

Titre :	Évaluation du biais des modèles et des matrices de répartition par produits
Auteur :	François Guillemette, ing.f., M. Sc.
Réviseur :	Filip Havreljuk, ing.f., Ph. D.
Date :	Juin 2020 (révisé août 2020)

Une particularité du bois des feuillus est la très grande variété de produits possibles de bois transformé, notamment pour le déroulage, le sciage de grande valeur, celui de faible valeur et le bois à pâte. Afin de mieux estimer la valeur des arbres sur pied et les volumes disponibles pour approvisionner les usines de transformation, on doit pouvoir estimer comment le volume marchand brut des arbres sera réparti entre ces différents produits. De nombreuses méthodes sont disponibles pour ces calculs. Nous les avons comparées afin de déterminer quelles équations sont les moins biaisées.

1. Introduction

L'analyse financière et économique des scénarios de coupes partielles dans les peuplements décidus nécessite une estimation de la répartition du volume marchand brut des arbres en ses différents produits transformés, comme le bois de pâte et les billes de déroulage et de sciage, de même que de la valeur (souvent très variable) des différents produits et la destination de ceux-ci vers les usines de transformation.

Depuis le début des années 2000, le Ministère a entrepris des projets d'échantillonnage visant à relier les caractéristiques des arbres sur pied avec celles des billes issues de ces derniers. Ces données ont été analysées de deux manières différentes :

- D'une part, le Bureau de mise en marché des bois (BMMB) a calculé 4 matrices de répartition par produits, soit des tables contenant la proportion moyenne du volume marchand brut de l'arbre (Perron 2003) pour chaque essence et classe de DHP (diamètre à hauteur de poitrine, mesuré à

On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence
© Gouvernement du Québec

1,3 m du sol, en classes paires de 2 cm) de l'arbre. Dans 3 de ces tables, les proportions de chaque produit varient selon d'autres attributs des arbres sur pied, comme les classes de qualité (A, B, C ou D; MFFP 2014) ou celles de priorité de récolte (M, S, C, ou R; Boulet 2005), lesquelles sont en interaction soit avec les classes de potentiel de bois d'œuvre (O : bois d'œuvre ou P : bois de pâte; MRNF 2006), soit avec une version simplifiée des classes de qualité (regroupement en 2 classes : AB ou CD).

- D'autre part, la Direction de la recherche forestière (DRF; p. ex. Havreljuk *et al.* 2015) a publié des modèles statistiques permettant de prédire le volume net des différents produits du bois selon l'essence et le DHP de l'arbre, mais aussi selon sa classe de qualité (ABCD), de priorité de récolte (M-S-C-R) ou de vigueur (1, 2, 3 ou 4; Majcen *et al.* 1990). Ces modèles sont intégrés dans la plateforme Capsis (Auger *et al.* 2019) qui héberge les modèles de croissance SaMARE (Fortin *et al.* 2009) et Artémis (Power 2016). Artémis est notamment utilisé par le Bureau du forestier en chef pour le calcul de la possibilité forestière.

En 2013-2014, lors des travaux avec le Modèle d'évaluation de rentabilité des investissements sylvicoles (MÉRIS) du BMMB, les membres du Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF; Saucier *et al.* 2014) ont noté que la matrice MSCR-OP était théoriquement biaisée, puisque la classe OP utilisée pour son étalonnage n'avait pas été évaluée sur les arbres sur pied, mais plutôt après le tronçonnage de ceux-ci en billes. Ainsi, bien que le CIMOTFF ait utilisé cette matrice à l'époque, il a recommandé de modifier cette dernière, ce qui n'a pas encore été fait.

