométriques.

2.4.1. CARACTÉRISTIQUES FORESTIÈRES

La création des polygones de la carte repose sur la densité et la hauteur du couvert forestier obtenues à l'aide du lidar aérien. Vous trouverez donc la valeur moyenne de celles-ci dans chacun des polygones de la carte. Le domaine des valeurs possibles pour la densité du couvert forestier (DENSITE) estimée par le lidar est présenté dans le [tableau 1](#). Ce sont essentiellement les mêmes valeurs que celles utilisées dans la carte écoforestière (MRNF, 2025a, section 2.4.13 *Densité de l'étage*), à l'exception des deux premières valeurs. Ainsi, la valeur « 10 » a été ajoutée pour mieux caractériser les peuplements peu denses. De plus, la valeur « 25 » débute à 20 % de couvert comparativement à 25 % dans la carte écoforestière. Enfin, la densité est estimée pour tous les polygones dont la hauteur du couvert est de plus de 1 m. Notez toutefois qu'avant 2025, cette information n'était fournie que pour les polygones présentant des arbres de dimensions marchandes.

Tableau 1 Densité du couvert estimée par le lidar (DENSITE)

Valeur estimée (%)	Intervalle couvert
10	de 1 à 19 % de couvert
25	de 20 à 29 % de couvert
35	de 30 à 39 % de couvert
45	de 40 à 49 % de couvert
55	de 50 à 59 % de couvert
65	de 60 à 69 % de couvert
75	de 70 à 79 % de couvert
85	de 80 à 89 % de couvert
95	de 90 à 100 % de couvert

À partir de 2025, la hauteur dominante du couvert forestier a été ajoutée (HT_DOMI). Ces valeurs sont estimées au mètre près selon les mêmes critères que la carte écoforestière (MRNF, 2025a, section 2.4.15 *Hauteur de l'étage*) et permettent de caractériser tous les polygones de 0,5 m et plus de hauteur, dont ceux ne présentant pas de tiges marchandes. L'obtention de

HT_DOMI repose sur une statistique focale (hauteur maximale) sur un rayon de 3,5 m appliquée sur une couche matricielle de 1 m². La moyenne est ensuite calculée sur toutes les cellules du polygone ayant plus de 40 cm de hauteur.

Pour les polygones dont on estime présenter des arbres de dimensions marchandes, la hauteur dominante moyenne (HT_DOMI_5P) des cellules de 10 m x 10 m ayant 5 m et plus de hauteur est présentée à 0,1 m près. Elle donne une indication sur le stade de développement du peuplement. Il est à noter qu'il ne s'agit pas de la hauteur du peuplement telle que définie dans la carte écoforestière puisque la moyenne ne tient pas compte des pixels dont la hauteur est inférieure à 5 m.

Vient ensuite l'indice de densité relative (IDR) qui est un descripteur primordial pour prédire les volumes de bois sur pied et une variable reconnue dans les guides de gestion de la densité pour décrire le degré d'occupation de l'espace par les arbres. Dans ce produit, un IDR de 0 indique l'absence de couvert forestier de plus de 5 m de hauteur alors qu'une valeur de 1 indique que le peuplement a une densité de tiges équivalente au 99^e centile de ce que l'on trouve au Québec pour un volume moyen par tige équivalent. Cet attribut permet également d'identifier les polygones qui n'ont pas de prévision des caractéristiques dendrométriques du fait d'une absence de données lidar. L'attribut aura par le fait même une valeur manquante (il est important de distinguer cette dernière d'une valeur de 0). Cette situation peut être causée par une couverture incomplète en lidar ou bien par l'absence de retours lidar (généralement due à une étendue d'eau ou à un taux d'humidité trop élevé de l'air lors du survol).

Vous trouverez également des champs descriptifs de la composition en essences (variables débutant par « PC ») exprimés en pourcentage du volume brut utilisable toutes essences confondues (commerciales et non commerciales). On distingue deux ensembles d'attributs pour cette ventilation. Le premier ensemble ([tableau 2](#), niveau 1) est le plus détaillé. Les pourcentages du volume brut utilisable dans ce groupe d'attributs ont tous un nom qui débute par le préfixe « PC1_ », le chiffre « 1 » faisant référence au niveau d'agrégation 1. La ventilation de ce niveau correspond à des essences individuelles, à des groupes d'espèces de même genre taxonomique ou à des groupes de type « autre » pour les essences rares ou non commerciales. L'autre ensemble d'attributs donnant des pourcentages de volume brut utilisable regroupe les niveaux d'agrégation 2 à 5 ([tableau 2](#)). Tous ces attributs ont un nom qui débute par le préfixe « PC_ », donc sans le chiffre « 1 » du groupe précédent. Ainsi, le niveau 2 d'agrégation correspond à des groupes d'attribution ('SEPM', 'BOU' et 'PE') de même qu'à un groupe de type « autre ». Les autres niveaux sont les plus génériques, ne faisant que distinguer les types d'essences (résineux ou feuillu), les essences commerciales ou non et le grand total toutes essences confondues (non fourni pour PC_ puisqu'il donne 100 %). En considérant les éléments précédemment abordés, on comprendra qu'il faut bien distinguer les différents niveaux d'agrégation si l'on veut calculer d'autres groupes, et ce, afin de s'assurer que l'on ne somme pas en double les mêmes essences.

Il est à noter que, à des fins de simplification, on considère que les pourcentages de volume brut utilisable sont aussi applicables pour répartir les surfaces terrières. Ils ne conviennent toutefois pas pour la répartition de la densité de tiges à l'hectare puisque cette dernière n'est pas suffisamment corrélée au volume à l'hectare.

Les prédictions par essence (champs débutant par « PC1_ ») permettent aussi de préciser le type de couvert (TY_COUV_VU). Les cinq valeurs distinguées (F, MF, MM, MR, R) sont exactement les mêmes que celles de la carte écoforestière (MRNF, 2025a, section 2.4.9 *Type de couvert de l'étage*). Toujours sur les mêmes bases de calcul, le champ ESS_PC_VU concatène le code à deux caractères (p. ex. SB) de chacune des essences, accompagné du

pourcentage qui lui est associé (au 10 % près), selon la même méthodologie que la carte écoforestière (MRNF, 2025a, section 2.4.18.3 *Occupation des essences en surface terrière relative*). Par exemple, un polygone dont le volume est composé à 70 % d'épinette noire et à 30 % de bouleau à papier se nommera EN70BP30.

