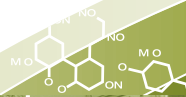


Rapport du Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF)



$$P'(t) = \frac{r}{k} P(t)(b - P(t))$$
$$V_{AE,ik} = \beta_1 d h p_{ik}^{\beta_2} H_{ik}^{\beta_3} + \varepsilon_{2,ik}$$



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

RAPPORT PRINCIPAL

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

**Rapport du Comité sur l'impact
des modalités opérationnelles des traitements
en forêt feuillue
(CIMOTFF)**

Présenté à
M. François Provost, ing.f., MBA
Directeur général
Direction générale du développement
et de la coordination des opérations régionales

Rapport principal

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
Mars 2014

**Comité sur l'impact
des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue
(CIMOTFF)**

Équipe d'analyse et de rédaction du rapport du CIMOTFF

MM. Pascal Gauthier, ing.f. MBA (06-13-DOI)
Jacques Gravel, ing.f. (DAEF)
François Guillemette, ing.f., M. Sc. (DRF)
François Labbé, ing.f., M. Sc. (BMMB)
Sébastien Meunier, ing.f., M. Sc. (07-DEX)
Jean-Pierre Saucier, ing.f., Dr. Sc. (DRF) (Responsable du Comité)
Nicolas Vachon, ing.f. (08-DOI)

Ont contribué aux travaux du CIMOTFF

Mme Éliane Tremblay Landry, écon. (BMMB)
Marie-Claude Lambert, stat., M. Sc. (DRF)

MM. Sébastien Lacroix, ing.f., M. Sc. (BMMB)¹
Daniel Pin, ing.f., M. Sc. (BFEC)¹
Paul Maxime Otye Moto (06-13-DOI)
Filip Havreljuk, ing.f., M. Sc.

Ont réalisé les simulations à l'aide de MÉRIS

MM. Jean-François Boileau, ing.f. (WSP, anciennement Genivar)
François Laliberté, ing.f., M.G.P. (WSP, anciennement Genivar)

Dactylographie et mise en page

Mme Nathalie Langlois, secr. (DRF)

Référence suggérée

Saucier, J.-P., F. Guillemette, P. Gauthier, J. Gravel, F. Labbé, S. Meunier, 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. et annexes.

¹ Messieurs Sébastien Lacroix et Daniel Pin sont membres du CIMOTFF et ont participé à quelques rencontres.

Résumé

La forêt feuillue et mélangée méridionale est depuis toujours une source de richesse pour la société. Cependant, des inquiétudes sur sa capacité à générer des bois de qualité dans les essences désirées en fonction des modalités des traitements sylvicoles qui y sont appliquées sont exprimées périodiquement. Des modalités de traitements, qualifiées de traitements alternatifs en forêt feuillue, ont été autorisées de façon temporaire depuis quelques années. Le ministère des Ressources naturelles (MRN) veut s'assurer que ces traitements n'ont pas d'impact indu sur la durabilité des forêts, le calcul de possibilité forestière, ainsi que les attributs de forêts jugés importants pour atteindre les objectifs de l'aménagement écosystémique. On veut notamment s'assurer qu'un prélèvement accru du capital forestier en croissance ne reproduise les effets de la coupe à diamètre limite qui, dans certains cas, a mené à une baisse de la qualité des bois.

Il est donc justifié de se poser certaines questions comme :

- Est-ce que la durabilité des forêts (en quantité, qualité et composition forestière) est assurée même si l'on augmente le prélèvement du capital forestier en croissance?
- Qu'est-ce que le diamètre de maturité pour un feuillu de valeur?
- Peut-on maintenir la valeur des récoltes à long terme?

Le MRN a mis sur pied le Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF) afin d'évaluer ces questions. Il existe une grande variété de possibilités, tant en termes d'état initial des peuplements et de modalités d'intervention qu'en termes d'effets sur diverses variables, qui auraient pu être analysées. En fonction des ressources disponibles et d'un mandat aux délais très courts, le CIMOTFF s'est doté d'un cadre conceptuel d'analyse et a formulé des hypothèses de travail. Il a choisi de se pencher sur quatre modalités, sélectionnées parmi celles qui ont été les plus appliquées au cours des deux dernières années et qui sont susceptibles d'avoir des effets importants sur les rendements à long terme en bois d'œuvre et la valeur de celui-ci.

Les modalités testées sont :

- Augmenter le prélèvement;
- Récolter davantage de gros arbres de qualité;

- Laisser sur pied des essences ou des arbres sans preneur;
- Implanter un réseau de sentiers de débardage plus important avec un espacement systématique.

Diamètres de maturité

Une première analyse a porté sur les différents diamètres de maturité (pathologique, technique et financière), selon différentes stations, pour le bouleau jaune et l'érable à sucre au Québec. Ces maturités sont calculées pour les arbres qui constituent le capital forestier en croissance (CFC), car les autres arbres ayant des défauts majeurs peuvent être directement considérés matures au sens pathologique. Cette analyse est basée sur des données de qualité et de survie des arbres observées sur une période atteignant 20 ans. Elle a permis de déterminer les diamètres de maturités technique, financière et pathologique pour l'érable à sucre et le bouleau jaune aménagés en coupe partielle sur une rotation de 20 ans, selon leur situation géographique. En moyenne, les diamètres de maturité financière pour la production de bois d'œuvre de qualité varient de 46 à 50 cm pour l'érable à sucre et pour le bouleau jaune. Ces résultats sont beaucoup plus près de ceux suggérés dans le nord-est des États-unis et tranchent avec le diamètre de maturité de 56 cm généralement utilisé dans les coupes de jardinage au Québec (qui était en fait un diamètre de maturité pathologique). Cette étude démontre clairement qu'au-delà du diamètre de maturité financière, les arbres laissés sur pied perdent de la valeur.

Les diamètres de maturité calculés à l'échelle de l'arbre ont pour utilité première d'aider les ingénieurs forestiers à mieux définir les peuplements qu'ils veulent produire, selon les objectifs du plan d'aménagement. Ces nouvelles connaissances s'intègrent à la démarche diagnostique conduisant à la prescription sylvicole, mais elles ne doivent pas être transformées en une modalité aveugle de diamètre maximum unique pour toutes les prescriptions sylvicoles. En effet, les analyses qui ont conduit à ces diamètres de maturité considéraient uniquement les produits de l'arbre, mais ne considéraient pas l'ensemble du peuplement et de la forêt, ni les coûts de récolte.

Effet des traitements réalisés selon diverses modalités

Le CIMOTFF a effectué, au moyen de simulations, des tests de l'effet des traitements réalisés selon diverses modalités, sur un échantillon de 991 placettes représentatives de 11 peuplements types de la forêt feuillue et mélangée où l'érable à sucre et le bouleau jaune font l'objet de sylviculture. Des traitements de coupe de jardinage (CJ), de coupes progressives irrégulières à couvert permanent (CPI_CP) et à régénération lente (CPI_RL), assorties de diverses modalités (de base, avec prélèvement accru, selon des diamètres de maturité de 50 cm et de 40 cm, avec ou sans récolte des essences sans preneur, et avec plus ou moins de sentiers aléatoirement distribués) ont été testés, pour un total de 131 simulations. Pour permettre de vérifier la durabilité des modalités, elles ont été simulées sur 3 rotations pour les CJ et les CPI_CP, et sur 2 rotations pour les CPI_RL.

Pour les CJ et les CPI_CP, les simulations indiquent que les récoltes faites selon plusieurs modalités sont durables et qu'elles peuvent être reproduites pour les 3 récoltes consécutives tout en maintenant, voire en améliorant, le peuplement final. Attribuer une priorité de récolte plus élevée aux arbres rendus au diamètre de maturité financière améliore le rendement du peuplement en déroulage et en sciage de haute valeur. On récolte ainsi des tiges qui ont des risques élevés de se dégrader puis de mourir avant la prochaine récolte, dont la contribution, en valeur, au rendement du peuplement futur est marginale. Par contre, leur récolte améliore sensiblement la rentabilité financière des opérations pour le scieur et pour l'État. Le CIMOTFF insiste sur la nécessité de conserver dans les peuplements suffisamment de tiges de qualité dans les perches et dans les arbres de 24 à 44 cm de diamètre, afin d'assurer que la valeur des récoltes soit maintenue dans le temps. Le CIMOTFF propose aussi des balises chiffrées pour contrôler le prélèvement du capital forestier en croissance et éviter que la qualité future du peuplement soit moindre. Pour les CPI_RL, plusieurs modalités donnent de bons résultats.

Par contre, dans tous les types de peuplements, les modalités pour lesquelles les essences sans preneur étaient laissées sur pied ont donné des résultats mitigés ou franchement néfastes à long terme.

Le CIMOTFF a aussi analysé l'effet des modalités sur la structure des peuplements, élément important pour l'aménagement écosystémique. On observe que plusieurs modalités n'influencent pas de manière importante la structure et la composition du peuplement final (GB et structure interne). Il serait donc possible de maintenir la structure interne des peuplements dans un intervalle acceptable sans affecter la production de bois d'œuvre de valeur. De plus, au cours des rotations, l'évolution des peuplements leur permet de retrouver une structure correspondant à des structures complexes comportant des tiges de grande dimension.

Diagnostic sylvicole et suivi

Le CIMOTFF a déterminé que l'intégration des connaissances développées par le comité dans le processus diagnostique et la validation des modalités retenues par le sylviculteur à l'aide des régressions envisagées permettent de produire des peuplements résiduels ayant des attributs garantissant d'obtenir les peuplements futurs souhaités. Au cours des travaux du CIMOTFF, les discussions ont constamment ramené à l'avant-plan la nécessité d'une rétroaction sur les décisions sylvicoles afin de développer une expertise régionale et d'adapter le choix des modalités lors de la prescription sylvicole. Cette rétroaction nécessite de disposer de suivis réalisés systématiquement et de façon structurée.

Dans l'optique où un traitement de coupe partielle tente de répondre à trois objectifs sylvicoles, soit la récolte, l'établissement de la régénération ainsi que l'éducation (amélioration) du peuplement, le comité réitère l'importance d'effectuer les contrôles et suivis suivants :

- un contrôle de conformité qui vise à vérifier le respect de la mise en œuvre technique de la prescription sylvicole;
- un suivi d'efficacité qui sert à évaluer si les moyens mis en place lors des interventions forestières ont permis d'atteindre les objectifs visés en termes de régénération et d'éducation du peuplement;
- des suivis de nature plus scientifique, servant à évaluer à long terme l'évolution des peuplements traités avec différentes modalités, à l'image de la mesure des effets réels, et pouvant servir de base à l'amélioration des modèles tactiques.

Conclusion

Le Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF) a mené des travaux ambitieux dont les résultats viennent changer certains paradigmes de la sylviculture des peuplements feuillus. Ces travaux démontrent que plusieurs modalités, y compris celles qui changent les priorités de récolte lors du martelage et certaines de celles où la récolte est légèrement accrue, permettent des opérations de récolte plus rentables sur plus d'une rotation, tout en respectant les exigences de maintien d'attributs de forêts complexes, à condition de respecter certaines balises qui ont fait l'objet de recommandations. Ces recommandations et balises sont livrées dans une optique de soutien au travail du sylviculteur qui doit utiliser l'ensemble des connaissances spécifiques à chaque peuplement pour établir son diagnostic et formuler la prescription propre à rencontrer les objectifs fixés pour celui-ci.

Recommandations

Recommandation 1

Le CIMOTFF recommande de modifier la façon dont est établie la matrice de répartition du volume des arbres sur pied par produits (par billes), car la matrice actuelle utilise une classe de bois d'œuvre (OP) qui a été observée à la suite du tronçonnage, et non pas lorsque l'arbre était sur pied. Il serait possible d'utiliser soit une matrice nécessitant seulement la classe MSCR, soit une matrice utilisant les classes MSCR et ABCD. Dans ce second cas, il serait possible de calibrer un modèle statistique pour convertir la classe de bois d'œuvre OP en classes de qualité ABCD. De plus, il faudra déterminer si la norme OP de référence est celle de 2006 ou de 2012. Ces options devront, selon nous, être étudiées par le comité sur les matrices de répartition par produits du BMMB, en consultation avec les régions.

Recommandation 2

Le CIMOTFF recommande de contrôler la présence des essences sans preneur à l'aide des régressions proposées, particulièrement dans le cas des arbres de priorité MO et SO dans les petits bois et les bois moyens (de 24 à 32 cm), afin d'éviter de modifier indûment la composition du peuplement, ce qui pourrait augmenter les problèmes d'approvisionnement dans l'avenir.