MÉRIS est utilisé de plus en plus pour des analyses financières et économiques. À l'hiver 2020, un nouveau comité (CIMOTFF2) a été mis en place pour faire le suivi des recommandations du CIMOTFF. Dans ce contexte, nous avons d'abord voulu quantifier le biais de chacune des 8 méthodes disponibles (4 matrices et 4 modèles) pour estimer la répartition par produits. Ensuite, nous avons appliqué ces 8 méthodes à un jeu de données d'inventaire forestier contenant toutes les données requises, afin de quantifier comment la méthode choisie influence l'estimation des volumes sur pied. Afin de mieux refléter la pratique courante, le volume étudié dans le présent avis technique est la somme du volume des billes de déroulage et des billes de sciage des grades F1 et F2, communément appelé le bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2). Celui-ci a été calculé pour les 4 essences ayant le plus d'intérêt, soit l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), le bouleau à papier (*B. papyrifera* Marshall) et le chêne rouge (*Quercus rubra* L.).

2. Méthode

2.1. Calcul des volumes nets prédits par 8 méthodes

Nous avons d'abord utilisé les données des arbres et des billes publiées par Havreljuk *et al.* (2015). En résumé, ce sont des études dans lesquelles des arbres ont été mesurés en forêt, abattus, tronçonnés en billes, puis mesurés selon les méthodes de Petro (1971) et de Petro et Calvert (1976). Elles correspondent aux données observées. Cette base de données contient 4 352 arbres répartis dans 31 secteurs, et des données sur les classes de qualité de l'arbre sur pied ainsi que celles de priorité de récolte. De plus, pour un sous-ensemble de 3 026 arbres répartis dans 28 secteurs, la classe de vigueur (1-2-3-4) de l'arbre avait aussi été évaluée. Cette classification permet de caractériser simultanément la vigueur et le potentiel de bois d'œuvre d'un arbre, et dans le dernier cas, d'une manière semblable à la classification OP. Ainsi, pour ces 3 026 arbres, les classes O et P ont pu être déduites à partir de la vigueur (1-2-3-4), même si la donnée OP n'a pas été prise directement sur le terrain.

Par la suite, nous avons utilisé les 4 matrices disponibles dans MÉRIS et les 4 modèles disponibles dans Capsis pour calculer les volumes nets prédits des billes de grande valeur (DF1F2) pour ces mêmes arbres, de façon à obtenir 8 valeurs prédites pour chaque observation. Toutefois, les prévisions de volume avec la matrice MSCR-OP et avec le modèle Vigueur ont été obtenues seulement avec le sous-ensemble de 3 026 arbres.

Nous avons additionné les volumes nets observés et prédits pour l'ensemble du jeu de données, puis calculé un biais pour chaque méthode. Ce biais représente l'écart entre le volume observé et le volume prédit (équation 1) :

$$\text{biais} = \text{valeur observée} - \text{valeur prédite} \quad (\text{Équation 1})$$

Un biais négatif indique que la méthode surestime le volume, alors qu'un biais positif indique que la méthode le sous-estime.

2.2. Comparaison des biais des 8 méthodes d'estimation

Afin d'évaluer l'ampleur des biais des 8 méthodes d'estimation, nous avons appliqué celles-ci à un second jeu de données contenant des observations d'inventaire recueillies 20 ans après des coupes de jardinage effectuées de 1995 à 1999 dans 213 territoires d'intervention répartis dans la province. Une description détaillée de ce projet d'inventaire et de la méthode de mesure est disponible dans Guillemette *et al.* (2013). En résumé, de 1 à 3 placette(s) (superficie : 400 m²) traitée(s) par coupe de jardinage ont été mesurées environ 20 ans après la coupe dans chacun de ces territoires. Les données suivantes, notamment, ont été prises sur les arbres vivants de dimension marchande (DHP > 9 cm) : l'essence, le DHP ainsi que classes de qualité (ABCD), de priorité de récolte (MSCR) et de vigueur (1-2-3-4).