La superficie (SUPERFICIE) du polygone, calculée avec la projection conique équivalente d'Albers, est fournie au dixième d'hectare près. Il est à noter que la superficie médiane des polygones est de 0,4 ha (moyenne autour de 0,8 ha). Ces polygones sont donc significativement plus petits que ceux de la carte écoforestière originale, dont la superficie moyenne est de 6,6 ha.

Tableau 2 Principales essences observées et leur regroupement selon le niveau d'agrégation

Code de l'essence*	Niveau d'agrégation*				
	1	2	3	4	5
EPB	EPB	SEPM	RES	ESS_C	TOTAL
EPO					
EPN	EPN				
EPR					
MEL	MEL				
PIG	PIG				
SAB	SAB				
PIB	PIB				
THO	THO				
PIR	AU_RES				
PRU					
BOJ	BOJ	BOU	FEU_C		
BOP	BOP				
PEB	PE	PE			
PEG					
PET					
ERR	ERR	AUFC			
ERS	ERS				
CHR	AU_FT				
FRN					
HEG	FEU_NC				
AUR					
ERE					
ERP					
PRP					
SAL					
SOA					

* Outre le fichier de description des attributs (« LISEZ_MOI »), [l'annexe II](#) présente la description de ces différents codes d'essences et groupes des niveaux d'agrégation définis.

2.4.2. CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES

Quatre grandes catégories de variables dendrométriques sont estimées pour les tiges marchandes⁸ représentées dans les polygones de la carte vectorielle. Elles se distinguent dans le nom des variables par un préfixe spécifique, soit les premiers caractères précédents « _ » dans le nom de l'attribut. Ces catégories de variables sont le nombre de tiges à l'hectare (débutant par « TIGE »), la surface terrière (débutant par « ST »), le diamètre à hauteur de poitrine moyen quadratique (débutant par « DHPQ ») et le volume (débutant par « VU » ou « VN »). Le nom des champs dendrométriques est toujours suivi par le code d'agrégation des essences ([tableau 2](#)).

2.4.2.1. Nombre de tiges à l'hectare

Le nombre de tiges à l'hectare (TIGE_) correspond au nombre de tiges marchandes vivantes à l'hectare sur pied, renversées ou encrouées⁹. Cette information est estimée pour les niveaux d'agrégation 2, 3 et 5 ([tableau 2](#)).

2.4.2.2. Surface terrière à l'hectare

La surface terrière (ST_) correspond à la somme de l'aire de la section transversale des tiges à la hauteur du DHP. L'unité de mesure employée est le mètre carré à l'hectare (m²/ha). Cette information est estimée pour les niveaux d'agrégation 2, 3 et 5 ([tableau 2](#)). Seules les tiges marchandes vivantes sur pied, renversées ou encrouées, sont considérées.

2.4.2.3. Diamètre à hauteur de poitrine moyen quadratique

Le diamètre à hauteur de poitrine moyen quadratique (DHPQ_) consiste en une moyenne quadratique des diamètres à hauteur de poitrine des arbres vivants de dimension marchande. Il est exprimé en centimètres selon deux niveaux d'agrégation (niveaux 2 et 5). Les valeurs ont été obtenues à partir des deux variables présentées précédemment grâce à la formule suivante (exemple pour le groupe SEPM) :

$$\text{DHPQ_SEPM} = \sqrt{\frac{40\,000}{\pi} * \text{ST_SEPM}/\text{TIGE_SEPM}}$$

2.4.2.4. Volume à l'hectare

Deux types de volume sont fournis dans la table des attributs forestiers : le volume brut utilisable et, spécifiquement pour les groupes d'attribution d'essences feuillues, le volume net par produit. L'unité de mesure employée est le mètre cube à l'hectare (m³/ha).

Le volume brut utilisable (VU) est une variable plus directement reliée au volume brut mesuré dans le cadre du mesurage des bois abattus puisqu'il équivaut au volume marchand brut duquel sont soustraites les parties inutilisables et jugées non marchandes (exclusion de la matière ligneuse comprise entre 9,0 cm de diamètre sans écorce et 9,0 cm avec écorce) (pour plus de

⁸ Tiges marchandes : arbres d'un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de plus de 9,0 cm (avec écorce).

⁹ Arbre encroué : arbre qui, en tombant, s'emmêle dans les branches d'un autre.

détails, voir [l'annexe I](#)). En fonction du degré d'agrégation des essences ([tableau 2](#)), les résultats dendrométriques suivants peuvent figurer :

- Pour toutes les essences de niveau d'agrégation 1, les VU sont inscrits dans les champs « VU1_ » selon le même principe que les variables débutant par « PC1_ »;
- Pour les niveaux d'agrégation 2 à 5, les VU sont inscrits dans les champs « VU » selon le même principe que les variables débutant par « PC_ »;
- Spécifiquement pour les groupes d'agrégation associés au niveau 2 :
 - les VU moyens par tige sont dans les variables débutant par « VUTIG_ » et sont publiés en dm^3/tige ;
 - les VU des classes de DHP de 10 à 14 cm inclusivement sont dans les variables se terminant par « 14M » (p. ex. pour SEPM, « VU_SEPM14M »);
 - les VU des classes de DHP de 16 cm et plus sont dans les variables se terminant par « 16P ».
- Spécifiquement pour les groupes d'agrégation feuillus de niveau 2 (PE, BOU et AUFC) les VU des classes de DHP de 24 cm et plus sont dans les variables se terminant par « 24P ».

Dans le cas du groupe « SEPM », une répartition du volume brut utilisable est prédite selon les critères utilisés pour le mesurage des bois abattus (MFFP, 2020). Ainsi, le volume de qualité sciage (VUSC_SEPM) équivaut au volume brut répondant aux critères de qualité B du mesurage des bois abattus. Le reste du volume fait partie de la pâte (VUPA_SEPM). Pour le moment, la carte dendrométrique LiDAR ne permet pas d'estimer le taux de carie. Une estimation du volume net n'est donc pas possible pour ce groupe d'attribution.

