

Révision des taux de carie des principales essences résineuses dans cinq régions du Québec

Décembre 2023

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DES FORÊTS



Pour obtenir des renseignements additionnels, veuillez communiquer avec le 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

inventaires.forestiers@mffp.gouv.qc.ca

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

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2023

ISBN 978-2-550-96464-3

Rédaction et coordination

Vincent Laflèche, ing. f., M. Sc.¹
Lise Charette, statisticienne, B. Sc.¹

Collaboration à la coordination

Mélanie Major, ing. f.¹
Victoria Chaguala, ing. f.¹

Traitement des données et analyses statistiques

Vincent Laflèche, ing. f., M. Sc.¹
Lise Charette, statisticienne, B. Sc.¹

Graphisme

Valérie Roy, tech. géomatique ¹

Mise en page

Josianne Savard, agente de secrétariat¹

Révision linguistique

Anne Veilleux, réviseure linguistique

Remerciements

Geneviève Picher, statisticienne, B. Sc.¹
Pierre-Luc Couillard, ing.f., Ph. D. ¹

Référence

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts (2023). *Révision des taux de carie des principales essences résineuses dans cinq régions du Québec*, Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Secteur des forêts, Direction des inventaires forestiers, 30 pages.

¹ Direction des inventaires forestiers, MRNF

Table des matières

Introduction	1
Matériel et méthode	2
Données recueillies sur le terrain.....	2
Données recueillies en laboratoire	4
Calcul des volumes	5
Modélisation	6
Probabilité de carie	6
Proportion du volume carié	7
Sélection des variables explicatives	7
Validation d'un modèle	8
Taux de carie global.....	8
Résultats et discussions	9
Présentation des taux de carie de l'étude.....	9
Comparaison des taux de carie	13
Conclusion	17
Références bibliographiques	18
Annexe	19

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre d'arbres abattus par essence et par région.....	2
Tableau A1. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 02	19
Tableau A2. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 03	20
Tableau A3. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 08	21
Tableau A4. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 09	22
Tableau A5. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 10	23

Liste des figures

Figure 1. Localisation des placettes-échantillons sur le territoire à l'étude	2
Figure 2. Hauteur des tronçons récoltés sur chaque arbre.....	3
Figure 3. Rondelle avec présence de carie au stade avancé	4
Figure 4. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 02.....	10
Figure 5. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 03.....	11
Figure 6. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 08.....	11
Figure 7. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 09.....	12
Figure 8. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 10.....	12
Figure 9. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 02.	14
Figure 10. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 03.	14
Figure 11. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 08.	15
Figure 12. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 09	15
Figure 13. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 10	16

Introduction

La carie est une maladie de l'arbre répandue dans les forêts québécoises. Elle se définit par la dégradation de la fibre du bois, principalement causée par des champignons. Cela entraîne l'altération des propriétés physicochimiques des fibres ligneuses et, subséquentement, une perte de résistance mécanique (Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 2009) ainsi qu'une modification du poids, de la couleur et de la texture (MRNF, 2023). En plus de provoquer une réduction de la qualité et de la valeur des bois, la carie diminue leur rendement en volume. Par conséquent, elle a une incidence économique importante sur la valeur du panier de produits.

À ce jour, l'information sur les taux de carie des essences résineuses au Québec utilisée au ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) provient d'une étude réalisée par le Service des plans d'aménagement en 1976 (Doré, 1976). À la lumière des propos recueillis auprès de spécialistes au MRNF, les taux de carie actuels sont plutôt imprécis, voire surestimés pour quelques essences, et l'information est parfois manquante pour certaines essences dans une région donnée. De plus, il est possible que les taux de carie actuels ne reflètent pas nécessairement ceux des peuplements de seconde venue (issus de coupe). Le moment était alors opportun de réviser les taux de carie des principales essences résineuses au Québec afin qu'ils reflètent davantage l'état de la forêt d'aujourd'hui.

La Direction des inventaires forestiers (DIF) mène depuis 2014 une étude d'envergure ayant pour but de produire de nouveaux taux de carie pour l'épinette blanche (EPB), l'épinette noire (EPN), le pin gris (PIG) et le sapin baumier (SAB) sur un territoire couvrant la sapinière à bouleau jaune, la sapinière à bouleau à papier et la pessière à mousses. Ces taux mis à jour permettront de mieux caractériser la quantité et la qualité de la ressource ligneuse.

Grâce à l'acquisition des données de carie depuis 2014, la DIF produit des taux de carie par essence et par région. Afin de fournir ces taux à la Direction de la gestion de l'approvisionnement en bois (DGAB) pour l'exercice de révision des droits forestiers 2023-2028, il a été décidé de prioriser le calcul des taux de carie pour cinq régions forestières. Ainsi, les taux de carie des essences résineuses des régions du Saguenay–Lac-Saint-Jean (02), de la Capitale-Nationale (03), de l'Abitibi-Témiscamingue (08), de la Côte-Nord (09) et du Nord-du-Québec (10) ont été produits.

Ce document s'adresse à ceux qui ont à mener des activités nécessitant l'utilisation des taux de carie. Il porte sur le matériel, la méthode ainsi que le traitement et l'analyse des données menant à la production des résultats.

Matériel et méthode

Données recueillies sur le terrain

Le calcul des taux de carie a été effectué dans les régions forestières 02, 03, 08, 09 et 10. Un total de 398 placettes, situées dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau à papier et de la pessière à mousses, ont été retenues pour les analyses (figure 1). Un effort a été fait afin d'établir les placettes dans des peuplements variés en termes de composition, d'âge, de hauteur et de densité en plus de s'assurer de bien les répartir dans chacune des régions.

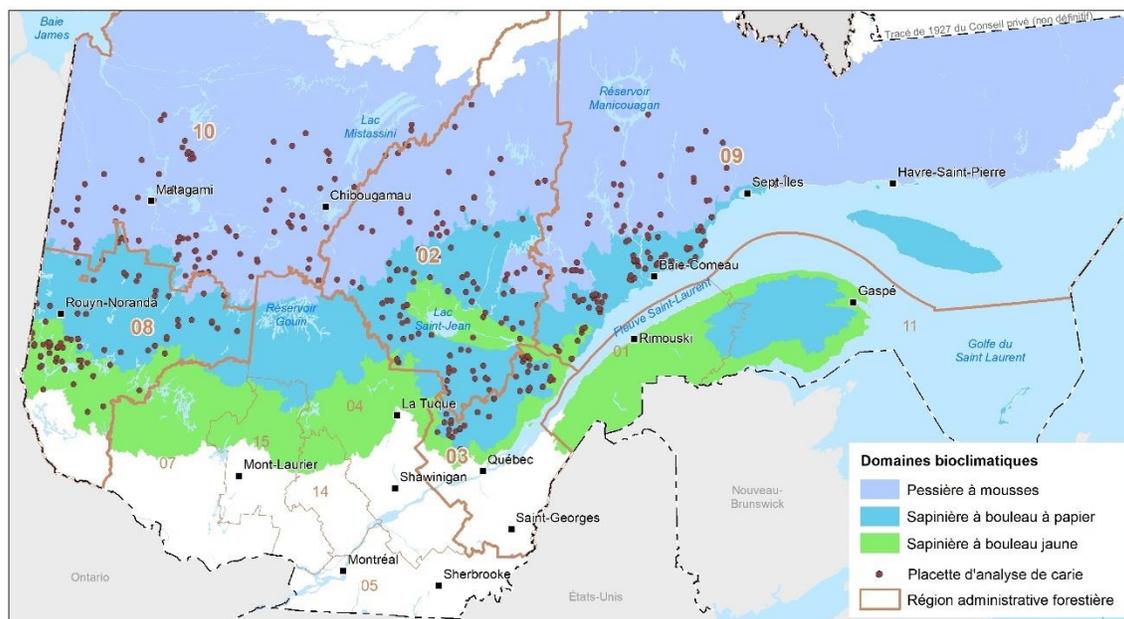


Figure 1. Localisation des placettes-échantillons sur le territoire à l'étude

Afin de respecter le critère de peuplements matures et récoltables utilisé pour l'exercice de l'attribution des volumes de bois, les placettes ont été établies dans des peuplements de 50 ans et plus. Au total, 5 916 arbres abattus ont été utilisés pour le calcul des taux de carie (tableau 1). Le nombre d'arbres par essence et par région constitue l'unité d'échantillonnage.

Tableau 1. Nombre d'arbres abattus par essence et par région

Essence	Région 02	Région 03	Région 08	Région 09	Région 10	Total
EPB	140	115	167	106	0	528
EPN	736	212	446	333	781	2 508
PIG	215	0	118	0	195	528
SAB	573	324	423	953	79	2352
Total	1 664	651	1 154	1 392	1 055	5 916

Le pin gris n'a pas été échantillonné dans les régions 03 et 09 étant donné sa faible abondance dans ces régions. Il en est de même pour l'épinette blanche dans la région 10. Pour les autres essences et régions, à l'exception du sapin baumier de la région 10, on trouve plus de 100 arbres par essence et par région.

