



Rendements observés et simulés 20 ans après des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel

par François Guillemette, Filip Havreljuk, Hugues Power
et Steve Bédard

Mémoire de recherche forestière n° 190
Direction de la recherche forestière

Rendements observés et simulés 20 ans après des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel

par François Guillemette, ing.f., M. Sc., Filip Havreljuk, ing.f., Ph. D.,
Hugues Power, ing.f., Ph. D. et Steve Bédard, ing.f., M. Sc.

Auteur de correspondance : francois.guillemette@mrf.gouv.qc.ca

Mandat de la DRF

La Direction de la recherche forestière a pour mandat de participer activement à l'orientation de la recherche et à l'amélioration de la pratique forestière au Québec, dans un contexte d'aménagement forestier durable, en réalisant des travaux de recherche scientifique appliquée. Elle acquiert de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou à leur intégration au domaine de la pratique. Elle subventionne aussi des recherches en milieu universitaire, le plus souvent dans des créneaux complémentaires à ses propres travaux.

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par au moins trois pairs indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document est disponible dans le site Internet du ministère des Ressources naturelles et des Forêts : <https://mffp.gouv.qc.ca/le-ministere/publications/>.

Pour obtenir des renseignements complémentaires, veuillez vous adresser à :

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec)
Canada, G1P 3W8

Courriel : recherche.forestiere@mrnf.gouv.qc.ca

Internet : <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/forets/recherche-connaissances/recherche-forestiere-gouvernementale>

© Gouvernement du Québec

On peut citer ce texte en indiquant la référence. Citation recommandée :

Guillemette, F., F. Havreljuk, H. Power et S. Bédard, 2024. *Rendements observés et simulés 20 ans après des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 190. 35 p.

Toutes les publications produites par la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et des Forêts sont protégées par les dispositions de la Loi sur le droit d'auteur, les lois, les politiques et les règlements du Canada, ainsi que par des accords internationaux. Il est interdit de reproduire, même partiellement, ces publications sans l'obtention préalable d'une permission écrite.

ISSN : 1183-3912

ISBN (PDF) : 978-2-550-97497-0

G.F.D.C. : 243 (714)

L.C. : SD 396.5

Notes biographiques



François Guillemette est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval (B. Sc., 2001, et M. Sc., 2002). De 2001 à 2002, il est conseiller en gestion intégrée des ressources à la Fédération des pourvoyeurs en chasse et pêche du Québec. De 2002 à 2005, il travaille au Centre d'enseignement et de recherche en

foresterie de Sainte-Foy (CERFO). Ses travaux de recherche portent alors principalement sur la sylviculture et le rendement des forêts de feuillus ou de pins blancs. Depuis 2005, il est chercheur en sylviculture des forêts tempérées à la Direction de la recherche forestière. Ses travaux traitent surtout de la dynamique des peuplements de feuillus après coupe partielle. Il s'intéresse avant tout aux jeunes peuplements de feuillus, aux différents systèmes de classement des arbres feuillus sur pied (qualité, vigueur, risque de mortalité) et à la modélisation de la croissance (le modèle SaMARE). Il étudie également la notion de diamètre à maturité des arbres feuillus.



Filip Havreljuk est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval (B. Sc., 2008). Il y obtient aussi un doctorat en sciences forestières à l'Université Laval (Ph. D., 2015) en soumettant une thèse sur les liens entre les caractéristiques visuelles des arbres feuillus sur pied et la valeur des produits transformés. En 2013, il entre

à la Direction de la recherche forestière comme chercheur en modélisation de la croissance des peuplements de feuillus. Ses principaux domaines d'activités scientifiques ont trait à la modélisation de l'accroissement, de la mortalité, du recrutement et de la qualité des arbres dans les peuplements à dominance d'érable à sucre et de bouleau jaune. Une part importante de ses travaux vise également à créer et à améliorer les modèles de répartition par produits des principales espèces de feuillus pour mieux définir leur valeur marchande. Ses principaux champs d'expertise sont liés aux systèmes de classement de qualité et de vigueur des arbres et aux effets de différents défauts et maladies des arbres sur la qualité du bois.



Hugues Power est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval (B. Sc., 1998). De 1999 à 2006, il travaille en tant qu'ingénieur forestier dans les domaines de l'inventaire forestier, de l'aménagement des forêts privées et de la certification environnementale. Il obtient une maîtrise en sciences forestières de

l'Université Laval en 2009 en soumettant un mémoire au sujet de la modélisation de la remontée de la cime du pin gris. En 2013, il obtient un doctorat en biologie de l'Université du Québec à Montréal en présentant des travaux sur la modélisation des relations allométriques de l'épinette blanche et de l'épinette noire. Il travaille comme chercheur en modélisation de la croissance à la Direction de la recherche forestière depuis 2012. Ses travaux portent sur les modèles de croissance ainsi que sur le développement d'outils d'aide à la décision applicables aux forêts de feuillus et mixtes du Québec.



Steve Bédard est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval (B. Sc., 1992, M. Sc., 1998). De 1992 à 1998, il occupe des postes de chargé de recherche à l'Université Laval, à l'Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue et au Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO). Depuis

1998, il est chercheur en sylviculture des forêts tempérées à la Direction de la recherche forestière. Ses recherches portent sur la compréhension de la dynamique des forêts tempérées afin de développer des scénarios sylvicoles adaptés qui favorisent la productivité et la résilience de ces forêts. Il s'intéresse particulièrement aux effets de la structure des peuplements sur la croissance des arbres et sur la production et la régénération des peuplements. Il participe aussi à l'évaluation et au développement de systèmes de classement afin d'évaluer la vigueur des arbres et leur potentiel pour la production de bois d'œuvre.

Résumé

De 1995 à 1999, un réseau de suivi provincial a été établi pour mesurer les effets réels des coupes de jardinage exécutées dans les forêts du domaine de l'État. L'objectif était de vérifier si les hypothèses énoncées dans le *Manuel d'aménagement forestier* (MAF) relatives à la production se confirmeraient à la suite de l'application de ce traitement en conditions opérationnelles. Les hypothèses principales du MAF étaient que le volume marchand brut (VMB) et le volume de bois d'œuvre des essences principales pourraient se reconstituer au cours de la période de rotation prévue de 20 ± 5 ans. La présente étude vise principalement à présenter les résultats observés régionalement au terme de cette période et de les comparer aux hypothèses du MAF ainsi qu'aux résultats prévus par les plus récents modèles de croissance.

Nos résultats permettent de préciser les types de prélèvement possibles selon la durée de rotation souhaitée pour quelques scénarios sylvicoles visant la production de bois d'œuvre en forêt décidue : ils confirment les hypothèses du MAF (reconstitution du volume en 20 ± 5 ans) pour les érablières à bouleau jaune situées dans les Appalaches (végétation potentielle FE3, régions écologiques 3d, 4f et 4h) et pour les bétulaies jaunes à sapin (végétation potentielle MJ2), c'est-à-dire pour les groupes de peuplements dans lesquels les prélèvements étaient les plus faibles (environ $70 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en VMB et $4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en volume DF1F2, soit le bois d'œuvre feuillu de grande valeur de 4 essences désirées). À l'opposé, la rotation requise pour reconstituer les volumes initiaux pourrait approcher 50 ans dans les érablières à bouleau jaune des collines du lac Nominique (végétation potentielle FE3, région écologique 3b), dans lesquelles les prélèvements étaient les plus importants ($110 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en VMB et $12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en

volume DF1F2). Lorsqu'ils ne sont pas sujets à une perturbation majeure, les autres groupes de peuplements à l'étude devraient prendre 30 ± 5 ans pour reconstituer les volumes prélevés (environ $80 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en VMB et $8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en volume DF1F2).

Les modèles de croissance ont des biais relativement faibles (de 10 % à 18 % selon le cas) et tendent à sous-estimer plutôt qu'à surestimer la surface terrière et le VMB dans l'ensemble des groupes de peuplements. Les aménagistes forestiers ont donc en main des outils appropriés pour bien planifier les rotations de coupes partielles dans les érablières à bouleau jaune et les bétulaies jaunes à sapin du Québec.

Un autre objectif de l'étude était de présenter le volume DF1F2, le volume sur pied et l'accroissement en volume dans ces peuplements, afin de les comparer à ceux publiés en 2014 à partir de l'exercice de modélisation inclus dans le rapport du Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF). Nos résultats démontrent que même si la modélisation du CIMOTFF était peu biaisée à l'échelle provinciale (surestimation de 4 % du volume DF1F2), des écarts de volume allant jusqu'à 30 % existaient entre les groupes de peuplements. De plus, l'utilisation de nouveaux modèles d'évaluation du volume DF1F2 dans les arbres engendre une diminution d'environ 18 % de ce volume dans les peuplements à l'étude, comparativement aux estimations faites par les modèles en vigueur lors des travaux du CIMOTFF. Par conséquent, nous recommandons de cesser l'utilisation de la modélisation de l'évolution du volume DF1F2 présentée par le CIMOTFF et d'utiliser plutôt les modèles de la présente étude.

Mots-clés : coupe de jardinage, accroissement, effets réels, rotation, érable à sucre, bouleau jaune.

Abstract

From 1995 to 1999, a provincial monitoring network was established to measure the effects of selection cutting performed in public forests and to verify the hypotheses stated in the province's forest management manual related to stand production following treatment application, mainly that the gross merchantable volume and lumber volume of the main species could be reconstituted within the planned cutting cycle of 20 ± 5 years. The main goal of this study is to present the results observed regionally over this period and to compare them both to the province's forest management manual hypotheses and to the results predicted by our most recent models.

Our results confirm the hypotheses (volume reconstitution in 20 ± 5 years) for yellow birch–maple stands located in the Appalachians (potential vegetation FE3, ecological regions 3d, 4f and 4h) and for fir–yellow birch stands (potential vegetation MJ2), i.e., for the stand groups in which removal was lowest (around $70 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in gross merchantable volume and $4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in DF1F2 volume, i.e., the high-value hardwood timber of 4 desired species). In contrast, the cutting cycle required to reconstitute initial volumes could approach 50 years in the yellow birch–maple stands of the Lac Nominique hills (potential vegetation FE3, ecological region 3b), where removals were the highest ($110 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in gross merchantable volume and $12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in DF1F2 volume). When not subject to major disturbance, the other stand groups under study are expected to

take 30 ± 5 years to replenish the harvested volumes (approximately $80 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in gross merchantable volume and $8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in DF1F2 volume).

Overall, the growth models have relatively small biases (10% to 18%, depending on stand group) and they tend to underestimate rather than overestimate basal area and gross merchantable volume. Therefore, forest managers can rely on them as tools to adequately plan partial cutting cycles in the sugar maple–yellow birch and yellow birch–fir stands of Québec.

Another goal of this study was to present volumes in DF1F2, standing timber and growth increments in these stands, to compare them to those obtained from a modeling exercise and published in 2014 by the Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF) report. Our results demonstrate that although the CIMOTFF modeling was slightly biased on a provincial scale (overestimating DF1F2 volume by 4%), differences in volume of up to 30% existed between stands groups. Moreover, using new models to evaluate DF1F2 volume at the tree level led to a reduction of approximately 18% of this volume in the studied stands, comparatively to estimations obtained with the model used by the CIMOTFF. Consequently, we recommend that the evolution model for DF1F2 volume presented by the CIMOTFF no longer be used.

Keywords: selection cutting, growth, monitoring, cutting cycle, sugar maple, yellow birch

Table des matières

Résumé	v
Abstract	vi
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	x
Liste des annexes	x
Liste des abréviations et définition de certains termes utilisés dans cet ouvrage	xi
Remerciements	xiii
Introduction	1
Chapitre 1 – Matériel et méthodes	3
1.1 Dispositif	3
1.2 Traitement des données	3
1.3 Simulations	6
1.4 Biais	6
1.5 Analyses statistiques	6
Chapitre 2 – Résultats	7
2.1 Portrait général des peuplements	7
2.2 Rendement	7
2.3 Simulations de croissance	14
Chapitre 3 – Discussion	17
3.1 Hypothèses du Manuel d'aménagement forestier	17
3.2 Bois d'œuvre feuillu de grande valeur	20
Chapitre 4 – Modèles sylvicoles recommandés	23
4.1 Peuplements jeunes, de structure inéquienne et équilibrée	23
4.2 Peuplements âgés, de structure irrégulière	23
4.3 Peuplements âgés, de structure inéquienne et équilibrée	25
Conclusion	27
Références bibliographiques	29
Annexes	33

Liste des tableaux

Tableau 1.	Dénombrement des peuplements et des placettes étudiés, et composition moyenne en essences commerciales de celles-ci immédiatement après la coupe, par groupe de peuplements et par traitement	5
Tableau 2.	Surface terrière (avant la coupe [AVC], récoltée [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), accroissement annuel net (AAN) (valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [22,8 m ³ .ha ⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer la surface terrière prélevée, et biais absolu et relatif de l'AAN simulé avec les modèles de croissance Artémis-2014 et SaMARE, par groupe de peuplements et par traitement	8
Tableau 3.	Caractéristiques dendrométriques des peuplements selon les régressions du CIMOTFF (avant la coupe [AVC], après la coupe [APC] et 20 ans après la coupe) compte tenu des données observées ou prévues, et biais absolus et relatifs des prévisions, par groupe de peuplements	9
Tableau 4.	Volume marchand brut (VMB) (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), accroissement annuel net (AAN) (valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [22,8 m ³ .ha ⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé, et biais absolus et relatifs de l'AAN simulé avec les modèles de croissance Artémis-2014 et SaMARE, par groupe de peuplements et par traitement	10
Tableau 5.	Volumes de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculés selon la méthode DHP-2021 (Volume DF1F2 _(méthode DHP-2021) , mesuré avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), accroissement annuel net (AAN : valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [15,0 m ³ .ha ⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé, et biais absolus et relatifs de l'AAN simulé avec les modèles de croissance Artémis-2014 et SaMARE, par groupe de peuplements et par traitement	11
Tableau 6.	Volumes de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculés selon la méthode ABCD-2021 (Volume DF1F2 _(méthode ABCD-2021) , mesuré avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans); accroissement annuel net (AAN : valeur brute, valeur ajustée à la moyenne de la covariable [17,5 m ³ .ha ⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements ou chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé, et biais absolus et relatifs de l'AAN simulé avec le modèle de croissance Artémis-2014, selon le groupe de peuplement et le traitement	13
Tableau 7.	Différences relatives, pour les peuplements traités, entre les volumes de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculés selon la méthode DHP-2021 et ceux calculés selon la méthode ABCD-2021 (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), et différence relative correspondante en accroissement annuel net observé (AAN)	15
Tableau 8.	Description dendrométrique des groupes de peuplements dans lesquels il a été possible de reconstituer les volumes prélevés en 15 à 25 ans à la suite de coupes de jardinage	18
Tableau 9.	Description dendrométrique des groupes de peuplements dans lesquels il serait possible de reconstituer les volumes prélevés en 30 ans (pour les valeurs minimales de prélèvement en volume) et en 45 ans (pour les valeurs maximales)	24

Tableau A1.1.	Volume (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans) de bois d'œuvre feuillu des essences désirées (DF1F2F3) calculé selon la méthode ABCD-2021, accroissement annuel net observé (AAN) de ce volume, et volumes nets de bois feuillus de trituration (pâte) et de bois résineux avant la coupe et récolté	33
Tableau A1.2.	Volume (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC]) et après 20 ans) de bois d'œuvre feuillu des essences désirées (DF1F2F3) calculé selon la méthode ABCD-2015, et accroissement annuel net observé (AAN)	34
Tableau A2.	Volume (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC]) et après 20 ans) de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculé selon la méthode ABCD-2015, accroissement annuel net observé (AAN) (valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [$21,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé, et biais absolu et relatif de l'AAN simulé avec le modèle de croissance Artémis-2014, par groupe de peuplements et par traitement	35

Liste des figures

Figure 1.	Carte de la répartition des peuplements à l'étude selon leur groupe (texte et contours en vert) et leur végétation potentielle	4
Figure 2.	Effets des interactions entre les covariables et le traitement ou le groupe de peuplements sur les relations entre l'accroissement annuel net (AAN) et les valeurs avant la coupe a) de la surface terrière, b) du volume marchand brut, c) du volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculé selon la méthode DHP-2021 ou d) du volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculé selon la méthode ABCD-2021	12
Figure 3.	Relations entre l'indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé et a) le volume marchand brut récolté ou b) le volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) récolté pour les groupes étudiés (calculé selon la méthode ABCD-2021)	14
Figure 4.	Relation entre l'accroissement annuel net (AAN) du volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2), calculé avec a) la méthode ABCD-2015 et b) la méthode ABCD-2021 sur une période de 20 ans, et la surface terrière résiduelle des arbres de classe DHP ₂₄₋₄₄ , selon le traitement	16

Liste des annexes

Annexe 1.	Volumes totaux nets en bois d'œuvre feuillu des essences désirées (DF1F2F3) calculés selon les méthodes ABCD-2021 et ABCD-2015	33
Annexe 2.	Volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) et accroissement annuel net (AAN) calculés avec la méthode ABCD-2015	35

Liste des abréviations et définition de certains termes utilisés dans cet ouvrage

DHP ₁₀₋₂₂	Classe regroupant les arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) dans les classes de 10 à 22 cm (de 9,1 à 23,0 cm) pour l'une des 4 essences suivantes : érable à sucre, bouleau jaune, bouleau à papier, chêne rouge.
DHP ₂₄₋₄₄	Classe regroupant les arbres ayant un DHP dans les classes de 24 à 44 cm (de 23,1 à 45,0 cm) et appartenant à la classe de vigueur 1 (arbres vigoureux et de qualité) pour l'une des 4 essences suivantes : érable à sucre, bouleau jaune, bouleau à papier, chêne rouge.
2a3a R07	Territoire situé en Outaouais (région 07), regroupant les collines de la basse Gatineau (région écologique 2a) et les collines de l'Outaouais (partie est de la région écologique 3a).
3a R08	Territoire des collines du Témiscamingue (région 08), soit la partie ouest de la région écologique 3a.
3b	Région écologique des collines du lac Nominigüe.
3c	Région écologique des hautes collines du bas Saint-Maurice.
3d4fh	Territoire regroupant les régions écologiques des coteaux des basses Appalaches (3d), des collines des moyennes Appalaches (4f) et de la côte gaspésienne (4h).
4bc	Territoire regroupant les régions écologiques des coteaux du réservoir Cabonga (4b) et des collines du moyen St-Maurice (4c).
AAN	Accroissement annuel net, soit la différence entre les mesures à la fin et au début de la rotation, divisée par la durée de cette période.
AVC	Avant la coupe.
APC	Après la coupe.
CAAF	Contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier.
CIMOTFF	Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (Saucier <i>et al.</i> 2014).
Classe ABCD	Classes de qualité d'un arbre feuillu sur pied (DHP > 23,0 cm), en ordre décroissant de qualité potentielle pour le sciage. Le seuil minimal de DHP est de 39,1 cm pour la classe A, de 33,1 cm pour la classe B et de 23,1 cm pour les classes C et D.
Classe MSCR	Classement des défauts et indices de la carie des arbres.
DF1F2	Billes d'une essence feuillue et de classe déroulage (D) ou de classe sciage F1 ou F2. C'est le bois d'œuvre feuillu de grande valeur de l'une des 4 essences désirées suivantes : érable à sucre, bouleau jaune, bouleau à papier, chêne rouge.
DF1F2F3	Billes d'une essence feuillue et de classe déroulage ou de classe sciage F1, F2 ou F3. C'est l'ensemble du bois d'œuvre feuillu de l'une des 4 essences désirées suivantes : érable à sucre, bouleau jaune, bouleau à papier, chêne rouge.
DHP	Diamètre à hauteur de poitrine, mesuré à 1,3 m du sol.
ET	Erreur type.