Quant aux groupes d'attribution associés aux essences feuillues, des volumes nets (VN) sont publiés par produit grâce à une matrice de répartition. Ceux-ci équivalent au volume brut utilisable duquel est soustrait le volume correspondant à la carie, aux défauts et aux parties non transformables selon des critères de récolte des bois feuillus. La répartition des volumes nets selon les trois classes de qualité du bois (sciage [SC], sciable [SB] et pâte [PA]) a été réalisée selon les définitions suivantes :

- les billes feuillues de qualité sciage incluent la catégorie de déroulage ainsi que les classes F1 et F2 du système de Petro et Calvert (1976);
- une bille de qualité sciable mesure au moins 2,5 m de longueur et au moins 16 cm de diamètre au fin bout (F3 et F4);
- les billes de qualité pâte sont celles de qualité moindre d'au moins 2,5 m de long avec un diamètre au fin bout d'au moins 10 cm.

2.5. MÉTADONNÉES RELATIVES AU POLYGONE (TABLE META_)

La classe d'entités « META_ » contient des informations utiles par polygone permettant d'utiliser adéquatement la carte dendrométrique. L'utilisateur doit particulièrement porter attention aux attributs suivants :

- l'**année d'acquisition du lidar** (AN_LIDAR) est importante à prendre en considération, car tout événement survenant entre cette année et le moment où l'évaluation est requise va affecter l'exactitude des attributs forestiers. Si le lidar n'est pas récent, il est opportun de tenir compte de la carte à jour ou des couches annuelles des perturbations pour vérifier si des polygones peuvent avoir été altérés depuis le survol (p. ex. un feu, une coupe, etc.);
- l'**année de projection du lidar** (AN_PROJETE) est la même pour tous les polygones d'un feuillet 1/20 000 donné. Ainsi, dans certains feuillets, il peut y avoir des polygones pour lesquels on a fait évoluer le lidar afin d'estimer les caractéristiques dendrométriques pour une année postérieure et, dans de plus rares cas, pour une année antérieure. Cette variable est évaluée à la demi-année de croissance près;
- le **type de stratification** de la carte écoforestière originale (STRATI_ECO) peut affecter la qualité de l'information de base en ce qui a trait à la répartition des volumes par essence. Les valeurs possibles sont liées à l'information disponible pour caractériser la composition en essences des peuplements (MRNF, 2025a, section 2.4.18 *Les essences du peuplement ou de l'étage*) :
 - « GR_ESS » = **stratification par groupement d'essences**;
 - « DETAIL » = **stratification par essences détaillées**;
 - « PIEN » = **stratification par type de couvert selon la méthodologie du programme d'inventaire écoforestier nordique** (MRN, 2012)¹⁰.

Vous trouverez également quelques champs informatifs qui permettent de documenter ce qui encadre la production de la carte, soit :

- le numéro du feuillet cartographique 1/20 000 (FEUILLET);
- la date de production de la carte (DATE_PROD);
- un indicateur de présence des valeurs dendrométriques prédites par la modélisation (IN_MODEL). Si l'indicateur est « N », il y a absence de donnée dendrométrique dans la table « CMP_ » en raison de la non-disponibilité du lidar ou bien du fait que la hauteur du polygone est de moins de 5 m;
- la version de la modélisation (VER_MODEL);
- le type de capteur lidar utilisé (CAPT_LIDAR);
- la densité moyenne de points par mètre carré de l'acquisition lidar (DENS_LIDAR);
- la présence ou non de feuilles lors du survol lidar (FEUILLE);
- l'année de l'acquisition des photographies aériennes qui ont servi à la photo-interprétation des essences du territoire (AN_PHOTO);

¹⁰ Stratification utilisée en dernier recours quand l'IEQM ne permet pas d'estimer les essences (quelques cas près de la limite nordique)

- les deux niveaux de classification écologique du territoire québécois utilisés dans la production de la carte dendrométrique LiDAR (UPAYS_REG et SDOM_BIO)¹¹;
- à partir de 2025, un indicateur du pourcentage des pixels de 1 m x 1 m qui n'ont aucun retour lidar (PC_NUL) a été ajouté. Cette variable donne une indication sur la fiabilité des prévisions. Un pourcentage élevé peut être signe que le survol lidar est déficient dans ce polygone ou, parfois, être signe qu'il y a une portion submergée (ex. : hydrographie ou inondé) puisque les impulsions ne retournent généralement pas à l'appareil quand elles touchent une surface d'eau. Les pixels touchés sont généralement remplacés par des valeurs nulles aux fins du calcul des caractéristiques dendrométriques.

¹¹ Ces deux variables ne sont présentées que dans les versions de la carte de décembre 2020.

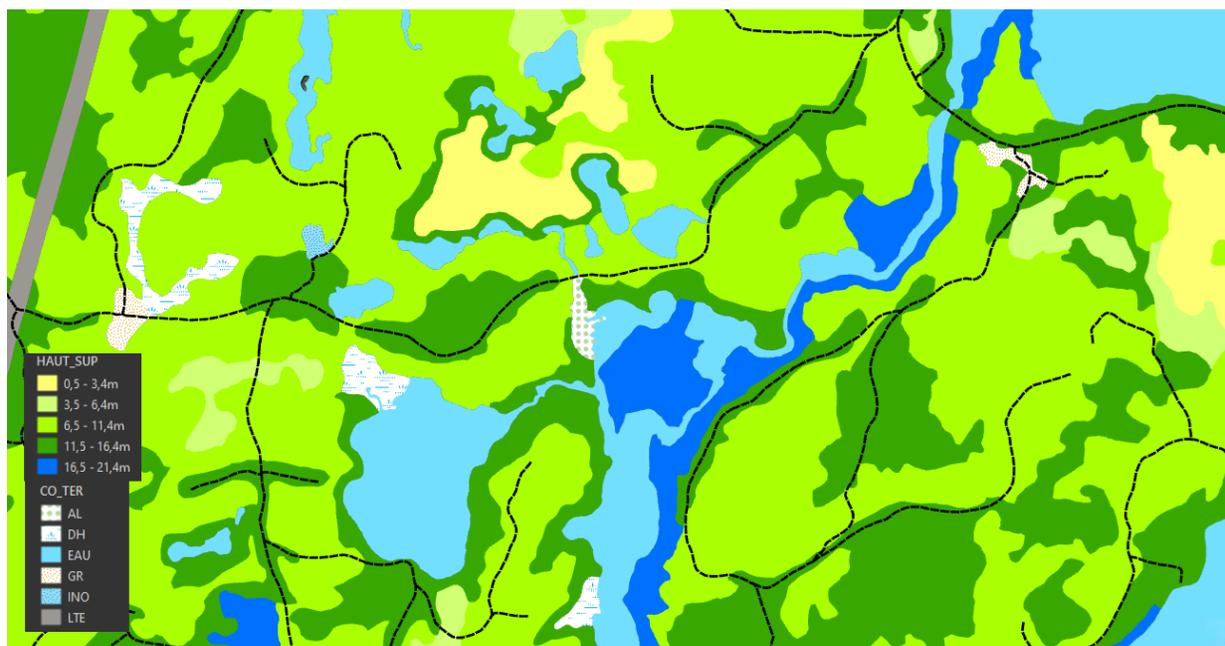
3. Exemples d'utilisation

Cette section présente quelques exemples d'utilisation du produit en le comparant avec la carte écoforestière.