Dans chacune des placettes, 10 arbres vivants par essence (max. 20 arbres/placette) de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) marchand ($\geq 9,1$ cm avec écorce) ont été choisis de façon aléatoire. Tous les arbres ont été abattus et tronçonnés à différentes hauteurs prédéterminées. Des sections transversales (rondelles) ont été prélevées à la souche (0,15 m de hauteur), à 0,60 m, à 1,0 m, à 1,30 m, à 2,0 m puis à tous les mètres suivants jusqu'à la hauteur du diamètre minimal marchand (9,1 cm avec écorce) (figure 2). Sur chacune des rondelles, le diamètre avec écorce et l'épaisseur d'écorce ont été mesurés afin de calculer le volume brut sans écorce de chaque arbre.

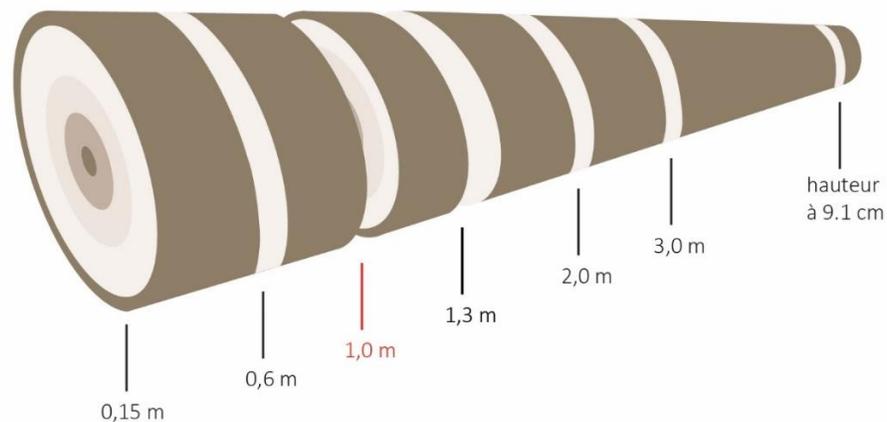


Figure 2. Hauteur des tronçons récoltés sur chaque arbre

Par la suite, toutes les rondelles qui semblaient être cariées ont été recueillies et entreposées dans une remorque réfrigérée afin de les maintenir à basse température. Le fait de maintenir les rondelles à basse température permet de les conserver humides, une condition essentielle pour identifier la carie. La rondelle à 1 m était systématiquement prélevée afin d'évaluer l'âge de chaque arbre. L'évaluation de l'âge à une hauteur de 1 m permet d'éliminer une bonne partie de l'oppression liée au stade juvénile et est identique à celle des inventaires écoforestiers du MRNF (MFFP 2022a, MFFP 2022b). Le séchage et le sablage de chacune des rondelles de 1 m ont permis de mettre en évidence les cernes de croissance qui ont, par la suite, été dénombrés à l'aide d'une loupe binoculaire.

Données recueillies en laboratoire

Chaque rondelle transportée du terrain a fait l'objet d'une évaluation de la carie. Seule l'évaluation de la carie au stade avancé a été considérée pour l'étude (figure 3). Le stade avancé de carie, communément appelé pourriture ou carie molle, est caractérisé par le ramollissement ou la désintégration de la structure des fibres du bois compromettant ainsi toute utilisation de celui-ci ou des produits dérivés (MRNF, 2023). C'est ce stade avancé de carie qui entraîne une réduction dans la détermination des volumes de bois attribués. Pour que la carie soit jugée comme une réduction, son diamètre sur la découpe devait être de 3,1 cm et plus (classe de 4 cm), ce qui est conforme aux normes de mesurage (MRNF, 2023).

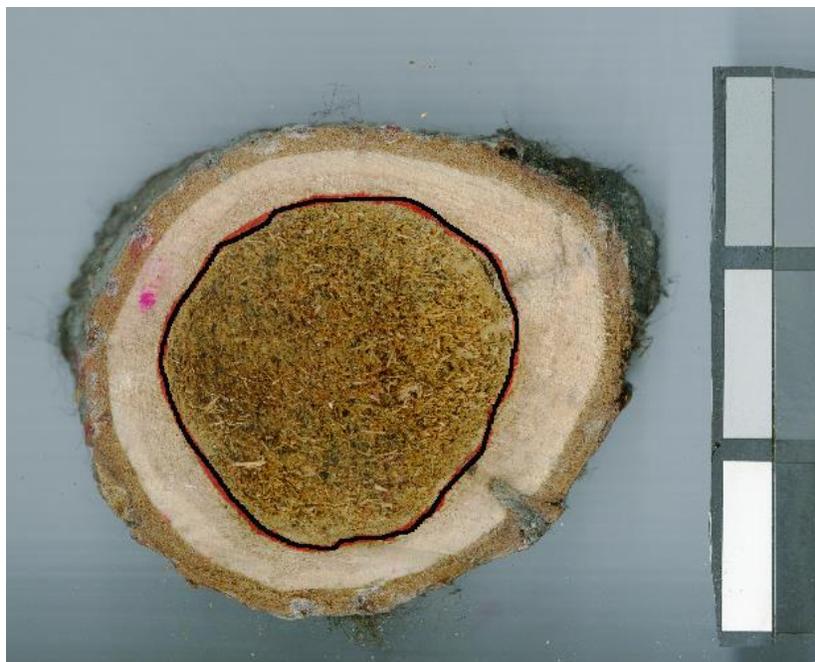


Figure 3. Rondelle avec présence de carie au stade avancé

Pour chacune des rondelles cariées, le contour de la carie a été délimité au crayon avant qu'elles soient numérisées à une résolution de 800 DPI. À partir des images à haute résolution obtenues, la superficie de la carie a été calculée à l'aide du logiciel ImageJ et a ensuite été convertie en diamètre afin d'être conforme aux diamètres de réduction définis dans les normes de mesurage en vigueur (MRNF, 2023).

Calcul des volumes

Les volumes marchands bruts (sans écorce) et les volumes de carie de chaque arbre ont été calculés à partir de la formule de Smalian (Équation 1), à l'exception du premier tronçon de l'arbre (tronçon entre 0,15 et 0,60 m) dont le volume a été calculé par la formule du Néloïde (Équation 2). Les deux formules utilisent les diamètres au gros bout et au fin bout de chaque tronçon (section entre deux rondelles) ainsi que sa longueur pour calculer le volume. Une interpolation a été nécessaire pour évaluer la longueur du dernier tronçon dont le diamètre au fin bout correspond à 9,1 cm sans écorce.

Équation 1 : Formule de Smalian

$$Vol\ tronçon = \pi \cdot L \left(\frac{DGB^2 + DFB^2}{80} \right)$$

Où :

Vol tronçon = Volume (brut ou de carie) du tronçon (dm³);

DFB = Diamètre sans écorce au fin bout (cm);

DGB = Diamètre sans écorce au gros bout (cm);

L = Longueur du tronçon (m).

Équation 2 : Formule du Néloïde

$$Vol\ tronçon = \pi \cdot L \left(\frac{DGB^2 + DGB^{2/3} \cdot DFB^{1/3} + DGB^{1/3} \cdot DFB^{2/3} + DFB^2}{160} \right)$$

Où :

Vol tronçon = Volume (brut ou de carie) du tronçon (dm³);

DFB = Diamètre sans écorce au fin bout (cm);

DGB = Diamètre sans écorce au gros bout (cm);

L = Longueur du tronçon (m).

Les volumes ainsi calculés ont servi à établir la proportion du volume de carie (taux de carie) pour chaque arbre. L'ensemble des arbres par essence et par région constitue alors l'échantillonnage pour le calcul des prévisions des taux de carie.

Modélisation

Les analyses statistiques ont été réalisées avec la procédure GLIMMIX de SAS 9.4. L'approche de modélisation retenue pour les prévisions des taux de carie a été mise au point par la Direction de la recherche forestière et s'inspire de celle utilisée par Riopel et Schneider (2003) et MRNFP (2004). Un modèle à deux composantes a été retenu, chacune étant développée à l'échelle de l'arbre et modélisée séparément, de sorte que la covariance entre les deux composantes est considérée comme négligeable. La première composante est un modèle logistique mixte permettant d'estimer la probabilité qu'un arbre soit atteint par la carie en lien avec différentes variables explicatives, soit des variables dendrométriques, stationnelles et du peuplement. La seconde composante est un modèle linéaire mixte permettant d'estimer, pour les arbres cariés seulement, la proportion du volume de carie relativement au volume total de chacun, en fonction des différentes variables citées précédemment. Enfin, la combinaison des deux composantes est multiplicative et permet de construire des taux de carie globaux pour l'ensemble des arbres, cariés ou non, et ce, par essence et par région. Il importe de noter que les variables explicatives peuvent être différentes d'une composante à l'autre, d'une essence à l'autre et d'une région à l'autre.