FE2	Végétation potentielle de l'érablière à tilleul.
FE3	Végétation potentielle de l'érablière à bouleau jaune.
FE5	Végétation potentielle de l'érablière à ostryer.
FE6	Végétation potentielle de l'érablière à chêne rouge.
Inéquienne	Qualifie la structure d'un peuplement forestier dont les arbres appartiennent à plus d'une classe d'âge.
MAF	<i>Manuel d'aménagement forestier.</i>
Méthode ABCD-2015	Méthode de calcul disponible en 2015 pour le volume de bois d'œuvre contenu dans un arbre, qui tient compte de son essence, de son DHP et de sa classe de qualité (ABCD).
Méthode ABCD-2021	Méthode de calcul disponible en 2021 pour le volume de bois d'œuvre contenu dans un arbre, qui tient compte de son essence, de son DHP et de sa classe de qualité (ABCD).
Méthode DHP-2021	Méthode de calcul disponible en 2021 pour le volume de bois d'œuvre contenu dans un arbre selon son essence et son DHP.
MJ1	Végétation potentielle de la bétulaie jaune à sapin et érable à sucre.
MJ2	Végétation potentielle de la bétulaie jaune à sapin.
Q1	Premier quartile des observations.
Q3	Troisième quartile des observations.
REC	Récolte.
Rotation	Intervalle de temps compris entre deux coupes de jardinage dans un même peuplement.
VMB	Volume marchand brut, soit le volume ligneux du tronc et des branches sous écorce compris entre une hauteur de souche de 15 cm et un diamètre d'utilisation de 9,1 cm avec écorce.
Volume DF1F2 _(méthode ABCD-2015)	Volume de billes DF1F2 calculé selon la méthode ABCD-2015.
Volume DF1F2 _(méthode ABCD-2021)	Volume de billes DF1F2 calculé selon la méthode ABCD-2021.
Volume DF1F2 _(méthode DHP-2021)	Volume de billes DF1F2 calculé selon la méthode DHP-2021.
Volume DF1F2F3 _(méthode ABCD-2021)	Volume de billes DF1F2F3 calculé selon la méthode ABCD-2021.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier le personnel du ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) dans les directions régionales et les unités de gestion pour la cueillette des données sur le terrain au cours de la première décennie du projet, puis le personnel de diverses entreprises qui ont réalisé les inventaires forestiers par la suite. De plus, ils adressent des remerciements particuliers à MM. Zoran Majcen, ing.f., Ph. D., Sébastien Meunier, ing.f., M. Sc. et Pierrot Boulay, technicien forestier, pour la gestion du projet au cours des premières années, ainsi qu'à MM. Jocelyn Hamel et Pierre Laurent, techniciens forestiers, responsables des vérifications et des données depuis 2005. Nous

remercions aussi M^{me} Josianne DeBlois pour son aide lors des analyses statistiques. Des remerciements s'adressent également aux deux réviseurs anonymes ainsi qu'à la responsable de la révision scientifique, M^{me} Patricia Raymond, ing.f., Ph. D., pour leurs commentaires constructifs, ainsi qu'à M^{mes} Denise Tousignant, Armelle Ginet et Maude-Emmanuelle Hajjaj pour la révision linguistique et l'édition du manuscrit, à M^{me} Stéphanie Rivet (Pulsation graphique) pour la mise en page ainsi qu'à M. Jean Noël pour la préparation de la figure 1. Ce projet a été financé par le MRNF dans le cadre du projet n° 142332053 de la Direction de la recherche forestière.

Introduction

Le Québec est recouvert de près de 60 000 km² de forêts décidues ou mixtes, dominées en général par l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall) ou le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton). L'aménagement forestier préconisé dans ces forêts consiste à pratiquer des coupes partielles de manière à protéger une partie de la régénération préétablie sous le couvert et à laisser croître les plus petits arbres de qualité. Par la suite, on récoltera une partie des arbres les plus gros parmi ceux qui risquent le plus de mourir ou de se dégrader d'ici la coupe partielle suivante.

C'est dans cette perspective que s'est développée la pratique de la coupe de jardinage dans les érablières et les bétulaies jaunes résineuses au cours des années 1980 et 1990. Les différentes éditions du *Manuel d'aménagement forestier* (MAF) de l'époque définissaient ce traitement comme une coupe périodique d'arbres choisis individuellement ou par petits groupes, dans un peuplement de structure inéquienne, pour en récolter la production et maintenir cette structure de peuplement, tout en assurant les soins culturaux nécessaires aux arbres en croissance et à l'installation de semis (MFO 1992, MRN 1998, MRNFP 2003). L'intervalle de temps entre deux coupes de jardinage est appelé rotation. La Stratégie d'aménagement des forêts de 1994 (MRN 1994) a propulsé la pratique de ce traitement sylvicole en lui permettant de devenir le traitement principal dans ces forêts; il a été appliqué sur quelques dizaines de milliers d'hectares par année au cours des années 1990 et au début des années 2000 (Guillemette *et al.* 2013b).

Dans le MAF, les hypothèses relatives à la production énonçaient que le volume marchand brut (VMB) et le volume de bois d'œuvre des essences principales pourraient se reconstituer en 20 ± 5 ans^a. Afin de vérifier si ces hypothèses de rendement allaient se concrétiser, un réseau provincial a été établi de 1995 à 1999 pour mesurer les effets réels des coupes de jardinage exécutées par les bénéficiaires de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF). Déjà, à cette époque, des inquiétudes avaient été soulevées quant à la possibilité que ces coupes n'améliorent pas la qualité de la forêt de feuillus.

Depuis 2013, le MAF n'encadre plus la réalisation des traitements sylvicoles, ayant été remplacé par *Le Guide sylvicole du Québec* (MRN 2013), lequel augmente la latitude professionnelle des ingénieurs forestiers qui préparent les prescriptions sylvicoles. Ce guide a introduit la coupe progressive irrégulière et sa variante à couvert permanent qui a remplacé la coupe de jardinage dans de nombreuses conditions, notamment dans les peuplements mixtes et dans les érablières plus appauvries en arbres d'avenir. De plus, pour déterminer les possibilités forestières, soit les volumes qu'il est possible de récolter périodiquement, le Forestier en chef utilise maintenant le rendement simulé à l'aide du modèle de croissance Artémis-2014 (Power 2016) plutôt que les hypothèses du MAF.

Même si le MAF n'est plus utilisé, l'étude de ce réseau de suivi des effets réels et le retour sur les hypothèses de l'époque permettent d'améliorer nos connaissances et de définir de meilleurs critères de réalisation des coupes partielles ainsi que de meilleures hypothèses pour le rendement qui leur est associé. Entre autres, les travaux du Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF, Saucier *et al.* 2014) ont conduit des ingénieurs forestiers à intégrer le volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) dans leur diagnostic sylvicole. Or, le calcul de cette donnée nouvelle requiert l'utilisation de modèles d'estimation des produits de bois feuillus qui sont encore en développement (voir Havreljuk *et al.*, soumis). De plus, nous ne disposons pas de références pour évaluer le réalisme des accroissements en volume DF1F2 prévus avec les modèles de croissance.

Les résultats du premier mesurage quinquennal ont démontré que les effets escomptés dans le MAF (rotation de 20 ± 5 ans) ne se concrétiseraient pas et qu'il fallait prévoir une rotation plus longue (Bédard et Brassard 2002, Guillemette *et al.* 2009). Le faible accroissement net dans les peuplements traités s'expliquait essentiellement par un fort taux de mortalité causée par le choix des arbres à laisser sur pied et par des conditions climatiques moins favorables que celles présentes au moment d'élaborer les hypothèses (Guillemette *et al.* 2013b). Les résultats du second mesurage quinquennal, soit 10 ans après la coupe, ont démontré que le

a Il est important de noter que dans la 4^e édition du MAF (MRNFP 2003), l'hypothèse pour les peuplements mixtes à dominance de bouleau jaune avait été revue à la hausse, soit à une période de rotation de 25 ± 5 ans.

rendement s'améliorait avec le temps, essentiellement par une baisse du taux de mortalité, et aussi que des différences importantes de rendement existaient entre des groupes de peuplements séparés selon leur région et leur composition (Guillemette *et al.* 2013b). La comparaison de ces rendements observés aux prévisions des modèles de croissance a démontré que les modèles Artémis-2014 (version 3.0.6) et SaMARE simulent généralement bien l'évolution de la surface terrière marchande pour une période de 10 ans après la coupe (Gauthier *et al.* 2016). Les données ont aussi servi au calcul du diamètre à maturité financière de l'érable à sucre et du bouleau jaune, pour démontrer qu'au-delà d'un diamètre d'environ 43 à 47 cm, même les arbres sains perdent progressivement de la valeur financière pour le bois d'œuvre (Guillemette 2016). L'étude des variables associées à un risque accru de mortalité des arbres dans ce réseau a montré que ce risque augmentait avec le diamètre de l'arbre, particulièrement au-delà de 30 cm (Guillemette *et*

al. 2017). De plus, le risque de mortalité des arbres était plus élevé pour les essences intolérantes à l'ombre, pour les arbres présentant des défauts majeurs ou une blessure à la suite de la coupe, de même que pour ceux croissant sous un climat plus chaud.

Un autre mesurage a été effectué dans ce réseau à la fin de la rotation prévue, soit de 2014 à 2018, ou de 17 à 21 ans (moyenne = 19,2 ans) après la coupe de jardinage. L'objectif principal de ce mémoire est de présenter les résultats régionaux observés sur cette période et de les comparer aux hypothèses du MAF et aux prévisions des modèles de croissance Artémis-2014 et SaMARE. Un autre objectif est de présenter le volume DF1F2, le volume sur pied et l'accroissement en volume dans ces peuplements, afin de les comparer à ceux publiés récemment à partir de l'exercice de modélisation inclus dans le rapport du CIMOTFF (Saucier *et al.* 2014).

Chapitre 1 – Matériel et méthodes

1.1 Dispositif

Le dispositif a été établi en majorité dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune du Québec et aussi, en partie, dans ceux de l'érablière à tilleul et de la sapinière à bouleau jaune (Saucier *et al.* 2009).

Des données ont été prises à l'intérieur des placettes avant la coupe, après la coupe, ainsi que 5, 10 et environ 20 ans après la coupe (c'est-à-dire à la fin de la rotation prévue). Les arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP : mesuré à une hauteur de 1,3 m à partir du sol) de 9,1 cm et plus ont été numérotés et mesurés dans des placettes circulaires de 400 m². Les données suivantes ont été prises à chaque mesurage sur ces arbres : essence, DHP (à l'aide d'un gallon circonférentiel au millimètre près), état (vivant, mort, recrue), classe de vigueur^b (codes 1, 2, 3 ou 4 ; Majcen *et al.* 1990) et classe de qualité de la bille de pied^c (codes A à D, MFFP 2014) pour les arbres d'une essence feuillue ayant un DHP > 23,0 cm.

1.2 Traitement des données

Des regroupements de peuplements ont été effectués *a posteriori* pour l'ensemble de la province selon la végétation potentielle, la région écologique et les perturbations récentes (tableau 1). Ainsi, les érablières à bouleau jaune (végétation potentielle FE3) ont été réparties dans 6 groupes, selon leur emplacement géographique (figure 1) :

- 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 à bouleau jaune des collines du Témiscamingue (région 08) ont été placées dans un **groupe à part (FE3 3a R08)**, étant donné l'effet du chablis sévère qu'elles ont subi en juillet 2006.
- Les **groupes FE3 3b et FE3 3c** sont composés des érablières à bouleau jaune des collines du lac Nominique et des hautes collines du bas Saint-Maurice, respectivement.
- Le **groupe FE3 3d4fh** est formé des érablières à bouleau jaune situées dans les coteaux des basses Appalaches (région écologique 3d), les collines des moyennes Appalaches (4f) et la côte gaspésienne (4h).
- Le **groupe FE3 4bc** comprend les érablières situées plus au nord, dans les coteaux du réservoir Cabonga et dans les collines du moyen Saint-Maurice (4b et 4c, respectivement).
- Les peuplements correspondant aux végétations potentielles de la bétulaie jaune à sapin et érable à sucre (**MJ1**) et de la bétulaie jaune à sapin (**MJ2**) ont été placés dans deux groupes distincts.
- Les groupes correspondant à l'érablière à tilleul (*Tilia americana* L., **FE2**), à l'érablière à ostryer (*Ostrya virginiana* (Miller) K. Koch, **FE5**) et à l'érablière à chêne rouge (*Quercus rubra* L., **FE6**) se distinguent par leur végétation potentielle; ils ont été exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage, mais conservés à titre indicatif dans les tableaux.

Le VMB de chaque arbre a été estimé à partir du tarif de cubage de Fortin *et al.* (2007), lequel requiert la hauteur totale de l'arbre. Celle-ci n'ayant pas été mesurée, elle a été estimée à l'aide de la relation hauteur-diamètre d'Auger (2016).

b Selon la classification de la vigueur, l'arbre était d'abord qualifié de vigoureux (codes 1 ou 2) ou non vigoureux (codes 3 ou 4) selon l'absence ou la présence d'un défaut majeur (principalement les blessures graves, le dépérissement ou le bris sur plus d'un tiers du houppier, la présence de pourriture, de champignon ou de chancre). Ensuite, l'arbre feuillu était dit de qualité (codes 1 ou 3) ou défectueux (codes 2 ou 4) s'il montrait ou non un potentiel de produire une bille de bois d'œuvre. Ce critère était respecté lorsqu'un tronc ou une branche primaire contenait une bille d'une longueur minimale de 2,5 m ayant un rendement d'au moins 50 % de débits (surfaces) sans défauts. Ces débits avaient une longueur minimale de 60 cm. Pour les essences résineuses, seule la notion d'arbre vigoureux (code 5) ou non (code 6) a été retenue.

c La bille de pied est classée A, B, C ou D (en ordre décroissant de qualité potentielle pour le sciage) selon le DHP de l'arbre et l'ampleur des défauts présents sur la première section de 5 m de son tronc. Le seuil minimal de DHP est de 39,1 cm pour la classe A, de 33,1 cm pour la classe B et de 23,1 cm pour les classes C et D.

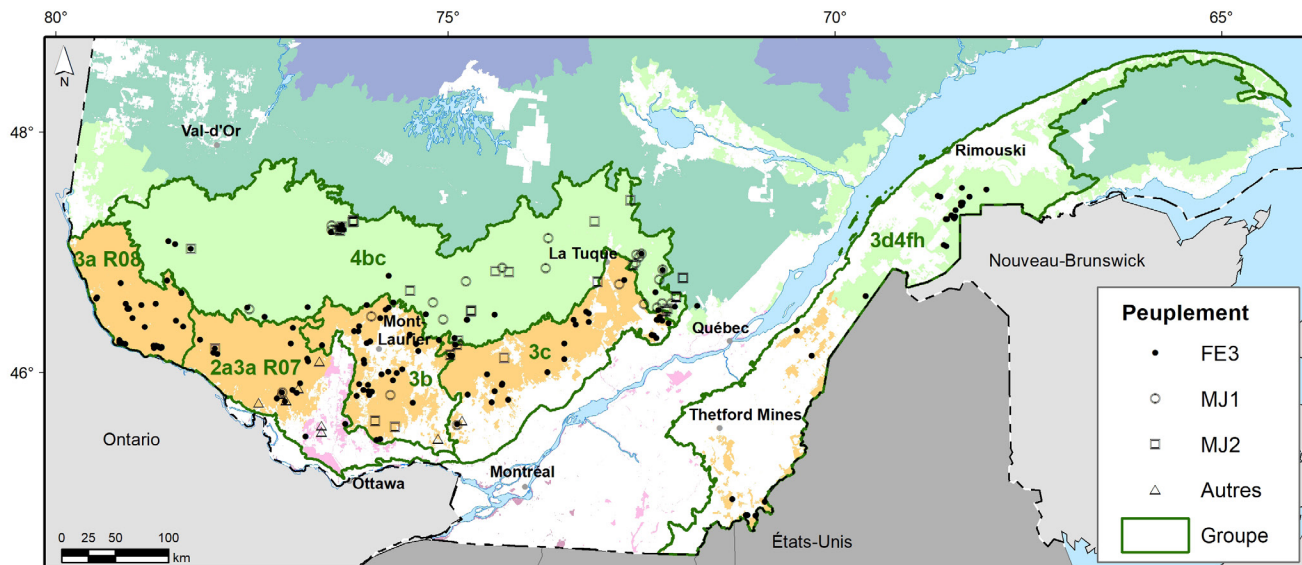


Figure 1. Carte de la répartition des peuplements à l'étude selon leur groupe (texte et contours en vert) et leur végétation potentielle. Les superficies colorées indiquent les domaines bioclimatiques (Saucier *et al.* 2009) associés au territoire forestier du domaine de l'État : mauve = érablière à caryer cordiforme, rose = érablière à tilleul; orange = érablière à bouleau jaune; vert = sapinière à bouleau jaune; vert foncé = sapinière à bouleau blanc; violet = pessière à mousses.