Recommandation 3

Le CIMOTFF recommande que les modalités visant soit à accroître la proportion de sentiers, soit à accroître le prélèvement de 10 % dans les CPI, ne soient envisagées que lorsque la quantité résiduelle d'essences feuillues désirées de 10 à 22 cm de dhp est suffisante pour soutenir la production future de CFC pour des dhp de 24 à 44 cm. Nous recommandons de valider cette quantité de tiges de 10 à 22 cm de dhp à l'aide de la régression proposée.

Recommandation 4

Le CIMOTFF recommande d'intégrer dans le diagnostic sylvicole la notion de diamètre de maturité financière ainsi que l'évaluation du CFC des arbres de 24 à 44 cm de dhp. De plus, il recommande l'évaluation de la quantité initiale et résiduelle d'arbres d'essences feuillues désirées de 10 à 22 cm de dhp afin de s'assurer qu'elle sera suffisante pour soutenir la production future de CFC de 24 à 44 cm de dhp. Une attention particulière devra être portée aux directives d'opérations et aux suivis afin de s'assurer que ces petites tiges seront bien protégées lors des opérations.

Recommandation 5

Le CIMOTFF recommande qu'un comité se penche sur les diamètres de maturité des essences peu longévives, comme le sapin, afin de les adapter régionalement et éventuellement guider les décisions des sylviculteurs réalisant les prescriptions sylvicoles.

Recommandation 6

Le CIMOTFF recommande de fixer dans les plans d'aménagement :

- 1) des cibles à l'échelle du paysage, relativement à la proportion du paysage désiré en types A et B et d'assurer, soit par la protection, soit par le choix des longueurs de rotation, que ce % est respecté; à cet effet, le fait que la structure interne s'améliore d'une rotation à l'autre devrait influencer les cibles tout comme le moment où l'on souhaite atteindre ces cibles;
- 2) des cibles à l'échelle du peuplement, par exemple sur la quantité et la qualité de gros et très gros arbres à maintenir;
- 3) de tester, par modélisation, la rentabilité des modalités proposées afin de les optimiser; à cet effet, les arbres défectueux ayant un potentiel faunique pourraient être mis à contribution.

Recommandation 7

Le CIMOTFF recommande que, lors de la planification et de la réalisation des interventions, la rentabilité financière soit évaluée à l'échelle du chantier d'opération ou d'une autre entité territoriale plus vaste à déterminer, afin d'éviter que les peuplements moins rentables, qui nécessitent une intervention sylvicole propre à en améliorer les conditions futures, ne soient systématiquement contournés.

Recommandation 8

Le CIMOTFF recommande aux sylviculteurs d'intégrer les connaissances qu'il a développées dans le processus diagnostique et de valider à l'aide des régressions proposées si les modalités envisagées permettent de produire des peuplements résiduels ayant les attributs garantissant d'obtenir les peuplements futurs souhaités. Advenant que le processus d'analyse ne mène pas à une solution acceptable, les sylviculteurs devraient revoir les modalités, la rotation, le traitement ou l'objectif en termes de peuplement futur.

Recommandation 9

Le CIMOTFF recommande que les sylviculteurs valident à l'aide de contrôles opérationnels et de suivis d'efficacité, l'atteinte des caractéristiques nécessaires pour assurer la pérennité des récoltes dans le temps.

Pour y arriver, le CIMOTFF recommande de mettre en place un comité chargé :

- 1) de définir les variables et surtout le degré d'intensité et de précision requis pour chaque type de suivi d'efficacité et de contrôle de conformité;
- 2) de définir un protocole de relecture des placettes de suivi de conformité, afin qu'elles puissent servir aux suivis scientifiques;
- 3) de calculer et de démontrer les coûts et avantages de tels suivis et contrôles.

Recommandation 10

Le CIMOTFF recommande qu'un bilan de l'application de ses recommandations soit fait dans deux ans, soit après deux saisons d'application.

Table des matières

	page
Résumé	v
Liste des annexes (dans un document séparé)	xiii
Liste des tableaux	xv
Liste des figures	xvii
Liste des abréviations	xix
Introduction	1
Mandat du « Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue » (CIMOTFF)	3
Chapitre premier – Démarche du comité et hypothèses de travail	5
1.1 Exposé de la problématique	5
1.1.1 Problématique	5
1.1.2 Inquiétudes face aux traitements alternatifs.	8
1.1.3 Liens avec les autres initiatives du MRN	8
1.1.4 Actions du comité	9
1.2 Cadre conceptuel et hypothèses de travail	10
1.3 Impacts analysés	13
1.4 Enjeux écosystémiques en forêt feuillue	14
Chapitre deux – Diamètres de maturité	19
2.1 Différences entre les types de maturité	20
2.2 Matériel et méthode	21
2.3 Synthèse des résultats	23
2.4 Discussion	26
2.5 Conclusion	29
Chapitre trois – Test de l'effet des traitements réalisés selon diverses modalités	31
3.1 Matériel et méthodes	31

	page
3.1.1 Choix des peuplements à simuler	31
3.1.2 Description dendrométrique des peuplements initiaux	36
3.1.3 Choix des modalités à simuler	36
3.1.4 Simulation des traitements dans MÉRIS	40
3.1.5 Fonctionnement du logiciel MÉRIS	42
3.1.6 Simulation dans SaMARE de l'évolution des peuplements traités	44
3.1.7 Potentiel de bois d'œuvre et matrice de répartition par produits	45
3.1.8 Analyses des résultats de simulations	47
3.2 Résultats des simulations	48
3.2.1 Récolte	48
3.2.2 Rendement.....	55
3.2.3 Durabilité	58
3.2.4 Outils de contrôle du prélèvement	65
Chapitre quatre – Discussion sur l'effet des modalités des traitements et les balises	71
4.1 L'effet de ne pas récolter les essences sans preneur	71
4.2 L'effet d'accroître la proportion de sentiers	73
4.3 L'effet d'accroître de 10 % le prélèvement dans les CPI.....	74
4.4 L'effet d'augmenter la récolte d'arbres à partir d'un diamètre de maturité financière à 40 ou à 50 cm	75
4.5 Effet sur le rendement en bois d'oeuvre.....	77
4.6 Effet sur la structure et la surface terrière	78
4.7 Considérations générales sur les modalités étudiées	80
Chapitre cinq – Processus diagnostique, prescriptions et suivis	83
5.1 Le cheminement diagnostique.....	83
5.2 Suivis et contrôles.....	88
5.2.1 Contrôle de conformité.....	88
5.2.2 Suivis d'efficacité.....	89
5.2.3 Suivis scientifiques.....	91
Conclusion	93
Références bibliographiques.....	95

Liste des annexes (présentées dans un document séparé)

Annexe 1. Description dendrométrique de chaque peuplement initial	A-1
Annexe 2. Détail des 131 combinaisons de modalités, traitements et groupes de peuplements retenus.....	A-3
Annexe 3. Paramètres des traitements et modalités.....	A-7
Annexe 4. Description du simulateur SaMARE, tel qu'appelé par MÉRIS.....	A-59
Annexe 5. Détail des résultats par peuplement, par traitement et par modalité.....	A-63

Liste des tableaux

	page
Tableau 1.1 Exemple d'attributs structuraux des catégories de vieux peuplements pour l'érablière à bouleau jaune (FE3) dans les domaines de l'érablière à bouleau jaune ou à tilleul	16
Tableau 2.1. Définitions des diamètres à maturité et association à des exemples d'objectif de production	21
Tableau 2.2. Diamètres (cm) de maturités technique, financière et pathologique pour l'érable à sucre et le bouleau jaune aménagé en coupe partielle sur une rotation de 20 ans, selon la situation géographique.	25
Tableau 3.1. Critères de définition des type de couvert	32
Tableau 3.2. Critères de définition de la composition en essences.....	33
Tableau 3.3. Essences désirables selon le type de couvert.....	34
Tableau 3.4. Critères de définition des stades évolutifs	34
Tableau 3.5. Liste des peuplements sélectionnés pour l'analyse.....	35
Tableau 3.6. Statistiques dendrométriques des peuplements initiaux.....	36
Tableau 3.7. Traitements plausibles retenus pour chaque groupe de peuplements.....	37
Tableau 3.8. Combinaisons des modalités testées.	38
Tableau 3.9. Nombre de simulations effectuées par combinaison de traitement et de modalité.	40
Tableau 3.10. Volume moyen à l'hectare des 3 récoltes en produits de déroulage, F1 et F2 pour les CJ et les CPI_CP (m ³ /ha).....	49
Tableau 3.11. Taux moyen de protection du CFC des 3 récoltes.	50
Tableau 3.12. Volume moyen à l'hectare des 2 récoltes en produit de déroulage, F1 et F2 pour les CPI_RL (m ³ /ha)	50
Tableau 3.13. Valeur de récolte moyenne globale à l'hectare des 3 récoltes pour les CJ et CPI_CP (\$/ha).....	51
Tableau 3.14. Valeur de récolte moyenne globale à l'hectare des 2 récoltes pour les CPI_RL (\$/ha).....	51
Tableau 3.15. Rentabilité financière moyenne des 3 récoltes du point de vue de l'État dans les CJ et les CPI_CP (\$/ha)	52
Tableau 3.16. Rentabilité financière moyenne des 3 récoltes du point de vue de l'État pour les peuplements 1, 2, 3 et 5	53

	page
Tableau 3.17. Rentabilité financière moyenne des 2 récoltes du point de vue de l'État pour les CPI_RL (\$/ha)	53
Tableau 3.18. Rentabilité financière moyenne des 3 récoltes pour le bénéficiaire (scieur) dans les CJ et les CPI_CP (\$/ha).....	54
Tableau 3.19. Rentabilité financière moyenne des 2 récoltes pour le bénéficiaire (scieur) dans les CPI_RL (\$/ha).	55
Tableau 3.20. Rendement annuel moyen en volume de déroulage, F1 et F2 de feuillus durs ($\text{m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$) pour les CJ et CPI_CP.....	56
Tableau 3.21. Rendement annuel moyen en produit de déroulage, F1 et F2 de feuillus durs ($\text{m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$) dans les CPI_RL.....	57
Tableau 3.22. Rendement annuel moyen en surface terrière totale ($\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{an})$) pour les CJ et CPI_CP.....	57
Tableau 3.23. Rendement annuel moyen en surface terrière totale ($\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{an})$) dans les CPI_RL.....	58
Tableau 3.24. Écart du volume de déroulage et de sciage F1 et F2 entre l'état final après la 2 ^e rotation et l'état initial en début de la 1 ^{re} rotation dans les CJ et les CPI_CP (m^3/ha).....	59
Tableau 3.25. Écart du volume de déroulage et de sciage F1 et F2 entre l'état final et l'état initial de la première rotation dans les CPI_RL (m^3/ha).	59
Tableau 3.26. Écart du volume de pâte de feuillus durs entre l'état final après la 2 ^e rotation et l'état initial en début de la première rotation dans les CJ et les CPI_CP (m^3/ha).....	60
Tableau 3.27. Écart du volume de pâte de feuillus durs entre l'état final et l'état initial de la 1 ^{re} rotation dans les CPI_RL (m^3/ha).....	61
Tableau 3.28. Sommation de la durée des 2 rotations (années). Les valeurs présentées entre parenthèses indiquent la tendance de la durée entre la première et la seconde rotation.	62
Tableau 3.29. Écart entre le volume de déroulage et sciage F1 et F2 récolté entre la 3 ^e et la 1 ^{re} récolte dans les CJ et les CPI_CP (m^3/ha).....	62
Tableau 3.30. Écart de la quantité de gros bois de feuillus durs entre l'état final à la fin de la 2 ^e rotation et l'état initial au début de la 1 ^{re} rotation (m^2/ha , dhp de 40 cm et plus).....	63