Nous avons défini *a posteriori* des groupes de peuplements pour l'ensemble de la province selon 3 critères : (1) la végétation potentielle dominante (Saucier *et al.* 2009), (2) la région écologique (Saucier *et al.* 2009) et (3) les perturbations récentes. Ainsi, les végétations potentielles de l'érablière à bouleau jaune ont été rassemblées en 6 groupes (FE3), lesquels se distinguent selon leur emplacement géographique. Le groupe FE3 2a3a R07 est composé d'érablières à bouleau jaune situées en Outaouais (région 07) dans les collines de la basse Gatineau (région écologique 2a) et dans les collines de l'Outaouais (partie est de la région écologique 3a). Bien qu'appartenant aussi à la région écologique 3a, les érablières des collines du Témiscamingue (région 08) ont été placées dans un groupe à part, étant donné l'effet du chablis sévère survenu en juillet 2006. Les groupes FE3 3b et FE3 3c sont composés des érablières des collines du lac Nominique et des hautes collines du bas Saint-Maurice, respectivement. Le groupe FE3 3d4f est formé des érablières situées dans les coteaux des basses Appalaches (3d) et les collines des moyennes Appalaches (4f). Les érablières situées plus au nord, dans les coteaux du réservoir Cabonga et dans les collines du moyen Saint-Maurice (4b et 4c, respectivement), forment le groupe FE3 4bc. Deux autres groupes se distinguent par leur végétation potentielle, soit la bétulaie jaune à érable à sucre et sapin baumier (MJ1) et la bétulaie jaune à sapin baumier (MJ2). Environ 72 % des territoires étudiés dans ces deux derniers groupes sont situés dans les régions écologiques 4b et 4c.

Pour comparer l'effet de ces méthodes, nous avons sélectionné la moins biaisée selon la première analyse comme référence, pour ensuite calculer un biais relatif au volume de cette méthode de référence pour les 7 autres méthodes de prédiction (équation 2) :

$$\text{biais relatif (\%)} = 100 \times \left(\frac{\text{valeur de référence} - \text{valeur prédite}}{\text{valeur de référence}} \right) \quad (\text{Équation 2})$$

3. Résultats

Le premier constat est que les volumes prédits à l'aide des modèles intégrés dans Capsis ou des matrices intégrées dans MÉRIS donnent les mêmes résultats, tant que les variables explicatives sont les mêmes (Tableau 1). En effet, les biais sont de 3,7 % et de 4,1 % avec les variables de base (essence et DHP) pour le modèle et la matrice, respectivement, et de 1,9 % et de 1,5 % pour les deux approches avec l'ajout de classe de qualité (ABCD).

Tableau 1. Volume net des billes de grande valeur (DF1F2) selon la source des données et la méthode, et biais relatif aux méthodes prédictives.

Méthode	Variables explicatives	4 352 arbres avec au moins les données de qualité et de priorité de récolte		3 026 arbres avec la donnée de la classe de vigueur	
		Volume DF1F2 (m ³)	Biais relatif (%)	Volume DF1F2 (m ³)	Biais relatif (%)
Observation	—	932,7	—	437,2	
Modèle	DHP	898,5	3,7	488,5	-11,7
Matrice	DHP	894,8	4,1	—	—
Modèle	Classe de qualité (ABCD)	914,5	1,9	439,1	-0,4
Matrice	Classe de qualité (ABCD)	918,4	1,5	—	—
Matrice	Classes de priorité de récolte + qualité (MSCR-AB/CD)	918,4	1,5	435,6	0,4
Modèle	Classe de vigueur (1-2-3-4)	—	—	430,2	1,6
Modèle	Classe de priorité de récolte (MSCR)	1204,7	-29,2	602,4	-37,8
Matrice	Classe de priorité de récolte + potentiel de bois d'œuvre (MSCR-OP)	—	—	504,1	-15,3