Ensuite, le volume marchand net des arbres a été calculé selon 2 méthodes différentes :

- La **méthode DHP-2021**, qui tient compte de l'essence et du DHP de chaque arbre;
- La **méthode ABCD-2021**, qui tient compte de l'essence, du DHP et de la classe de qualité de chaque arbre.

Chacune de ces méthodes correspond à un modèle conditionnel en deux parties : d'abord un modèle binomial, qui permet de tenir compte de la surabondance des réponses nulles (valeur de 0) pour certaines classes de qualité, et ensuite un modèle linéaire qui, lorsque des billes sont présentes, prévoit le volume de celles-ci pour chaque arbre (Havreljuk *et al.*, soumis). Ces nouveaux modèles sont en fait une mise à jour de ceux publiés en 2015 (Havreljuk *et al.* 2015) grâce à l'ajout de données supplémentaires, ce qui a permis d'inclure la région écologique comme covariable dans les modèles. Pour l'érable à sucre et le bouleau jaune, nous avons aussi ajusté les volumes ainsi calculés selon la région écologique dans laquelle se trouve l'arbre. Pour les autres essences, nous avons établi les volumes estimés avec la méthode DHP-2021 à l'aide de la matrice provinciale de répartition du VMB en produits, qui est disponible dans l'outil MÉRIS du Bureau de mise en marché des bois^d. Par ailleurs, les volumes estimés avec la méthode ABCD-2021 pour ces autres essences proviennent plutôt

des modèles provinciaux de Havreljuk *et al.* (2015) dont les équations sont implantées dans le modèle de croissance Artémis-2014. Dans certains cas, nous avons aussi utilisé la méthode ABCD-2015 (soit la version qui a précédé la version 2021; elle tient compte elle aussi de l'essence, du DHP et de la classe de qualité [ABCD] de chaque arbre, mais contient moins de données d'étalonnage) pour estimer les volumes de l'érable à sucre et du bouleau jaune avec le modèle provincial de Havreljuk *et al.* (2015). Cette méthode est utile pour faciliter la comparaison avec d'autres résultats publiés précédemment, comme ceux du rapport du CIMOTFF.

De manière générale, les méthodes utilisant la classe de qualité de l'arbre sont jugées plus fiables, mais les méthodes basées seulement sur l'essence et le DHP de l'arbre sont utiles pour comparer les deux modèles de croissance Artémis et SaMARE. Précisons que nous avons calculé le volume net de bois d'œuvre feuillu pour ces 4 essences feuillues désirées : l'érable à sucre, le bouleau jaune, le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marshall) et le chêne rouge. Ce bois d'œuvre regroupe les billes destinées au déroulage (D) et au sciage conventionnel, soit les classes F1, F2 et F3 selon Petro et Calvert (1976). Les analyses ont porté principalement sur un sous-ensemble de ce bois d'œuvre, soit celui de grande valeur regroupant les billes D, F1 et F2 (DF1F2). Les billes F1 et F2, en plus de présenter très peu de réduction volumétrique attribuable à la carie ou

^d <https://bmb.gov.qc.ca/analyses-economiques/outils-d-analyse/>

Tableau 1. Dénombrement des peuplements et des placettes étudiés, et composition moyenne en essences commerciales de celles-ci immédiatement après la coupe, par groupe de peuplements et par traitement. Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage; elles sont fournies à titre indicatif seulement.

Groupe de peuplements	Nombre de peuplements	Traitement	Nombre de placettes	Proportion de la surface terrière (%)				
				Érable à sucre	Bouleau jaune	Hêtre à grandes feuilles	Autres feuillus	Résineux
FE3 2a3a R07	16	Témoin	16	60	5	21	10	4
		Traité	42	58	8	23	7	4
FE3 3a R08	34	Témoin	35	63	13	11	6	7
		Traité	95	63	12	10	10	5
FE3 3b	31	Témoin	32	60	10	17	6	7
		Traité	75	63	9	16	6	6
FE3 3c	30	Témoin	31	65	14	13	5	3
		Traité	68	65	12	15	5	3
FE3 3d4fh	27	Témoin	29	83	6	5	2	4
		Traité	48	82	8	2	4	4
FE3 4bc	21	Témoin	23	67	26	1	4	2
		Traité	52	64	26	2	4	4
MJ1	25	Témoin	25	12	58	0	10	20
		Traité	49	18	58	1	8	15
MJ2	29	Témoin	29	2	59	0	11	28
		Traité	62	3	60	0	15	22
Tous	213	Témoin	220	53	22	9	8	8
		Traité	491	52	23	9	8	8
FE2	4	<i>Témoin</i>	4	56	10	1	33	0
		<i>Traité</i>	8	44	12	23	20	1
FE5	3	<i>Témoin</i>	3	71	1	20	5	3
		<i>Traité</i>	9	58	2	22	17	1
FE6	2	<i>Témoin</i>	2	17	0	0	78	5
		<i>Traité</i>	6	40	0	5	55	0

à une déviation de la bille de même que de défauts en surface limitant les débits clairs, ont un diamètre minimal sous écorce de 33 cm et de 28 cm, respectivement. Les billes F3 ont un diamètre minimal de 20 cm et peuvent contenir davantage de réduction volumétrique et de défauts de surface que les billes F1 et F2. Les volumes totaux nets de bois d'œuvre feuillu (DF1F2F3) sont présentés à l'annexe 1.

Nous avons compilé les données des placettes à l'échelle de l'unité expérimentale (c'est-à-dire en regroupant toutes les placettes d'un même peuplement partageant un même traitement). Les variables à l'étude étaient la surface terrière ($m^2 \cdot ha^{-1}$), le VMB ($m^3 \cdot ha^{-1}$) et le volume de bois d'œuvre de grande

valeur ($m^3 \cdot ha^{-1}$), tous mesurés à trois moments : avant la coupe (AVC), après la coupe (APC) et après 20 ans. La différence entre la mesure en fin de rotation et la mesure APC, divisée par la durée de la rotation, donne l'accroissement annuel moyen net (AAN, en $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ pour la surface terrière ou en $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ pour le volume). Les mesures prises en fin de rotation (de 17 à 21 ans après la coupe) ont été ramenées à un niveau de référence de 20 ans selon la dernière mesure prise et le taux d'accroissement. Par exemple, pour une mesure de $23 m^2 \cdot ha^{-1}$ prise en fin de rotation à 19 ans dans un peuplement ayant un accroissement de $0,2 m^2 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$, on obtient une mesure ajustée de $23,2 m^2 \cdot ha^{-1}$ à 20 ans. Nous avons aussi calculé un indicateur de la période de rotation

requis pour reconstituer la surface terrière ou le volume prélevé, en divisant cette quantité prélevée par l'AAN correspondant.

La surface terrière a aussi été calculée selon les indicateurs suggérés par le rapport du CIMOTFF (Saucier *et al.* 2014), soit pour les deux classes suivantes :

- DHP₁₀₋₂₂ : classe regroupant les arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) dans les classes de 10 à 22 cm (de 9,1 à 23,0 cm) pour l'une des 4 essences suivantes : érable à sucre, bouleau jaune, bouleau à papier, chêne rouge.
- DHP₂₄₋₄₄ : classe regroupant les arbres ayant un DHP dans les classes de 24 à 44 cm (de 23,1 à 45,0 cm) et appartenant à la classe de vigueur 1 (arbres vigoureux et de qualité) pour l'une des 4 essences suivantes : érable à sucre, bouleau jaune, bouleau à papier, chêne rouge.

Le CIMOTFF a publié 2 régressions (modèles), l'une pour prédire la surface terrière des arbres de classe DHP₂₄₋₄₄ de 20 à 40 ans après la coupe (équation 1), selon la surface terrière résiduelle des arbres de classe DHP₁₀₋₂₂, puis une autre pour prédire le volume DF1F2 de 20 à 40 ans après la coupe (équation 2), selon la surface terrière résiduelle des arbres de classe DHP₂₄₋₄₄ (Saucier *et al.* 2014). Ces régressions ont été appliquées pour prédire ces valeurs à 20 ans, puis les comparer aux valeurs observées. Précisons que le CIMOTFF avait utilisé une méthode d'estimation du volume DF1F2 différente des autres méthodes présentées ci-dessus, soit une matrice de répartition par produits basée sur l'essence, le DHP et la classe MSCR (Boulet 2005).

$$\text{Surface terrière}_{\text{DHP}_{24-44}} = 1,03 + 1,61 \times \text{Surface terrière}_{\text{DHP}_{10-22}} + 0,026 \times \text{temps}(\text{années}) \quad [1]$$

$$\text{Volume DF1F2} = 1,04 + 3,45 \times \text{Surface terrière}_{\text{DHP}_{24-44}} + 0,156 \times \text{temps}(\text{années}) \quad [2]$$

1.3 Simulations

Les simulations dans Artémis-2014 ont été effectuées avec la version 3.0.6 (Power 2016) en mode déterministe, ce qui se compare à l'usage qu'en fait le Bureau du forestier en chef pour calculer les possibilités forestières des forêts naturelles du sud du Québec.

Les simulations dans SaMARE ont été effectuées avec la version 2014 en mode stochastique, avec 250 réalisations de croissance pour chaque unité expérimentale. Précisons que la version 2014 et la version originale de 2006 (Fortin *et al.* 2009) utilisent les mêmes paramètres de croissance et ne diffèrent que par l'architecture du programme informatique.

Les simulations de croissance effectuées avec les modèles Artémis et SaMARE sont décrites plus en détail dans le rapport des rendements simulés après 10 ans (Gauthier *et al.* 2016).

1.4 Biais

Nous avons comparé les modèles sur la base du biais moyen (équation 3) :

$$\text{biais} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \quad [3]$$

où y_i est la valeur observée pour le territoire i , \hat{y}_i est la prévision pour le territoire i et n est le nombre de territoires dans chaque groupe de peuplements. Un biais positif représente une sous-estimation par rapport à la mesure réelle, tandis qu'un biais négatif représente une surestimation. Le biais relatif (%) a aussi été calculé en divisant le résultat de l'équation 3 par la moyenne des valeurs observées à la même échelle que le biais. Nous avons fixé *a priori* un seuil de tolérance de ± 10 % en valeur relative, et des seuils absolus de $\pm 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour l'AAN de la surface terrière, de $\pm 1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour l'AAN du VMB et de $\pm 0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour l'AAN du volume DF1F2.

1.5 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED de SAS, version 9.4 (SAS Institute Inc. 2021) afin de déceler la présence de différences significatives entre les traitements ou les groupes de peuplements pour l'AAN observé en surface terrière, en VMB ou en volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur. Nous avons retenu la mesure avant la coupe comme covariable pour les analyses, et son effet était généralement significatif. Lorsque c'était le cas, nous avons aussi réalisé des tests aux premier et troisième quartiles (Q1 et Q3), de même qu'à la moyenne, afin de faciliter la présentation des résultats. Les tests ont été reconnus comme significatifs lorsque la valeur de p était inférieure à un seuil d'erreur α de 0,05. Les postulats de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiés graphiquement. Les seuils des comparaisons multiples ont été ajustés avec une méthode de simulation (SIMULATE) disponible dans SAS. Nous présentons les moyennes brutes, même si les résultats des comparaisons multiples ont été obtenus pour des moyennes ajustées par la covariable.

Chapitre 2 – Résultats

2.1 Portrait général des peuplements

À l'échelle provinciale, immédiatement après la coupe, l'érable à sucre dominait parmi les arbres marchands dans les peuplements traités (52 % de la surface terrière), suivi du bouleau jaune (23 %), du hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrhart; 9 %), des autres essences feuillues (8 %) et des essences résineuses (8 %) (tableau 1). Cette répartition de la surface terrière était semblable à celle des peuplements témoins et suivait bien la végétation potentielle des groupes de peuplements. À titre d'exemple, il y avait une plus forte proportion de résineux dans les groupes MJ1 et MJ2 (15 % et 22 %, respectivement) par rapport aux FE3 (de 3 % à 6 %). Le hêtre était plus abondant dans les FE3 2a3a R07 (23 %) que dans les autres groupes de peuplements FE3 (de 2 % à 16 %).

Avant la coupe, la surface terrière moyenne des arbres marchands était relativement grande, avec 27,8 m²·ha⁻¹ dans les peuplements traités (tableau 2). À l'échelle du Québec, le prélèvement moyen a été de 8,7 m²·ha⁻¹ (soit 31 % de la surface terrière en valeur relative) et variait de 8,2 à 8,9 m²·ha⁻¹ (de 29 % à 34 % en valeur relative) dans 7 des 8 groupes. Le plus fort prélèvement (10,7 m²·ha⁻¹, ou 35 % en valeur relative) a été observé dans le groupe FE3 3b. La surface terrière avant la coupe des arbres de la classe DHP₁₀₋₂₂ variait de 2,5 à 4,6 m²·ha⁻¹ dans 7 des 8 groupes, tandis que celle de la classe DHP₂₄₋₄₄ variait de 4,9 à 7,1 m²·ha⁻¹ dans 7 des 8 groupes (tableau 3). Dans les deux cas, l'exception était le groupe FE3 3d4fh, pour lequel les valeurs moyennes étaient nettement plus élevées (7,9 m²·ha⁻¹ pour la classe DHP₁₀₋₂₂ et 9,1 m²·ha⁻¹ pour la classe DHP₂₄₋₄₄; tableau 3).

Après la coupe, la surface terrière résiduelle était en moyenne de 19,1 m²·ha⁻¹ (tableau 2), et les surfaces terrières des arbres des classes DHP₁₀₋₂₂ et DHP₂₄₋₄₄ variaient respectivement de 2,2 à 3,9 m²·ha⁻¹ et de 3,8 à 5,9 m²·ha⁻¹ dans 7 des 8 groupes; l'exception était le groupe FE3 3d4fh, avec des valeurs moyennes de 6,8 et 7,9 m²·ha⁻¹, respectivement (tableau 3), soit des valeurs supérieures aux valeurs maximales d'étalonnage des régressions du CIMOTFF (4,2 et 7,3 m²·ha⁻¹,

respectivement, Saucier *et al.* 2014). Même si les arbres des classes DHP₁₀₋₂₂ et DHP₂₄₋₄₄ n'étaient pas ciblés lors des récoltes parce qu'ils étaient soit trop petits ou jugés vigoureux, ils ont connu des pertes moyennes de 0,5 et de 1,2 m²·ha⁻¹, respectivement (12 % et 20 % en valeurs relatives, respectivement). Il est important de noter que la baisse de surface terrière des arbres de classe DHP₂₄₋₄₄ provient non seulement d'arbres récoltés, mais surtout d'arbres blessés, car les blessures peuvent entraîner une rétrogradation de la classe de vigueur 1 à 3.

Une description plus détaillée des peuplements et des traitements est fournie dans Guillemette *et al.* (2013b).

2.2 Rendement

Les AAN en surface terrière (tableau 2), en VMB (tableau 4) et en volume DF1F2 calculé selon la méthode DHP-2021 (volume DF1F2_(méthode DHP-2021); tableau 5) variaient tous selon les mêmes effets significatifs, en premier lieu le groupe de peuplements ($p \leq 0,0001$) et la mesure de la variable dans le peuplement avant la coupe en interaction avec le traitement ($p \leq 0,0015$). Ces interactions démontrent que l'effet du traitement sur l'AAN de l'une de ces 3 variables étudiées augmentait en même temps que la mesure de la variable avant la coupe, comme le montre l'écart grandissant entre les deux droites sur les figures 2a, 2b et 2c. Néanmoins, la valeur moyenne d'AAN diminuait de manière significative ($p < 0,0001$) avec l'augmentation de la mesure avant la coupe, sauf pour le volume DF1F2_(méthode DHP-2021) des peuplements traités ($p = 0,2915$, figure 2c). L'absence d'interactions significatives ($p \geq 0,9470$) entre le traitement et le groupe de peuplements pour ces 3 variables indique que les effets du traitement ont été semblables dans tous les groupes de peuplements. En effet, tous les AAN sont significativement plus grands dans les peuplements traités par rapport aux témoins. Les différences significatives d'AAN entre les groupes de peuplements sont présentées en détail aux tableaux 2, 4 et 5. Notons toutefois que par rapport aux autres, le groupe FE3 3d4fh avait les plus grandes valeurs d'AAN en surface terrière, en VMB et en volume DF1F2_(méthode DHP-2021).

Tableau 2. Surface terrière (avant la coupe [AVC], récoltée [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), accroissement annuel net (AAN) (valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [22,8 m³.ha⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer la surface terrière prélevée, et biais absolu et relatif de l'AAN simulé avec les modèles de croissance Artémis-2014 et SaMARE, par groupe de peuplements et par traitement. Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage; elles sont fournies à titre indicatif seulement. Pour l'AAN, les différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) entre les groupes de peuplements sont indiquées par des lettres minuscules, et celles entre les traitements sont indiquées par des lettres majuscules.