Probabilité de carie

La première composante, soit un modèle logistique mixte, consiste à évaluer la probabilité qu'un arbre (tige) soit atteint de carie. Cette composante est binaire ($Y = 1$ si la tige est cariée, $Y = 0$ si la tige n'est pas cariée).

Équation 3 :

$$\text{mulogit}_{ij} = \log_e \frac{p_{ij}}{(1 - p_{ij})} = \beta_{0i} + \beta_{1i} \cdot X_{1ij} + \beta_2 \cdot X_{2ij} + \beta_3 \cdot X_{3ij} + \dots \varepsilon_{ij}$$

D'où,

$$p_{ij} = \frac{1}{(1 + e^{-\text{mulogit}_{ij}})}$$

Et où :

p_{ij} = PCarie de la tige j de la placette i

$X_{1ij}, X_{2ij}, X_{3ij}, \dots$ = valeur de la variable explicative $X_1, X_2,$

X_3, \dots resp. de la tige j de la placette i

$\beta_{0i} = \beta_0 + \zeta_i$ = ordonnée à l'origine aléatoire associée à la placette i , $\beta_{0i} \sim N(\beta_0, \sigma_{\beta_0}^2)$,

avec β_0 = l'ordonnée à l'origine et

ζ_i = l'erreur aléatoire associée à la placette i , $\zeta_i \sim N(0, \sigma_{\zeta}^2)$

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ = coefficient de régression linéaire associé à la variable explicative X_1, X_2, X_3, \dots

ε_{ij} = erreur aléatoire correspondant à la tige j de la placette i

Proportion du volume carié

La deuxième composante est un modèle linéaire mixte qui prédit la proportion du volume marchand carié (taux de carie) de l'arbre carié. Seuls les arbres atteints de carie ont été utilisés dans l'élaboration du modèle. Plusieurs types de modèles ont été considérés (linéaire, linéaire avec transformation, bêta, etc.). Un modèle linéaire avec une transformation logarithmique a été retenu dans tous les cas. Cette composante est continue et définie sur le domaine de valeurs]0,1].

Équation 4 :

$$\text{Log TauxCarie}_{\text{tige cariée } ij} = \beta_0 + \beta_{1i} \cdot X_{1ij} + \beta_2 \cdot X_{2ij} + \beta_3 \cdot X_{3ij} + \dots + \zeta_i + \varepsilon_{ij}$$

Où :

$\log_e \text{TauxCarie}_{\text{tige cariée } ij}$

= logarithme népérien de $\text{TauxCarie}_{\text{tige cariée } ij}$ de la tige j de la placette i

$X_{1ij}, X_{2ij}, X_{3ij}, \dots$ = valeur de la variable explicative X_1, X_2, X_3, \dots resp. de la tige j de la placette i

$\beta_0 + \zeta_i = \beta_{0i}$ = ordonnée à l'origine aléatoire associée à la placette i , $\beta_{0i} \sim N(\beta_0, \sigma_{\beta_0}^2)$,

β_0 = l'ordonnée à l'origine, ζ_i = l'erreur aléatoire associée à la placette i , $\zeta_i \sim N(0, \sigma_{\zeta}^2)$

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ = coefficient de régression linéaire associé à la variable explicative X_1, X_2, X_3, \dots

ε_{ij} = erreur aléatoire correspondant à la tige j de la placette i , $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{\varepsilon}^2)$

Pour obtenir la proportion du volume carié, il faut prendre l'exponentiel de la prédiction du résultat de la régression. Afin de ne pas avoir une proportion biaisée, un facteur de correction a été appliqué selon la méthode de Duan (1983). Pour ce faire, il suffit de calculer la moyenne de la sommation de l'exponentiel de chacun des résidus de chaque observation. La valeur prédite obtenue par le modèle sera corrigée en la multipliant par le facteur de correction de Duan.

Sélection des variables explicatives

La méthode pas à pas ascendante (*forward*) a été utilisée pour la sélection des variables explicatives. On a considéré l'ajout de la variable explicative qui permet la meilleure réduction du critère d'information BIC (critère d'information bayésien) où on recherche la valeur la plus petite possible (réduction d'au moins 2 unités), en utilisant la méthode de maximum de vraisemblance (ML). Le DHP ou une fonction de celui-ci a été choisi de façon prioritaire au premier pas de sélection. Les variables semblables à celle ajoutée dans un pas de sélection n'ont pas été considérées au pas suivant, et la multicollinéarité a été vérifiée à l'aide du critère d'inflation de la variance ($\text{vif} < 2,5$). L'absence de réduction du BIC met fin aux pas de sélection.

Validation d'un modèle

Les hypothèses qui sous-tendent les modèles dépendent du type de modèle considéré et sont vérifiées à partir de l'analyse des résidus selon les méthodes graphiques et les tests usuels appropriés à chacune des composantes du modèle. Pour le modèle de probabilité de carie, le test d'Hosmer et Lemeshow a été utilisé pour vérifier l'ajustement, et l'aire sous la courbe de ROC a été utilisée comme mesure de performance. Une valeur de 0,5 signifie que le modèle n'est pas meilleur qu'un modèle qui prédit des résultats aléatoires. Plus la valeur s'approche de 1, meilleur le modèle sera (plus grande est la valeur, meilleur est le modèle à prédire les 0 comme des 0 et les 1 comme des 1). Les hypothèses d'homogénéité de la variance et de normalité des résidus ont été vérifiées de manière graphique et par le test de Shapiro-Wilk pour le modèle de proportion du volume carié.

Une évaluation statistique a également été faite pour établir la fiabilité et la justesse du modèle, et la méthode de la validation croisée en n groupes est utilisée. Cette méthode consiste à retirer une parcelle de la banque de données puis à étalonner le modèle avec les $(n - 1)$ parcelles restantes et ainsi obtenir un nouvel ensemble de paramètres. La valeur estimée a ensuite été calculée avec ces nouveaux paramètres pour la parcelle qui a été enlevée. Ces étapes ont été répétées pour les n parcelles de l'ensemble de données. Le biais et l'erreur ont ensuite été calculés. Le biais est défini par la différence entre la valeur réelle d'un paramètre et la valeur prédite calculée par le modèle. Le signe du biais indique s'il y a surestimation (valeur < 0 indique un biais négatif) ou sous-estimation (valeur > 0 indique un biais positif). La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (REQM), ci-après appelée erreur, est une mesure d'exactitude, combinant à la fois le biais et la précision. Autant pour le biais que pour l'erreur, on cherche une petite valeur, c'est-à-dire que plus ces statistiques sont petites, meilleur est le modèle.

Taux de carie global

Le taux de carie global représente le taux de carie de l'ensemble des arbres (cariés ou non) par essence et par région. Il a été calculé en multipliant la partie déterministe des composantes binaire (présence de carie) et continue (taux de carie). On obtient alors la prédiction moyenne du taux de carie :

Équation 5 :

$$\text{Taux Carie}_{\text{prédit Tige}} = \text{PCarie}_{\text{prédit}} \times \text{TauxCarie}_{\text{prédit Tiges cariées}}$$

Résultats et discussions

Présentation des taux de carie de l'étude

Le diamètre de poitrine (DHP) s'est avéré une variable explicative pour chacune des essences. Les taux de carie sont alors présentés par essence pour une région donnée, à l'intérieur de l'étendue des classes de diamètres échantillonnées qui ont servi à étalonner les modèles (figures 4 à 8). Par exemple, pour le sapin baumier, les classes diamétrales échantillonnées dans la région 02 varient de 9 à 36 cm alors qu'elles varient de 9 à 28 cm dans la région 10. Au-delà des valeurs diamétrales maximales couvertes par l'échantillonnage, il s'agit d'extrapolations issues des modèles. Par conséquent, les taux de carie doivent être utilisés avec prudence.

Aucun test statistique n'a été réalisé pour comparer les taux de carie entre eux. On ne peut donc pas affirmer qu'une essence est statistiquement plus cariée qu'une autre essence pour une région donnée. La discussion des résultats fait référence uniquement aux valeurs des taux de carie obtenus. Les tableaux de l'annexe présentent les taux de carie issus des modèles par essence et par région pour une étendue des DHP de 10 à 60 cm.

Pour les quatre essences étudiées, les arbres de faible et moyen diamètre présentent généralement peu ou très peu de carie. Les taux de carie augmentent pratiquement toujours avec la hausse du diamètre des arbres. Seul le sapin baumier présente un portrait quelque peu différent avec un taux de carie plus élevé pour les arbres de très petits diamètres (10 et 12 cm) dans quatre des cinq régions. Contrairement aux autres essences, un nombre non négligeable de sapins de 10 et 12 cm de DHP présentent de la carie. Ainsi, une carie de 3,1 cm et plus de diamètre (seuil minimal selon les normes) dans un arbre de faible diamètre, par conséquent de faible volume, engendre une proportion (taux) de carie plus élevée. Par la suite, comme pour les autres essences, les taux de carie du sapin baumier augmentent avec la hausse du DHP.