Le second constat est que la présence de la classe de qualité (ABCD) permet d'obtenir les biais les plus faibles (± 2 % des volumes observés; tableau 1). À l'opposé, les plus grands biais sont observés avec la classe de priorité de récolte (MSCR), qu'elle soit seule ou en interaction avec le potentiel de bois d'œuvre (OP) (surestimations de 15,3 à 37,8 %). Une analyse plus fine des biais du modèle MSCR selon l'essence et la classe de priorité de récolte a montré que le biais provenait principalement des classes de priorité M et S pour l'érule à sucre et le bouleau jaune (surestimation de 41,6 à 184,1 %; données non présentées). Avec la matrice MSCR-OP, les surestimations les plus importantes étaient associées à la classe de priorité M (19,6 %, 23,2 %, 28,0 % et 63,7 % pour le bouleau jaune, le bouleau à papier, le chêne rouge et l'érule à sucre, respectivement; tableau 2). De plus, pour l'érule à sucre, les volumes pour les classes de priorité S, C et R étaient surestimés de 30,9 %, 17,5 % et 32,4 %, respectivement.

Tableau 2. Volume net des billes de grande valeur (DF1F2) observé et prédit avec la matrice MSCR-OP selon l'essence, et biais relatif du modèle en présence d'un potentiel de bois d'œuvre (O).

Essence	Priorité de récolte	Potentiel de bois d'œuvre (O)			Potentiel de pâte (P)	
		Volume observé (m ³)	Volume prédit (m ³)	Biais (%)	Volume observé (m ³)	Volume prédit (m ³)
Bouleau jaune	M	37,8	45,2	-19,6	0,7	0,0
	S	48,9	55,7	-13,9	0,0	0,0
	C	46,5	44,3	4,7	0,0	0,0
	R	66,4	62,5	5,9	0,0	0,0
	Total	199,5	207,7	-4,1	0,7	0,0
Bouleau à papier	M	10,0	12,3	-23,2	0,0	0,0
	S	9,5	9,8	-2,4	0,0	0,0
	C	5,9	6,0	-1,9	0,0	0,0
	R	17,8	18,7	-5,0	0,0	0,0
	Total	43,2	46,8	-8,2	0,0	0,0
Chêne rouge	M	10,0	12,8	-28,0	0,0	0,0
	S	6,3	6,8	-8,3	0,0	0,0
	C	5,9	7,6	-27,9	0,0	0,0
	R	17,9	16,2	9,8	0,0	0,0
	Total	40,1	43,3	-8,0	0,0	0,0
Érable à sucre	M	38,1	62,4	-63,7	1,1	0,0
	S	55,0	72,0	-30,9	0,7	0,0
	C	38,6	45,4	-17,5	0,0	0,0
	R	20,1	26,6	-32,4	0,0	0,0
	Total	151,8	206,3	-35,9	1,8	0,0

Le modèle avec la classe de vigueur est peu biaisé (+1,6 %; tableau 1), mais il a été étalonné avec un sous-ensemble de données qui contient beaucoup moins de volume DF1F2 par arbre que le jeu complet (0,161 m³/arbre, comparativement à 0,214 m³/arbre). En effet, la comparaison du modèle de base appliqué aux deux séries de données révèle que celui-ci sous-estime de 3,7 % le volume observé pour l'ensemble des données, tandis qu'il surestime de 11,7 % le volume du sous-ensemble des données comprenant la classe de vigueur. Cela s'explique en partie par les données recueillies dans un secteur en particulier (c.-à-d. Labotte), lequel représente 566 arbres et un volume net de 315,6 m³ de billes DF1F2, soit 0,558 m³/arbre, mais dans lequel la donnée de vigueur n'a pas été évaluée.

L'application de ces méthodes aux inventaires des 213 territoires de mesure des effets réels de la coupe de jardinage indique des volumes nets des billes de grande valeur (DF1F2) variant de 14,8 m³/ha à 19,2 m³/ha selon la méthode de calcul choisie (tableau 3a). Considérant que les méthodes tenant compte de la classe de qualité ABCD sont les moins biaisées, nous avons calculé le biais pour 7 des 8 méthodes en les comparant à la matrice ABCD, qui a servi de référence. Comme le laissaient prévoir les résultats présentés au tableau 1, la matrice MSCR-AB/CD affiche le biais moyen le plus faible (moyenne de +0,6 %