Groupe de peuplements	Traitement	Surface terrière (m ² .ha ⁻¹)					AAN (m ² .ha ⁻¹ .an ⁻¹)			Indicateur de période de rotation (années)	Biais absolu de l'AAN simulé (m ² .ha ⁻¹ .an ⁻¹)			Biais relatif de l'AAN simulé (%)		
		AVC	REC	APC	20 ans	Brut	Ajusté	ET	Artémis		SaMARE	Artémis	SaMARE	Artémis	SaMARE	
FE3 2a3a R07	Témoïn	28,8	8,9	19,8	28,4	-0,02	0,14	0,04	bc	33	-0,04	0,05	-200	250		
	Traité	28,7	8,9	19,8	25,2	0,27					0,05	0,07	19	26		
FE3 3a R08	Témoïn	26,8	8,2	17,9	26,4	-0,02	0,09	0,03	c	36	-0,09	-0,02	-450	-100		
	Traité	26,0	8,2	17,9	22,4	0,23					0,00	-0,02	0	-9		
FE3 3b	Témoïn	30,1	10,7	20,1	28,5	-0,08	0,10	0,03	c	49	-0,07	0,01	-88	13		
	Traité	30,8	10,7	20,1	24,5	0,22					0,06	0,06	27	27		
FE3 3c	Témoïn	30,0	8,7	19,5	28,8	-0,06	0,10	0,03	c	38	-0,18	-0,10	-300	-167		
	Traité	28,1	8,7	19,5	24,0	0,23					-0,10	-0,09	-43	-39		
FE3 3d4fh	Témoïn	32,3	8,3	20,0	34,7	0,12	0,31	0,03	a	21	-0,03	0,13	-25	108		
	Traité	28,3	8,3	20,0	28,0	0,40					0,01	0,02	3	5		
FE3 4bc	Témoïn	27,6	8,4	16,6	29,2	0,08	0,18	0,04	abc	26	-0,03	0,04	-38	50		
	Traité	24,9	8,4	16,6	22,9	0,32					0,01	0,03	3	9		
MJ1	Témoïn	25,8	8,3	19,3	28,2	0,12	0,21	0,03	abc	24	-0,02	0,05	-17	42		
	Traité	27,6	8,3	19,3	26,1	0,34					0,19	0,14	56	41		
MJ2	Témoïn	25,9	8,3	19,1	29,9	0,20	0,26	0,03	ab	23	0,13	0,25	65	125		
	Traité	27,4	8,3	19,1	26,3	0,36					0,19	0,21	53	58		
Tous	Témoïn	28,4	8,7	19,1	29,2	0,04	0,05	0,02	B	30	-0,04	0,05	-100	125		
	Traité	27,8	8,7	19,1	24,9	0,29	0,29	0,02	A	30	0,05	0,05	17	17		
FE2	Témoïn	31,2	11,6	16,3	33,6	0,12	-	-	-	58	0,10	0,17	83	142		
	Traité	27,9	11,6	16,3	20,3	0,20	-	-	-		-0,13	-0,06	-65	-30		
FE5	Témoïn	32,7	8,1	16,8	29,5	-0,16	-	-	-	62	-0,09	0,00	-56	0		
	Traité	25,0	8,1	16,8	19,5	0,13	-	-	-		-0,07	-0,11	-54	-85		
FE6	Témoïn	31,2	8,7	20,3	28,4	-0,14	-	-	-	54	-0,40	-0,14	-286	-100		
	Traité	28,9	8,7	20,3	23,4	0,16	-	-	-		0,11	-0,04	69	-25		

Tableau 3. Caractéristiques dendrométriques des peuplements selon les régressions du CIMOTFF (avant la coupe [AVC], après la coupe [APC] et 20 ans après la coupe) compte tenu des données observées ou prévues, et biais absolus et relatifs des prévisions, par groupe de peuplements. Le volume des billes de grande valeur (DF1F2) observé à 20 ans provient des données observées sur les arbres et de la méthode ABCD-2015 de répartition par produits, qui s'appuie sur des bases plus comparables à celles du CIMOTFF. Les moyennes obtenues avec la méthode ABCD-2021 sont présentées à titre indicatif. Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage; elles sont fournies à titre indicatif seulement.

Groupe de peuplements	Surface terrière (m ² ·ha ⁻¹)										Volume DF1F2 à 20 ans (m ³ ·ha ⁻¹)			
	DHP ₁₀₋₂₂ *					DHP ₂₄₋₄₄ †					Biais CIMOTFF		Méthode	
	AVC	APC	20 ans	AVC	APC	20 ans	Prévu‡	Biais absolu	Biais relatif (%)	Prévision CIMOTFF‡	Méthode ABCD-2015	(m ³ ·ha ⁻¹)	(%)	ABCD-2021
FE3 2a3a R07	2,6	2,3	2,1	4,9	3,8	3,8	5,1	0,2	4	17,1	19,5	2,4	12	18,8
FE3 3a R08	3,3	2,8	2,8	5,9	4,4	4,5	5,9	-1,4	-31	19,5	18,5	-1,0	-5	18,1
FE3 3b	2,5	2,2	2,1	4,9	3,8	4,2	5,0	-0,8	-19	17,1	23,7	6,6	28	18,4
FE3 3c	4,6	3,9	3,2	7,1	5,9	6,7	6,7	0,0	0	22,4	17,2	-5,2	-30	15,3
FE3 3d4fh	7,9	6,8	6,0	9,1	7,9	13,6	7,9	5,7	42	23,7	21,2	-2,5	-12	13,3
FE3 4bc	4,0	3,6	4,3	5,6	4,5	6,0	6,6	-0,6	-10	19,3	16,3	-3,0	-18	7,8
MJ1	3,4	3,0	2,7	6,7	5,0	6,5	6,0	0,5	8	18,9	17,3	-1,6	-9	15,3
MJ2	3,1	2,9	2,1	4,9	3,8	5,7	5,5	0,2	4	17,1	15,5	-1,6	-10	14,9
Tous	3,9	3,4	3,1	6,0	4,8	6,2	6,1	0,1	2	19,4	18,7	-0,7	-4	15,4
FE2	3,8	3,2	2,5	2,3	2,2	4,9	5,5	-0,6	-12	11,6	8,4	-3,2	-38	6,6
FE5	2,3	1,9	1,6	5,6	5,2	2,4	4,6	-2,2	-92	22,1	13,1	-9,0	-69	12,9
FE6	3,1	2,2	1,7	4,1	3,8	3,4	5,1	-1,7	-50	17,4	31,3	13,9	44	30,7

* DHP₁₀₋₂₂ = regroupement des arbres d'essences feuillues désirées dans les classes de DHP de 10 à 22 cm;

† DHP₂₄₋₄₄ = regroupement des arbres d'essences feuillues désirées dans la classe de vigueur 1 et les classes de DHP de 24 à 44 cm.

‡ Les régressions du CIMOTFF (éq. 1 et 2) ont été utilisées en respectant l'étendue maximale des valeurs d'échantillonnage, soit 4,2 et 7,3 m²·ha⁻¹ pour les régressions permettant de prévoir la surface terrière des arbres de la classe DHP₂₄₋₄₄ et le volume DF1F2, respectivement.

Tableau 4. Volume marchand brut (VMB) (avant la coupe [AVC], récolte [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), accroissement annuel net (AAN) (valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [22,8 m³·ha⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé, et biais absolu et relatifs de l'AAN simulé avec les modèles de croissance Artémis-2014 et SaMARE, par groupe de peuplements et par traitement. Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage; elles sont fournies à titre indicatif seulement. Pour l'AAN, les différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) entre les groupes de peuplements sont indiquées par des lettres minuscules, et celles entre les traitements sont indiquées par des lettres majuscules.

Groupe de peuplements	Traitement	VMB (m ³ ·ha ⁻¹)				AAN (m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)			Indicateur de période de rotation (années)	Biais (m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)			Biais (%)						
		AVC	REC	APC	20 ans	Brut	Ajusté	ET		Artémis	SaMARE	Artémis	SaMARE	Artémis	SaMARE				
FE3 2a3a R07	Témoins	257			259	0,10			1,67	0,41	ab			-0,30	0,58			-300	580
	Traité	254	89	165	215	2,52						35		0,39	0,37			15	15
FE3 3a R08	Témoins	226			219	-0,35			0,65	0,28	b			-1,23	-0,51			-351	-146
	Traité	220	76	144	179	1,75						43		-0,31	-0,71			-18	-41
FE3 3b	Témoins	271			258	-0,67			1,19	0,31	b			-0,80	0,10			-119	15
	Traité	284	110	174	212	1,90						58		0,56	0,48			29	25
FE3 3c	Témoins	244			241	-0,15			1,08	0,30	b			-1,55	-0,73			-1033	-487
	Traité	226	80	146	186	2,00						40		-0,90	-0,89			-45	-45
FE3 3d4fh	Témoins	251			282	1,54			2,85	0,32	a			-0,19	1,40			-12	91
	Traité	208	71	137	214	3,83						19		0,25	0,25			7	7
FE3 4bc	Témoins	220			230	0,49			1,28	0,36	b			-0,67	0,06			-137	12
	Traité	195	76	119	167	2,42						31		-0,01	0,02			0	1
MJ1	Témoins	194			219	1,25			1,58	0,33	ab			0,21	0,52			17	42
	Traité	215	74	141	195	2,68						28		1,80	1,12			67	42
MJ2	Témoins	188			221	1,66			1,81	0,31	ab			1,14	1,99			69	120
	Traité	201	70	131	189	2,91						24		1,88	1,63			65	56
Tous	Témoins	231			240	0,44			0,54	0,16	B			-0,46	0,39			-105	89
	Traité	226	81	145	194	2,45			2,48	0,16	A			0,43	0,25			18	10
FE2	Témoins	276			300	1,21			-	-				0,48	1,97			40	163
	Traité	248	118	130	165	1,73			-	-		68		-1,25	-0,57			-72	-33
FE5	Témoins	291			257	-1,68			-	-				-1,51	-0,27			-90	-16
	Traité	215	73	142	160	0,88			-	-		83		-0,62	-1,37			-70	-156
FE6	Témoins	236			237	0,06			-	-				-3,30	-0,69			-5500	-1150
	Traité	253	78	175	207	1,60			-	-		49		1,52	-0,21			95	-13

Tableau 5. Volumes de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculés selon la méthode DHP-2021 (Volume DF1F2_(méthode DHP-2021), mesuré avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), accroissement annuel net (AAN : valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [15,0 m³.ha⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé, et biais absolus et relatifs de l'AAN simulé avec les modèles de croissance Artémis-2014 et SaMARE, par groupe de peuplements et par traitement. Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage ; elles sont fournies à titre indicatif seulement. Pour l'AAN, les différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) entre les groupes sont indiquées par des lettres minuscules, et celles entre les traitements sont indiquées par des lettres majuscules.

Groupe de peuplements	Traitement	Volume DF1F2 _(méthode DHP-2021) (m ³ .ha ⁻¹)					AAN (m ³ .ha ⁻¹ .an ⁻¹)		Indicateur de période de rotation (années)	Biais (m ³ .ha ⁻¹ .an ⁻¹)		Biais relatif (%)		
		AVC	REC	APC	20 ans	Brut	Ajusté	ET		Artémis	SaMARE	Artémis	SaMARE	
FE3 2a3a R07	Témoïn	14,9			15,3	0,02					-0,07	-0,06	-350	-300
	Traité	14,0	6,1	7,9	11,9	0,20	0,11	0,05	ab	30	0,02	-0,03	10	-15
FE3 3a R08	Témoïn	14,4			13,0	-0,07					-0,19	-0,13	-271	-186
	Traité	15,3	6,1	9,1	11,1	0,10	0,01	0,04	b	61	-0,10	-0,16	-100	-160
FE3 3b	Témoïn	20,4			19,6	-0,04					-0,11	-0,07	-275	-175
	Traité	22,9	10,7	12,2	15,8	0,18	0,08	0,04	ab	60	0,01	-0,04	6	-22
FE3 3c	Témoïn	19,7			20,5	0,04					-0,22	-0,19	-550	-475
	Traité	16,4	7,3	9,1	13,3	0,21	0,14	0,04	ab	35	-0,11	-0,17	-52	-81
FE3 3d4fh	Témoïn	11,4			14,8	0,17					0,02	0,10	12	59
	Traité	9,1	4,2	4,9	10,9	0,30	0,23	0,04	a	14	0,06	0,04	20	13
FE3 4bc	Témoïn	9,9			11,1	0,06					0,01	0,01	17	17
	Traité	7,9	4,0	3,9	6,3	0,12	0,08	0,05	ab	33	0,02	-0,02	17	-17
MJ1	Témoïn	13,8			16,6	0,14					0,02	-0,08	14	-57
	Traité	16,9	7,8	9,0	13,0	0,20	0,16	0,04	ab	39	0,09	-0,06	45	-30
MJ2	Témoïn	14,1			16,1	0,10					0,00	-0,08	0	-80
	Traité	13,2	4,0	9,2	13,8	0,23	0,16	0,04	ab	17	0,15	0,02	65	9
Tous	Témoïn	15,1	6,4	8,4	16,1	0,05	0,05	0,02	B	34	-0,08	-0,07	-160	-140
	Traité	14,8	6,4	8,4	12,2	0,19	0,19	0,02	A	34	0,01	-0,06	5	-32
FE2	Témoïn	16,4			22,2	0,29					0,16	0,27	55	93
	Traité	10,1	6,6	3,5	4,9	0,07				94	-0,05	-0,07	-71	-100
FE5	Témoïn	18,5			11,5	-0,35					-0,44	-0,24	-126	-69
	Traité	10,8	4,6	6,3	7,9	0,08				57	-0,17	-0,22	-213	-275
FE6	Témoïn	31,0			40,8	0,49					-0,42	0,21	-86	43
	Traité	27,2	11,4	15,8	21,8	0,30				38	0,15	-0,12	50	-40

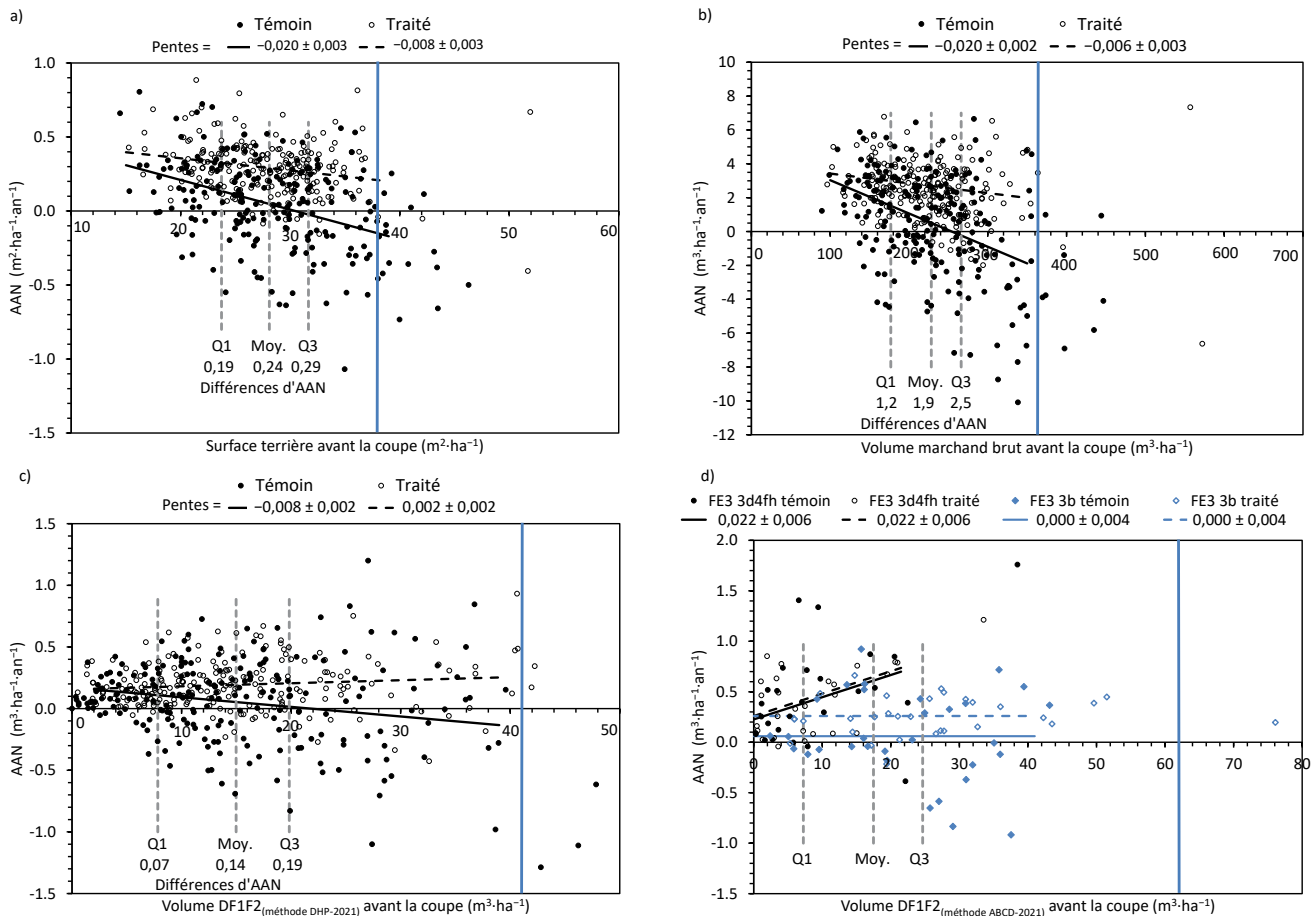


Figure 2. Effets des interactions entre les covariables et le traitement ou le groupe de peuplements sur les relations entre l'accroissement annuel net (AAN) et les valeurs avant la coupe a) de la surface terrière, b) du volume marchand brut, c) du volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculé selon la méthode DHP-2021 ou d) du volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculé selon la méthode ABCD-2021. Dans ce dernier cas, seuls les effets du traitement dans les groupes FE3 3d4fh et FE3 3b sont montrés. Les valeurs des pentes d'AAN de ces relations avec ± 1 erreur type apparaissent dans les légendes. Les différences significatives d'AAN entre les deux traitements, ajustées aux premier et troisième quartiles (Q1 et Q3) de même qu'à la moyenne (Moy.), sont aussi indiquées sur les graphiques a, b et c. Les observations correspondant à une surface terrière plus grande que $38 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (graphique a, ligne verticale bleue), à un volume marchand brut plus grand que $363 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (graphique b, ligne verticale bleue), à un volume DF1F2_(méthode DHP-2021) > $41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (graphique c, ligne verticale bleue) et à un volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) > $62 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (graphique d, ligne verticale bleue) proviennent de peuplements échantillonnés avec une seule placette.