CAS 1 : DÉTECTER LA VARIABILITÉ DE LA HAUTEUR DU COUVERT FORESTIER

La carte écoforestière ne permet pas de localiser tous les chemins forestiers et leur emprise. Ce n'est d'ailleurs pas l'objectif de cette carte, notamment en raison des aires minimales à respecter pour créer un polygone écoforestier. La carte dendrométrique LiDAR permet de localiser plusieurs emprises avec précision simplement en utilisant la densité ou la hauteur en symbologie. Dans la [figure 2](#) nous avons un aperçu de la carte écoforestière avec une couche de chemins ajoutée à la vue (lignes pointillées).

Figure 2 Chemins forestiers et peuplements de la carte écoforestière



La [figure 3](#) présente le même territoire, mais l'accent est mis sur les variations de hauteur des polygones de la carte dendrométrique LiDAR. On remarque que la finesse du produit permet de bien détecter les variations sur le territoire, notamment de localiser certains chemins forestiers (au nord-est) et de détecter les zones où la forêt est absente (certains dénudés, l'hydrographie et les lignes de transport d'énergie). La vérification à partir des photographies aériennes ([figure 4](#)) nous confirme que leur emplacement correspond bien à ce que montre la carte dendrométrique LiDAR. Il est à noter que l'emprise du chemin n'apparaît pas dans la carte dendrométrique LiDAR lorsque la largeur dénudée de l'emprise est trop étroite.

Figure 3 Hauteur dominante (m) des polygones de la carte dendrométrique LiDAR

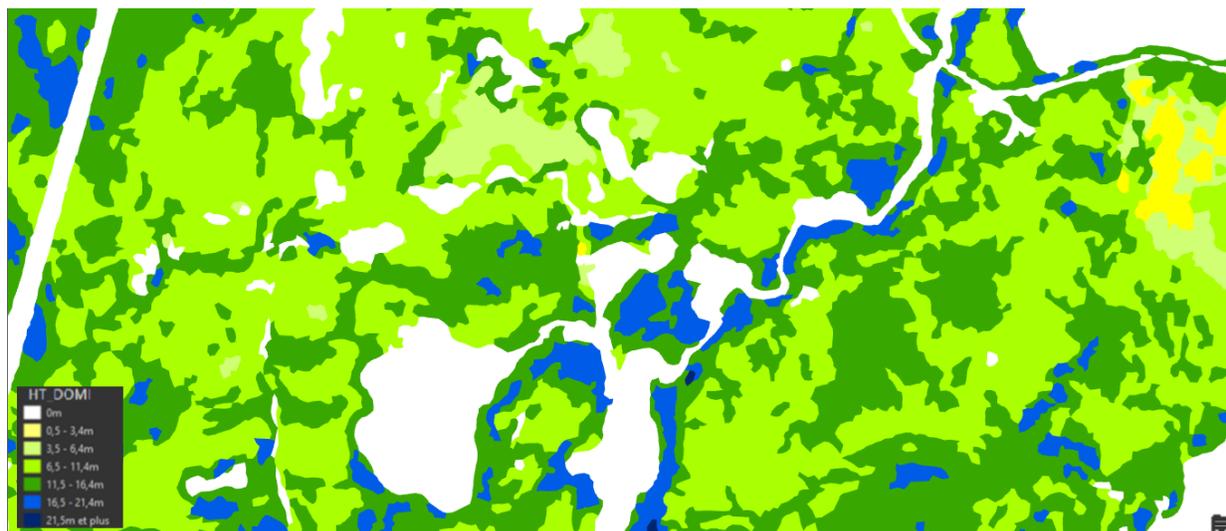
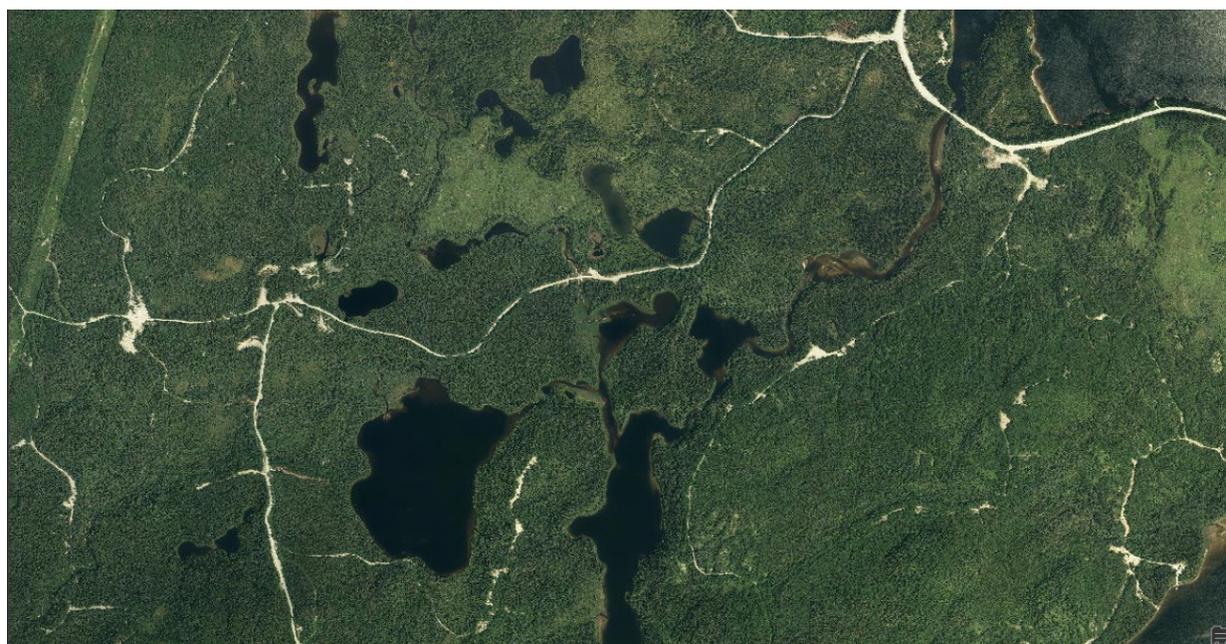