et variation de $-8,1\%$ à $+8,0\%$ selon le groupe de peuplement). Par conséquent, nous avons appliqué la marge d'erreur de $\pm 8,1\%$ pour distinguer les biais attribués au hasard (biais aléatoires) des biais jugés plus notables (autres biais) sur les données observées. Ainsi, le modèle ABCD affiche des biais qualifiés d'aléatoires (soit de $-7,1\%$ à $0,0\%$) dans les groupes associés aux végétations potentielles FE3, mais des surestimations considérées comme notables dans les groupes MJ1 et MJ2 (respectivement de $11,6\%$ et de $12,3\%$). Les deux méthodes les plus biaisées sont la matrice DHP (sous-estimation moyenne de $16,4\%$) et le modèle DHP (sous-estimation moyenne de $10,7\%$). De plus, les biais de ces deux méthodes sont notables dans tous les groupes de peuplements, à l'exception du groupe MJ2 pour le modèle DHP ($+2,2\%$; tableau 3b). Le modèle Vigueur sous-estime le volume dans 5 des 6 groupes d'érablières (biais de $+9,3\%$ à $+29,1\%$), mais surestime le volume dans les groupes MJ1 et MJ2 (biais de $-15,5\%$ et $-15,9\%$). Le modèle MSCR tend à surestimer le volume dans tous les groupes (biais négatifs), mais seul le groupe FE3 2a3a R07 a un biais notable, quoique les groupes FE3 4bc et MJ1 ont des biais près du seuil, soit de $-8,4\%$. Finalement, la matrice MSCR-OP affiche des résultats contrastés : les biais sont négligeables dans les érablières de l'ouest de la province (groupes FE3 2a3a R07, 3a R08 et 3b), mais ils sont notables dans les 5 autres groupes ($-21,3\%$ à $-10,1\%$).

4. Discussion

L'analyse des biais réalisée en comparant, d'une part, les valeurs prédites aux données d'étalonnage et d'autre part, les valeurs prédites par les différentes méthodes aux données d'inventaire, soulève certains points cohérents et d'autres contradictoires. D'un côté, les méthodes utilisant la classe de qualité (ABCD) semblent les moins biaisées (tableaux 1 et 3a-b), ce qui est logique considérant que ce classement a été défini spécifiquement pour évaluer le volume de bois d'œuvre sur pied. Dans cet avis, nous avons présumé que la matrice ABCD était plus précise que le modèle ABCD, étant donné que la matrice permet d'ajuster le volume DF1F2 selon le volume marchand brut de l'arbre, lequel est ajusté selon la hauteur. Cet effet est surtout perceptible sur les végétations potentielles MJ1 et MJ2, lesquelles sont majoritairement situées dans des territoires plus nordiques où les arbres sont susceptibles d'être moins hauts et de contenir moins de volume marchand brut pour un même DHP. La matrice MSCR-AB/CD, quant à elle, produit des résultats comparables à ceux de la matrice ABCD. Malgré tout, l'écart entre ces 2 méthodes (les moins biaisées d'après le tableau 1) peut atteindre $1,9\text{ m}^3/\text{ha}$ ou $8,1\%$ (tableau 3b). Lorsque possible, nous recommandons donc d'utiliser une méthode qui tient compte de la classe de qualité ABCD.

Tableau 3. a) Volumes nets des billes de grande valeur (DF1F2) des 4 essences étudiées, prédits selon différentes méthodes pour les groupes de peuplements jardinés du projet de mesure des effets réels des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999; b) biais relatif de chaque méthode, comparativement à la matrice ABCD qui a été choisie comme niveau de référence. Les volumes nets des billes DF1F2 sont basés sur des mesures prises 20 ans après la coupe. Les biais relatifs considérés comme notables (< -8,1 % ou > 8,1 %) sont en caractères gras.

a)