Les résultats d'AAN du volume DF1F2 calculé selon la méthode ABCD-2021 (volume DF1F2_(méthode ABCD-2021)) étaient légèrement différents, puisqu'il n'y avait pas d'interaction significative entre la covariable (le volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) avant la coupe) et le traitement, ni entre le traitement et les groupes de peuplements ($p = 0,6906$). Il y avait d'abord un effet significatif du traitement dans tous les groupes, soit un gain d'accroissement de $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ dans les peuplements traités comparativement aux témoins ($p = 0,0007$, tableau 6). Cependant, l'accroissement en volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) du groupe FE3 3d4fh augmentait significativement ($p = 0,0005$) avec la covariable de

volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) avant la coupe, alors que dans les autres groupes, la tendance était soit à la baisse ($p \leq 0,0432$ pour les groupes FE3 3a R08 et FE3 3c), soit non significative ($p \geq 0,4098$, figure 2d). Ainsi, pour le groupe FE3 3d4fh, les valeurs initiales moyennes et au troisième quartile des accroissements du volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) étaient significativement plus grandes que pour tous les autres groupes, même si, au troisième quartile, cet effet provenait essentiellement d'une paire d'observations extrêmes (figure 2d). Quant au premier quartile, seul le groupe FE3 4bc différait significativement des autres groupes.

Tableau 6. Volumes de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculés selon la méthode ABCD-2021 (Volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) mesuré avant la coupe [AVC], récolte [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans) ; accroissement annuel net (AAN : valeur brute, valeur ajustée à la moyenne de la covariable [17,5 m³·ha⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements ou chaque traitement, et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé, et biais absolu et relatifs de l'AAN simulé avec le modèle de croissance Artémis-2014, selon le groupe de peuplement et le traitement. Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage ; elles sont fournies à titre indicatif seulement. Pour l'AAN, les différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) entre les groupes sont indiquées par des lettres minuscules, et celles entre les traitements sont indiquées par des lettres majuscules.

Groupe de peuplements	Traitement	Volume DF1F2 _(méthode ABCD-2021) (m ³ ·ha ⁻¹)					AAN (m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)		Indicateur de période de rotation (années)	Biais Artémis		
		AVC	REC	APC	20 ans	Brut	Ajusté	ET		m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹	%	
FE3 2a3a R07	Témoin	21,3			23,4	0,11					0,08	73
	Traité	20,6	7,2	13,4	18,8	0,29	0,21	0,07	b		0,14	48
FE3 3a R08	Témoin	19,5			20,9	0,08					-0,04	-50
	Traité	24,5	8,6	15,9	18,1	0,12	0,15	0,05	b		-0,04	-33
FE3 3b	Témoin	22,3			23,5	0,06					0,12	200
	Traité	25,6	12,0	13,6	18,4	0,26	0,16	0,06	b		0,19	73
FE3 3c	Témoin	24,6			24,6	0,002					-0,05	-2500
	Traité	17,6	7,4	10,2	15,3	0,26	0,16	0,05	b		0,02	8
FE3 3d4fn	Témoin	9,1			18,1	0,46					0,28	61
	Traité	8,7	3,6	5,1	13,3	0,42	0,63	0,08	a		0,20	48
FE3 4bc	Témoin	9,6			10,5	0,05					0,02	40
	Traité	9,0	4,3	4,7	7,8	0,16	0,05	0,09	b		0,10	63
MJ1	Témoin	16,2			19,7	0,17					0,08	47
	Traité	18,1	8,1	10,0	15,3	0,27	0,22	0,06	b		0,17	63
MJ2	Témoin	14,0			17,6	0,19					0,10	53
	Traité	13,6	4,2	9,3	14,9	0,29	0,25	0,06	b		0,24	83
Tous	Témoin	17,3			20,0	0,14	0,17	0,03	B		0,07	50
	Traité	17,6	7,1	10,5	15,4	0,26	0,29	0,03	A		0,12	46
FE2	Témoin	15,9			27,0	0,58					0,42	72
	Traité	8,9	6,9	2,0	6,6	0,24					0,08	33
FE5	Témoin	21,4			14,7	-0,35					-0,55	-157
	Traité	19,4	7,7	11,7	12,9	0,06					-0,25	-417
FE6	Témoin	39,4			43,9	0,25					-0,39	-156
	Traité	32,1	11,8	20,3	30,7	0,56					0,52	93

Les résultats d'AAN en volume DF1F2 obtenus avec la méthode ABCD-2015 sont présentés à l'annexe 2 pour faciliter la comparaison des résultats avec des travaux antérieurs, au besoin.

L'estimation de la période de rotation requise pour reconstituer les valeurs sur pied avant la coupe avec le niveau actuel d'AAN variait beaucoup selon le groupe de peuplements et la variable d'intérêt, non seulement à cause des différences d'AAN, mais aussi à cause des différences dans la récolte (tableaux 2, 4, 5 et 6, figure 3). L'étendue de variation entre les groupes de peuplements pour l'indicateur de la période de rotation augmentait considérablement selon la variable d'intérêt : l'intervalle le plus petit était celui pour la surface terrière (28 ans, soit de 21 à 49 ans; tableau 2), et le plus grand était celui pour le volume DF1F2_(méthode ABCD) (64 ans, soit de 8 à 72 ans, tableau 6). Les indicateurs de période de rotation les plus courts ont été observés dans les groupes FE3 3d4fh (de 8 à 21 ans, selon la variable d'intérêt) et MJ2 (de 15 à 24 ans), tandis que les plus longs ont été observés dans le groupe FE3 3a R08 (de 36 à 72 ans), puis dans le groupe FE3 3b (de 46 à 60 ans).

Au sujet des deux méthodes d'évaluation du volume DF1F2, la méthode DHP-2021 prévoyait moins de volume que la méthode ABCD-2021 pour l'ensemble des peuplements traités (sous-estimations de 9,9 % à 26,9 %, tableau 7). De plus, la différence entre les valeurs obtenues avec ces deux méthodes était plus grande dans les groupes FE3 2a3a R07 et FE3 3a R08 que dans les autres groupes.

À titre indicatif, le volume total de bois d'œuvre feuillu des essences désirées (DF1F2F3) calculé selon la méthode ABCD-2021 ainsi que les volumes de bois feuillu de trituration (pâte) et de bois résineux sont présentés au tableau A1.1 de l'annexe 1. En moyenne, le volume DF1F2F3 sur pied (avant ou après la coupe) était 2,3 fois plus grand que le volume DF1F2 (variation de 1,9 à 3,0 fois) dans 6 des 8 groupes à l'étude (données non présentées). Le groupe FE3 3d4fh était caractérisé par une plus grande abondance d'arbres de plus petits DHP (p. ex., voir la surface terrière des arbres de classe DHP₁₀₋₂₂ au tableau 3), et le rapport moyen entre les volumes DF1F2F3 et DF1F2 était de 3,4. Dans le groupe FE3 4bc, caractérisé par une abondance d'érables à sucre dans une région nordique, ce rapport moyen était de 3,2. Toutefois, ces mêmes rapports moyens, lorsqu'ils étaient appliqués à l'AAN plutôt qu'au volume sur pied, variaient beaucoup plus selon les groupes, allant de 0,3 à 25.

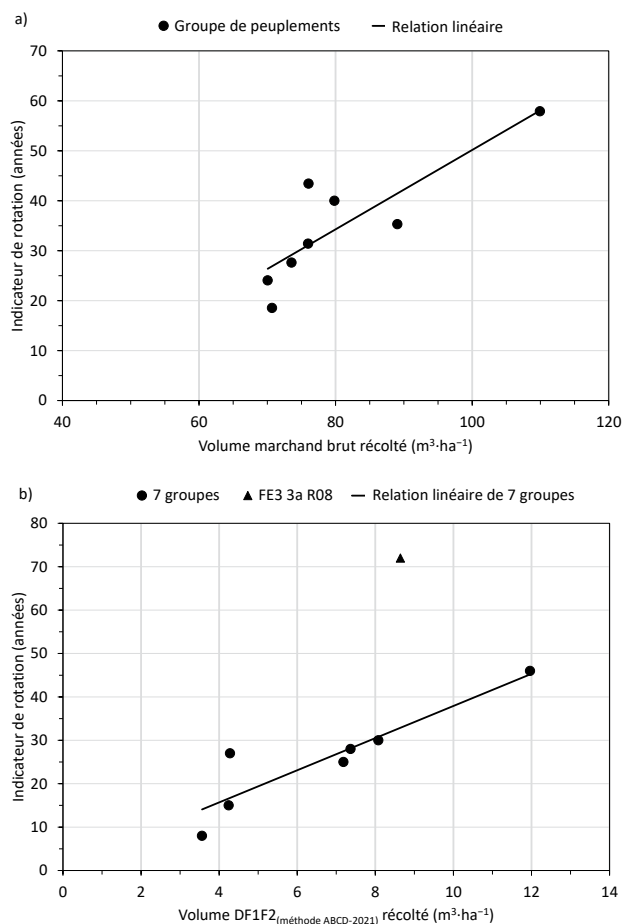


Figure 3. Relations entre l'indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer le volume prélevé et a) le volume marchand brut récolté ou b) le volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) récolté pour les groupes étudiés (calculé selon la méthode ABCD-2021). Sur la figure b, le groupe de peuplements FE3 3a R08 a été retiré de la régression.

2.3 Simulations de croissance

Les biais relatifs des deux modèles de croissance dépassaient souvent le seuil de tolérance que nous avons fixé à $\pm 10\%$ (tableaux 2, 4, 5 et 6). Cette situation découle notamment des faibles valeurs d'AAN, en particulier dans les placettes témoins, où elles s'approchaient souvent de 0. Ainsi, un petit écart en valeur absolue pouvait engendrer un très grand écart en valeur relative.

La plupart des biais absolus d'AAN de la surface terrière et du VMB obtenus avec Artémis et SaMARE pour les deux traitements étaient nettement inférieurs aux seuils de tolérance fixés à $\pm 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ et $\pm 1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, respectivement (tableaux 2 et 4). Relativement à ces seuils, les deux modèles ont particulièrement surestimé l'AAN en surface terrière du groupe FE3 3c, puis sous-estimé les AAN en

Tableau 7. Différences relatives, pour les peuplements traités, entre les volumes de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculés selon la méthode DHP-2021 et ceux calculés selon la méthode ABCD-2021 (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans), et différence relative correspondante en accroissement annuel net observé (AAN). Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage; elles sont fournies à titre indicatif seulement.

Groupe de peuplements	Différence relative (%)				
	AVC	REC	APC	20 ans	AAN
FE3 2a3a R07	32,0	15,3	41,0	38,0	31,0
FE3 3a R08	37,6	29,1	42,8	39,3	16,7
FE3 3b	10,5	10,8	10,3	16,0	30,8
FE3 3c	6,8	1,4	10,8	13,6	19,2
FE3 3d4fh	-4,6	-16,7	3,9	19,3	28,6
FE3 4bc	12,2	7,0	17,0	20,3	25,0
MJ1	6,6	3,7	10,0	15,6	25,9
MJ2	2,9	4,8	1,1	8,6	20,7
Tous	15,9	9,9	20,0	22,3	26,9
<i>FE2</i>	<i>-13,5</i>	<i>4,3</i>	<i>-75,0</i>	<i>27,9</i>	<i>70,8</i>
<i>FE5</i>	<i>44,3</i>	<i>40,3</i>	<i>46,2</i>	<i>38,8</i>	<i>-33,3</i>
<i>FE6</i>	<i>15,3</i>	<i>3,4</i>	<i>22,2</i>	<i>30,8</i>	<i>46,4</i>

surface terrière et en VMB du groupe MJ2 et ceux des peuplements traités du groupe MJ1. SaMARE a aussi sous-estimé l'AAN en surface terrière et en VMB des témoins du groupe FE3 3d4fh.

Les biais d'AAN du volume DF1F2_(méthode DHP-2021) sont pour la plupart inférieurs au seuil de $\pm 0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour les deux modèles de croissance (tableau 5). Néanmoins, Artémis et SaMARE ont tendance à surestimer l'AAN des groupes FE3 3a R08 et FE3 3c. Les simulations effectuées avec Artémis et la méthode ABCD-2021 (tableau 6) sont un peu plus biaisées que celles effectuées avec la méthode DHP-2021 (tableau 5). Dans ce cas-ci, l'AAN simulé dans les peuplements traités est davantage sous-estimé (biais provincial de $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), sauf pour les groupes FE3 3a R08 et FE3 3c.

Une régression du CIMOTFF prévoit la surface terrière que devrait atteindre les arbres de classe DHP₂₄₋₄₄ 20 ans après la coupe. Pour l'ensemble des territoires étudiés, le biais de cette régression correspondait à une sous-estimation de seulement $0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, ou 2 % (tableau 3). Toutefois, la régression a sous-estimé grandement la surface terrière du groupe FE3 3d4fh (biais de $5,7 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) pour lequel la variable explicative du modèle, soit la surface terrière après la coupe des arbres de classe DHP₁₀₋₂₂, était supérieure à l'étendue d'étalonnage

de la régression. Des surestimations de plus de 10 % ont été observées dans les groupes FE3 3a R08 et FE3 3b.

Une seconde régression du CIMOTFF prévoit le volume DF1F2 que devraient atteindre les peuplements 20 ans après la coupe. Pour l'ensemble des territoires étudiés, cette régression surestime ce volume de $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, ou 4 % par rapport aux valeurs obtenues par la méthode ABCD-2015 (tableau 3). Toutefois, les biais étaient très variables entre les groupes. En effet, la régression surestimait de plus de 10 % le volume DF1F2 dans les groupes FE3 3c, FE3 3d4fh, et FE3 4bc, puis elle sous-estimait autant ce volume dans les groupes FE3 2a3a R07 et FE3 3b. Pour la plupart des groupes de peuplements, les volumes DF1F2 obtenus avec la méthode ABCD-2021 sont nettement inférieurs à ceux prévus avec la régression du CIMOTFF (tableau 3). Toutefois, ces écarts sont principalement attribuables au fait que les bases de données d'étalonnage de ces 2 modèles sont assez différentes, ce qui limite leur comparaison.

Pour mieux comprendre la relation entre la surface terrière des arbres de classe DHP₂₄₋₄₄ et le volume DF1F2 (qu'il soit calculé selon la méthode ABCD-2015 [figure 4a] ou ABCD-2021 [figure 4b]), nous avons révisé le modèle de rendement DF1F2 (figure 2d) pour changer de covariable et remplacer le volume avant la coupe par la surface

terrière résiduelle des arbres de classe DHP₂₄₋₄₄. Ces modèles permettent de constater que l'AAN DF1F2 obtenu avec les deux méthodes (ABCD-2015 ou ABCD-2021) augmente significativement ($p < 0,0001$) avec la surface terrière des arbres de classe DHP₂₄₋₄₄ avant la coupe. L'augmentation est

de $0,029 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (méthode ABCD-2015) ou de $0,023 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (méthode ABCD-2021) pour chaque $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ de cette surface terrière, et ce, pour les deux traitements. Toutefois, l'AAN est significativement plus grand dans les peuplements traités que dans ceux témoins ($p < 0,0001$).

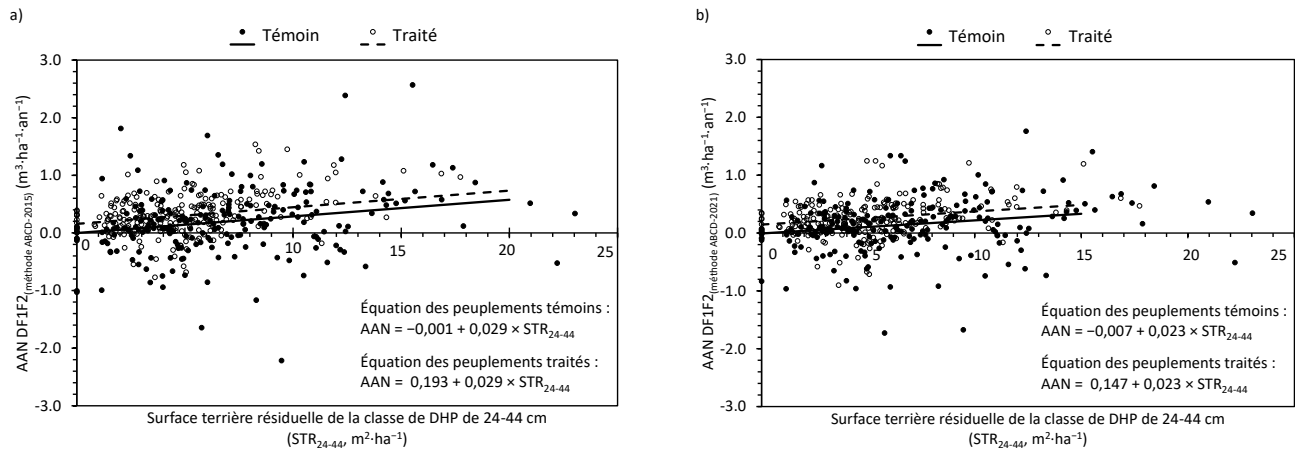


Figure 4. Relation entre l'accroissement annuel net (AAN) du volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2), calculé avec a) la méthode ABCD-2015 et b) la méthode ABCD-2021 sur une période de 20 ans, et la surface terrière résiduelle des arbres de classe DHP₂₄₋₄₄, selon le traitement. Les valeurs des pentes d'AAN de ces relations avec ± 1 erreur type apparaissent dans les légendes.