Figure 4 Photographie aérienne du secteur représenté sur les figures 2 et 3

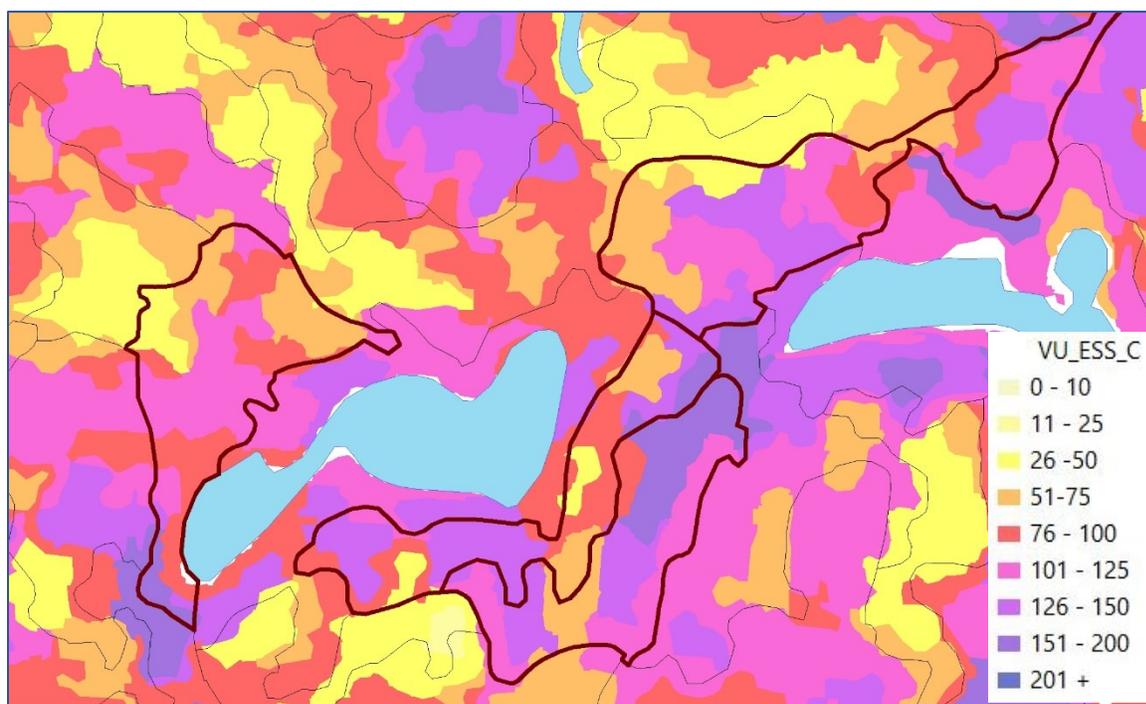


CAS 2 : DÉTECTER LA VARIABILITÉ À L'INTÉRIEUR DES PEUPELEMENTS ÉCOFORESTIERS

Comme la production automatisée des polygones de la carte dendrométrique LiDAR est plus fine et n'est pas régie par les contours des peuplements de la carte écoforestière, il arrive fréquemment que plusieurs petites zones présentant des caractéristiques spécifiques (p. ex. en volume) soient délimitées à l'intérieur même d'un peuplement écoforestier. Il est ainsi possible d'apprécier toute la variabilité existante au sein d'un peuplement ([figure 5](#)).

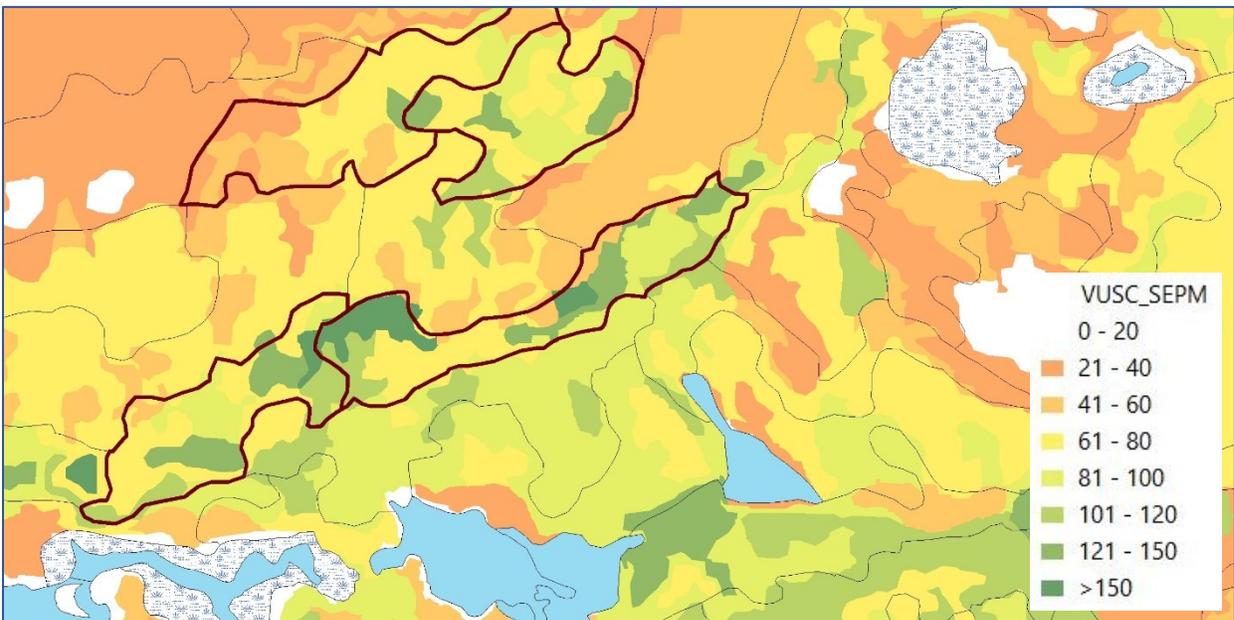
L'identification de zones d'intérêt en fonction de critères dendrométriques permettra de mieux mettre en évidence les polygones qui méritent une attention particulière. Ici, les peuplements de la carte écoforestière avec un contour brun sont identifiés comme étant jeunes irréguliers ou inéquiennes. On constate que la carte dendrométrique LiDAR (trames de couleurs) permet de détecter des portions distinctes à l'intérieur des polygones de la carte écoforestière. Ainsi, le volume peut varier considérablement à l'intérieur du peuplement. Cette information plus fine peut aider notamment le sylviculteur dans la planification des contours des traitements sylvicoles à réaliser.