Liste des figures

	Page
Figure 1.1. Catégorie de peuplement selon la quantité de gros bois et de surface totale en fonction de la structure d'âges, végétations potentielles FE3 et RT1 (tiré de Jetté <i>et al.</i> 2013b).....	15
Figure 1.2. Synthèse des options sylvicoles à prendre en considération dans un plan de restauration des attributs de structure des peuplements feuillus, végétations potentielles FE3 et RT1.....	17
Figure 2.1. Probabilité de mortalité de l'érable à sucre (a) et du bouleau jaune (b) sur une période de 20 ans selon la situation géographique. Les lettres différentes sur les graphiques indiquent des différences significatives.	23
Figure 2.2. Observations de changement du volume net de bois d'œuvre de haute qualité (F1 et F2) sur une période de 20 ans chez l'érable à sucre dans la région écologique 3b. Les modèles d'accroissement des arbres survivants et des pertes par mortalité sont représentés dans la partie a), tandis que la somme de ces 2 modèles est représentée en valeur relative au volume initial dans la partie b).	24
Figure 2.3 Exemples de changements du volume net de bois d'œuvre sur des périodes de 10, 15 et 20 ans pour l'érable à sucre dans la région écologique 3b (a) et le bouleau jaune dans la sapinière à bouleau jaune de l'ouest (b).....	26
Figure 3.1. Évolutions moyennes des paramètres de structure interne des peuplements de feuillus tolérants traités par CJ sur trois rotations, selon les principaux groupes de modalités.	64
Figure 3.2. Évolutions moyennes des paramètres de structure interne des peuplements de feuillus tolérants traités par CPI_CP sur trois rotations, selon les principaux groupes de modalités.	65
Figure 3.3. Évolutions moyennes des paramètres de structure interne des peuplements mixtes à dominance de feuillus tolérants traités par CPI_CP sur trois rotations, selon les principaux groupes de modalités.....	66
Figure 3.4. Relations entre le volume de bois d'œuvre feuillu de haute valeur prédit à la prochaine rotation et la surface terrière résiduelle de CFC des essences feuillues et d'un dhp de 24 à 44 cm, selon la durée de la rotation.	67
Figure 3.5. Relations entre la surface terrière prédite à la prochaine rotation de CFC d'essences feuillues de dhp de 24 à 44 cm (G_CFC_24_44) et la surface terrière résiduelle des perches d'essences feuillues désirées (G_fd_10_22), selon la durée de la rotation.....	68

	Page
Figure 3.6. Relations entre l'accroissement en volume de pâte de feuillus durs d'un dhp de 34 cm et plus en cours de rotation (acc_vol_pâte34_) et la surface terrière résiduelle des essences feuillues non désirées (fnd) à bois dur, de priorité MO et SO et d'un dhp de 46 cm et plus (a) ou d'un dhp de 24 à 32 cm (b).....	70
Figure 4.1. Éléments nouveaux à intégrer au cheminement diagnostic.....	87

Liste des abréviations

Abréviation	Description
ABCD	Classement de la qualité de la bille de pied des arbres :
A	A : La plus haute qualité, associée à une bille de qualité F1
B	B : La 2 ^e plus haute qualité, associée à une bille de qualité F2
C	C : La qualité minimale pour le sciage conventionnel, associée à une bille de qualité F3 (palette)
D	D : Qualité trop faible pour le sciage conventionnel
AIPL	Aire d'intensification de la production ligneuse
ANOVA	Analyse de variance
ARTEMIS	Modèle de croissance basé sur une approche par tige individuelle pour les forêts du Québec
ASEF	Analyse sylvicole et forestières (outil d'analyse sylvicole et économique)
BFEC	Bureau du forestier en chef
BJER	Bétulaie jaune à érable à sucre
BJFT	Bétulaie jaune à feuillus tolérants
BJ+R, BJ-R	Bétulaie jaune à résineux
BM	Bois moyen (dhp de 30 à 38 cm)
BMMB	Bureau de mise en marché des bois
BOG	Bouleau gris
BOJ	Bouleau jaune
BOP	Bouleau à papier
CET	Cerisier tardif
CFC	Capital forestier en croissance
CHR	Chêne rouge
CHB	Chêne blanc
CIMOTFF	Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue
CJ	Coupe de jardinage
Classes de billes	
F1	F1 : Bille de sciage de la plus haute qualité : au moins 3,1 m de long et au moins 33 cm de diamètre au fin bout sous écorce
F2	F2 : Bille de sciage de haute qualité : au moins 2,4 m de long et au moins 28 cm de diamètre au fin bout sous écorce
F3	F3 : Bille de sciage de faible qualité (palette) : au moins 2,4 m de long et au moins 20 cm de diamètre au fin bout sous écorce
F4	F4 : Billon (sciage non conventionnel)
Dér.	Bille de déroulage
CPF	Calcul de possibilité forestière

Abréviation	Description
CPI	Coupe progressive irrégulière
CPI_CP	Coupe progressive irrégulière à couvert permanent
CPI_RL	Coupe progressive irrégulière à régénération lente
CPJ	Coupe progressive irrégulière coupe de préjardinage
CPRS	Coupe avec protection de la régénération et des sols
DICA	Données d'inventaire compilées et analysées (outil d'analyse servant d'aide à la prescription sylvicole, développé par la DAEF)
DérF1F2	Sommation des billes de déroulage et des billes de sciage de haute qualité, soit F1 et F2
dhp	Diamètre à hauteur de poitrine
Diamf	Diamètre de maturité financière
DOR	Diamètre optimal de récolte
DU	Duchesnay
EPB	Épinette blanche
EPN	Épinette noire
EPR	Épinette rouge
ERBJ	Érablière à bouleau jaune
ERFT	Érablière à feuillus tolérants à l'ombre
ERR	Érable rouge
ERS	Érable à sucre
FRA	Frêne d'Amérique
FRN	Frêne noir
FRP	Frêne de Pennsylvanie
FT	Feuillus tolérants à l'ombre
FTBJ	Feuillus tolérants à l'ombre dominés par le bouleau jaune
FTER	Feuillus tolérants à l'ombre dominés par l'érable à sucre
FTR	Mélangé à dominance de feuillus tolérants
FXR	Mélangé à dominance de feuillus
G	Surface terrière (m ² /ha)
HEG	Hêtre à grandes feuilles
IR	Structure irrégulière
MÉRIS	Modèle d'évaluation de la rentabilité des interventions sylvicoles
MSCR	Classement de la priorité de récolte des arbres :
M	M : Arbres qui risquent de mourir
S	S : Arbres qui risquent de se dégrader, mais qui vont survivre
C	C : Arbres en croissance
R	R : Arbres en réserve
NOC	Noyer cendré
OP	Système de classement de la qualité des arbres pour le bois d'œuvre :
O	O : Présence d'une bille potentielle de bois d'œuvre
P	P : Absence d'une bille potentielle de bois d'œuvre (pâte)
PE	Placette-échantillonnage
PEB	Peuplier baumier
PED	Peuplier deltoïde
PEG	Peuplier à grandes dents
PEH	Peuplier hybride
PET	Peuplier faux-tremble
PIB	Pin blanc
PRU	Pruche de l'est
SAB	Sapin baumier

Abréviation	Description
SADF	Stratégie d'aménagement durable des forêts
SaMARE	Simulateur de la mortalité, de l'accroissement et du recrutement dans les Érablières
SV	Sainte-Véronique
TBE	Tordeuse des bourgeons de l'épinette
THO	Thuya de l'Est
TIL	Tilleul d'Amérique
Triangle des structures PB MB GB	PB : Petit bois (dhp de 24 à 28 cm) MB : Moyen bois (dhp de 30 à 38 cm) GB : Gros bois (dhp de 40 cm et plus)
UAF	Unité d'aménagement forestier
UE	Unité d'échantillonnage
Vigueur 1 2 3 4	Classement de la vigueur et de la qualité des arbres : 1 : Arbre feuillu vigoureux, n'ayant pas de défaut majeur, et ayant le potentiel de détenir une bille de bois d'œuvre 2 : Tige n'ayant aucun potentiel pour produire du bois d'œuvre 3 : Tige possédant une bille de bois d'œuvre 4 : Tige sans bois d'œuvre

Introduction

Le ministère des Ressources naturelles (MRN) gère la forêt québécoise en suivant les principes de l'aménagement durable des forêts. En forêt feuillue, plusieurs aménagistes ont émis des inquiétudes quant à la durabilité de certaines modalités de récolte qui ont été permises sur une base temporaire, afin d'améliorer la rentabilité des opérations dans un contexte où le prix du bois était particulièrement bas et, ainsi, favoriser la survie des entreprises en période de crise forestière. On craignait que des pratiques qui permettent de récolter plus de bois de qualité lors des interventions n'entraînent une dégradation de la qualité de la forêt dans le futur, et ne puissent pas par conséquent rencontrer les exigences de l'aménagement durable des forêts.

Afin d'étudier les effets de ces pratiques, souvent qualifiées d'« alternatives », un comité a été mis en place. Il regroupe des spécialistes de la sylviculture des feuillus, du secteur de la recherche et des praticiens en région, ainsi que des spécialistes du calcul de possibilité forestière et de l'analyse économique de la forêt. Il a été baptisé Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue ou CIMOTFF.

En tenant compte des échéanciers serrés qui lui étaient impartis, le CIMOTFF a analysé divers aspects de la sylviculture des forêts feuillues et mélangées tempérées, sous l'angle de la rentabilité des opérations de récolte sur plusieurs rotations et de la durabilité des modalités (maintien ou accroissement de la qualité, de la rentabilité et des caractéristiques de forêt complexe). Ces travaux, de même que l'analyse des résultats de simulations dans des conditions variées, ont mené le CIMOTFF à émettre des recommandations relatives aux éléments à considérer dans les directives de martelage, et à proposer des balises permettant de garantir l'atteinte des objectifs de l'aménagement durable des forêts et le maintien de certains attributs de vieilles forêts pour satisfaire aux exigences de l'aménagement écosystémique.

Mandat du Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF)

Contexte

Depuis quelques années, des traitements alternatifs ont été mis en place pour soutenir les scieurs de feuillus qui, pour plusieurs raisons, éprouvent des difficultés à atteindre la rentabilité financière et économique des opérations pour les industriels et les entrepreneurs forestiers. Essentiellement, il s'agit de modalités de traitements en forêt feuillue qui permettent davantage de prélèvement et ciblent des essences ou des produits privilégiés par l'industrie.

Ces modalités de traitements ont toujours été autorisées de façon temporaire. Néanmoins, la situation perdure et le MRN veut s'assurer que les traitements n'ont pas d'impact indu sur le calcul de possibilité forestière, la durabilité des forêts, etc. Au même moment, de plus en plus d'initiatives de recherche, notamment dans le cadre du Chantier sur la forêt feuillue, remettent en question certains paradigmes d'aménagement en forêt feuillue.

Mandat

Analyser les impacts des modalités opérationnelles des traitements appliqués en forêt feuillue, particulièrement dans les régions de l'Outaouais, des Laurentides et du Témiscamingue, dans la ou les dernières années, sur :

- la production à long terme de bois d'œuvre en quantité et en valeur (disponibilité forestière en bois d'œuvre);
- la mise en œuvre de la SADF et les objectifs d'aménagement écosystémique;

- tout autre aspect qui découle des modalités sylvicoles opérationnelles consenties (exemple : analyse de la chaîne des travaux sylvicoles et des coûts associés).

Objectifs

- Évaluer les impacts sylvicoles qui résultent de l'application de tels traitements.
- Proposer les ajustements requis pour équilibrer la rentabilité des travaux et les volumes durables pouvant être alloués aux industriels.

Livrables

- Résultats des analyses citées dans le mandat.
- Proposition de balises claires aux modalités opérationnelles des traitements pouvant s'appliquer en forêts feuillues, incluant la démarche diagnostique ainsi que le suivi et le contrôle de ces interventions.

Échéancier

- De septembre 2013 à février 2014.

Chapitre premier

Démarche du comité et hypothèses de travail

1.1 Exposé de la problématique

1.1.1 Problématique

La forêt feuillue et mélangée méridionale est depuis toujours une source de richesse pour la société. Cependant, des inquiétudes sur sa capacité à générer des bois de qualité dans les essences désirées en fonction des modalités des traitements sylvicoles qui y sont appliquées sont exprimées périodiquement. De telles inquiétudes ont mené, dans les années 1990, à remplacer la coupe à diamètre limite par la coupe de jardinage, ainsi qu'à mettre en application des modalités de sélection des arbres à récolter pour améliorer la qualité des peuplements.

La situation économique qui affecte l'industrie forestière feuillue depuis 2005 a mis en évidence la difficulté à aménager cette forêt dans des conditions de marché où le prix du bois est moins élevé que par le passé. Le MRN, ayant pris conscience de cela, a lancé en 2013 un vaste Chantier sur la forêt feuillue dont les objectifs² sont résumés ainsi :

- Contribuer à la rentabilité des usines de transformation, mais dans un juste équilibre entre le respect de la capacité de production des forêts, du cadre budgétaire du MRN et du rôle des entreprises à créer un espace de rentabilité de leurs opérations (récolte, transformation, mise en marché, etc.).
- Aménager les forêts, mais aussi, maximiser le volume récolté et livré aux usines de transformation et les bénéfices économiques des investissements de l'État dans les milieux régionaux.