Il existe des écarts importants de taux de carie entre les essences. Le sapin baumier présente les taux de carie les plus élevés pour chacune des régions. Ces taux se situent généralement entre 2 et 6 % selon l'étendue des DHP échantillonnés. Des écarts importants de taux peuvent être observés entre certaines régions. Par exemple, la région 10 affiche des taux de carie de plus du double de ceux de la région 02 pour des sapins de 14 cm et plus de DHP.

L'épinette blanche est l'essence qui comporte généralement les taux de carie les plus élevés après le sapin baumier. Ceux-ci demeurent généralement très faibles, à moins de 1 %, jusqu'à un DHP de 20 cm, voire 25 cm, et peuvent atteindre près de 4,0 % pour les plus gros arbres. Les taux de carie sont assez similaires d'une région à l'autre sauf pour la

région 09 qui affiche les valeurs les plus élevées avec généralement des taux supérieurs de près de 1 % par rapport aux autres régions.

L'épinette noire présente généralement des taux de carie légèrement plus faibles que ceux de l'épinette blanche. Les arbres doivent généralement atteindre 25-28 cm au DHP pour présenter des taux de carie supérieurs à 1 % et ceux-ci ne dépassent pas 2,5 %, à l'exception de la région 09 où les taux atteignent 4,0 % pour les plus gros arbres. L'épinette noire dans cette région affiche d'ailleurs des taux de carie plus élevés que l'épinette blanche pour les gros diamètres.

Le pin gris est l'essence qui présente les taux de carie les plus faibles, peu importe la région. Ceux-ci demeurent à moins de 1,5 % même pour les plus gros diamètres.