Chapitre 3 – Discussion

3.1 Hypothèses du Manuel d'aménagement forestier

Ce réseau a été établi de 1995 à 1999, avec l'objectif principal de vérifier si les hypothèses relatives à la production énoncées dans le MAF (MFO 1992, MRN 1998) se confirmaient à la suite de l'application de la coupe de jardinage dans un contexte opérationnel. Les deux principales hypothèses étaient que le volume marchand et le volume de bois d'œuvre prélevés se reconstitueraient en 15 à 25 ans. Le présent travail nous permet de vérifier ces hypothèses après environ 20 années de croissance, en limitant toutefois la vérification de l'hypothèse de reconstitution du volume de bois d'œuvre au sous-ensemble de bois d'œuvre de grande valeur (DF1F2) des essences feuillues désirées (érable à sucre, bouleau jaune, bouleau à papier et chêne rouge). Ce choix découle du fait que depuis la publication du rapport du CIMOTFF (Saucier *et al.* 2014), ce volume DF1F2 est de plus en plus utilisé comme indicateur de la rentabilité potentielle des coupes partielles en peuplement décidu. Nous avons aussi vérifié sommairement ces hypothèses avec le volume total de bois d'œuvre feuillu (DF1F2F3, annexe 1), en arrivant à des conclusions semblables (résultats non présentés) à celles tirées avec le volume DF1F2.

Les résultats obtenus après 20 ans permettent de confirmer les hypothèses du MAF dans les groupes de peuplements FE3 3d4fh et MJ2, soit ceux pour lesquels les prélèvements étaient les plus faibles et dont les accroissements annuels nets étaient les plus grands (tableaux 2, 4, 5 et 6). Ainsi, il est possible de revenir après 15 à 25 ans dans ces groupes de peuplements pour effectuer une récolte semblable ou supérieure à la récolte initiale, laquelle était d'environ $8 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ en surface terrière, de $70 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en VMB et de $4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en volume DF1F2. Ces récoltes représentent près de 30 % de la surface terrière, près de 35 % du VMB et environ 30 % à 40 % des volumes DF1F2 sur pied avant la coupe (tableau 8). Les hypothèses du MAF sont donc vérifiées pour des groupes de peuplements, dont la surface terrière et les volumes se situent principalement entre le premier quartile et la moyenne des peuplements étudiés (figures 2a, 2b et 2d).

Les groupes FE3 3d4fh et MJ2 sont aussi caractérisés par l'absence ou la présence marginale du hêtre à grandes feuilles (tableau 8), une essence qui peut envahir le sous-bois des érablières et freiner la régénération d'essences plus recherchées. Le hêtre est aussi sujet à une forte mortalité causée par la maladie corticale du hêtre (DRF 2017). De plus, ces groupes de peuplements étaient situés, pour la plupart, dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune (figure 1), où les températures sont plus froides et où la probabilité de mortalité des arbres est plus faible que dans le sud-ouest de la province. En effet, Guillemette *et al.* (2017) ont démontré que pour des arbres ayant les mêmes caractéristiques d'essence, de DHP et de vigueur et qui étaient situés dans des peuplements traités de manière comparable, le risque de mortalité était deux fois plus élevé sur un site ayant une température annuelle moyenne de $3,2 \text{ }^\circ\text{C}$ que sur un site ayant une température annuelle moyenne de $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

À l'opposé, les peuplements du groupe FE3 3b avaient les plus grands volumes sur pied, soit un VMB de $284 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ et un volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) de $25 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$; les prélèvements y ont été les plus grands, soit $110 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en VMB et $12 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ en volume DF1F2 (ou 39 % et 48 %, respectivement). Nos résultats montrent que l'indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer ces prélèvements est de 58 ans pour le VMB et de 46 ans pour le volume DF1F2. Les hypothèses du MAF (20 ± 5 ans) ne se sont donc pas concrétisées dans ces conditions associées à un fort volume sur pied et à un taux de prélèvement plus grand que celui prévu (de 25 % à 35 %). Les peuplements FE3 3b étaient en moyenne situés près du troisième quartile des observations provinciales de volume sur pied (figure 2b et 2d), avec des surfaces terrières des arbres des classes DHP₁₀₋₂₂ et DHP₂₄₋₄₄ parmi les plus faibles (tableau 3). Par conséquent, ils avaient une structure inéquienne associée à l'abondance d'arbres relativement plus âgés.

Tableau 8. Description dendrométrique des groupes de peuplements dans lesquels il a été possible de reconstituer les volumes prélevés en 15 à 25 ans à la suite de coupes de jardinage. Les données sont adaptées des groupes FE3 3d4fh et MJ2, puis elles sont proposées pour le premier modèle sylvicole.

Variable d'état	Avant la coupe		Prélèvement		Après la coupe
	Valeur absolue		Valeur relative		
Surface terrière marchande ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	27-28	8	28-30%	19-20	
Érable à sucre et bouleau jaune (%)	60-90	-	-	60-90	
Hêtre à grandes feuilles (%)	0-2	-	-	0-2	
Autres feuillus (%)	5-15	-	-	5-15	
Résineux (%)	5-25	-	-	5-25	
Volume marchand brut ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	200-210	70	33-35%	130-140	
Volume DF1F2 ^(méthode ABCD-2021) ($m^3 \cdot ha^{-1}$)*	9-14	4 [†]	30-40%	5-9	
Volume DF1F2F3 ^(méthode ABCD-2021) ($m^3 \cdot ha^{-1}$) [‡]	30-35	9-10 [§]	27-31%	20-25	
Volume pâte feuillue ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	50-120	15-35	25-30%	40-85	
Surface terrière de la classe DHP ₁₀₋₂₂ ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	3-8	0,2-1	5-15%	3-7	
Surface terrière de la classe DHP _{2,4-44} ($m^2 \cdot ha^{-1}$) [¶]	5-9	1-1,5 [#]	15-25% [#]	4-8	
Accroissement annuel net correspondant					
Surface terrière marchande ($m^2 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	0,35-0,40				
Volume marchand brut ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	3,0-3,5				
Volume DF1F2 ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	0,30-0,40				
Volume DF1F2F3 ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	0,60-0,80				

* Volume de billes DF1F2 calculé selon la méthode ABCD-2021.

† La production de volume DF1F2 en 20 ans a été de 6 à 8 $m^3 \cdot ha^{-1}$ dans ces peuplements. Par conséquent, les volumes DF1F2 visés à long terme sont susceptibles d'être supérieurs à ceux indiqués dans ce tableau.

‡ Volume de billes DF1F2F3 calculé selon la méthode ABCD-2021.

§ La production de volume DF1F2F3 en 20 ans a été de 12 à 20 $m^3 \cdot ha^{-1}$ dans ces peuplements. Par conséquent, les volumes DF1F2F3 visés à long terme sont susceptibles d'être supérieurs à ceux indiqués dans ce tableau.

|| DHP₁₀₋₂₂ = essences feuillues désirées dans les classes de DHP de 10 à 22 cm.

¶ DHP_{2,4-44} = essences feuillues désirées de vigueur 1 et dans les classes de DHP de 24 à 44 cm.

Ce prélèvement comprend aussi les arbres déclassés à cause des blessures de récolte.

Nos résultats démontrent aussi qu'il peut être moins productif d'aménager par coupe de jardinage des peuplements ayant au départ de grands volumes sur pied. En effet, pour ceux-ci, l'AAN est généralement plus faible, comme le démontrent les plus faibles AAN des peuplements témoins (tableaux 2, 4 à 6). D'ailleurs, l'accroissement en DHP des arbres diminue généralement avec l'augmentation de la surface terrière ou du volume sur pied des peuplements (p. ex., Fortin *et al.* 2008). Par conséquent, l'objectif de reconstituer les volumes sur pied présents avant la première coupe de jardinage dans ces conditions ne donnerait pas un rendement forestier optimal. Mieux vaudrait alors attendre le moment où l'AAN moyen de la rotation est maximal pour intervenir. Cela ne semble pas être encore le cas 20 ans après la coupe, puisque sur la moyenne des 20 premières années, l'AAN en surface terrière ($0,29 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) a été supérieur à celui rapporté au cours des 10 premières années ($0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, Guillemette *et al.* 2013b). Une telle augmentation indique que l'AAN n'a pas encore atteint son optimum 20 ans après la coupe.

Le groupe FE3 3a R08 est un cas particulier : à la suite d'une violente rafale de vent en juillet 2006, certains peuplements ont été affectés par le chablis, et les plus endommagés ont ensuite subi une coupe de récupération. Les peuplements que nous avons suivis sur 20 ans sont ceux dans ce territoire qui avaient été les moins affectés par l'événement. Néanmoins, le chablis a réduit leur accroissement en volume DF1F2, de sorte que l'indicateur de la période de rotation requise pour reconstituer un prélèvement de $8,6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ est de 72 ans, soit plus du double de la valeur observée dans les autres groupes de peuplements comparables (figure 3b).

La situation des 4 autres groupes de peuplements était variable selon leur volume sur pied avant la coupe et les volumes prélevés (figures 2 et 4). Au rythme actuel, il faudrait de 30 à 40 ans pour reconstituer le VMB prélevé (environ $80 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), mais de 25 à 30 ans pour reconstituer un volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) prélevé (environ $7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).

Le dépassement de la durée de rotation envisagée par le MAF pour plusieurs peuplements inclus dans cette étude pourrait en inquiéter certains. Cependant, les modèles de croissance utilisés ici ont des biais relativement faibles et tendent à sous-estimer plutôt qu'à surestimer les valeurs. Les aménagistes forestiers ont donc en main les outils leur permettant de planifier adéquatement les rotations de coupe de jardinage et de coupe progressive irrégulière à couvert permanent dans les érablières et les bétulaies jaunes. Les deux modèles de croissance utilisés

dans ce travail devraient permettre de prévoir de manière réaliste la durée de rotation, que l'on considère le VMB ou les volumes de bois d'œuvre. D'autres travaux ont également montré la capacité des modèles Artémis-2014 et SaMARE à bien simuler les peuplements issus de coupes partielles dans les érablières (Gauthier *et al.* 2016). Cependant, comme le montre la variation des biais entre les différents groupes, les modèles Artémis-2014 et SaMARE devraient être préférablement utilisés sur des grands territoires, avec un nombre élevé d'arbres ou de placettes pour obtenir des résultats moins biaisés. Les utilisateurs doivent donc être conscients de ces limites et user de précaution s'ils effectuent des simulations sur de petits territoires et à partir d'un petit nombre de placettes-échantillons.

Un autre élément qui aide à comprendre en quoi le dépassement de la plage de rotation envisagée par le MAF n'est pas inquiétant est que dans la plupart des peuplements jardinés dans les blocs expérimentaux de la Direction de la recherche forestière, les rendements ont été comparables à ceux du réseau de suivi des effets réels. Ce constat découle des comparaisons faites après 10 à 20 années de suivi sur des bases semblables de composition, de nombre d'années de croissance et de régions écologiques (voir Bédard *et al.* 2012, Guillemette *et al.* 2013b, 2018). Pourtant, il importe de rappeler que le choix des arbres à récolter dans ces blocs expérimentaux a été fait en priorisant avant tout l'amélioration du peuplement, sans avoir la contrainte d'approvisionner une usine de bois d'œuvre, ce qui aurait dû mener à des rendements plus élevés. Notons que les meilleurs accroissements observés dans ces blocs expérimentaux l'ont été principalement pour des périodes couvertes avant 1995 (p. ex., Majcen *et al.* 2005, $0,31 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), soit avant la mise en place de ce réseau de suivi d'effets réels. Les analyses plus récentes des placettes-échantillons permanentes utilisées pour étalonner le modèle Artémis-2014 (version 4.2.0, Power 2021) ont aussi démontré que depuis un peu plus de deux décennies, la survie et la croissance de l'érable à sucre ont diminué dans le territoire à l'étude.

Nos travaux montrent que les hypothèses posées par le MAF ont sous-estimé l'effet des conditions initiales des peuplements sur le temps de rotation, notamment la surface terrière ou le VMB sur pied avant traitement. En balisant la coupe de jardinage sur la base d'un prélèvement relatif d'environ 33 % de la surface terrière marchande sans tenir compte de sa valeur initiale pour établir un temps de retour, on considérerait que l'AAN des peuplements traités serait proportionnel à leur surface terrière ou à leur VMB initial. Les résultats présentés dans ce

mémoire tendent plutôt à démontrer que l'AAN des peuplements traités est peu influencé par la surface terrière résiduelle (figure 2). Par conséquent, nous croyons que la notion de rotation devrait se baser plutôt sur la production d'une surface terrière ou d'un volume ciblé de bois, sans viser à tout prix à reconstituer la surface terrière ou le volume initial, pourvu que l'ensemble des critères d'aménagement forestier durable soient respectés.

3.2 Bois d'œuvre feuillu de grande valeur

Un objectif plus spécifique du présent rapport était d'obtenir des références de volume DF1F2 sur pied et d'accroissement de ce volume après une coupe partielle. Les arbres contribuant au volume DF1F2 ont presque tous un potentiel de bois d'œuvre au niveau de la bille de pied (classe A, B ou C) et un DHP d'au moins 34 cm (Havreljuk *et al.* 2015). De plus, ce volume est calculé pour les 4 essences feuillues désirées. Il intègre donc à la fois la qualité des troncs du peuplement, la composition de celui-ci (4 essences recherchées) ainsi que sa structure (présence d'arbres de moyen et de gros DHP). Toutefois, depuis la publication du rapport du CIMOTFF en 2014, le réalisme d'utiliser le volume DF1F2 comme indicateur des volumes estimés sur pied, des volumes récoltés ou des accroissements simulés avec SaMARE n'a jamais été vérifié à l'échelle opérationnelle. De plus, le CIMOTFF avait identifié un biais potentiel dans la matrice de répartition par produits qu'il a utilisée pour estimer les volumes DF1F2 (voir la recommandation 1 concernant la matrice MSCR-OP^e utilisée au début de 2014), lequel pouvait conduire à une surestimation du volume DF1F2 utilisé dans l'une des deux régressions présentées dans son rapport (Saucier *et al.* 2014). D'après l'analyse du biais des 4 matrices et des 4 modèles disponibles avant 2021 pour évaluer le volume de chacun des produits de bois feuillus, ce sont les méthodes utilisant la classe de qualité ABCD qui ont la meilleure performance (Guillemette 2020). De plus, elles sous-estiment le volume DF1F2 d'environ 12 % à 20 % avec la matrice basée sur l'essence et le DHP, ou d'environ 4 % à 21 % avec la matrice MSCR-OP, selon le groupe de peuplements. Les volumes et accroissements estimés avec la méthode ABCD semblent plausibles avec les connaissances actuelles, d'où leur utilisation préférentielle dans le présent mémoire. Toutefois, comme classe de qualité ABCD n'est pas toujours disponible dans les inventaires avant la récolte, nous avons préféré utiliser aussi

la méthode basée sur l'essence et le DHP dans le présent mémoire, laquelle peut être utilisée dans différentes situations.

Les résultats ont démontré que pour 5 des 8 groupes de peuplements traités situés sur des végétations potentielles FE3, MJ1 ou MJ2, l'AAN du volume DF1F2_(méthode ABCD-2021) observé sur 20 ans variait de 0,25 à 0,30 m³·ha⁻¹·an⁻¹ (tableau 6). Cet AAN après traitement est utilisé comme une valeur de référence plausible dans les conditions des peuplements étudiés; il permet de juger du réalisme des simulations des coupes partielles. Néanmoins, l'AAN a atteint 0,42 m³·ha⁻¹·an⁻¹ dans le groupe FE3 3d4fh (caractérisé par une structure d'arbres plus petits), 0,12 m³·ha⁻¹·an⁻¹ dans le groupe FE3 3a R08 (sujet à un chablis régional en 2006) et 0,16 m³·ha⁻¹·an⁻¹ dans le groupe FE3 4bc (éablières les plus nordiques, dans lesquelles les érables ont une plus faible qualité externe et interne; Guillemette et Bédard 2019, Guillemette *et al.* 2021). L'évaluation de ces AAN avec la méthode DHP-2021 donne des valeurs inférieures d'environ 27 % à celles obtenues avec la méthode ABCD-2021, soit plus près de 0,20 m³·ha⁻¹·an⁻¹ pour les 5 groupes principaux (tableaux 5 à 7).