Groupe	Nombre de territoires	Nombre de placettes	Volume net DF1F2 prédit par les matrices (m ³ /ha)				Volume net DF1F2 prédit par les modèles (m ³ /ha)			
			ABCD	MSCR-AB/CD	MSCR-OP	DHP	ABCD	MSCR	DHP	Vigueur
FE3 2a3a R07	16	42	19,4	19,2	20,4	17,0	19,5	21,8	17,5	15,7
FE3 3a R08	34	95	18,3	17,3	18,7	15,9	18,5	19,3	16,1	15,0
FE3 3b	31	75	23,7	21,8	22,7	19,3	23,7	24,4	19,4	16,8
FE3 3c	30	68	16,1	16,3	18,1	12,8	17,2	17,3	14,0	14,6
FE3 3d4f	27	48	19,8	21,4	21,8	16,0	21,2	21,1	17,4	17,5
FE3 4bc	21	52	15,5	15,6	17,6	13,1	16,3	16,8	14,2	15,3
MJ1	25	49	15,5	16,4	18,8	12,9	17,3	16,8	14,2	17,9
MJ2	29	62	13,8	13,7	15,9	12,2	15,5	14,6	13,5	16,0
Total général	213	491	—	—	—	—	—	—	—	—
Moyenne	—	—	17,7	17,6	19,2	14,8	18,7	18,8	15,8	16,1

b)

Groupe	Biais relatif des matrices par rapport à la matrice ABCD (%)				Biais relatif des modèles par rapport à la matrice ABCD (%)			
	ABCD	MSCR-AB/CD	MSCR-OP	DHP	ABCD	MSCR	DHP	Vigueur
FE3 2a3a R07	—	1,0	-5,2	12,4	-0,5	-12,4	9,8	19,1
FE3 3a R08	—	5,5	-2,2	13,1	-1,1	-5,5	12,0	18,0
FE3 3b	—	8,0	4,2	18,6	0,0	-3,0	18,1	29,1
FE3 3c	—	-1,2	-12,4	20,5	-6,8	-7,5	13,0	9,3
FE3 3d4f	—	-8,1	-10,1	19,2	-7,1	-6,6	12,1	11,6
FE3 4bc	—	-0,6	-13,5	15,5	-5,2	-8,4	8,4	1,3
MJ1	—	-5,8	-21,3	16,8	-11,6	-8,4	8,4	-15,5
MJ2	—	0,7	-15,2	11,6	-12,3	-5,8	2,2	-15,9
Minimum	—	-8,1	-21,3	11,6	-12,3	-12,4	2,2	-15,9
Moyenne	—	0,6	-8,5	16,4	-5,6	-6,2	10,7	9,0
Maximum	—	8,0	4,2	20,5	0,0	-3,0	18,1	29,1

Les analyses de biais ont aussi fait ressortir le cas en apparence contradictoire de la matrice MSCR-OP. En effet, bien que celle-ci surestime grandement le volume DF1F2 dans plusieurs cas (tableau 2), elle produit des estimations aussi bonnes que la matrice ABCD dans les végétations potentielles FE3 des régions écologiques 2a, 3a et 3b (tableau 3). Autrement dit, malgré un biais apparent de la matrice MSCR-OP à l'échelle de la province, les écarts entre les prévisions et les observations sont faibles dans les régions

écologiques 2a, 3a et 3b. Ce résultat est semblable à celui qui a été observé pour la matrice MSCR-OP lors d'une évaluation spécifique sur le territoire de l'Outaouais (données non publiées). Par conséquent, nous recommandons d'utiliser cette matrice pour évaluer le volume sur pied dans les végétations potentielles FE3 des régions écologiques 2a, 3a et 3b, lorsque la donnée sur la classe de qualité (ABCD) des arbres sur pied n'est pas disponible.