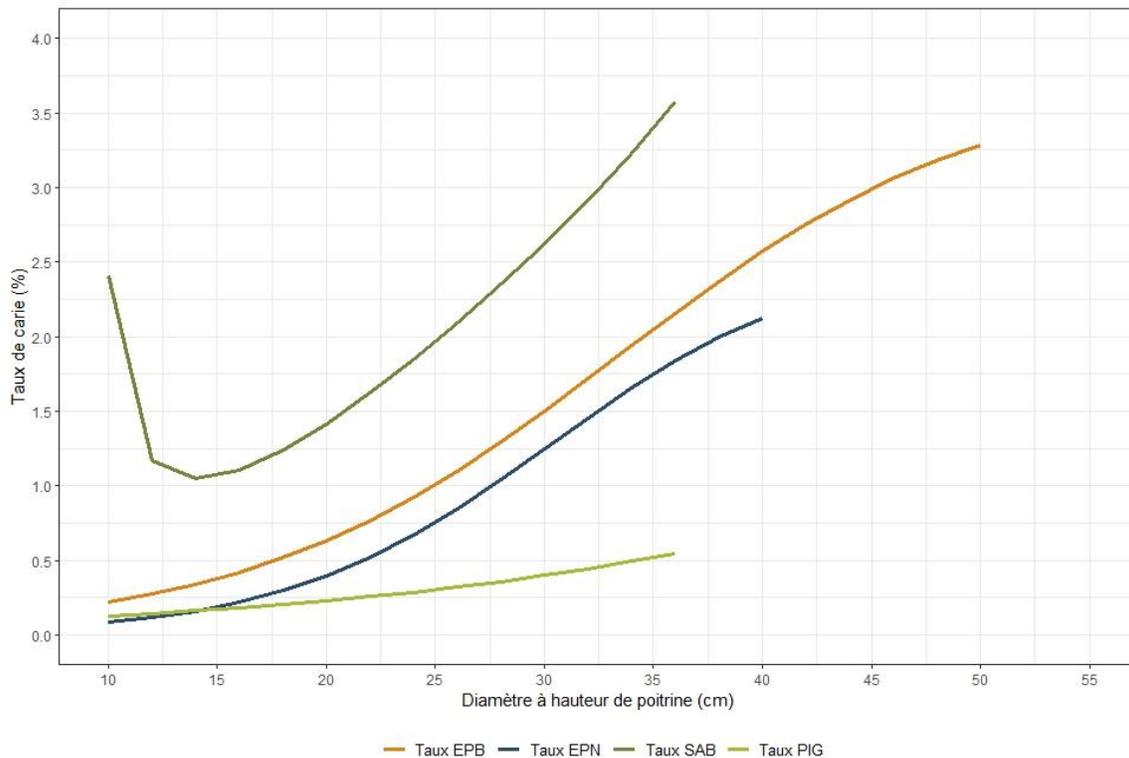


Figure 4. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 02

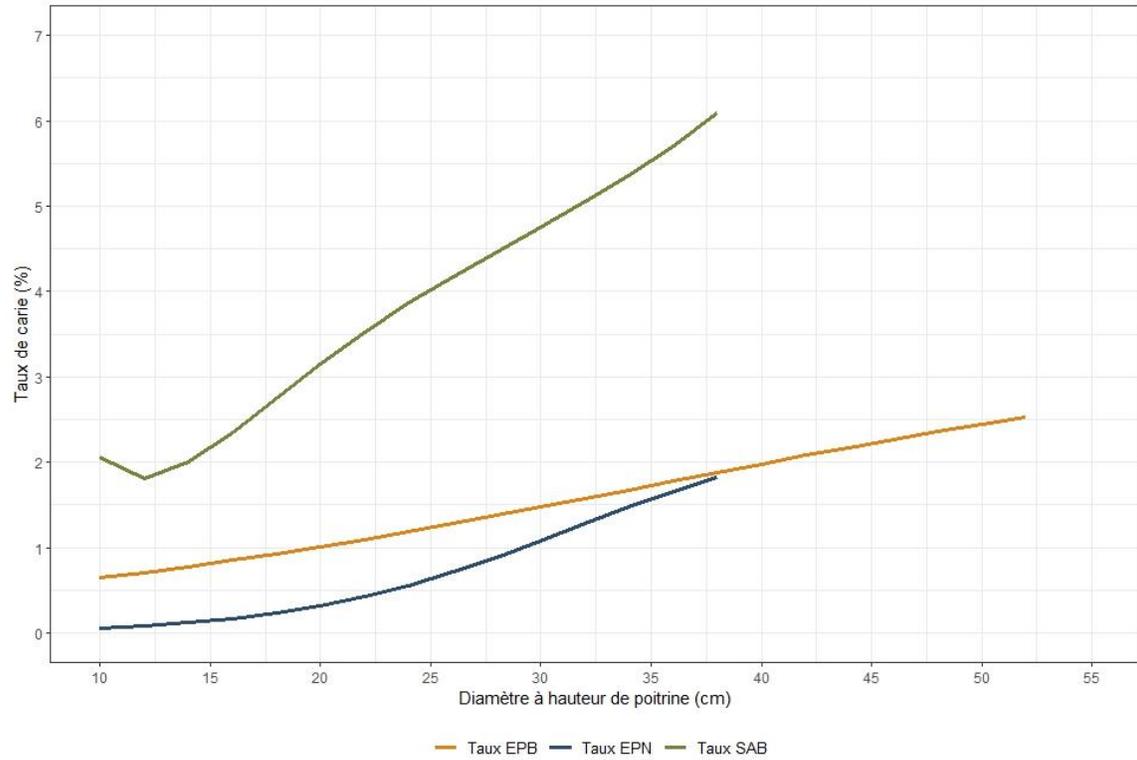


Figure 5. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 03

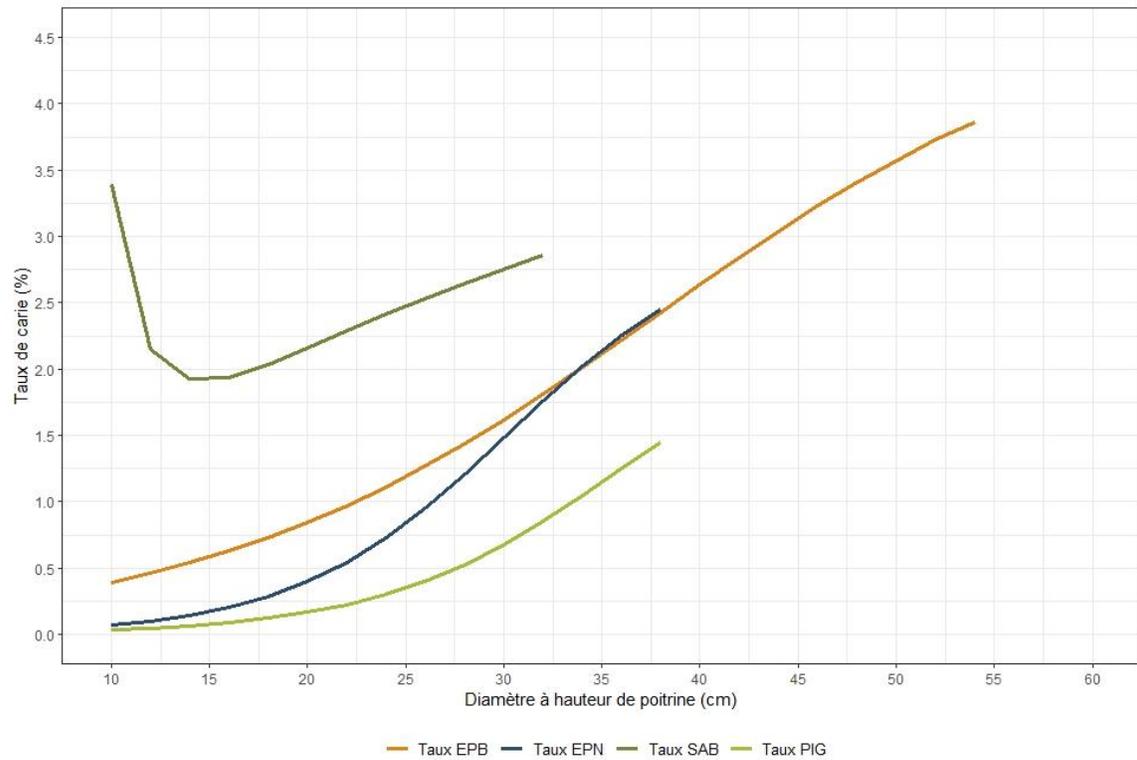


Figure 6. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 08

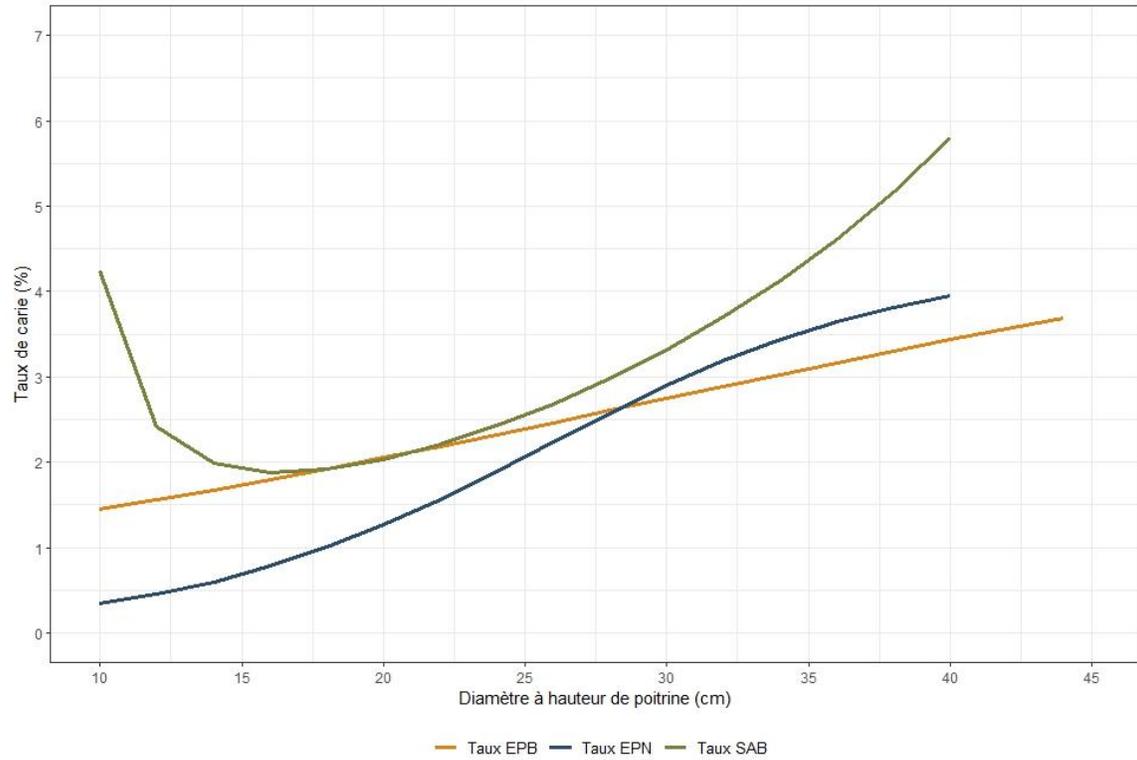


Figure 7. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 09

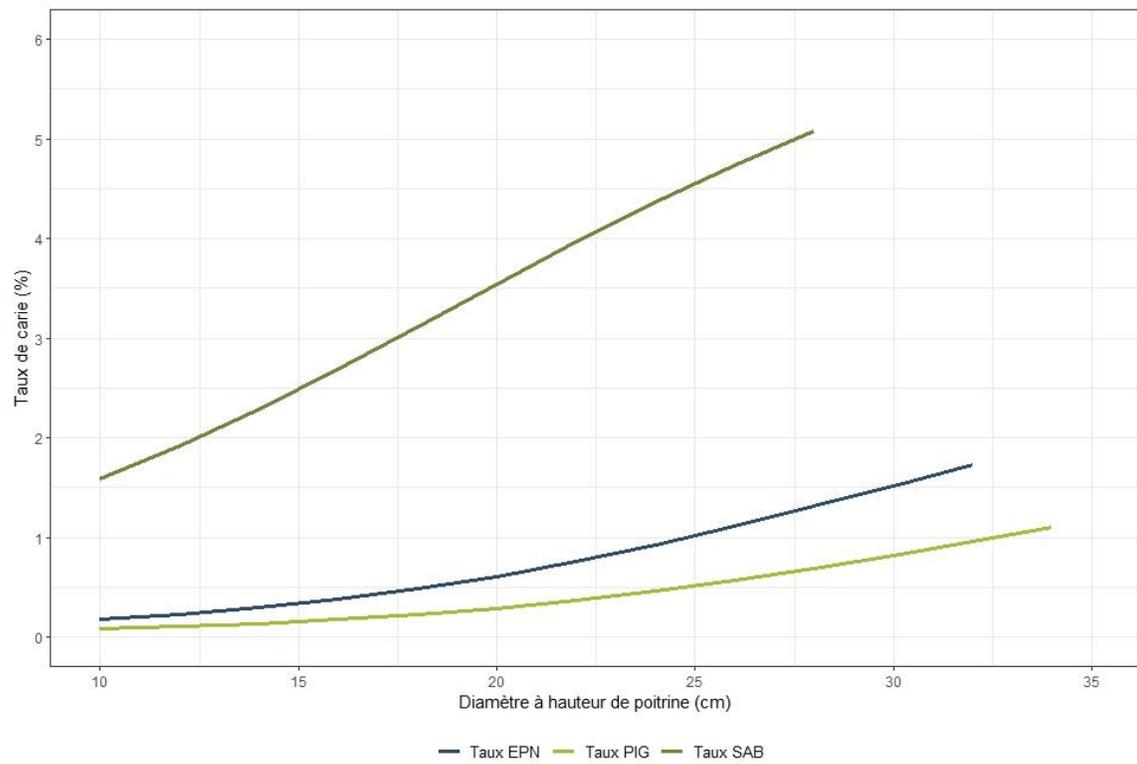


Figure 8. Taux de carie par essence selon le DHP pour la région 10

Comparaison des taux de carie

Les taux de carie de cette étude ont été comparés avec les taux de Doré (1976) pour chacune des régions (figures 9 à 12). Il faut noter que les taux de carie de Doré sont à l'échelle provinciale pour l'épinette blanche et le pin gris ce qui signifie qu'ils sont les mêmes pour chaque région. De plus, comme la région 10 n'existait pas à l'époque, étant partiellement comprise dans les régions 02 et 08, il n'a pas été possible de comparer les taux du sapin baumier et de l'épinette noire. Seuls les taux de carie provinciaux du pin gris ont été comparés avec les taux de cette étude (figure 12).

La comparaison des taux de carie permet notamment de quantifier l'incidence de la modification des taux de carie sur l'attribution des volumes de bois. En effet, la carie constitue une part importante de la réduction du volume brut, qui provient du calcul de la possibilité forestière, au volume net alloué à l'industrie. Une baisse des réductions dues à la carie pourrait se traduire par des volumes attribuables plus élevés.

À l'exception du sapin baumier de la région 03, les taux de carie de l'étude sont généralement inférieurs à ceux de Doré pour l'ensemble des DHP observés. Cela signifie que la réduction des volumes de bois attribuables à la carie est généralement moins importante avec l'application des taux de carie de l'étude. De plus, les écarts de taux de carie tendent généralement à augmenter avec la hausse des DHP. C'est le cas notamment du pin gris où les taux de carie de l'étude sont largement inférieurs à ceux de Doré (1976) alors que les écarts atteignent au moins 5 % pour les plus gros DHP. Bien qu'en général moins élevés que le pin gris, les écarts du taux de carie du sapin baumier peuvent atteindre plus de 6 % pour les plus gros arbres de la région 09. Pour l'épinette blanche, les écarts sont moins élevés que le sapin baumier et le pin gris mais atteignent jusqu'à près de 3 % pour les plus gros arbres. Enfin, l'écart des taux de carie pour l'épinette noire se situe en deçà de 1 %, sauf pour la région 03 où les écarts peuvent atteindre près de 3 %.