² Ces objectifs ont été tirés de la version de décembre 2013 des fiches du Chantier sur la forêt feuillue.

En réaction aux difficultés vécues par l'industrie s'approvisionnant en forêt feuillue et mélangée méridionale, les directions régionales ont fait des ajustements aux prescriptions sylvicoles, souvent appelés « traitements alternatifs ». Cela se traduit différemment selon les régions en raison de la structure industrielle de chacune d'elles.

Exemples de modalités utilisées dans la région 06

Lors de l'année financière 2012-13, l'enveloppe budgétaire associée aux crédits sylvicoles pour les coupes partielles a été considérablement réduite, de sorte que les montants alloués pour les coupes jardinatoires avec assainissement sont passés de 700 \$/ha à près de 400 \$/ha. Cette compression a inévitablement eu des répercussions sur les modalités de récolte pour maintenir le coût d'approvisionnement. En effet, les prescriptions ont été ajustées afin d'augmenter le prélèvement total, d'augmenter la récolte de tiges de qualité de fort diamètre et d'implanter un réseau systématique de sentiers. Cela a mené à une certaine préoccupation en termes de durabilité : « Est-ce que le peuplement résiduel va générer une valeur adéquate dans le futur? »

Pour répondre à ces préoccupations, la Commission des Ressources naturelles et du Territoire des Laurentides a mandaté Génivar Inc. pour évaluer les effets de ces modalités de récolte sur la rentabilité financière et économique, ainsi que sur la production de bois d'œuvre de qualité (Génivar Inc. 2013). Cette étude comparative laissait entrevoir, pour les secteurs étudiés, « ...une meilleure rentabilité financière à court et à moyen termes ainsi qu'une meilleure rentabilité économique à long terme ». On y notait également « une augmentation de la récolte de bois d'œuvre de qualité » et on mentionnait « que les résultats obtenus laissent entrevoir des pistes prometteuses à explorer ». On suggérait toutefois « qu'une analyse plus approfondie des résultats de simulations et le recours à d'autres modèles de croissance permettraient d'apporter un meilleur éclairage. »

La réalité vécue dans la région 06 est que l'on permet, par des modalités particulières, la récolte de gros bois (GB) de priorité C (à conserver) et R (en réserve), ce que l'on ne permettait pas auparavant. Cela mène à formuler la question : « Est-ce que le peuplement résiduel va générer une valeur adéquate dans le futur? »

Exemples de modalités utilisées dans la région 07

Dans la région 07, les lignes directrices utilisées lors des saisons 2010, 2011 ainsi que pour 2013 ont été à l'effet qu'environ 5 % de prélèvement de plus a été autorisé dans les CJ et CPJ. La surface terrière initiale cible était alors de 24 m²/ha, et le taux de prélèvement, de 30 à 35 %. Cependant, selon la distance à faire sur route de gravier, le CFC à préserver a été fixé à 90 % après martelage, avec une baisse acceptée supplémentaire de 5 à 7 % pour tenir compte des opérations. Pour 2013, la baisse autorisée a été de 7 % si la distance dépassait 40 km.

Pour 2013, les directives de martelage ont été testées avec ASEF pour assurer la rentabilité sur l'ensemble des chantiers des industriels. La CPI_CP a été favorisée quand la régénération était déjà établie.

Dans la région 07, la notion de « Bassin de bois opérationnel » est étudiée, et les AIPL sont en analyse (pour décembre 2013). En conclusion, dans la région 07, il y a eu des concessions aux industriels, mais sur des surfaces réduites et sans dépasser globalement la possibilité. Le constat est qu'il s'agit d'un problème de fond et qu'il faut le régler pour éviter d'entamer le capital de croissance et de qualité.

Exemples de modalités utilisées dans la région 08

Dans la portion de la région 08 que représente le Témiscamingue, la situation est différente, car en ce moment le marché du feuillu est essentiellement un marché pour le bois à pâte. Il n'y a donc pas de scieurs qui mettent de la pression pour récolter plus de qualité. Pour diminuer le coût de récolte et rester compétitif, diverses modifications aux façons de planifier ont été faites, par exemple :

- L'implantation de la notion de « Bassin de bois opérationnel » avec un ajustement des longueurs de rotations pour les rendre synchrones. Ce concept de bassin de bois a été développé de façon à concentrer les chantiers de coupe et diminuer le coût des infrastructures routières pour augmenter le nombre de m³ récolté par km de chemin;
- La non-récolte du sapin sans preneur a été permise;
- Il y a eu mécanisation des coupes et davantage de traitements par CPI;
- Les chantiers d'hiver ont été planifiés plus près de l'usine;
- Aussi des logigrammes de décision ont été développés pour la réalisation des prescriptions sylvicoles.

Cette recherche de solutions se poursuit, par exemple, en testant la CPI_CP sans martelage pour réduire les coûts de cette dernière opération. Parmi les directives problématiques, celle qui dit que le SAB d'un

dhp<18 cm peut être laissé sur place inquiète, surtout si la TBE arrive. La grande problématique de Tembec afin de rentabiliser ses opérations est qu'elle n'a pas de preneur pour le sciage et déroulage pour le feuillu et le pin.

1.1.2 Inquiétudes face aux traitements alternatifs

Les modalités qualifiées de traitements alternatifs en forêt feuillue ont toujours été autorisées de façon temporaire. Néanmoins, la situation perdure, et le MRN veut s'assurer que ces modalités n'ont pas d'impact indu sur la durabilité des forêts feuillues, le calcul de possibilité forestière, ainsi que les attributs de forêts jugés importants pour atteindre les objectifs de l'aménagement écosystémique. Il y a notamment la crainte qu'un prélèvement accru du capital forestier en croissance ne reproduise les effets de la coupe à diamètre limite qui, dans certains cas, a mené à une baisse de la qualité des bois.

Il est donc justifié de se poser certaines questions comme :

- Est-ce que la durabilité des forêts (quantité, qualité et composition) est assurée même si l'on augmente le prélèvement du capital forestier en croissance?
- Qu'est-ce que le diamètre de maturité pour un feuillu de valeur?
- Peut-on maintenir la valeur des récoltes à long terme?

1.1.3 Liens avec les autres initiatives du MRN

Le CIMOTFF a amorcé ses travaux par une revue des initiatives en cours au MRN relativement à la forêt feuillue dont le Chantier sur la forêt feuillue, les cibles d'aménagement écosystémique, la Stratégie d'aménagement durable des forêts et la Stratégie de production de bois, toutes deux en élaboration.

Le CIMOTFF a considéré certaines des problématiques exposées dans les travaux du Chantier sur la forêt feuillue³, notamment :

- La stabilité de l'approvisionnement et la compétitivité des coûts
La baisse de la qualité des bois en forêt, combinée à la baisse de la valeur de la fibre sur les marchés et le resserrement des normes de martelage liées à la récolte en forêt feuillue, a réduit considérablement la qualité des bois livrés aux usines québécoises. La rentabilité en est parfois affectée.

³ Ces problématiques ont été tirées de la version de décembre 2013 des fiches du Chantier sur la forêt feuillue.

- Atteinte des objectifs de croissance

Les résultats des effets réels décennaux des coupes de jardinage, pratiquées de 1995 à 1999, montrent des différences régionales importantes. Les érablières de l'est (régions écologiques 4f, 4g et 4h) montrent un accroissement net significativement supérieur ($0,43 \text{ m}^2/(\text{ha}\cdot\text{an})$) à celui observé dans les bétulaies jaunes résineuses et les érablières de l'ouest (régions écologiques 3b et 3c) (de $0,17$ à $0,24 \text{ m}^2/(\text{ha}\cdot\text{an})$).

- Rendement des forêts en bois de qualité et évolution dans le temps de la qualité des bois

La mise à jour de nouvelles connaissances démontre que l'augmentation de valeur espérée des tiges de bois d'œuvre appartenant à la classe des très gros bois est parfois marginale. De plus, comme il n'y a pas d'évolution de la qualité dans le modèle ARTÉMIS, il n'y en a pas dans les CPF de 2013-2018. La qualité a été estimée par des matrices de répartition par produits dont ont convenu conjointement le Bureau du forestier en chef (BFEC), le Bureau de mise en marché des bois (BMMB) et la Direction de la gestion des stocks ligneux (DGSL) pour caractériser les volumes récoltés. Des demandes ont été faites pour introduire dans le modèle ARTÉMIS l'évolution de la qualité, et la DRF y travaille pour les prochains CPF.

- Rentabilité économique et financière des coupes partielles

Par le passé, la décision sylvicole a été axée vers la production de volume de bois (m^3/ha), contrôlée par la surface terrière (m^2/ha). Aujourd'hui, la décision sylvicole doit aussi comporter une notion d'investissement et doit tenir compte de la rentabilité économique et financière. Les coupes partielles font partie des stratégies d'aménagement, et la demande pour les coupes partielles est en croissance (aménagement écosystémique, pressions sociales, etc.). Le CIMOTFF est conscient que, selon l'état de la forêt et les priorités de récoltes retenues, la rentabilité n'est pas toujours au rendez-vous.

- Défis de gestion

Les coupes partielles en forêt feuillue génèrent plusieurs produits, dont une bonne proportion en bois de trituration. Cette proportion varie selon le procédé de tronçonnage retenu et la capacité de l'industriel à transformer des billons. La faible valeur des bois de trituration affecte la rentabilité financière des opérations lorsque le marché de la pâte de feuillus est difficilement accessible en raison des grandes distances de transport. Les garanties d'approvisionnement doivent cependant être honorées, peu importe la valeur de la fibre sur les marchés.

1.1.4 Actions du comité

Le CIMOTFF a très tôt convenu qu'il lui fallait baser ses décisions et propositions sur des données scientifiques et s'est doté d'un plan de travail pour y arriver. Compte tenu cependant de la durée limitée du

mandat, il a été décidé que les aspects ne pouvant pas être appuyés par des données traitées en profondeur feraient l'objet d'avis d'experts par les divers membres du CIMOTFF.

Dans le plan de travail, les actions suivantes ont été réparties entre les membres :

- Appropriation de l'avancement des connaissances pertinentes depuis les cinq dernières années par des présentations effectuées par les membres au sujet de leurs travaux récents et des initiatives en cours.
- Analyse du concept de diamètre de maturité ou de diamètre optimal de récolte [chapitre 2].
- Modélisation sur trois rotations d'une gamme étendue de modalités de traitements sylvicoles (jardinage, coupes progressives irrégulières à couvert permanent et coupes progressives irrégulières à régénération lente) afin d'en étudier les effets sur des paramètres clés de la décision sylvicole (certaines de ces modalités reproduisant des « traitements alternatifs » pratiqués et d'autres allant plus loin encore).
- Analyse des résultats des simulations sous l'angle de la durabilité de l'aménagement forestier, de la rentabilité des opérations et du respect des objectifs d'aménagement écosystémique [chapitre 3].
- Formuler des recommandations sur les modalités des traitements et leurs effets, identifier des balises pour ces modalités et évaluer les risques opérationnels que celles-ci représentent [chapitre 4].
- Évaluer le besoin quant aux suivis après intervention et recommander une séquence pour ceux-ci.
- Récupérer les enjeux relatifs à l'aménagement écosystémique et formuler des recommandations sur les éléments clés à considérer lors des coupes partielles en forêt feuillue ou mélangée méridionale.
- Intégrer, si possible, les résultats attendus pour février 2014 d'une étude en cours dans l'UG 64-51 par le BFEC portant sur l'impact de certaines modalités de traitement.

1.2 Cadre conceptuel et hypothèses de travail

Il existe une infinité de possibilités qui auraient pu être analysées, tant en termes d'état initial des peuplements et de modalités d'intervention, qu'en termes d'effets sur diverses variables. Selon les ressources disponibles, le CIMOTFF a choisi de se pencher sur quatre modalités, sélectionnées parmi celles qui ont été les plus appliquées au cours des deux dernières années et qui sont susceptibles d'avoir des effets importants sur les rendements à long terme en bois d'œuvre et la valeur de ceux-ci.