Toutefois, il arrive que la donnée portant sur la classe de qualité (ABCD) ne soit pas disponible dans l'inventaire, et que selon nos analyses, il n'y ait pas d'autre méthode non biaisée pour estimer le volume DF1F2. C'est le cas dans les végétations potentielles MJ1 et MJ2, de même que dans les végétations potentielles FE3 des régions écologiques 3c, 3 d, 4b, 4c et 4f (tableau 3b). Sur ces territoires, les estimations des autres modèles et matrices peuvent présenter des écarts par rapport à la matrice ABCD de l'ordre de $-21,3\%$ à $29,1\%$ sur le volume DF1F2 sur pied. Une solution peut être de corriger les volumes estimés par l'une de ces méthodes à l'aide des biais calculés au tableau 3b. Toutefois, cette solution n'est pas toujours envisageable avec un outil comme MÉRIS. Une autre option serait d'évaluer l'effet du biais de la méthode choisie sur les analyses à produire. Par exemple, l'utilisation d'une méthode DHP qui sous-estime le volume sur pied pourrait avoir l'avantage de mieux estimer le volume récolté, si celui-ci provient d'une directive de récolte visant à améliorer le peuplement. Ainsi, on s'attendrait à ce que le volume DF1F2 moyen des arbres récoltés soit inférieur à la moyenne des arbres avant la récolte. Puisque le modèle sous-estime le volume DF1F2 sur pied, alors l'estimation du volume des arbres récoltés est susceptible de s'approcher du volume qui sera prélevé. À l'opposé, la matrice MSCR-OP surestime beaucoup le volume des arbres de priorité MO (tableau 2). Ainsi, si la directive de récolte cible en particulier ces arbres, alors le volume DF1F2 récolté est susceptible d'être surestimé. En attendant les résultats d'un projet¹ visant à développer des matrices régionales et à en vérifier les biais de manière plus approfondie, le plus prudent serait d'utiliser l'une ou l'autre des méthodes qui sous-estiment le volume, puis d'appliquer si possible une correction aux volumes calculés en fonction des biais présentés au tableau 3b. Toutefois, l'utilisation de ces biais comme facteur de correction ne renseigne pas sur les autres composantes du volume total des arbres, comme le volume de pâte et celui de bois d'œuvre de faible valeur (billes de grade F3).

Finalement, notons que le modèle Vigueur, dont l'usage est maintenant spécifique à SaMARE et aux données des dispositifs de recherche de la DRF, présente des biais très variables lorsqu'il est appliqué aux territoires à l'étude (tableau 3a). De façon générale, il sous-estime le volume dans la plupart des végétations potentielles FE3 et le surestime dans les végétations potentielles MJ. Néanmoins, dans une autre évaluation que nous avons faite dans un autre contexte (données non publiées de la récolte 2019 du

¹ Développement de modèles d'évaluation des produits issus des arbres et des billes pour les principales espèces feuillues.

<https://mfpp.gouv.qc.ca/publications/enligne/forets/activites-recherche/projets/description.asp?numero=479>

dispositif Sainte-Véronique 1983 de la DRF), ce modèle estimait bien le volume récolté. Par conséquent, nous recommandons son utilisation lorsque la donnée sur la vigueur (1-2-3-4) est disponible.

5. Conclusion

À la lumière de ces résultats, nous formulons les recommandations suivantes pour la réalisation d'analyses à l'échelle tactique :

A. Favoriser l'utilisation de l'une ou l'autre des méthodes impliquant la classe de qualité (ABCD) si l'on souhaite obtenir une estimation plus précise du volume de bois d'œuvre des feuillus de grande valeur.

B. En l'absence de la donnée sur la classe de qualité (ABCD) :

- i. **Utiliser la matrice MSCR-OP dans MÉRIS ou le modèle MSCR dans Capsis, si ces données sont disponibles.** Toutefois, il est préférable de corriger la surestimation du volume prédit avec la matrice MSCR-OP dans les végétations potentielles MJ1 et MJ2, de même que dans la végétation potentielle FE3 dans les régions écologiques 3c, 3d, 4b, 4c et 4f, en fonction des biais présentés au tableau 3b. De plus, il faut évaluer l'effet possible d'une éventuelle surestimation du volume des arbres de la classe de priorité de récolte M et avec potentiel de bois d'œuvre (classe MO). Toutefois, nous n'avons pas évalué si le volume corrigé devait être réparti dans d'autres produits comme la pâte.
- ii. **Utiliser l'une ou l'autre des méthodes basées sur le DHP si les classements ne sont pas disponibles, puis corriger si possible les sous-estimations de la matrice selon les biais présentés au tableau 3b.** Toutefois, ces sous-estimations pourraient mieux refléter les volumes récoltés lorsque la récolte vise une amélioration du peuplement. Encore une fois, nous n'avons pas évalué si le volume corrigé devrait provenir d'autres produits comme la pâte.