Deux hypothèses peuvent être soulevées pour tenter d'expliquer l'écart important des taux de carie qui peut exister entre l'étude et ceux de Doré (1976), notamment pour le sapin baumier et le pin gris. L'interprétation de la carie et la coloration ont pu changer avec le temps. Une partie de la coloration (carie dure) était assez souvent interprétée à l'époque comme de la carie molle (Michel Boulianne, communication personnelle). De plus, l'évaluation de la carie par Doré (1976) a été faite avec de longs tronçons (de la souche à 9,1 cm au fin bout) ce qui tend à surestimer la carie par rapport à de courts tronçons tels qu'ils sont utilisés dans cette étude (résultats non encore présentés).

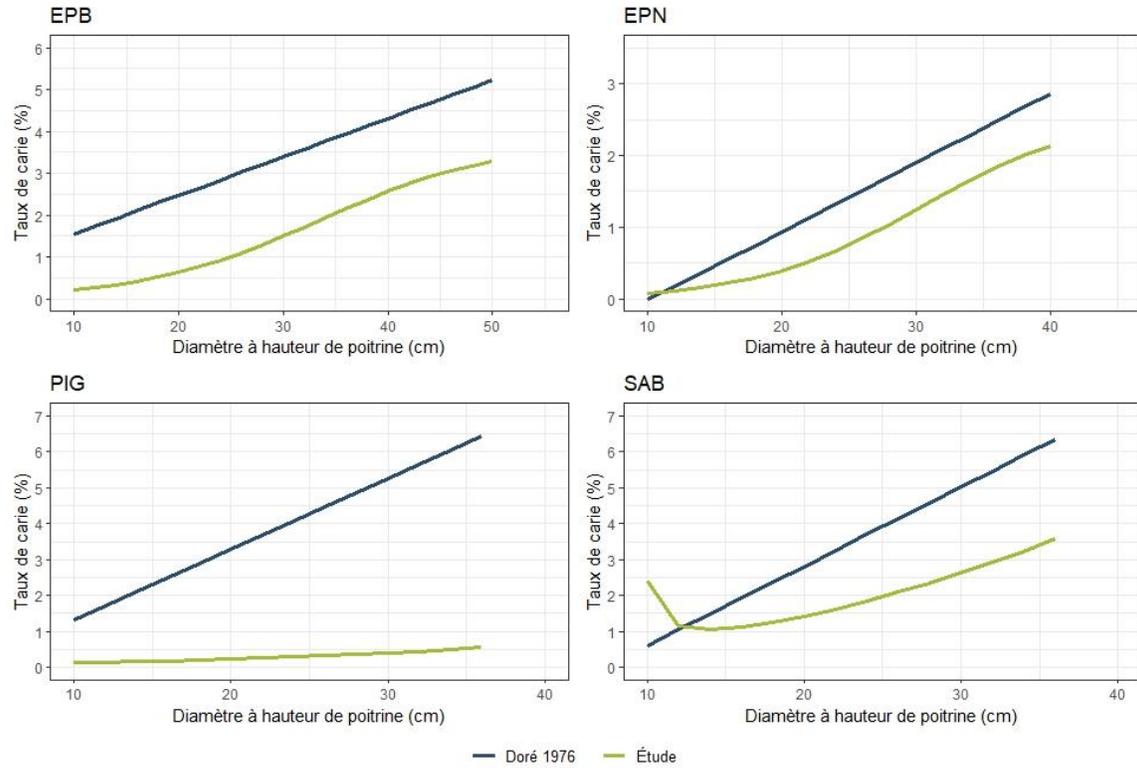


Figure 9. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 02

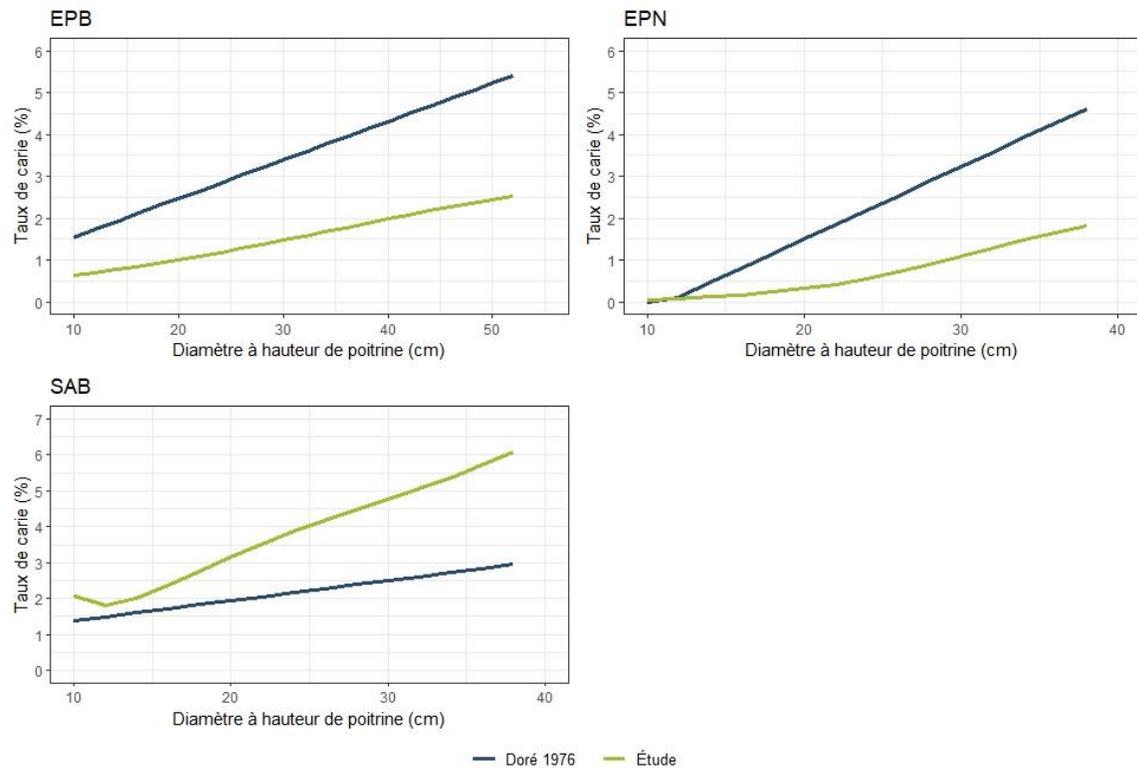


Figure 10. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 03

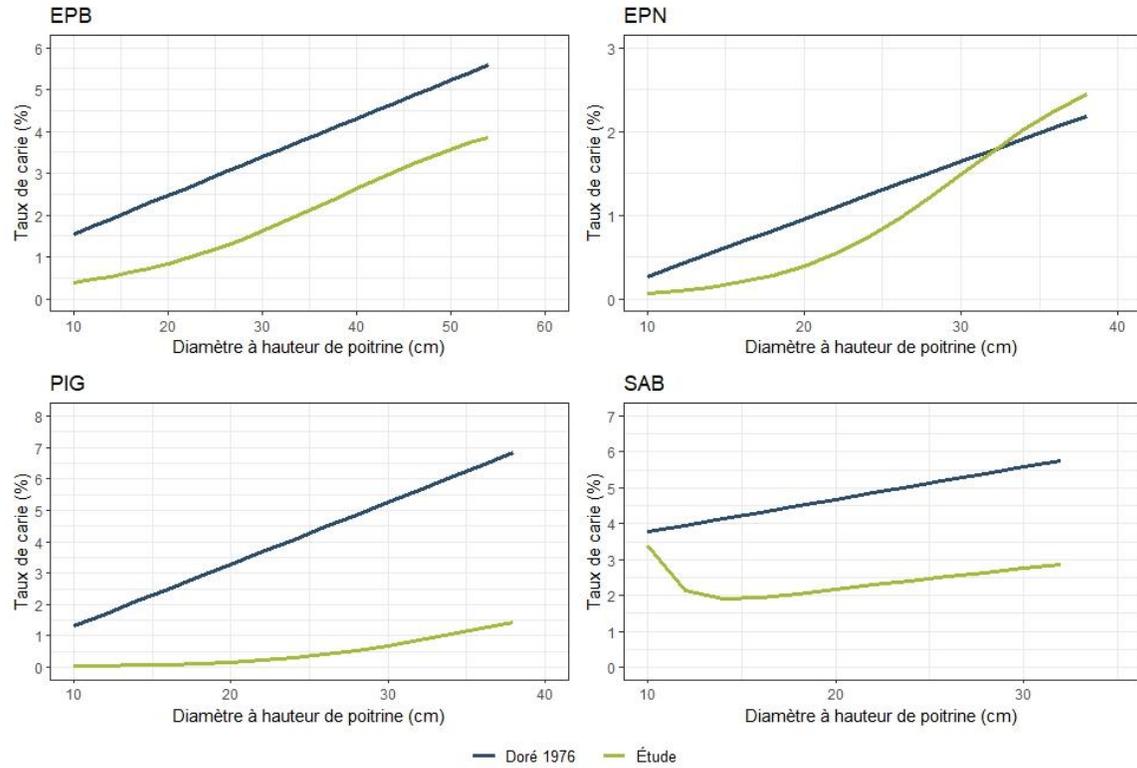


Figure 11. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 08

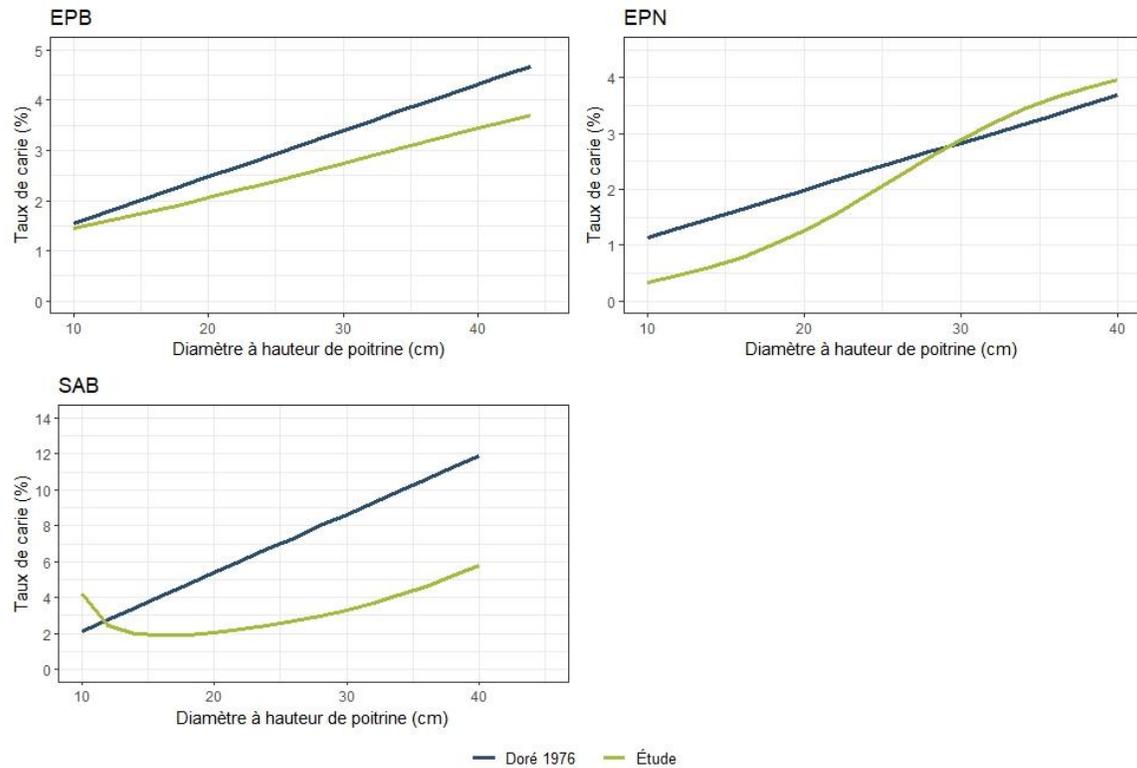


Figure 12. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 09

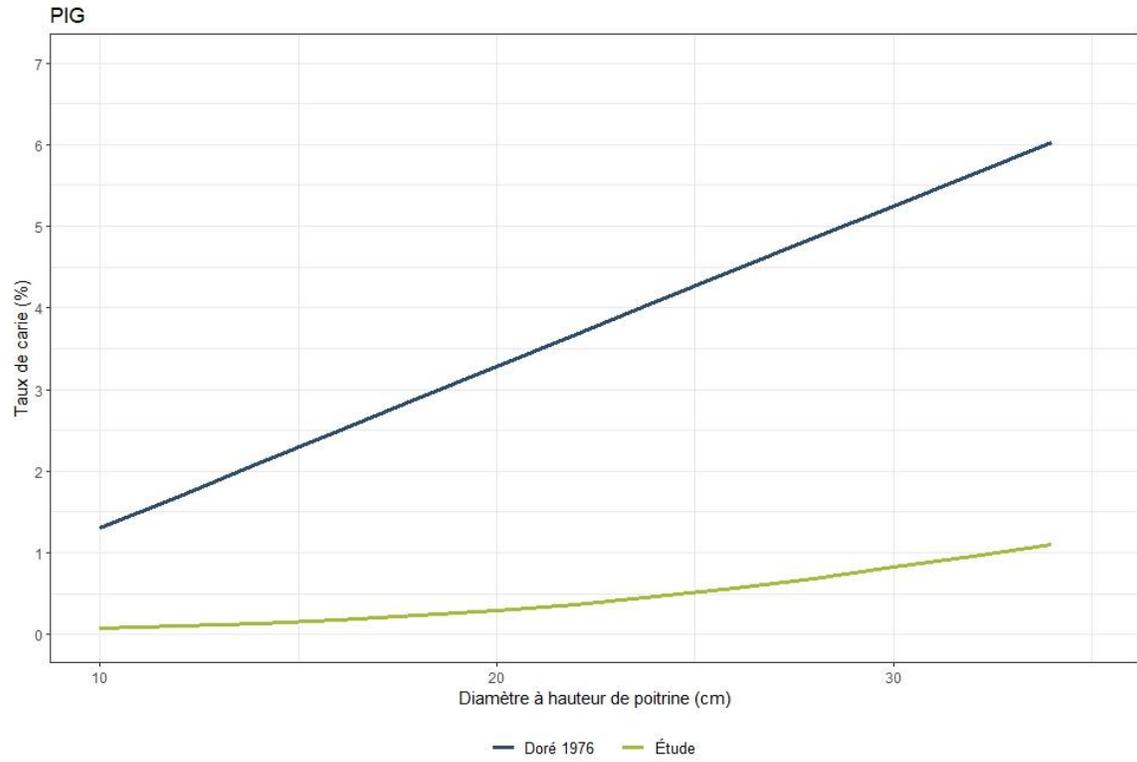


Figure 13. Comparaison des taux de carie de l'étude et de Doré (1976) pour la région 10

Conclusion

Cette étude avait pour but de réviser les taux de carie du sapin baumier, de l'épinette blanche, de l'épinette noire et du pin gris dans les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau jaune, de la sapinière à bouleau à papier et de la pessière à mousses. La production des taux de carie des régions du Saguenay–Lac-Saint-Jean, de la Capitale-Nationale, de l'Abitibi-Témiscamingue, de la Côte-Nord et du Nord-du-Québec a été priorisée afin de les inclure dans l'exercice de révision des droits forestiers 2023-2028.

On observe presque toujours une augmentation des taux de carie lorsque le DHP s'accroît. Le sapin baumier est l'essence qui présente les taux de carie les plus élevés, ses valeurs se situant généralement entre 2 % et 6 % pour les arbres à fort diamètre. L'épinette blanche affiche des taux plus faibles, ses valeurs variant de 1 % à 4 %. Les taux de carie de l'épinette noire sont généralement plus faibles que ceux de l'épinette blanche et se situent entre moins de 1 % et 2,5 %. Enfin, le pin gris présente de très faibles taux de carie qui atteignent rarement plus de 1 %.