Il n'était pas toujours possible d'isoler les effets d'une seule modalité, car souvent elle affecte aussi d'autres variables. Par exemple, l'effet du taux de protection du CFC a été testé de façon indirecte, mais avec plusieurs modalités différentes, tel qu'il est décrit plus bas.

De plus, le comité a convenu que les effets des modalités sur l'évolution d'un peuplement sont difficiles à isoler, car ils sont dépendants de l'état initial du peuplement. C'est principalement le peuplement résiduel qui détermine son évolution. Le temps et les ressources disponibles n'ont pas permis d'évaluer les impacts des modalités sur la possibilité forestière. Cependant, cette question est abordée par un autre projet du Chantier sur la forêt feuillue en collaboration avec la région 06, le BMMB et le BFEC.

Le comité a testé les modalités suivantes :

Augmenter le prélèvement

L'augmentation du taux de prélèvement permet d'amortir les coûts fixes de l'intervention sur un plus grand volume. Dans un traitement avec martelage, cette modalité permet généralement de récolter des arbres dont la priorité de récolte est plus faible. De cette façon, il est possible de récolter des arbres moins défectueux et de plus grande valeur pour améliorer le panier moyen des produits récoltés.

L'évolution à long terme du peuplement est affectée, car plus le prélèvement est élevé, moins il y aura de volume dans le peuplement résiduel. Par conséquent, la période de rotation est allongée afin de permettre au peuplement de retrouver les attributs souhaités avant de faire une nouvelle coupe (volume, surface terrière et diamètre cibles). Ainsi, si la rotation s'allonge trop après ce traitement, la productivité ($\text{m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$) pourrait s'en trouver diminuée. Par contre, la superficie affectée annuellement par la récolte devrait aussi être diminuée pour récolter un même volume. L'augmentation du taux de prélèvement, pouvant atteindre 40 ou 45 % selon le traitement, ne devrait pas avoir trop d'effet sur la protection du CFC avec les modalités de base.

Récolter davantage de gros arbres de qualité

La façon la plus directe d'augmenter la valeur de la récolte est de cibler davantage des gros arbres de belle qualité. Cette modalité se traduit en deux aspects : d'abord le diamètre maximum ou encore le diamètre optimal de récolte (DOR) est diminué, puis sa position dans l'ordre de priorité de récolte est haussée. Les études sur les coupes à diamètre limite (p. ex., voir Guillemette et Bédard 2006 pour une revue de la littérature) ont montré que les effets à long terme d'une telle modalité varient beaucoup selon la structure et la composition du peuplement résiduel, et ce, pour un même prélèvement donné. Par exemple, l'application d'une telle modalité dans un peuplement comportant une proportion importante en gros arbres pourrait conduire à des rendements décevants pendant plusieurs décennies, tandis que ce pourrait être le contraire dans un peuplement contenant peu de gros arbres et une surabondance de

petits et moyens bois. L'application de cette modalité a pour effet de diminuer le niveau de CFC dans le peuplement, mais seulement parmi les plus grandes classes de dhp.

Laisser sur pied des essences ou des arbres sans preneur

La grande diversité des essences et des qualités d'arbres en peuplement naturel génère une grande quantité de produits de bois différents, dont la demande sur les marchés n'est pas toujours équilibrée à l'offre qui découle des traitements sylvicoles. Abattre ces arbres sans les récolter augmente les coûts d'approvisionnement des autres produits et augmente le volume de matière ligneuse au sol, lequel est réglementé et est perçu comme un gaspillage par la population. Récolter et transporter les bois provenant de ces arbres (dont la valeur devient alors négative) augmente encore davantage les coûts d'approvisionnement des autres produits.

Pour un même prélèvement, le fait de laisser sur pied ces arbres qui ne trouvent pas preneur implique aussi de récolter davantage d'arbres des autres essences ou de meilleure qualité. Ainsi, la qualité du peuplement peut diminuer de façon importante et rapidement. Par exemple, le fait de laisser des arbres ayant une forte proportion de volume de pâte fait augmenter la proportion de pâte dans le peuplement résiduel et stimule l'accroissement de ces arbres de faible qualité à long terme. La cause du problème de marché serait donc amplifiée. Dans le cadre des travaux du comité, les essences considérées sans preneur sont l'érable rouge, le hêtre, la pruche et le thuya, de même que le sapin dont le dhp est de moins de 16 cm.

Poussée à l'extrême, cette modalité pourrait causer une diminution de la protection du CFC si elle force le prélèvement des essences désirées dans des priorités de récolte plus basses (DOR, CO ou RO) lorsque le peuplement contient beaucoup d'essences sans preneur.

Planter un réseau de sentiers de débardage plus important avec un espacement systématique

Dans un peuplement inéquienne et mature à dominance feuillue, il est normalement possible de pratiquer une coupe partielle avec des sentiers qui sillonnent légèrement entre les arbres matures. Cette méthode permet de limiter à environ 3,5 % de la surface terrière totale le prélèvement aléatoire dans le peuplement, soit des pertes dues à la circulation de la machinerie. Pour augmenter la productivité de la machinerie, réduire les risques de blessures et améliorer le panier de produits récoltés, une modalité consiste à augmenter la superficie occupée par les sentiers de débardage (à 12 ou à 18 %) et à les déployer de façon systématique. Pour un même prélèvement global, l'augmentation du pourcentage de sentiers fait en sorte que le prélèvement est plus aléatoire et que la capacité de cibler des arbres particuliers est diminuée (moins d'effet d'amélioration).

Ainsi, plus le pourcentage de sentiers augmente, plus le panier de produits récoltés s'apparente à celui du peuplement moyen initial. De manière générale, la quantité d'arbres récoltés de priorité C et R sera similaire au pourcentage de recouvrement des sentiers, ce qui a pour effet de diminuer de façon notable le niveau de CFC dans le peuplement résiduel et de répartir cette diminution dans toutes les classes de dhp.

1.3 Impacts analysés

Compte tenu des délais serrés pour évaluer les impacts de ces modalités, le comité a convenu d'évaluer trois types d'impacts selon les questions fondamentales suivantes :

Récolte

- Les modalités testées génèrent-elles davantage de bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2) que le traitement de référence?
- La valeur de la récolte moyenne est-elle supérieure à celle du traitement de référence?
- Le niveau de rentabilité financière des récoltes s'est-il amélioré du point de vue de l'État?
- Le niveau de rentabilité financière des récoltes s'est-il amélioré du point de vue du bénéficiaire (scieur)?

Rendement

- Le rendement en bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2, m³/ha·an) est-il équivalent à celui du traitement de référence?
- Le rendement en surface terrière totale (m²/(ha·an)) est-il équivalent à celui du traitement de référence?

Durabilité

- Le volume sur pied en bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2) s'est-il maintenu dans le temps par rapport à l'état initial?
- Le volume de pâte sur pied de feuillus durs s'est-il maintenu par rapport à l'état initial?
- Les rotations sont-elles équivalentes à celles des traitements de référence?
- Le volume récolté en bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2) s'est-il maintenu dans le temps?
- La surface terrière de gros bois sur pied (G de 40 cm+) des essences feuillues à bois dur a-t-elle diminué, augmenté ou est-elle demeurée équivalente?

1.4 Enjeux écosystémiques en forêt feuillue

La Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier institue un régime forestier visant à implanter un aménagement durable des forêts, notamment par un aménagement écosystémique. Plusieurs éléments en lien avec ce dernier sont gérés à l'échelle du paysage (proportion de vieilles forêts et forêts en régénération) alors que certaines actions sont prises à l'échelle des peuplements (conservation d'essences en raréfaction, surface terrière, proportion de gros bois et legs biologiques).

Le CIMOTFF a choisi de concentrer ses efforts d'analyse sur deux enjeux, soit celui des attributs de structure interne et celui de la composition végétale.

Enjeu des attributs de structure interne

Dans le cadre de l'aménagement écosystémique en forêt de feuillus, les forêts de structure complexe jouent un rôle important. Dans la section 6.1.1.1 (analyse des enjeux) du document *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré, Partie II — Élaboration de solutions aux enjeux (Version 1.2)*, il a été établi que, dans des conditions naturelles, les vieux peuplements feuillus développent une structure complexe qui est caractérisée par l'accumulation d'une importante biomasse d'essences longévives et la présence d'une forte proportion de gros arbres. Cette structure résulte d'une dynamique de perturbations peu fréquentes et de faible intensité.

Les principaux attributs décrivant la complexité de la structure des peuplements feuillus à une échelle stratégique ont également été définis, soit : la surface terrière totale en essences longévives et la surface terrière de gros bois (dhp≥40 cm).

Une analyse de la structure interne des peuplements feuillus basée sur des données dendrométriques est essentielle pour bien intercepter le problème spécifique de la raréfaction des vieux peuplements feuillus à structure complexe. En voici quelques exemples :

- Surface terrière;
- Structure de diamètre;
- Abondance des arbres de forte dimension;
- Essences ou groupes d'essences possédant des caractéristiques particulières (ex. : tolérantes à l'ombre, longévives, en raréfaction, etc.);
- Arbres morts ou moribonds;
- Arbres vétérans (*super canopy trees*);

- Petits îlots ou bouquets de vieilles forêts;
- Conifères épars;
- Arbres fruitiers;
- Essences rares.

Prenons l'exemple d'un peuplement situé sur une végétation potentielle FE3. Tout d'abord, il faut catégoriser le peuplement selon son degré de complexité structurale. Une typologie des peuplements a été préparée afin de faciliter la planification du maintien et du recrutement des peuplements présentant un haut degré de complexité structurale. Les peuplements sont catégorisés selon leurs caractéristiques de surface terrière et de proportion de gros bois, qui sont mises en relation avec leur stade de développement (figure 1.1).

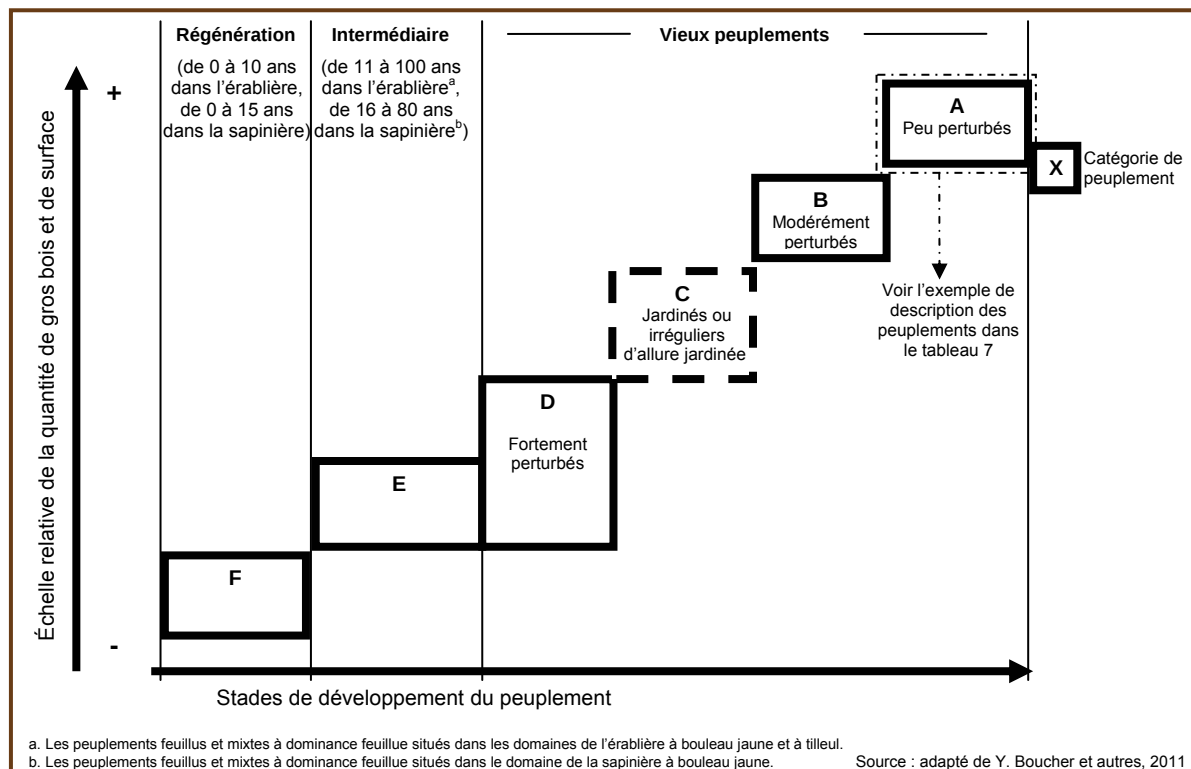


Figure 1.1. Catégorie de peuplements selon la quantité de gros bois et de la surface totale en fonction de la structure d'âges, pour les végétations potentielles FE3 et RT1 (tiré de Jetté *et al.* 2013b).