Les AAN en volume DF1F2_(méthode DHP-2021) simulés avec la version 3.0.6 d'Artémis-2014 étaient très près de ceux observés en moyenne pour l'ensemble des groupes de peuplements traités (biais = 0,01 m³·ha⁻¹·an⁻¹, tableau 5). De plus, pour 4 des 6 groupes de peuplements traités situés sur la végétation potentielle FE3, les AAN prévus par Artémis avec la méthode DHP-2021 se situaient entre 0,17 et 0,24 m³·ha⁻¹·an⁻¹. Cette valeur est proche de la nouvelle référence (0,20 m³·ha⁻¹·an⁻¹) que nous avons obtenue avec la méthode DHP-2021 (tableau 5; AAN prévu = AAN brut observé – biais Artémis). Tout de même, elle est inférieure à celle obtenue selon la méthode ABCD-2021 (de 0,25 à 0,30 m³·ha⁻¹·an⁻¹). La prévision était peu biaisée aussi pour le groupe FE3 4bc. Dans ce cas, cependant, la valeur de référence obtenue avec cette méthode est plus près de 0,10 à 0,15 m³·ha⁻¹·an⁻¹, si l'on tient compte du fait que dans ces régions écologiques, on trouve les érables à sucre de plus faible qualité (Havreljuk *et al.*, soumis). Toutefois, les AAN prévus par Artémis et la méthode DHP-2021 sur les végétations potentielles MJ1 et MJ2 étaient de seulement 0,11 et 0,08 m³·ha⁻¹·an⁻¹, respectivement. Il est possible que les évolutions simulées par Artémis pour les gros arbres feuillus sur ces 2 végétations potentielles

e Cette matrice répartit le VMB d'un arbre en des proportions de volume net de ses divers produits de bois, selon son essence, son DHP, sa classe MSCR et son potentiel de contenir du bois d'œuvre (classe O) ou non (classe P). Elle n'a pas été utilisée dans le présent mémoire.

soient sous-estimées. Il se peut aussi qu'Artémis soit bien étalonné, mais que notre étude ait été réalisée dans un sous-ensemble de peuplements ayant des caractéristiques supérieures à la moyenne des végétations potentielles MJ1 et MJ2. L'utilisation de la classe de qualité ABCD avec Artémis n'améliore pas les prévisions, mais sous-estime davantage l'AAN pour 6 des 8 groupes de peuplements traités (tableau 6). Même si les équations permettant de faire évoluer la qualité des tiges de feuillus ne sont pas biaisées (Power et Havreljuk 2018), une sous-estimation de la qualité pourrait découler d'une sous-estimation de l'accroissement des arbres de plus gros diamètre, puisque l'accroissement diamétral est une variable prédictive de l'évolution de la qualité.

Une autre hypothèse met en cause les données qui ont servi à étalonner le modèle d'évolution de la qualité, lorsqu'il y avait peu de placettes traitées par la coupe partielle (Power 2016). Si l'effet d'assainissement du peuplement réalisé par la coupe partielle n'est pas bien pris en compte, le modèle pourrait prévoir une évolution moins favorable de la qualité. La plus récente version 4.2.0 d'Artémis-2014 a été étalonnée avec l'ajout des placettes du réseau de mesure des effets réels, ce qui pourrait offrir des évolutions mieux ajustées aux coupes partielles (Power 2021).

Les AAN du volume DF1F2_(méthode DHP-2021) prévus par SaMARE dans les groupes de peuplements traités étaient en moyenne surestimés de $0,06 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, se situant plus près de $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ que de $0,19 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (tableau 5). Ainsi, les AAN prévus avec SaMARE et la méthode DHP-2021 sont plus près de ceux observés avec la méthode ABCD-2021, soit une moyenne de $0,26 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (tableaux 5 et 6). Cette combinaison de SaMARE et de la méthode DHP-2021 pourrait donc être une solution temporaire intéressante pour mieux simuler l'évolution du volume DF1F2, en attendant que soient disponibles d'autres méthodes d'évaluation des produits qui seraient basées sur l'évolution de caractéristiques des arbres comme la classe de qualité (ABCD), la classe de vigueur (1234) et la classe MSCR. Les biais de ces nouvelles approches pourront alors être évalués.

La régression du CIMOTFF servant à prévoir le volume DF1F2 sur pied dans 20 à 40 ans (équation 2), quant à elle, a très bien performé en moyenne, avec une surestimation de seulement $0,7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (ou 4 %) par rapport à la méthode ABCD-2015 (tableau 3). Toutefois, les biais variaient beaucoup selon les groupes de peuplement et pouvaient atteindre 30 % (groupe FE3 3c). Cette régression contient 2 paramètres principaux : le paramètre de la surface terrière des arbres ayant un DHP de 24 à 44 cm présents après la coupe permet d'estimer le volume DF1F2 laissé sur pied, tandis que le paramètre de durée de la rotation exprime un taux d'AAN du volume DF1F2. Selon ce second paramètre, la régression du CIMOTFF prévoit un AAN de $0,156 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, ce qui est nettement inférieur à notre nouvelle référence de 0,25 à $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Si cette régression a aussi bien réussi à prévoir le volume DF1F2 sur pied dans 20 à 40 ans malgré cette forte sous-estimation de l'AAN, nous déduisons que c'est parce que l'évaluation du volume DF1F2 laissé sur pied avec le premier paramètre de l'équation (c.-à-d. la surface terrière) est trop élevée. Même si elle fonctionne bien pour estimer la moyenne provinciale, la régression du CIMOTFF simplifie trop la réalité et s'ajuste donc difficilement à certains groupes de peuplements.

Il faut aussi noter que les prévisions de la régression du CIMOTFF n'ont pu être vérifiées qu'à 20 ans, soit le tout début de l'intervalle de prévision. Nous n'avons donc pas d'indications quant à sa performance pour les périodes d'évolution plus longues qui, d'après nos travaux, pourraient parfois dépasser 40 ans. Rappelons également que les nouveaux modèles de répartition par produits étalonnés en 2021 amènent des différences importantes, notamment une diminution du volume DF1F2 de l'érable à sucre dont l'ampleur varie régionalement (Havreljuk *et al.*, soumis). Ainsi, cette régression du CIMOTFF ne devra pas être utilisée lorsque les modèles 2021 de répartition par produits seront mis en œuvre dans les outils de travail, car elle induirait des biais importants et mènerait à des interprétations erronées.

Chapitre 4 – Modèles sylvicoles recommandés

Nos résultats permettent de préciser les paramètres dendrométriques de 3 modèles sylvicoles pour la production de bois d'œuvre en forêt décidue. Notons que ces précisions sont présentées seulement pour des modèles sylvicoles qui reflètent bien les données de l'étude, et que bien d'autres sont possibles.

4.1 Peuplements jeunes, de structure inéquienne et équilibrée

Un premier modèle sylvicole à envisager est celui de la **coupe de jardinage pratiquée dans un peuplement relativement jeune et de structure inéquienne**, dans le but de maintenir ce type de structure (état d'équilibre). Les caractéristiques d'un tel peuplement avant et après la coupe s'apparentent à celles décrites au tableau 8. Entre autres, il contient une grande abondance d'arbres dans les classes DHP₁₀₋₂₂ et DHP₂₄₋₄₄, puis relativement peu de volume DF1F2. La **rotation serait de 20 ± 5 ans**, conformément aux hypothèses du MAF. Ce modèle sylvicole devrait permettre d'effectuer une récolte semblable au prélèvement indiqué au tableau 8, notamment un prélèvement en surface terrière d'environ 8 m²·ha⁻¹, après quoi le peuplement maintiendrait une structure équilibrée. Pour ce faire, il faut néanmoins assurer non seulement la régénération abondante de l'érable à sucre dans les érablières et celle du bouleau jaune dans les bétulaies jaunes, mais aussi celle des résineux, de préférence les épinettes. Ce modèle en serait un de sylviculture intensive (voir Gravel et Meunier 2013). Cependant, il est susceptible de maintenir dans le temps des peuplements contenant beaucoup moins de gros arbres (DHP ≥ 46 cm) que ce que l'on observe dans de vieilles érablières peu perturbées récemment (4 à 13 m²·ha⁻¹; Gauthier *et al.* 2019). Ces arbres sont entre autres recherchés pour leurs attributs écologiques dans l'aménagement écosystémique. L'usage d'un modèle sylvicole plus intensif pour la production de bois d'œuvre implique nécessairement qu'on ne laisse pas trop grossir les arbres pour diminuer le risque de mortalité et de dégradation de la qualité (voir Guillemette 2016). Il implique aussi de miser sur l'abondance de plus petits arbres sur pied, dont beaucoup sont inclus dans l'intervalle de DHP de 34 à 46 cm. Cet intervalle est délimité par le seuil général de DHP de la classe DF1F2 (34 cm) et le diamètre à maturité financière (environ 46 cm selon l'essence, le territoire et la rotation).

4.2 Peuplements âgés, de structure irrégulière

Les conditions ne se prêtent pas toujours à la pratique d'une coupe de jardinage telle que décrite au tableau 8. C'est notamment le cas à cause des volumes de bois d'œuvre feuillu récoltés lors de la coupe de jardinage, qui sont relativement faibles et qui peuvent différer des exigences du marché des bois, à cause de l'abondance de gros arbres âgés dans le peuplement initial et dans celui que l'on souhaite obtenir après la coupe, ou à cause du besoin de régénérer davantage le bouleau jaune. Un second modèle sylvicole à envisager serait celui des **coupes progressives irrégulières à couvert permanent** pratiquées dans des peuplements relativement âgés et de structure irrégulière, comme les érablières appauvries ou les bétulaies jaunes résineuses de belle venue (Raymond *et al.* 2013). Dans ce modèle, le scénario sylvicole pourrait être conçu de manière à récolter plus de bois d'œuvre feuillu et à allonger la rotation par rapport au premier modèle sylvicole. Il en résulterait une sylviculture de base, moins intensive, puis le maintien d'une structure irrégulière, mais pas nécessairement équilibrée. Nous décrivons les principales caractéristiques dendrométriques de ce modèle sylvicole au tableau 9, d'après les résultats observés dans les groupes de peuplements FE3 2a3a R07, FE3 3b, FE3 3c et MJ1. Un prélèvement en surface terrière de 8 à 11 m²·ha⁻¹ pourrait être effectué aux 30 à 45 ans. Le prélèvement de bois d'œuvre feuillu serait de 13 à 25 m³·ha⁻¹ (30 à 40 %), comparativement à près de 10 m³·ha⁻¹ dans le modèle précédent (tableaux 8 et 9). Notons en revanche qu'un tel modèle sylvicole ne permettrait pas de récolter moins de bois de pâte que le modèle précédent. La durée de la rotation avec ce modèle sylvicole serait approximativement une année de croissance pour chaque point de pourcentage de prélèvement (Power *et al.* 2023). Ce modèle sylvicole serait conforme aux hypothèses de taux de prélèvement et de rotation émises pour la coupe progressive irrégulière dans Le guide sylvicole du Québec (Raymond *et al.* 2013).

Tableau 9. Description dendrométrique des groupes de peuplements dans lesquels il serait possible de reconstituer les volumes prélevés en 30 ans (pour les valeurs minimales de prélèvement en volume) et en 45 ans (pour les valeurs maximales). Les données sont adaptées de celles des groupes FE3 2a3a R07, FE3 3b, FE3 3c et MJ1, puis elles sont proposées pour le deuxième modèle sylvicole.

Variable	Avant la coupe		Prélèvement		Après la coupe
	Valeur absolue	Valeur relative	Valeur absolue	Valeur relative	
Surface terrière marchande ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	27-31	8-11	30-35%	19-20	
Érable à sucre et bouleau jaune (%)	65-75	-	-	66-75	
Hêtre à grandes feuilles (%)	0-25	-	-	0-15*	
Autres feuillus (%)	5-10	-	-	5-10	
Résineux (%)	5-15	-	-	5-15	
Volume marchand brut ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	215-285	75-110	35-40%	140-175	
Volume DF1F2 _(méthode ABCD-2021) ($m^3 \cdot ha^{-1}$) [†]	15-25	7-12	35-45%	10-15	
Volume DF1F2F3 _(méthode ABCD-2021) ($m^3 \cdot ha^{-1}$) [‡]	40-60	13-25	30-40%	25-35	
Volume pâte feuillue ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	60-110	25-35	30-40%	40-70	
Surface terrière de la classe DHP ₁₀₋₂₂ ($m^2 \cdot ha^{-1}$) [§]	2-5	0,3-0,7	10-15%	2-4	
Surface terrière de la classe DHP ₂₄₋₄₄ ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	5-7	1-2 [¶]	15-25% [¶]	4-6	
Accroissement annuel net correspondant					
Surface terrière marchande ($m^2 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	0,25				
Volume marchand brut ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	2,00-2,50				
Volume DF1F2 ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	0,25-0,30				
Volume DF1F2F3 ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)	0,45-0,60				

* Au cours de la période à l'étude, les peuplements n'ont pas été affectés de manière notable par la maladie corticale du hêtre, laquelle cause une forte mortalité chez cette essence. La proportion de hêtre visée après la coupe a été réduite afin d'en réduire l'impact anticipé au cours des prochaines années.

† Volume de billes DF1F2 calculé selon la méthode ABCD-2021.

‡ Volume de billes DF1F2F3 calculé selon la méthode ABCD-2021.

§ DHP₁₀₋₂₂ = essences feuillues désirées dans les classes de DHP de 10 à 22 cm.

|| DHP₂₄₋₄₄ = essences feuillues désirées de vigueur 1 et dans les classes de DHP de 24 à 44 cm.

¶ Ce prélèvement comprend aussi les arbres déclassés à cause des blessures de récolte.

4.3 Peuplements âgés, de structure inéquienne et équilibrée

Les deux modèles sylvicoles précédents sont basés sur des données provenant de peuplements ayant une grande quantité de matériel ligneux sur pied, comme le démontrent, par exemple, les surfaces terrières avant coupe de 27 à 31 m²·ha⁻¹ (tableaux 8 et 9). Or, la plupart des peuplements sur les terres du domaine de l'État au nord du fleuve Saint-Laurent qui sont actuellement disponibles pour la récolte ont une surface terrière moindre (en moyenne, d'environ 22 à 24 m²·ha⁻¹), et très variable. C'est dans ce type de peuplements que la plupart des secondes et troisièmes coupes de jardinage ont été réalisées, basées sur des rotations de 15 à 25 ans, dans les blocs expérimentaux de la Direction de la recherche forestière initiés par Zoran Majcen (données non publiées). D'ailleurs, **le modèle de coupe de jardinage proposé par Majcen *et al.*** (1990, p. 24) ne visait pas à reconstituer le stock initial sur pied (p. ex. une surface terrière aussi grande que 28 m²·ha⁻¹), mais plutôt à permettre un retour aux 12 à 20 ans pour prélever 20 % à 35 % de la

surface terrière (maximum 10 m²·ha⁻¹) tout en maintenant une surface terrière de 16 à 18 m²·ha⁻¹ après la coupe et en conservant un bon nombre de gros arbres sur pied (DHP de 45 à 60 cm). La description dendrométrique détaillée de ce troisième modèle sylvicole reste à produire avec les connaissances accumulées au cours des dernières décennies. De plus, des travaux de modélisation devront être réalisés pour mieux définir les critères de réalisation et les hypothèses de rendement. Cependant, avec les connaissances actuelles, le modèle sylvicole proposé par Majcen *et al.* (1990) permettrait un prélèvement d'environ 6 m²·ha⁻¹ sur une rotation de 20 à 25 ans selon le niveau d'AAN, soit de 55 % à 75 % des prélèvements indiqués aux tableaux 8 et 9, et la surface terrière initiale pour intervenir serait de 22 à 24 m²·ha⁻¹. Les principales différences avec le premier modèle sylvicole découlent de l'aménagement de peuplements initialement plus âgés (plus de gros arbres sur pied) et de la volonté de les maintenir dans ce type de structure, puis d'accepter une récolte moindre à chaque rotation (une surface terrière récoltée de 6 m²·ha⁻¹ plutôt que 8 m²·ha⁻¹).

Conclusion

Un réseau de suivi provincial a été établi de 1995 à 1999 pour mesurer les effets réels des coupes de jardinage réalisées dans les forêts du domaine de l'État. Les principales hypothèses à vérifier concernaient l'AAN des peuplements après les coupes. Les meilleurs AAN ont été observés dans les groupes de peuplements ayant relativement peu de gros arbres. Ce constat est cohérent avec les paramètres des modèles de croissance utilisés et des études sur le risque de mortalité des arbres (voir notamment Fortin *et al.* 2008, 2009, Guillemette *et al.* 2017, Power 2016, 2021). Ainsi, l'aménagement de peuplements bien stockés en arbres de qualité ayant des petits et des moyens diamètres est susceptible d'améliorer l'AAN et de permettre des rotations plus courtes (p. ex., 20 ± 5 ans).

Pour conclure, rappelons qu'en aménagement, l'une des variables fondamentales dans la détermination des possibilités forestières d'un territoire ayant une structure normale est l'AAN des peuplements. Les résultats présentés ici offrent donc un aperçu des AAN obtenus depuis la fin des années 1990 pour ces peuplements, qui étaient les mieux stockés à cette époque. Finalement, quelques modèles sylvicoles sont présentés pour permettre aux aménagistes forestiers de mieux associer le rendement forestier attendu aux caractéristiques des peuplements traités et à leurs objectifs d'aménagement.