Les taux de carie de l'étude sont pratiquement toujours inférieurs à ceux de Doré (1976) pour l'ensemble des DHP observés. La réduction des volumes de bois attribuables à la carie est alors moins importante avec l'application des taux de carie de l'étude. Les écarts de taux de carie tendent généralement à augmenter à mesure que les DHP croissent. Le sapin baumier et le pin gris affichent les écarts les plus importants alors qu'ils peuvent atteindre jusqu'à 6 % et 5 % respectivement pour les plus gros arbres. L'interprétation d'une partie de la coloration (avancée) considérée comme de la carie molle et l'utilisation de longs tronçons d'arbres dans les travaux de Doré (1976) pourraient être des hypothèses pour expliquer la surestimation de la carie par le passé.

Au cours des prochaines années, les taux de carie des autres régions forestières de la province seront produits et seront graduellement introduits dans les activités du MRNF, notamment dans l'attribution des bois et la tarification forestière qui constituent deux des principales activités assurant la saine gestion des forêts de l'État. L'attribution des bois vise l'allocation optimale de la matière ligneuse aux usines de première transformation. L'intégration des nouveaux taux de carie permettra de déterminer plus précisément les volumes de bois attribués. La mise à jour des taux de carie aura également des effets positifs sur la tarification des bois. Elle permettra une évaluation plus précise de la valeur marchande des bois sur pied, ce qui se traduira par une meilleure évaluation des revenus provenant des redevances forestières. Enfin, l'intégration des taux de carie dans les matrices de répartition par produits permettra une meilleure évaluation de la valeur du panier de produits.

Références bibliographiques

DORÉ, A., 1976. *Rapport d'une étude traitant d'une relation diamètre-carie*, Service des plans d'aménagement, 58 p.

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2022. *Manuel de mesurage des bois récoltés sur les terres du domaine de l'État*, Bureau de mise en marché des bois, 315 p.

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS. Glossaire forestier, [En ligne], [<http://glossaire-forestier.mffp.gouv.qc.ca/>] (2023).