Les peuplements sont d'abord séparés selon leur stade de développement (régénération, intermédiaire, vieux), tel qu'il a été défini pour les états de référence des paysages forestiers (Boucher *et al.* 2011).

Ensuite, les vieux peuplements (cases A à D) sont positionnés selon un gradient de complexité structurale et de degré de perturbation, lequel est déterminé par la quantité de surface terrière totale et de gros bois. Les seuils entre les quatre catégories de vieux peuplements sont principalement déterminés par les attributs des vieux peuplements et les paramètres des traitements sylvicoles. Ceux-ci sont décrits avec un exemple (tableau 1.1)

Tableau 1.1. Exemple d'attributs structuraux des catégories de vieux peuplements pour l'érablière à bouleau jaune (FE3) dans les domaines de l'érablière à bouleau jaune ou à tilleul

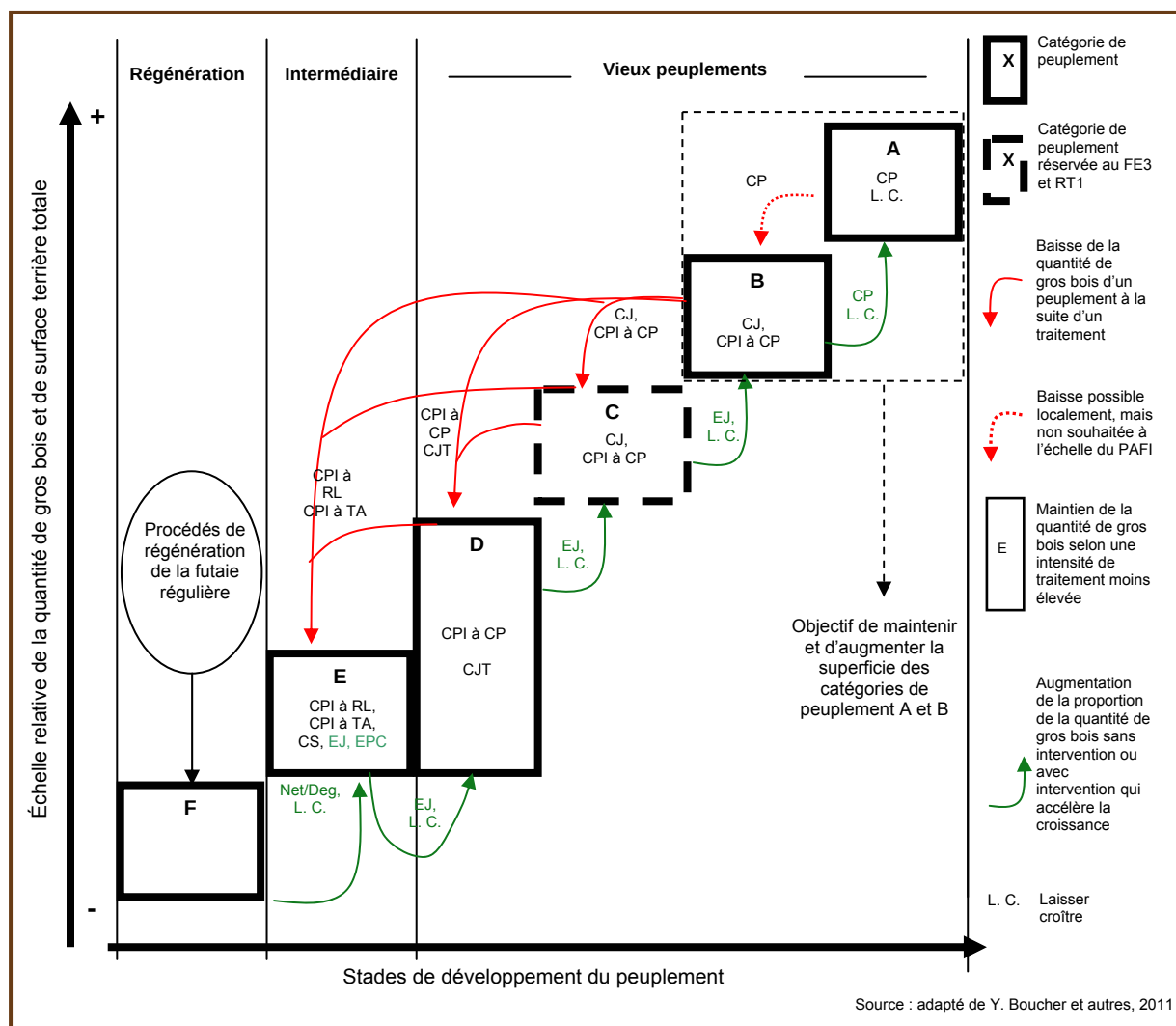
Catégorie	Appellation	Surface terrière (ST)					Note
		STT ^a (m ² /ha)	STMGB ^a (m ² /ha)	STT relative au seuil minimal du tableau de l'annexe S	STGB ^a (m ² /ha)	STGB relative au seuil minimal du tableau de l'annexe S	
A	Vieux peuplement peu perturbé	≥26	s. o. ^b	≥100 %	≥11	≥100 %	Contient aussi de très gros bois (dhp ≥ 60 cm).
B	Vieux peuplement modérément perturbé	≥20 et <26	s. o.	≥75 %	≥8	≥75 %	Contient aussi de très gros bois, comme la catégorie A.
C	Vieux peuplement d'allure jardinée	≥16 et < 20	s. o.	≥60 %	≥4,4	≥40 %	Selon Majcen <i>et al.</i> (1990).
D	Vieux peuplement fortement perturbé	s. o.	≥ 6	≥25 %	s. o.	s. o.	Il y a un couvert permanent de vieux arbres.

a) STT : surface terrière totale; STMGB : surface terrière de moyen et de gros bois; STGB : surface terrière de gros bois.

b) s.o. : sans objet.

Selon le degré de complexité du peuplement, la figure 1.2 présente une synthèse des options sylvicoles possibles avec l'objectif de maintenir et d'augmenter la superficie des catégories des peuplements A et B, c'est-à-dire les vieux peuplements peu perturbés ou modérément perturbés.

Les travaux de récolte réduisent la surface terrière et ciblent généralement les tiges de plus fort diamètre. Les différents traitements qui ont été testés abaissent les peuplements des classes A et B aux catégories C et D en fonction de l'intensité du prélèvement pour les CJ et les CPI-CP. Pour la CPI_RL, les peuplements atteignent la classe E. Plus la récolte entraîne les peuplements vers les classes D et E, moins ces peuplements se rapprochent de la forêt préindustrielle.



Note : Pour les abréviations voir le rapport de Jetté *et al.* 2013b.

Figure 1.2. Synthèse des options sylvicoles à prendre en considération dans un plan de restauration des attributs de structure des peuplements feuillus, pour les végétations potentielles FE3 et RT1.

Pour répondre aux enjeux écosystémiques, le CIMOTFF ajoutera à celles de la section 1.3, dont plusieurs recoupent ces préoccupations, la question suivante :

- Comment les traitements et les modalités affectent-ils la complexité structurale des peuplements?

Enjeu de la composition végétale

Le comité reconnaît que le sylviculteur peut agir efficacement dans les différents enjeux de composition grâce aux mesures d'encadrement suivantes :

- Pour la diminution du bouleau jaune : la rétention de semenciers avec présence de microsites propices ainsi qu'un suivi du recrutement par groupe de classes de diamètre devraient être une base intéressante de travail.
- Pour l'envahissement par le hêtre à grandes feuilles, le sapin ou les feuillus intolérants à l'ombre : tenter de les maîtriser en priorisant leur ordre de prélèvement et par une préparation de terrain intensive.
- Pour les épinettes blanche et rouge ainsi que les pins blanc et rouge : obtenir le statut d'essences désirées là où il est pertinent d'en faire la promotion. La rétention de semenciers avec présence de microsites propices, identique à celui du BOJ, ainsi qu'un suivi du recrutement par groupe de classes de diamètre, devraient être une base intéressante de travail.
- Pour la pruche et le thuya : dans le cadre de l'étude, ils ont le statut d'essences sans preneur, ainsi ils sont laissés sur place. La promotion de ces essences est discutable.

Opérationnellement, il peut être intéressant de procéder à un martelage positif pour conserver les arbres des essences associées à ces enjeux. Des directives opérationnelles simples et claires peuvent également faire partie de la prescription du traitement afin que les opérateurs protègent ces essences.

Chapitre deux

Diamètres de maturité

Dans la pratique courante des coupes partielles en forêt feuillue au Québec, la très grande majorité du volume récolté provient d'arbres ayant au moins un défaut majeur (priorité de récolte M ou S). En effet, ces arbres constituent généralement plus de 45 % de la surface terrière des peuplements, soit plus que le taux de récolte partielle, et ils sont récoltés en priorité. Ces arbres sont réputés avoir atteint la maturité pathologique, car leur volume net moyen est censé diminuer à cause d'importantes pertes par mortalité ou par dégradation du bois (Boulet 2007). Les arbres sains, mais qui pourraient être matures d'un point de vue financier ou technique, communément appelés les DOR (diamètre optimal de récolte), ont une priorité de récolte généralement plus basse, au point où ce groupe d'arbres est peu ou rarement récolté. De plus, les peuplements contiennent un faible nombre de ces arbres dont le dhp, pour l'érable à sucre et le bouleau jaune, est généralement fixé à 56 cm et plus.

Une modalité fréquemment mise de l'avant dans la recherche d'une meilleure rentabilité financière des coupes partielles en forêt feuillue consiste à récolter davantage de gros arbres de belle qualité et d'essences désirées. Cette pratique soulève toutefois l'inquiétude de créer des peuplements trop appauvris pour soutenir une récolte acceptable de bois d'œuvre de haute valeur au cours des prochaines rotations (20 à 40 ans). D'ailleurs, plusieurs études sur les coupes à diamètre limite ont démontré ce risque avec l'application répétée de coupes ayant pour seule modalité la récolte des arbres ayant un diamètre supérieur à un seuil (Guillemette et Bédard 2006).

Malgré ce risque, l'utilisation d'une modalité impliquant un diamètre au-dessus duquel tous les arbres peuvent être récoltés n'est pas incompatible avec la sylviculture. Par exemple, c'est une modalité généralement reconnue pour la coupe de jardinage (Guillemette *et al.* 2013 – tome 2). Cependant, il faut l'utiliser de la bonne façon :

1. Ce diamètre doit permettre de distinguer les arbres matures des arbres immatures, conformément à l'objectif de production du peuplement, lequel doit être réaliste;
2. Le traitement doit être effectué de façon à atteindre une structure, une composition, une qualité et une régénération ciblées, lesquelles détermineront le rendement en cours de rotation et à long terme. De cette façon, une directive de coupe comprenant un diamètre au-dessus duquel tous les arbres peuvent être récoltés peut être plus qu'une coupe à diamètre limite si une partie importante du prélèvement concerne aussi des arbres plus petits afin d'améliorer le peuplement.

2.1 Différences entre les types de maturité

Il existe peu d'études scientifiques permettant d'identifier des diamètres de maturité⁴ pour les arbres feuillus du Québec selon les objectifs de production et la rotation prévue. En effet, on retrouve des opinions d'experts (p. ex., Majcen *et al.* 1990), une étude basée sur l'accroissement en diamètre en fonction d'un âge estimé (Vézina 2001) et une étude de distribution de fréquence des arbres par classe de priorité et de qualité selon le diamètre (Pothier *et al.* 2013). Leak *et al.* (1987) ont aussi suggéré des diamètres de maturité financière pour le nord-est des États-Unis, tandis que Hansen et Nyland (1987) ont calculé des maturités techniques dans l'État de New York. Cependant, seule l'étude de Hansen et Nyland (1987) est basée sur des observations répétées sur les mêmes arbres, lesquelles permettent à la fois d'intégrer l'accroissement en diamètre et le risque de perte par mortalité. Toutefois, Hansen et Nyland (1987) n'ont pas considéré les changements possibles de vigueur ou de qualité des arbres. C'est pourtant le type de données qu'il faut exploiter pour bien identifier les diamètres de maturité selon divers types d'objectifs de production (Tableau 2.1) et selon la rotation, car un arbre considéré immature pour encore 10 ans pourrait être considéré mature si l'on devait attendre encore 40 ans avant de le récolter.