C. Utiliser le modèle avec la classe de vigueur dans SaMARE démarré à partir de Capsis. Les volumes prédits seront un peu plus faibles que pour les méthodes étalonnées avec le plus grand jeu de données, mais ils devraient mieux refléter les volumes prélevés dans les dispositifs de recherche sur la coupe de jardinage.

6. Références

- Auger, I., H. Power, F. Havreljuk et C. Ward, 2019. *Capsis, une plateforme pour l'utilisation des modèles de croissance forestière*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche n° 138, 2 p.
<https://www.mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/ARF138.pdf>
- Boulet, B., 2005. *Défauts externes et indices de la carie des arbres*. Les publications du Québec. Québec, QC, 291 p.
- Fortin, M., S. Bédard et J. DeBlois, 2009. *SaMARE : un modèle par tiges individuelles destiné à la prévision de la croissance des érablières de structure inéquienne du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 155. 62 p.
<http://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Fortin-Mathieu/Memoire155.pdf>
- Guillemette, F., M.-M. Gauthier, M.-C. Lambert et S. Bédard, 2013. *Effets réels décennaux des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 168. 34 p.
<http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Guillemette-Francois/Memoire168.pdf>
- 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. 15 au 17 septembre 2015. Québec, QC. p. 107-114.
<https://mffp.gouv.qc.ca/our-publications/predicting-log-grade-volumes-in-northern-hardwood-stands-of-southern-quebec/?lang=en>
- Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 96. 95 p.
<https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire96.pdf>
- [MFFP] Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2014. *Classification des tiges d'essences feuillues — Normes techniques. 2^e édition*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers. 108 p.
<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/classif-tiges-essence-feuillues-6.pdf>

- [MRNF] Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2006. *Notion de la bille de bois d'œuvre*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la coordination des opérations régionales. 6 p.
ftp://ftp.mern.gouv.qc.ca/Public/Reg07/Instructions_relatives/Guides_formulaires_pr%20E9cisions_et_documents_r%20gional/Autres/notions-bille.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://mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/pdf/tarif-de-cubage-64.pdf>
- Petro, F.J., 1971. *Felling and bucking hardwoods: How to improve your profit*. Canadian Forest Service, Department of Fisheries and Forestry. Publication n° 1291. 140 p.
- Petro, F.J. et W.W. Calvert, 1976. *How to grade hardwood logs for factory lumber*. Canadian Forest Service, Department of Fisheries and the Environment. Forestry Technical Report n° 6. 67 p.
- Power, H., 2016. *Comparaison des biais et de la précision des estimations des modèles Artémis-2009 et Artémis-2014 pour la surface terrière totale des peuplements forestiers, avec et sans coupe partielle, sur une période de 40 ans*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 143. 22 p.
<http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Power-Hugues/Note143.pdf>
- Saucier, J.-P., A. Robitaille et P. Grondin, 2009. « *Cadre bioclimatique du Québec*. » Dans : *Écologie forestière. Manuel de foresterie, 2^e édition*. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Éditions MultiMondes. Québec, QC. p. 186-205.
- Saucier, J.-P., F. Guillemette, P. Gauthier, J. Gravel, F. Labbé, S. Meunier et N. Vachon, 2014. *Rapport du Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF)*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport principal. 98 p.
<https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/rapport-CIMOTFF.pdf>

François Guillemette, ing.f., M. Sc.

Service de la sylviculture et du rendement des forêts