Figure 5 Contour des peuplements écoforestiers et symbologie du volume brut utilisable toutes essences commerciales confondues (m³/ha)



De la même façon, on pourra détecter des zones pour lesquelles il y a davantage de volume de sciage grâce à une symbologie sur le champ approprié. La [figure 6](#) illustre cet exemple d'utilisation où l'on voit les contours de peuplements de la carte écoforestière. Ceux ayant un contour brun ont un âge de 90 ans et plus. La symbologie du volume brut utilisable de qualité sciage en SEPM provient, quant à elle, de la carte dendrométrique LiDAR.

Figure 6 Contour des peuplements écoforestiers et symbologie du volume brut utilisable en SEPM de qualité sciage (m³/ha)



CAS 3 : DÉTECTER DES ZONES BOISÉES DANS LES IMPRODUCTIFS

La production automatisée des polygones de la carte dendrométrique LiDAR permet la prédiction d'attributs forestiers partout où la hauteur et la densité du couvert forestier sont suffisantes pour héberger des tiges de plus de 9,0 cm de DHP. Le produit obtenu présente donc des caractéristiques dendrométriques dans des endroits où les compilations originales de la carte écoforestière n'en fournissent pas. C'est notamment le cas des peuplements improductifs et des peuplements de moins de 7 m de hauteur. Ce sont des informations utiles notamment pour quantifier la valeur des habitats fauniques et la captation du carbone.

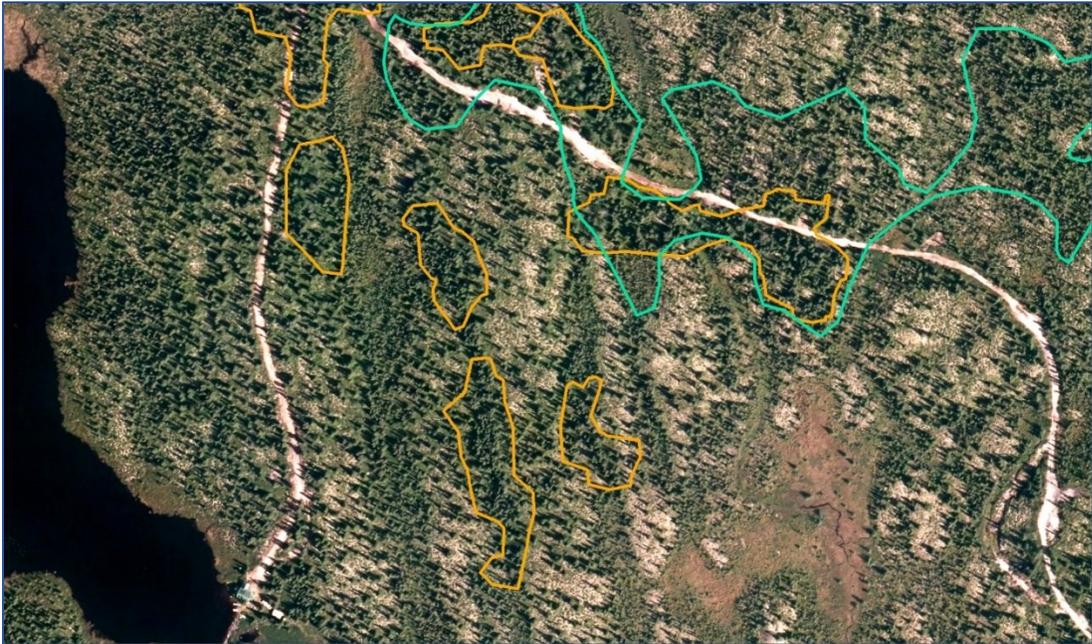
La [figure 7](#) illustre cette situation où la carte dendrométrique LiDAR détecte des zones boisées, notamment à travers des terrains improductifs, comme les dénudés secs (DS) ou humides (DH). En effet, lors de la photo-interprétation, tous les îlots boisés ne sont pas identifiés comme tels, principalement à cause de leur superficie restreinte (aire minimale de photo-interprétation). On peut y voir des îlots (polygones jaunes et orange) ayant 25 et 35 % de densité du couvert dans une zone identifiée comme étant improductive sur la carte écoforestière (dénudé sec, en trame de fond). La situation inverse se produit en haut à droite de l'image. Ainsi, un peuplement forestier productif (contour brun avec trame verte) photo-interprété comme ayant une densité du couvert de 25 % (dans la carte écoforestière) se retrouve avec une portion significative de superficies identifiées par le lidar comme étant de densité inférieure.

Ensuite, pour le même secteur, la photographie aérienne est présentée en arrière-plan d'une symbologie du volume brut utilisable des polygones de la carte dendrométrique LiDAR. Celle-ci permet de détecter, en contour orangé, les îlots ayant plus de 50 m³/ha ([figure 8](#)). Le peuplement forestier productif de la carte écoforestière est délimité, pour sa part, par le contour vert. Vous constaterez que les zones prédites plus denses dans l'image précédente ([figure 7](#)) présentent des prédictions de volume, même dans les peuplements forestiers improductifs (ici, dénudé sec).

Figure 7 Densité du couvert estimée avec le lidar d'un secteur avec un peuplement forestier productif entouré de zones cartographiées comme étant improductives (DS et DH)



Figure 8 Photographie aérienne et délimitation des zones d'au moins 50 m³/ha de volume brut utilisable (orange) et d'un peuplement forestier productif (vert)



Références

CÔTÉ, M. (2003). *Dictionnaire de la foresterie — Dictionary of Forestry — Diccionario de forestería*, Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Québec, 744 p.