Lors du cheminement diagnostique de l'ingénieur forestier, cette connaissance des diamètres de maturité est utile pour identifier les problèmes d'ordre sylvicole et des solutions potentielles. À titre d'exemple, une surabondance d'arbres matures peut justifier une récolte visant à créer des conditions davantage propices à la régénération, tandis qu'un manque d'arbres matures peut justifier d'éclaircir pour stimuler la croissance d'arbres immatures.

La présente analyse a pour but de calculer des diamètres de maturité pathologique, technique et financière⁵ selon différentes stations pour le bouleau jaune et l'érable à sucre au Québec. Ces maturités sont calculées pour les arbres qui constituent le capital forestier en croissance (CFC), car les autres

⁴ En pratique, on se réfère au diamètre de l'arbre plutôt qu'à son âge, car celui-ci est généralement inconnu en peuplement inéquienne.

⁵ La maturité absolue n'est pas traitée, car l'aménagement des peuplements feuillus pour produire prioritairement du bois de trituration n'est pas souhaitable sur les terres de l'État au Québec, compte tenu du contexte.

arbres ayant des défauts majeurs peuvent être directement considérés matures au sens pathologique. La DRF dispose de données sur une période d'observation atteignant 20 ans avec les classes de vigueur de Majcen *et al.* (1990). Les résultats qui peuvent être obtenus avec les arbres de vigueur 1 (arbres vigoureux ayant un potentiel de bois d'œuvre) peuvent être appliqués directement aux arbres de priorité C ou R (Boulet 2007) et de qualité bois d'œuvre (O), puisque 93,5 % des arbres de vigueur 1 sont de priorité CO ou RO (données non publiées).

Tableau 2.1. Définitions des diamètres à maturité et association à des exemples d'objectif de production

Maturité	Définition	Objectif de production
Absolue	Diamètre/âge où l'accroissement annuel moyen du volume de l'arbre est maximal (adaptée de MRN 2013, Tome 2).	Bois de trituration
Pathologique	Diamètre où l'arbre atteint son volume marchand net maximal (adaptée de MRN 2013) = diamètre où l'accroissement périodique de l'arbre en volume marchand net est nul.	Bois provenant de gros arbres
Technique	Diamètre où l'arbre atteint son volume net maximal pour un usage donné (p. ex., le sciage) (adaptée de Barrette <i>et al.</i> 1996, et de la définition de maturité pathologique) = diamètre où l'accroissement périodique de l'arbre pour un usage donné (p. ex., le sciage) est nul.	Bois d'œuvre
Financière	Diamètre où l'arbre atteint sa plus grande valeur monétaire (adaptée de Barrette <i>et al.</i> 1996) = diamètre où l'accroissement périodique de l'arbre en valeur monétaire est nul.	Valeur monétaire

2.2 Matériel et méthodes

Les données d'évolution des arbres sur pied sont tirées de projets de recherche de la DRF sur les effets des coupes de jardinage en peuplement feuillu et mixte à dominance feuillue, de même que du projet de mesure des effets réels des coupes de jardinage 1995-1999. Une première partie de l'analyse porte sur le risque de mortalité et est basée sur 11 000 arbres d'érable à sucre ou de bouleau jaune, d'un dhp supérieur à 23 cm et appartenant aux quatre classes de vigueur des arbres feuillus (1, 2, 3 et 4) selon Majcen *et al.* (1990). Ainsi, un maximum d'observations est utilisé pour évaluer le risque de mortalité. La seconde partie de l'analyse porte sur l'accroissement en volume par type de bille et est basée sur une partie des 11 000 arbres, soit 1 800 érables à sucre et 700 bouleaux jaunes ayant un dhp initial de 34,1 à 65,0 cm et appartenant à la classe de vigueur 1. Cette sélection permet de concentrer les analyses d'accroissement en volume sur les arbres composant le CFC. Elle permet aussi de retirer de l'analyse les

arbres trop petits pour contenir des billes de sciage de haute qualité, c'est-à-dire des billes des classes F1 et F2 selon Petro et Calvert (1976).

Pour identifier chacun des 8 diamètres de maturité (2 essences x 4 types de maturité), il faut obtenir un modèle d'accroissement net de la quantité à l'étude selon le dhp initial des arbres et l'intervalle de temps entre les 2 mesures. Cet accroissement net est calculé en soustrayant les pertes par mortalité d'un modèle d'accroissement des arbres vivants au début et à la fin de la période de mesure. Les pertes par mortalité sont calculées en calibrant d'abord un modèle de probabilité de mortalité des arbres, puis en le multipliant par la quantité initiale de l'arbre (volume ou valeur) au début de la période de mesure. Ainsi, la quantité perdue par mortalité est attribuée en proportion du taux de mortalité.

Les quantités associées aux types de maturité sont :

- Maturité technique en bois d'œuvre de haute valeur : le volume marchand net de billes de DérF1F2 de l'arbre (m^3/arbre);
- Maturité financière en bois d'œuvre de haute valeur : prix tendance des billes de bois d'œuvre cumulées dans l'arbre sur pied ($\$/\text{arbre}$), sans tenir compte de l'actualisation;
- Maturité pathologique : le volume marchand net de l'arbre (m^3/arbre);
- Maturité financière totale : prix tendance du volume marchand net de l'arbre sur pied ($\$/\text{arbre}$), sans tenir compte de l'actualisation.

Les volumes nets des arbres répartis par classe de billes ont été calculés au début et à la fin de la période selon les modèles de Fortin *et al.* (2009b) avec les données de vigueur des tiges dont le dhp initial variait de 34,1 à 65,0 cm. La calibration de ces modèles comprenait peu d'arbres d'un dhp supérieur à 70 cm, et les formes des modèles soulèvent des doutes pour des diamètres supérieurs à ce dhp. Par conséquent, l'analyse porte uniquement sur les arbres dont le dhp initial est d'au plus 65,0 cm, de manière à ce qu'aucun arbre ne dépasse un dhp de 70 cm en fin de période de mesure. Ces modèles prédisent le volume net pour 4 catégories de billes de sciage (F1, F2, F3 et F4 — billon) et pour les billes de pâte (billes de 2,5 m de long et d'un diamètre minimal de 10 cm au fin bout). Les billes de déroulage de bouleau jaune sont regroupées avec les billes de sciage F1. Les volumes des billes de bois d'œuvre sont nets, car le volume de carie a été soustrait du volume brut des billes. Les prix unitaires des billes ($\$/\text{m}^3$) sont les prix tendance de revenus bruts pour les scieurs calculés au 12 février 2014 par le Bureau de mise en marché des bois (Éliane Landry-Tremblay, comm. pers.). Il n'y avait pas de prix disponibles pour les bois de déroulage; le prix des billes F1 leur a été attribué.

Tous les détails de la méthodologie et des résultats seront présentés dans une note de recherche (Guillemette, en préparation). Il est possible, lors du processus de révision scientifique menant à la

publication de cette note, que des modifications soient apportées à la méthodologie et que celles-ci aient des effets sur les résultats publiés.

2.3 Synthèse des résultats

La probabilité de mortalité et l'accroissement en volume net de l'érable à sucre et du bouleau jaune varient significativement selon la classe de vigueur des arbres ($p < 0,0001$), la situation géographique ($p < 0,0001$) et le traitement ($p = 0,04$). De façon générale, l'érable à sucre risque moins de mourir à Sainte-Véronique (SV, Forêt d'enseignement et de recherche Mousseau), dans les sous-domaines 4ouest et 4est, puis dans les régions écologiques 3c et 3d, mais il risque davantage de mourir à Duchesnay et dans les régions écologiques 2a, 3a et 3b (Figure 2.1a).⁶ Quant au bouleau jaune, il risque moins de mourir à Sainte-Véronique et dans le sous-domaine 4ouest qu'à Duchesnay, dans le sous-domaine 4est, et que dans les régions écologiques 3a et 3b, et beaucoup moins que dans les régions écologiques 2a, 3c et 3d (Figure 2.1b).

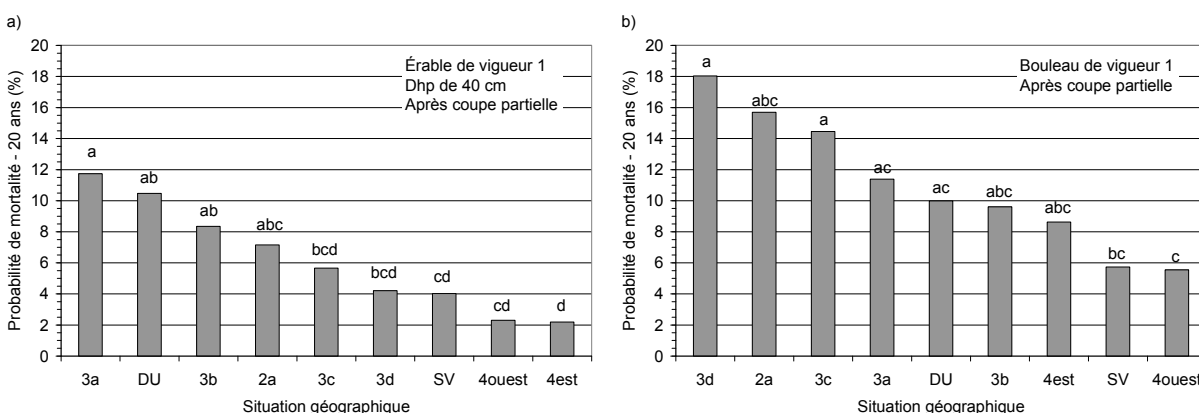


Figure 2.1. Probabilité de mortalité de l'érable à sucre (a) et du bouleau jaune (b) sur une période de 20 ans selon la situation géographique. Les lettres différentes sur les graphiques indiquent des différences significatives.

Un exemple de résultat de l'accroissement en volume net de bois d'œuvre de haute qualité (F1 et F2, il n'y a pas de déroulage dans l'ERS) sur une période de 20 ans chez l'érable à sucre est présenté à la figure 2.2. Les courbes sont présentées selon les paramètres applicables à la région écologique 3b après coupe partielle. Le croisement de la courbe d'accroissement en volume (ligne pleine) et de la courbe de perte par mortalité (ligne pointillée) sur la figure 2.2a représente le diamètre auquel le maximum de volume de bois d'œuvre est atteint dans ce groupe d'arbres. Pour l'érable à sucre dans la région écologique 3b, ce croisement est situé à 43,7 cm. Par conséquent, le groupe d'arbres de vigueur 1 qui a

⁶ Pour des raisons d'échantillonnage, les dispositifs SV et DU ne sont pas regroupés avec les autres régions écologiques.

été conservé sur pied après coupe partielle, et dont le diamètre était supérieur à 43,7 cm, a perdu du volume net de bois d'œuvre en 20 ans, tandis que le groupe d'arbres semblables, mais au dhp inférieur à 43,7 cm, s'est accru en volume de sciage. Cette perte de bois d'œuvre résulte du taux de mortalité (9,2 % en 20 ans à un dhp de 44 cm) et du taux de dégradation des arbres (40 % sont devenus de classe 3 ou 4 en 20 ans).

La partie b de la figure 2.2 permet de voir le taux de changement du volume net de bois d'œuvre sur 20 ans selon le dhp initial. La pente de la courbe près du croisement de l'axe horizontal permet d'apprécier le gain ou la perte de bois d'œuvre associée à d'autres diamètres.