Références bibliographiques

- Auger, I., 2016. *Une nouvelle relation hauteur-diamètre tenant compte de l'influence de la station et du climat pour 27 essences commerciales du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 146. 32 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Note146.pdf>
- Bédard, S. et F. Brassard, 2002. *Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 et 1996*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la planification et des communications. Rapport. 15 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Rapport-effets-reels-mrn.pdf>
- Bédard, S., J. DeBlois et F. Guillemette, 2012. *Accroissements 15 ans après coupe de jardinage dans des érablières : une analyse par périodes quinquennales et par secteurs*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 165, 25 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire165.pdf>
- Boulet, B., 2005. *Défauts et indices de la carie des arbres : guide d'interprétation*. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, Québec. 291 p.
- [DRF] Direction de la recherche forestière, 2017. *Expansion du hêtre à grandes feuilles et déclin de l'érable à sucre au Québec : portrait de la situation, défis et pistes de solution*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis scientifique. 146 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/AvisScientHEG-ERS.pdf>
- 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 révisions*. For. Chron. 83(5) : 754-765. <https://doi.org/10.5558/tfc83754-5>
- Fortin, M., S. Bédard, J. DeBlois et S. Meunier, 2008. *Accounting for error correlations in diameter increment modelling: a case study applied to northern hardwood stands in Quebec, Canada*. Can. J. For. Res. 38: 2274-2286. <https://doi.org/10.1139/X08-063>
- 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. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire155.pdf>
- Gauthier, M.-M., F. Guillemette, H. Power et F. Havreljuk, 2016. *Capacité des modèles SaMARE et Artémis à simuler l'évolution des peuplements après une coupe de jardinage pratiquée dans un contexte opérationnel*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 144. 18 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Note144.pdf>
- Gauthier, M.-M., S. Bédard et F. Guillemette, 2019. *Comparing structural attributes in uneven-aged managed and unmanaged sugar maple stands*. Forestry 92(1): 62-72. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy031>
- Gravel, J. et S. Meunier, 2013. « Chapitre 3 — Le gradient d'intensité de la sylviculture ». Dans : Ministère des Ressources naturelles (édit.), *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 — Les concepts et l'application de la sylviculture*. Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier, Les Publications du Québec, Québec (Québec). p. 32-41.
- Guillemette, F., 2016. *Diamètres à maturité pour l'érable à sucre et le bouleau jaune au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 145. 16 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Note145.pdf>

- Guillemette, F., 2018. *Suivi de la mise en œuvre des actions pour l'application des recommandations du Vérificateur général du Québec. Action 36, rapport 2, partie 1. Portrait des traitements sylvicoles pratiqués en peuplements à dominance de feuillus nobles*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière, Rapport interne n° 501, 9 p.
- Guillemette, F., 2020. *Évaluation du biais des modèles et des matrices de répartition par produits*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière, Avis technique SSRF-21. 12 p. https://www.mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT_SSRF-21.pdf
- Guillemette, F. et S. Bédard, 2019. *Potential for sugar maple to provide high-quality sawlog trees at the northern edge of its range*. For. Sci. 65(4): 411-419. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz008>
- Guillemette, F., S. Meunier, M.-C. Lambert et S. Bédard, 2009. *Effets réels quinquennaux des coupes partielles pratiquées de 1995 à 1999 dans des érablières*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Rapport hors série. 56 p. [https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Effets-reels\(95-99\).pdf](https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Effets-reels(95-99).pdf)
- Guillemette, F., S. Bédard, D. Pin et D. Dumais, 2013a. « Chapitre 23 — Les coupes de jardinage avec gestion par arbres ». Dans : Ministère des Ressources naturelles (édit.), *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 — Les concepts et l'application de la sylviculture*. Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier, Les Publications du Québec, Québec (Québec). p. 566-603.
- Guillemette, F., M.-M. Gauthier, M.-C. Lambert et S. Bédard, 2013b. *Effets réels décennaux des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 168. 34 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire168.pdf>
- Guillemette, F., M.-M. Gauthier et R. Ouimet, 2017. *Partitioning risks of tree mortality by modes of death in managed and unmanaged northern hardwoods and mixedwoods*. For. Chron. 93(3) : 246-258. <https://doi.org/10.5558/tfc2017-033>
- Guillemette, F., M.-M. Gauthier et S. Bédard, 2018. *Effets réels de l'éclaircie sélective individuelle et d'une coupe de jardinage dans des peuplements de feuillus nordiques : résultats après 10 ans*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 181, 27 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/Memoire181.pdf>
- Guillemette, F., F. Havreljuk et S. Bédard, 2021. *Qualité de l'érable à sucre dans l'unité d'aménagement 064-71*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique SSRF-22. 22 p. https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT_SSRF-22.pdf
- Havreljuk, F., S. Bédard, F. Guillemette et J. DeBlois, 2015. « Predicting log grade volumes in northern hardwood stands of southern Quebec ». Dans : *ISCHP 2015 : 5th International Scientific Conference on Hardwood Processing*. 15 au 17 septembre 2015. Québec (Québec). p. 107-114.
- Havreljuk, F., F. Guillemette, I. Auger et S. Bédard, (soumis). *Modèles régionalisés de répartition des volumes par classes de qualité des billes pour l'érable à sucre et le bouleau jaune*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière.
- Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche et du développement. Mémoire de recherche n° 96. 114 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/memoire96.pdf>
- Majcen, Z., S. Bédard et S. Meunier, 2005. *Accroissement et mortalité quinze ans après la coupe de jardinage dans quatorze érablières du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Mémoire de recherche forestière n° 148. 39 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire148.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://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2747223?docref=kuhedllvLS7a9KULmvT3oQ>
- [MFO] Ministère des Forêts, 1992. *Manuel d'aménagement forestier*, 2^e édition. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts. Québec (Québec). 267 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 1994. *Aménager pour mieux protéger les forêts : une stratégie*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. Publication FQ 94-3051, 197 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 1998. *Manuel d'aménagement forestier*, 3^e édition. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 122 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 2013. *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 — Les concepts et l'application de la sylviculture*. Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier, Les Publications du Québec, Québec (Québec). 744 p.
- [MRNFP] Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2003. *Manuel d'aménagement forestier*, 4^e édition, Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction des programmes forestiers. 245 p. <https://collections.banq.qc.ca/ark:/52327/bs44720>
- 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. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Note143.pdf>
- Power, H., 2021. *Artémis 2014 v. 4.2.0, une nouvelle version du modèle de croissance*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique SSRF-27. 15 p. https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT_SSRF-27.pdf
- Power, H. et F. Havreljuk, 2018. *Predicting hardwood quality and its evolution over time in Quebec's forests*. *Forestry* 91(3): 259-270. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw059>
- Power, H., P. Raymond, F. Guillemette, S. Bédard et D. Dumais, 2023. *Prévision de la période de rotation en contexte de coupe partielle pour les peuplements mixtes de bouleaux jaunes et de résineux du Québec*. *For. Chron.* 99(2) : 161-176. <https://doi.org/10.5558/tfc2023-013>
- Raymond, P., C. Larouche, S. Bédard et S. Tremblay, 2013. « Chapitre 20 — La coupe progressive irrégulière ». Dans : Ministère des Ressources naturelles (édit.), *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 — Les concepts et l'application de la sylviculture*. Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier, Les Publications du Québec, Québec (Québec). p. 456-515.
- Saucier, J.-P., A. Robitaille et P. Grondin, 2009. « Cadre bioclimatique du Québec ». Dans : « Écologie forestière ». Dans : *Manuel de foresterie*, 2^e édition. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Éditions MultiMondes, Québec (Québec). 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 technique, 98 p. + annexes. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Rapport-Annexes-CIMOTFF.zip>
- SAS Institute Inc., 2021. *Base SAS® Procedures Guide: Statistical Procedures. Sixth Edition (2021.1.3-2021.1.4)*. Cary, NC: SAS Institute Inc., Cary, NC (États-Unis). https://documentation.sas.com/api/collections/pgmsascdc/v_016/docsets/procstat/content/procstat.pdf?locale=fr#nameddest=titlepage

Annexes

Annexe 1. Volumes totaux nets en bois d'œuvre feuillu des essences désirées (DF1F2F3) calculés selon les méthodes ABCD-2021 et ABCD-2015

Tableau A1.1. Volume (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC] et après 20 ans) de bois d'œuvre feuillu des essences désirées (DF1F2F3) **calculé selon la méthode ABCD-2021**, accroissement annuel net observé (AAN) de ce volume, et volumes nets de bois feuillus de trituration (pâte)* et de bois résineux avant la coupe et récolté. Les données présentées en *italique* sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage ; elles sont fournies à titre indicatif seulement.

Groupe de peuplements	Traitement	Volume DF1F2F3 (m ³ ·ha ⁻¹)				AAN (m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	Volume pâte (m ³ ·ha ⁻¹)		Volume résineux (m ³ ·ha ⁻¹)	
		AVC	REC	APC	20 ans		AVC	REC	AVC	REC
FE3 2a3a R07	Témoin	43,0			46,2	0,17	119,3		2,6	
	Traité	43,1	13,6	29,4	39,2	0,52	111,8	33,1	12,8	9,2
FE3 3a R08	Témoin	42,6			43,8	0,07	89,3		9,3	
	Traité	48,8	16,8	32,0	38,1	0,31	84,7	25,1	6,7	1,7
FE3 3b	Témoin	52,3			51,9	-0,02	105,4		14,6	
	Traité	58,4	24,2	34,2	43,5	0,50	109,7	37,4	10,0	1,9
FE3 3c	Témoin	58,5			59,5	0,05	104,2		6,1	
	Traité	47,2	16,3	31,0	42,8	0,62	101,1	29,6	6,7	2,7
FE3 3d4fh	Témoin	34,3			53,5	0,99	140,6		7,1	
	Traité	31,4	9,9	21,5	41,4	1,02	119,8	37,3	4,7	2,1
FE3 4bc	Témoin	31,8			35,0	0,17	96,8		4,0	
	Traité	28,1	10,3	17,8	26,8	0,48	84,2	24,9	7,7	4,8
MJ1	Témoin	38,2			44,5	0,32	51,4		29,2	
	Traité	40,7	15,0	25,7	35,6	0,52	57,5	14,6	23,0	8,2
MJ2	Témoin	34,7			39,6	0,25	43,4		42,3	
	Traité	33,0	8,9	24,1	35,2	0,58	52,9	13,4	39,2	20,6
Tous	Témoin	42,6			47,3	0,24	92,6		15,1	
	Traité	42,2	14,8	27,4	38,3	0,57	89,6	26,8	13,8	6,1
FE2	<i>Témoin</i>	<i>40,3</i>			<i>52,5</i>	<i>0,62</i>	<i>142,7</i>		<i>0,4</i>	
	<i>Traité</i>	<i>25,3</i>	<i>14,6</i>	<i>10,7</i>	<i>24,9</i>	<i>0,73</i>	<i>146,6</i>	<i>64,6</i>	<i>0,4</i>	<i>0,1</i>
FE5	<i>Témoin</i>	<i>53,2</i>			<i>41,5</i>	<i>-0,62</i>	<i>122,8</i>		<i>6,4</i>	
	<i>Traité</i>	<i>39,9</i>	<i>14,5</i>	<i>25,4</i>	<i>26,5</i>	<i>0,06</i>	<i>101,8</i>	<i>30,5</i>	<i>1,6</i>	<i>1,0</i>
FE6	<i>Témoin</i>	<i>76,4</i>			<i>71,5</i>	<i>-0,25</i>	<i>94,0</i>		<i>12,2</i>	
	<i>Traité</i>	<i>55,1</i>	<i>18,6</i>	<i>36,5</i>	<i>48,0</i>	<i>0,61</i>	<i>118,9</i>	<i>31,4</i>	<i>0,2</i>	<i>0,0</i>

* Ce volume comprend les billes de pâte des essences désirées, les arbres d'un DHP < 23,1 cm des essences désirées, ainsi que les volumes nets de toutes les autres essences de feuillus, incluant leur sciage potentiel.

Tableau A1.2. Volume (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC]) et après 20 ans de bois d'œuvre feuillu des essences désirées (DF1F2F3) **calculé selon la méthode ABCD-2015**, et accroissement annuel net observé (AAN). Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage ; elles sont fournies à titre indicatif seulement.

Groupe de peuplements	Traitement	Volume (m ³ ·ha ⁻¹)				AAN (m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)
		AVC	REC	APC	20 ans	
FE3 2a3a R07	Témoin	49,5			52,9	0,18
	Traité	50,2	16,3	33,9	45,2	0,60
FE3 3a R08	Témoin	49,8			50,6	0,05
	Traité	55,5	19,6	36,0	43,3	0,37
FE3 3b	Témoin	60,9			60,8	-0,01
	Traité	68,5	29,2	39,3	50,6	0,61
FE3 3c	Témoin	61,5			63,2	0,09
	Traité	51,0	18,2	32,8	45,9	0,69
FE3 3d4fh	Témoin	53,6			84,1	1,57
	Traité	46,6	15,9	30,7	63,3	1,66
FE3 4bc	Témoin	54,6			59,4	0,26
	Traité	43,5	15,9	27,6	43,0	0,81
MJ1	Témoin	41,5			47,8	0,32
	Traité	45,1	15,6	29,5	39,5	0,52
MJ2	Témoin	36,7			42,1	0,28
	Traité	34,8	9,6	25,2	37,1	0,63
Tous	Témoin	51,2			57,7	0,33
	Traité	50,0	17,9	32,1	46,1	0,73
<i>FE2</i>	<i>Témoin</i>	<i>47,3</i>			<i>60,8</i>	<i>0,67</i>
	<i>Traité</i>	<i>29,5</i>	<i>17,2</i>	<i>12,3</i>	<i>28,4</i>	<i>0,83</i>
<i>FE5</i>	<i>Témoin</i>	<i>63,5</i>			<i>50,5</i>	<i>-0,68</i>
	<i>Traité</i>	<i>45,5</i>	<i>16,3</i>	<i>29,1</i>	<i>30,0</i>	<i>0,05</i>
<i>FE6</i>	<i>Témoin</i>	<i>77,4</i>			<i>72,5</i>	<i>-0,25</i>
	<i>Traité</i>	<i>60,6</i>	<i>20,4</i>	<i>40,1</i>	<i>51,8</i>	<i>0,62</i>

Annexe 2. Volume de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) et accroissement annuel net (AAN) calculés avec la méthode ABCD-2015.

Tableau A2. Volume (avant la coupe [AVC], récolté [REC], après la coupe [APC]) et après 20 ans de bois d'œuvre feuillu de grande valeur (DF1F2) calculé selon la méthode ABCD-2015, accroissement annuel net observé (AAN) (valeur brute, valeur ajustée à la valeur moyenne de la covariable [21,0 m³·ha⁻¹ avant la coupe] pour chaque groupe de peuplements et chaque traitement; et erreur type [ET] de celle-ci), indicateur de la période de rotation requise pour reconstruire le volume prélevé, et biais absolu et relatif de l'AAN simulé avec le modèle de croissance Artémis-2014, par groupe de peuplements et par traitement. Les données présentées en italique sont celles des 3 groupes exclus des analyses statistiques en raison d'un faible échantillonnage; elles sont fournies à titre indicatif seulement. Pour l'AAN, les différences statistiquement significatives ($p < 0,05$) entre les groupes de peuplements sont indiquées par des lettres minuscules, et celles entre les traitements sont indiquées par des lettres majuscules.

Groupe de peuplements	Traitement*	Volume (m ³ ·ha ⁻¹)				AAN (m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)			Indicateur de période de rotation (années)	Biais Artémis	
		AVC	REC	APC	20 ans	Brut	Ajusté	ET		m ³ ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹	%
FE3 2a3a R07	Témoin	21,7			23,9	0,12				0,07	59
	Traité	21,4	7,5	13,9	19,5	0,30	0,21	0,09	b	0,15	49
FE3 3a R08	Témoin	20,4			21,8	0,08				-0,04	-56
	Traité	24,9	8,8	16,1	18,5	0,13	0,11	0,06	b	-0,04	-34
FE3 3b	Témoin	28,5			30,0	0,08				0,14	179
	Traité	33,0	15,5	17,5	23,7	0,33	0,26	0,06	b	0,24	71
FE3 3c	Témoin	26,4			26,6	0,01				-0,08	-887
	Traité	20,1	8,7	11,4	17,2	0,30	0,17	0,06	b	0,01	4
FE3 3d4fn	Témoin	15,5			30,0	0,74				0,43	58
	Traité	13,2	5,6	7,7	21,2	0,69	0,68	0,07	a	0,32	47
FE3 4bc	Témoin	22,4			24,0	0,09				-0,08	-94
	Traité	16,7	7,3	9,4	16,3	0,37	0,22	0,08	b	0,10	26
MJ1	Témoin	17,9			21,4	0,18				0,08	44
	Traité	20,5	8,3	12,2	17,3	0,26	0,21	0,07	b	0,17	66
MJ2	Témoin	15,1			19,0	0,20				0,12	61
	Traité	14,3	4,8	9,5	15,5	0,31	0,22	0,06	b	0,26	82
Tous	Témoin	21,1			24,7	0,18	0,19	0,03	B	0,08	43
	Traité	20,9	8,5	12,4	18,7	0,33	0,33	0,03	A	0,15	44
FE2	Témoin	18,0			29,4	0,59				0,43	72
	Traité	10,6	8,1	2,4	8,4	0,31				0,12	38
FE5	Témoin	22,0			15,3	-0,35				-0,56	157
	Traité	19,6	7,7	11,9	13,1	0,06				-0,24	-389
FE6	Témoin	39,5			44,0	0,25				-0,39	-155
	Traité	33,1	12,2	20,9	31,3	0,56				0,52	94

Le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF) a comme mandat de s'assurer de la gestion durable des forêts publiques québécoises. Il accorde une grande importance à l'acquisition et au transfert des connaissances nécessaires à l'aménagement durable des forêts. Il souhaite entre autres accroître les connaissances permettant de vérifier les hypothèses de rendement des forêts aménagées et des calculs de possibilités forestières. À cette fin, il conçoit et expérimente des traitements sylvicoles qui s'appuient sur l'autécologie des essences et qui s'inspirent de la dynamique naturelle des forêts de feuillus. Ces travaux servent notamment à définir les hypothèses de rendement pour déterminer la possibilité forestière ainsi que les modalités d'application des traitements sylvicoles. Selon ces objectifs, la Direction de la recherche forestière a un projet de mesure des effets réels des coupes de jardinage pratiquées dans des peuplements de structure inéquienne situés dans plusieurs régions du Québec méridional.

Ce mémoire de recherche forestière présente les résultats, par région, d'une analyse de l'accroissement des peuplements après 20 ans dans un dispositif de mesure des effets réels des coupes de jardinage, telles qu'elles étaient pratiquées par les industriels forestiers au cours des années 1995 à 1999 dans les forêts publiques du Québec. Les rendements obtenus sont comparés aux hypothèses du *Manuel d'aménagement forestier* en vigueur à l'époque, ainsi qu'aux résultats prévus par des modèles de croissance plus récents. Les rendements obtenus permettent de vérifier les hypothèses initiales concernant deux groupes de peuplements pour lesquels les prélèvements étaient les plus faibles et les accroissements annuels nets étaient les plus grands. Les modèles de croissance utilisés plus récemment ont des biais relativement faibles et tendent à sous-estimer plutôt qu'à surestimer les rendements. Les aménagistes forestiers ont donc en main les outils leur permettant de planifier adéquatement les rotations de coupe de jardinage et de coupe progressive irrégulière à couvert permanent dans les érablières et les bétulaies jaunes.