FRADETTE, M.-S., A. LEBOEUF, M. RIOPEL et J. BÉGIN (2019). Method to Reduce the Bias on Digital Terrain Model and Canopy Height Model from LiDAR Data, *Remote Sens.*, 11(7): 863, [<https://www.mdpi.com/2072-4292/11/7/863>].

FORTIN, M., J. DEBLOIS, S. BERNIER et G. BLAIS (2007). *Mise au point d'un tarif de cubage général pour les forêts québécoises : une approche pour mieux évaluer l'incertitude associée aux prévisions*, *For. Chron.*, 83(5): 754-765, [<https://pubs.cif-ifc.org/doi/10.5558/tfc83754-5>].

HAVRELJUK, F., S. BÉDARD, F. GUILLEMETTE et J. DEBLOIS (2015). *Predicting log grade volumes in northern hardwood stands of southern Quebec*, ISCHP 2015: 5th International Scientific Conference on Hardwood Processing, Quebec City, Canada, p. 107-114.

LAFLECHE, V., S. BERNIER, J.-P. SAUCIER et C. GAGNÉ (2013). *Indices de qualité de station des principales essences commerciales en fonction des types écologiques du Québec méridional*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Ressources naturelles, Québec, 115 p. [<https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/indices-qualite.pdf>].

LEBOEUF, A., M. RIOPEL, D. MUNGER, M.-S. FRADETTE et J. BÉGIN (2022). *Modeling Merchantable Wood Volume Using Airborne LiDAR Metrics and Historical Forest Inventory Plots at a Provincial Scale*, *Forests*, 13(7): 985, [<https://doi.org/10.3390/f13070985>].

MFFP (2016). *Normes d'inventaire forestier - Placettes-échantillons temporaires*, Édition 2016, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 188 p. [<https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/Norme-PET.pdf>].

MFFP (2017). *Méthodologie des compilations forestières du 4^e inventaire écoforestier du Québec méridional – Cas particulier des estimations k-NN*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 43 p. [<https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/methodologie-compilations-forestieres-4e-inventaire-ecoforestier-qc-meridional.pdf>].

MFFP (2018). *Résultats de compilations forestières par forel – Guide d'utilisation*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 22 p. [https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/Guide_forel.pdf].

MFFP (2020). *Manuel de mesurage des bois récoltés sur les terres du domaine de l'État - Exercice 2020-2021*, Bureau de mise en marché des bois, Direction du mesurage et de la facturation des bois, Québec, 335 p. [https://bmbm.gouv.qc.ca/media/53364/manuel_de_mesurage_2020.pdf].

MFFP (2021). *Résultats dendrométriques au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs - Analyse comparative des produits de la Direction des inventaires forestiers*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 21 p. [<https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/Analyse-comparative-compilation-DIF.pdf>].

MRN (2012). *Norme de cartographie écoforestière du programme d'inventaire écoforestier nordique (PIEN)*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Ressources naturelles, Québec, 42 p. [<https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/norme-PIEN.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, Québec, 41 p. [<https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/44173>].

MRNF (2005). *Évaluation des volumes de bois affectés par les opérations de récolte : Instructions*, Direction de l'assistance technique, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 39 p. [<https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/20999>].

MRNF (2025a). *Cartographie du 5^e inventaire écoforestier du Québec méridional — Méthodes et données associées*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur des forêts, Direction des inventaires forestiers, 115 p. [https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/carto_5E_methodes_donnees.pdf].

MRNF (2025b). *Normes d'inventaire forestier. Placettes-échantillons temporaires, 5^e inventaire*, Direction des inventaires forestiers, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 134 p. [https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/Norme_PET_5e.pdf].

PERRON, J.-Y. (2003). *Tarif de cubage général — Volume marchand brut — 3^e publication*, Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers, 53 p. [<https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/tarif-de-cubage-64.pdf>].

PETRO, F. J. et W. W. CALVERT (1976). *La classification des billes de bois franc destinées au sciage*, ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada, Service canadien des forêts, Rapport technique de foresterie n° 6F, 69 p.

SCHNEIDER, R., M. FORTIN et J.-P. SAUCIER (2013). *Équations de défilement en forêt naturelle pour les principales essences commerciales du Québec*, Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, Mémoire de recherche forestière n° 167, 40 p.

[\[https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire167.pdf\]](https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire167.pdf).

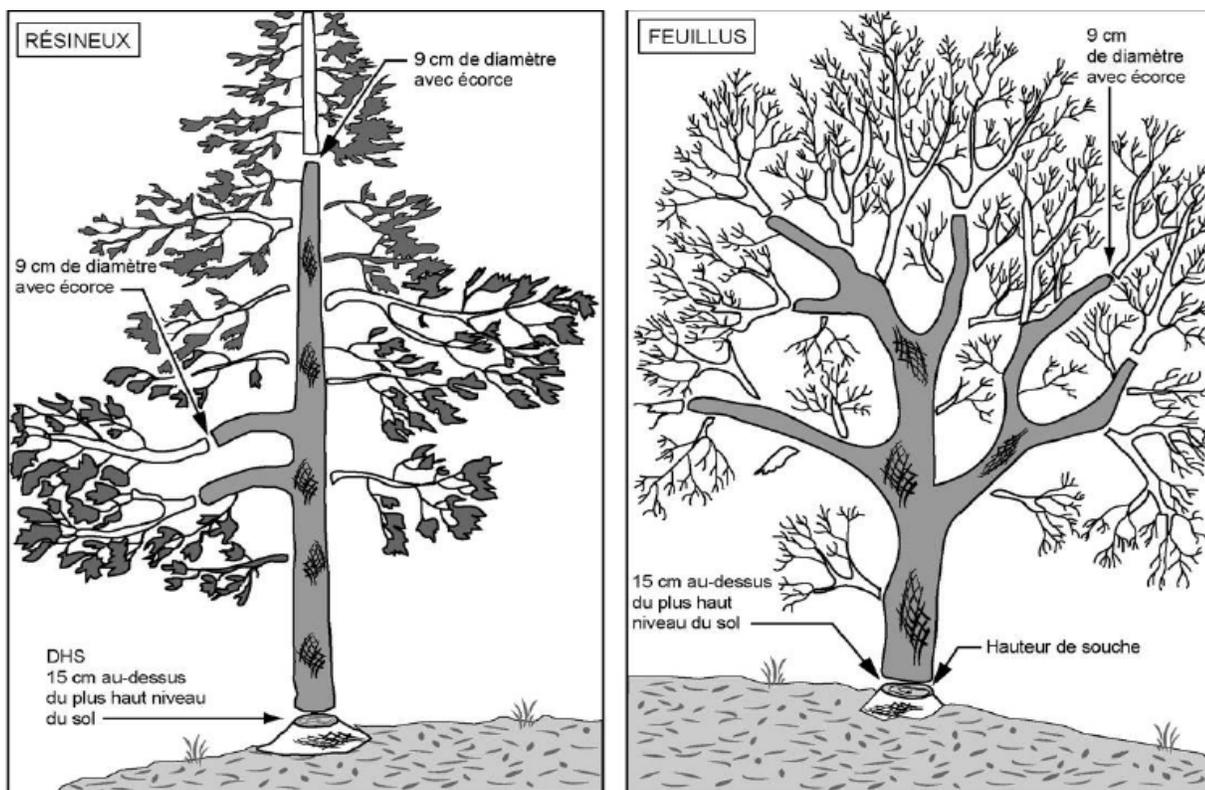
SCHNEIDER, R., M. FORTIN et J.-P. SAUCIER (2014). *Équation de défilement pour le pin gris en peuplement naturel au Québec*, Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, Note de recherche forestière n° 139, 6 p.