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2004. *Analyse de la croissance et de la carie des essences résineuses*, Régions du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie, Direction des inventaires forestiers, Rapport de recherche, 151 p.

ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC, 2009. *Manuel de foresterie*, chapitre 26, Pathologie forestière, 1028-1035.

RIOPEL, M., et R. SCHNEIDER, 2003. *Étude sur la croissance et la sénescence des peupliers de l'est du Québec*, 210 p.

Annexe

Tableau A1. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 02

Région	DHP (cm)	Taux EPB	Taux EPN	Taux PIG	Taux SAB
02	10	0,219931238	0,086662902	0,129816612	2,407108878
02	12	0,274466062	0,118986887	0,145844910	1,169465964
02	14	0,341214870	0,162572012	0,163753175	1,051748897
02	16	0,422222237	0,220674038	0,183736322	1,108333780
02	18	0,519526766	0,296959922	0,206002935	1,239797418
02	20	0,634971700	0,395146439	0,230774508	1,416454846
02	22	0,769947770	0,518333145	0,258284124	1,623377858
02	24	0,925083529	0,668025514	0,288774450	1,851143216
02	26	1,099923961	0,843022562	0,322494940	2,094280718
02	28	1,292665664	1,038582294	0,359698105	2,350988128
02	30	1,500034138	1,246409172	0,400634746	2,622633700
02	32	1,717380058	1,455803213	0,445548076	2,912974895
02	34	1,939027589	1,655742072	0,494666667	3,227375142
02	36	2,158836216	1,837096124	0,548196270	3,572226894
02	38	2,370865700	1,994089005	0,606310588	3,954633364
02	40	2,569996110	2,124593276	0,669141227	4,382306302
02	42	2,752371504	2,229470900	0,736767149	4,863611727
02	44	2,915597731	2,311487044	0,809204089	5,407706503
02	46	3,058700625	2,374268029	0,886394531	6,024729097
02	48	3,181908084	2,421542825	0,968198934	6,726025440
02	50	3,286341947	2,456703196	1,054388974	7,524402738
02	52	3,373697064	2,482613424	1,144643581	8,434411265
02	54	3,445959794	2,501577574	1,238548457	9,472658258
02	56	3,505190716	2,515388736	1,335599627	10,658160386
02	58	3,553375278	2,525410613	1,435211300	12,012742794
02	60	3,592333713	2,532663691	1,536728019	13,561493959

Tableau A2. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 03

Région	DHP (cm)	Taux EPB	Taux EPN	Taux SAB
03	10	0,645694392	0,063568206	2,063561913
03	12	0,709804537	0,089450587	1,803800243
03	14	0,778516029	0,125090799	2,009527386
03	16	0,851815018	0,173484048	2,353489718
03	18	0,929618153	0,238006973	2,751480660
03	20	1,011765543	0,322084737	3,153160353
03	22	1,098015680	0,428639439	3,528280873
03	24	1,188042961	0,559377676	3,866992110
03	26	1,281438339	0,714060590	4,175001256
03	28	1,377713494	0,889924430	4,465518584
03	30	1,476308694	1,081398042	4,752913268
03	32	1,576604235	1,280299377	5,049658905
03	34	1,677935084	1,476749544	5,365644660
03	36	1,779608035	1,660843235	5,708564184
03	38	1,880920478	1,824591950	6,084584629
03	40	1,981179712	1,963303257	6,498960578
03	42	2,079721683	2,075843941	6,956505106
03	44	2,175928089	2,163907611	7,461926700
03	46	2,269240939	2,230846681	8,020065938
03	48	2,359173914	2,280597755	8,636064782
03	50	2,445320117	2,316953429	9,315493621
03	52	2,527356162	2,343190525	10,064453618
03	54	2,605042728	2,361954105	10,889666117
03	56	2,678222007	2,375285673	11,798556907
03	58	2,746812573	2,384713807	12,799340600
03	60	2,810802289	2,391359456	13,901108714

Tableau A3. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 08

Région	DHP (cm)	Taux EPB	Taux EPN	Taux PIG	Taux SAB
08	10	0,393461042	0,069698344	0,033085354	3,388681790
08	12	0,461139509	0,099995280	0,045948843	2,148045084
08	14	0,539035493	0,142824217	0,063680544	1,925041037
08	16	0,628185070	0,202723400	0,088001955	1,936660717
08	18	0,729554931	0,285252662	0,121136146	2,033743971
08	20	0,843974254	0,396648552	0,165861005	2,161253408
08	22	0,972054084	0,542908453	0,225483589	2,293069617
08	24	1,114098464	0,728127730	0,303659755	2,417884175
08	26	1,270014685	0,952239717	0,403965048	2,533546913
08	28	1,439233179	1,208936341	0,529143928	2,643004068
08	30	1,620649858	1,485117380	0,680068772	2,751266157
08	32	1,812604212	1,762954859	0,854649141	2,863571170
08	34	2,012904145	2,024196174	1,047171416	2,984559632
08	36	2,218903138	2,254682565	1,248608840	3,118080829
08	38	2,427627418	2,446888156	1,448109541	3,267298176
08	40	2,635941865	2,599777047	1,635228162	3,434890910
08	42	2,840735822	2,716886659	1,801986584	3,623256125
08	44	3,039105859	2,804022565	1,943963647	3,834677618
08	46	3,228513163	2,867465467	2,060215509	4,071457225
08	48	3,406898445	2,912931921	2,152399453	4,336015021
08	50	3,572745383	2,945146990	2,223657032	4,630967056
08	52	3,725092509	2,967789315	2,277660011	4,959188378
08	54	3,863500812	2,983613297	2,317976204	5,323867435
08	56	3,987988947	2,994628306	2,347738121	5,728556346
08	58	4,098949459	3,002274617	2,369526967	6,177220316
08	60	4,197058368	3,007572280	2,385381852	6,674288584

Tableau A4. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 09

Région	DHP (cm)	Taux EPB	Taux EPN	Taux SAB
09	10	1,450431875	0,342386167	4,243653737
09	12	1,562262251	0,455413581	2,417407546
09	14	1,679148957	0,600200670	1,985460833
09	16	1,800792271	0,781838711	1,883882681
09	18	1,926816119	1,003830233	1,921037914
09	20	2,056769692	1,266637479	2,037701478
09	22	2,190131538	1,566287513	2,210153643
09	24	2,326316175	1,893648706	2,427616876
09	26	2,464683155	2,234997647	2,685327390
09	28	2,604548328	2,574063616	2,982059362
09	30	2,745196937	2,895002101	3,319146483
09	32	2,885898021	3,185207902	3,700050852
09	34	3,025919532	3,436975241	4,130148783
09	36	3,164543489	3,647664438	4,616625068
09	38	3,301080528	3,818725056	5,168448466
09	40	3,434883214	3,954232496	5,796426583
09	42	3,565357597	4,059497201	6,513342811
09	44	3,691972607	4,140033225	7,334177017
09	46	3,814267025	4,200934962	8,276411008
09	48	3,931853937	4,246583971	9,360420989
09	50	4,044422695	4,280574130	10,609961854
09	52	4,151738563	4,305758374	12,052751693
09	54	4,253640306	4,324349834	13,721168830
09	56	4,350036062	4,338037295	15,653077966
09	58	4,440897872	4,348094257	17,892806447
09	60	4,526255239	4,355472869	20,492296602

Tableau A5. Taux de carie par essence selon la classe de DHP pour la région 10

Région	DHP (cm)	Taux EPN	Taux PIG	Taux SAB
10	10	0,175823963	0,079546350	1,582734878
10	12	0,228582844	0,104187406	1,916154724
10	14	0,295491546	0,135912543	2,288081624
10	16	0,379263850	0,176384429	2,691137990
10	18	0,482482144	0,227413106	3,114470132
10	20	0,607177737	0,290810061	3,544730453
10	22	0,754281319	0,368145223	3,967677824
10	24	0,923031365	0,460405031	4,370013652
10	26	1,110510662	0,567589738	4,740969548
10	28	1,311528515	0,688344250	5,073269452
10	30	1,519017315	0,819764705	5,363338267
10	32	1,724943638	0,957520646	5,610879086
10	34	1,921511323	1,096347787	5,818081218
10	36	2,102291216	1,230817616	5,988729049
10	38	2,262949082	1,356158220	6,127404750
10	40	2,401433096	1,468874793	6,238879133
10	42	2,517697971	1,567017052	6,327706676
10	44	2,613167624	1,650094874	6,397995751
10	46	2,690143965	1,718759227	6,453308689
10	48	2,751301248	1,774398111	6,496647289
10	50	2,799323867	1,818763522	6,530488109
10	52	2,836686639	1,853688416	6,556842266
10	54	2,865547789	1,880904810	6,577323471
10	56	2,887718374	1,901947306	6,593214820
10	58	2,904676871	1,918117325	6,605529469
10	60	2,917606296	1,930484865	6,615063171

*Ressources naturelles
et Forêts*

Québec 