[\[https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Note139.pdf\]](https://mrnf.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Note139.pdf).

Annexe I. Production d'un tarif de cubage de volume brut utilisable

Les volumes associés aux tarifs de cubage de Perron (2003) et de Fortin et autres (2007) sont des volumes marchands bruts (VMB) sur pied. Il s'agit de la variable de volume prédite dans les compilations associées à la carte écoforestière. Le volume marchand brut se définit comme étant le volume ligneux du tronc d'un arbre et de ses branches sous écorce compris entre le diamètre à hauteur de souche (soit à 15 cm au-dessus du plus haut niveau du sol) et un diamètre d'utilisation de 9,0 cm avec écorce (figure 9). Les branches issues des dernières fourches et dont le diamètre admissible au fin bout est situé à moins d'un mètre de la fourche sont exclues du volume marchand brut.

Figure 9 Illustration des parties d'un arbre pour les essences résineuses et feuillues qui entrent dans le calcul du volume marchand brut¹².



En mesurage des bois abattus (MFFP, 2020), une partie de ce volume est exclue du calcul puisqu'elle est considérée comme non marchande. La différence de définition est liée essentiellement au diamètre minimum d'utilisation. Ainsi, le calcul du volume s'arrête à un diamètre de 9,0 cm sous écorce, et non avec écorce comme dans la préparation des données de Perron (2003) et de Fortin et autres (2007). Pour cette raison, lors 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) ». En termes relatifs, les réductions peuvent

¹² Extraite de Perron (2003)

atteindre 30 % pour des arbres de petite dimension alors qu'elles deviennent marginales pour des arbres de plus de 30 cm de DHP.

Étant donné que la carte dendrométrique LiDAR a pour objectif de faciliter la planification forestière de la récolte, une recompilation des données mesurées dans les années 1970 a été réalisée en excluant les parties considérées comme non utilisables. Cela permet d'obtenir un volume brut utilisable (VU) qui est davantage comparable au volume mesuré après récolte puisqu'il exclut la matière ligneuse comprise entre 9,0 cm de diamètre sans écorce et 9,0 cm avec écorce. Une nouvelle équation de tarif de cubage à deux entrées (DHP et hauteur totale) a donc été calibrée en fonction de l'essence. L'équation obtenue permet de prédire le volume brut utilisable (VU) pour chaque arbre mesuré dans les placettes.

En général, le VU estimé par ce nouveau tarif de cubage est plus faible que le VMB. Toutefois, étant donné que les données brutes ont été compilées de nouveau et que des équations ont été formulées différemment, il arrive dans certaines circonstances que le VU prédit puisse être supérieur au VMB prédit avec l'équation de Fortin et autres (2007).

Pour le groupe d'attribution SEPM, le volume brut utilisable est divisé en deux catégories : la qualité pâte et la qualité sciage. La qualité sciage provient de la proportion du volume brut utilisable répondant aux critères de qualité B du mesurage des bois abattus (billes de 2,5 m de longueur et avec un diamètre au fin bout sans écorce d'au moins 14 cm [MFFP, 2020]). Ces prédictions ont été faites lors de la compilation des placettes en utilisant des équations de défilement (Schneider et autres, 2013, 2014).

Annexe II. Description des essences individuelles et des agrégations

Tableau 3 Description des essences individuelles et des agrégations

Code de l'essence	Nom de l'essence	Code d'agrégation	Description de l'agrégation
Résineux		Résineux	
EPB	Épinette blanche	AU_RES	Résineux autres que SEPM, PIB, THO
EPO	Épinette de Norvège	RES	Résineux
EPN	Épinette noire	SEPM	Sapin, épinettes, pin gris et mélèze
EPR	Épinette rouge		
MEL	Mélèze laricin		
Feuillus		Feuillus	
PIG	Pin gris	AU_FT	Feuillus tolérants autres que les bouleaux, les peupliers et les érables
SAB	Sapin baumier		
PIB	Pin blanc	AUFC	Feuillus commerciaux autres que les bouleaux et les peupliers
THO	Thuya occidental		
PIR	Pin rouge	BOU	Bouleaux
PRU	Pruche de l'Est	FEU_C	Feuillus commerciaux
Feuillus		FEU_NC	Feuillus non commerciaux
BOJ	Bouleau jaune	PE	Peupliers
BOP	Bouleau à papier		
PEB	Peuplier baumier		
Totaux		Totaux	
PEG	Peuplier à grandes dents	ESS_C	Essences commerciales
PET	Peuplier faux-tremble	TOTAL	Toutes les essences commerciales et non commerciales
ERR	Érable rouge		
ERS	Érable à sucre		
CHR	Chêne rouge		
FRN	Frêne noir		
HEG	Hêtre à grandes feuilles		
AUR	Aulne rugueux		
ERE	Érable à épis		
ERP	Érable de Pennsylvanie		
PRP	Cerisier de Pennsylvanie		
SAL	Saule		
SOA	Sorbier d'Amérique		

*Ressources naturelles
et Forêts*

Québec 