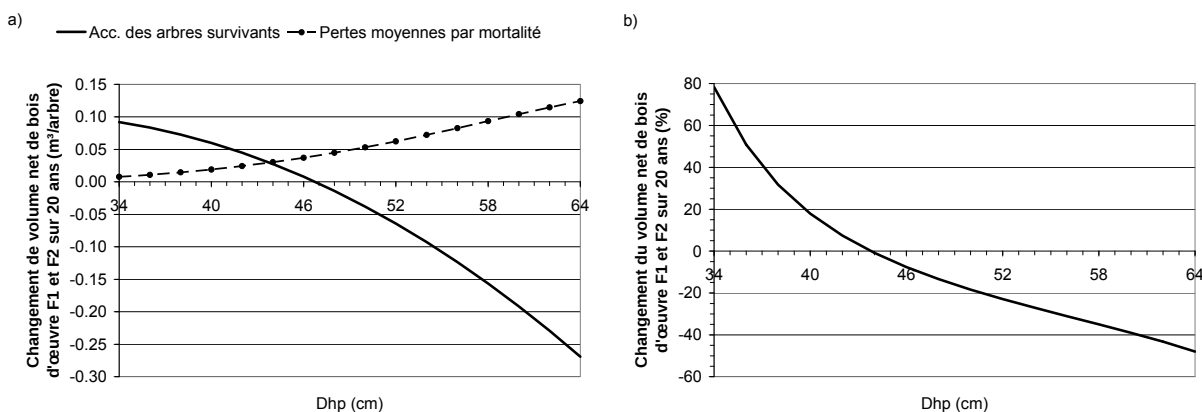


Figure 2.2. Observations de changement du volume net de bois d'œuvre de haute qualité (F1 et F2) sur une période de 20 ans chez l'érable à sucre dans la région écologique 3b. Les modèles d'accroissement des arbres survivants et des pertes par mortalité sont représentés dans la partie a), tandis que la somme de ces 2 modèles est représentée en valeurs relatives au volume initial dans la partie b).

Les dhp de maturité de l'érable à sucre et du bouleau jaune pour des peuplements soumis à une coupe partielle, avec une rotation prévue de 20 ans et selon les 4 définitions à l'étude, sont présentés par situation géographique au tableau 2.2. La maturité technique pour le bois d'œuvre varie de 44 à 48 cm selon la situation géographique, sauf pour l'érable à sucre de Duchesnay où elle est de seulement 40 cm à cause d'un très faible accroissement en volume net de bois d'œuvre et d'un taux de mortalité élevé. Les diamètres de maturité financière pour le bois d'œuvre de l'érable à sucre sont situés pour la plupart à 2 cm au-dessus des diamètres de maturité technique, alors que pour le bouleau jaune, ils sont identiques aux diamètres de maturité technique. Les diamètres de maturité pathologique de l'érable à sucre sont de 6 à 14 cm plus élevés que les diamètres de maturité technique (+9 cm en moyenne), et atteignent des valeurs de 46 à 62 cm selon la situation géographique. Pour ces 2 types de maturité, les valeurs les plus élevées pour l'érable à sucre sont situées dans les Appalaches (3d et 4est) et dans la sapinière à bouleau jaune de l'ouest. Quant au bouleau jaune, les diamètres de maturité pathologique sont plus près

des diamètres de maturité technique, soit de 46 à 56 cm (+3 cm en moyenne). Les diamètres de maturité financière du volume net de bouleau jaune, calculés sans actualisation, sont semblables aux diamètres de maturité technique de ce même volume.

Les diamètres de maturité varient aussi selon la rotation prévue (Figure 2.3). Pour des rotations plus courtes que 20 ans, les diamètres de maturité de l'érable à sucre sont de 1 à 2 cm plus élevés lorsque la rotation est de 10 au lieu de 20 ans, soit une variation de 0,5 à 1 cm par 5 ans. Quant au bouleau jaune, les diamètre de maturité de 2 à 4 cm lorsque la rotation est de 10 au lieu de 20 ans, soit une variation de 1 à 2 cm par 5 ans. Cette information pourrait être utile pour extrapoler les résultats de l'étude sur une rotation plus longue que 20 ans. Cependant, la présence d'un point où toutes les courbes se croisent (Figure 2.3a à 43 cm, Figure 2.3b à 45,4 cm) suggère la présence d'une limite à cette méthode d'extrapolation. Il serait prudent de ne pas utiliser cette méthode d'extrapolation sur une période de plus de 10 ans, soit pour une rotation de plus de 30 ans.

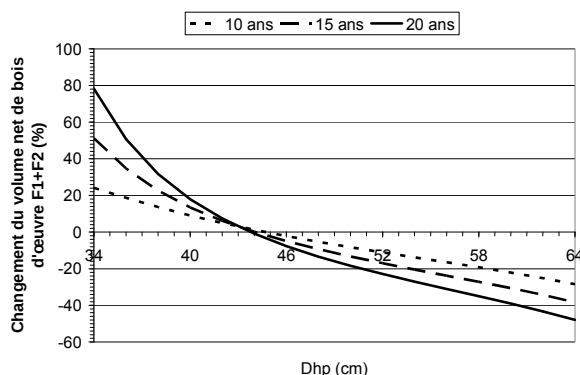
Tableau 2.2. Diamètres (cm) de maturité technique, financière et pathologique pour l'érable à sucre et le bouleau jaune aménagés en coupe partielle sur une rotation de 20 ans, selon la situation géographique.

Situation géogra.	Érable à sucre				Bouleau jaune			
	Bois d'œuvre		Bois d'œuvre et pâte		Bois d'œuvre		Bois d'œuvre et pâte	
	Technique	Finan.	Pathologique	Finan.	Technique	Finan.	Pathologique	Finan.
2a	44	46	50	46	Note 1		Note 1	
3a	44	46	48	46	46	46	46	44
3b	44	46	52	46	48	48	50	48
SV	44	46	56	48	50	50	56	50
3c	44	46	52	46	48	48	50	46
3d	48	48	58	50	Note 1		Note 1	
4ouest	46*	48*	60	52	50	50	56	52
DU	40	42	46	42	48	48	52	48
4est	48	50	62	52	48	48	52	46

Note 1. Trop peu observations d'arbres survivants, d'un dhp compris entre 34,1 et 65 cm, pour évaluer le diamètre.

* La coloration du cœur de l'érable pourrait justifier le choix d'un diamètre inférieur (voir Havreljuk *et al.* 2013).

a) Érable à sucre, 3b



b) Bouleau jaune, 4 ouest

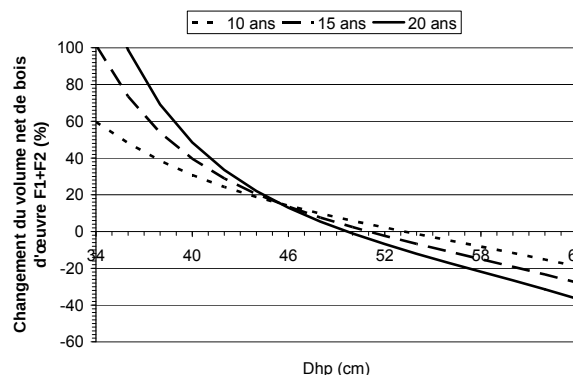


Figure 2.3 Exemples de changements du volume net de bois d'œuvre sur des périodes de 10, 15 et 20 ans pour l'érable à sucre dans la région écologique 3b (a) et pour le bouleau jaune dans la sapinière à bouleau jaune de l'ouest (b).

2.4 Discussion

La plupart des diamètres de maturité pathologique de la présente étude vont de 50 à 60 cm (Tableau 2.2) et sont donc semblables à ceux habituellement proposés au Québec. Par exemple, Majcen *et al.* (1990) ont proposé d'utiliser un diamètre maximal situé généralement entre 50 et 60 cm pour le jardinage des érablières au Québec. Cette proposition était basée sur la diminution de la fréquence des plus gros arbres de belle qualité qu'ils avaient observés sur le terrain. Vézina (2001) avait calculé des maturités financières par classe de qualité (ABCD) à des diamètres de 50 à 57 cm pour l'érable à sucre et de 55 à 59 cm pour le bouleau jaune. Cependant, sa méthode ne considérait pas le risque de perte par mortalité, ni le risque de changement de qualité de l'arbre. Ces différences méthodologiques expliquent les diamètres plus faibles obtenus avec notre nouvelle méthode.

Pothier *et al.* (2013) ont suggéré des diamètres maximaux situés aux environs de 65 cm pour l'érable à sucre et de 75 cm pour le bouleau jaune au Québec. Leur méthode était fondée sur l'hypothèse que la distribution de fréquence des dhp selon la priorité de récolte de l'arbre (MS ou CR) et sa qualité (ABC ou D) dans l'inventaire temporaire représentait bien la dynamique d'évolution des arbres. Leurs dhp maximaux étaient identifiés lorsque la fréquence des arbres défectueux et de qualité sciage (MS-ABC) était égale à celle des arbres défectueux et de qualité pâte (MS-D). Comparativement à la méthode de notre étude, il semble que celle de Pothier *et al.* (2013) ne considère pas bien les pertes par mortalité, ni les pertes de volume net de bois dans les arbres qui se dégradent.

Quant aux diamètres de maturité technique ou financière, ils sont beaucoup plus près de ceux suggérés par Leak *et al.* (1987) dans le nord-est des États-Unis. En effet, nos résultats indiquent des diamètres de 42 à 52 cm selon l'essence et la situation géographique (Tableau 2.2), tandis que Leak *et al.* (1987) ont

suggéré des diamètres de 41 à 51 cm pour nos deux mêmes essences, avec une variation selon la qualité du tronc de l'arbre. Nos résultats sont aussi semblables à ceux calculés par Hansen et Nyland (1987) dans l'État de New York selon des structures comprenant des diamètres maximaux fixés à 40, 50 ou 60 cm. En effet, les auteurs concluent que la production de gros arbres ayant un potentiel de sciage n'est pas améliorée par la conservation des arbres dont le dhp est supérieur à 50 cm, et ce, même s'ils ne considéraient pas le risque de changement de classe de vigueur ou de qualité des arbres avec le temps.

Les diamètres de maturité calculés avec notre méthode sont basés sur des observations d'arbres dont les conditions de croissance n'étaient pas contrôlées par l'aménagement sur une grande proportion de la vie de ces arbres. Ainsi, il est plausible de penser que des arbres croissant sous aménagement intensif pourraient atteindre un même dhp à un âge plus jeune et, ainsi, atteindre la maturité à un dhp plus élevé. De plus, les arbres observés ont à peu près tous été laissés après une coupe sélective (diamètre limite ou écrémage) par le passé. Certains pouvaient être de belle qualité à cette époque, mais d'un diamètre trop petit, tandis que les plus gros peuvent avoir été laissés sur pied à cause de leur faible qualité. Il sera donc pertinent de réviser les diamètres de maturité de la présente étude lorsque de nouvelles données seront disponibles. Entre autres, il serait avantageux de profiter d'observations avec la priorité de récolte MSCR, pour préciser le modèle de mortalité, et avec la classe de qualité ABCD pour mieux estimer les volumes nets, plutôt qu'avec les classes de vigueur.

Les erreurs sur les modèles ne sont pas présentées dans ce rapport, mais le seront dans Guillemette (en préparation). Pour le moment, on peut estimer une variation de l'ordre de ± 2 cm autour des diamètres de maturités calculés. Ainsi, l'ingénieur forestier peut utiliser cette variation pour mieux ajuster l'ensemble des modalités de sa prescription, sans trop se soucier de perdre réellement du volume ou de la valeur.

La poursuite des travaux de modélisation des produits de bois selon les classements des arbres sur pied pourrait permettre d'obtenir une meilleure estimation des produits dans les très gros arbres (dhp > 65 cm) et, ainsi, améliorer les estimations des diamètres de maturités.

Les diamètres de maturité technique et financière de bois d'œuvre ont été calculés seulement pour le volume de haute qualité, soit le volume des billes de sciage F1 et F2, ainsi que le volume des billes de déroulage. D'autres modèles (non présentés) ont été calibrés en incluant les billes de sciage F3 (palette). Ces modèles indiquaient des diamètres de maturité technique et financière d'au plus 2 cm inférieurs à ceux des diamètres de maturité technique et financière de bois d'œuvre (tableau 2.2). Aussi, un modèle de diamètre de maturité financière de bois d'œuvre de bouleau jaune a été calibré en posant l'hypothèse que 50 % du volume de F1 était composé de billes de déroulage, et que ce volume avait une valeur de

25 ou 50 % plus élevée que les billes F1 ($dhp < 45$ cm ou $dhp \geq 45$ cm, respectivement). Or, ce modèle prédisait des diamètres de maturité financière en bois d'œuvre semblables ou légèrement inférieurs à ceux présentés au tableau 2.2. Cet exercice démontre que la méthode de calcul n'est pas très sensible à la valeur des bois.

Les deux éléments qui apparaissent les plus déterminants dans le calcul du diamètre de maturité sont la probabilité de mortalité et le déclassement des arbres survivants. Il serait possible de calculer d'autres diamètres de maturité si nous parvenions à mieux identifier des catégories d'arbres moins susceptibles de mourir ou de se dégrader en cours de rotation. Par exemple, l'apparence de l'écorce des arbres peut indiquer leur vitesse d'accroissement en diamètre et, par conséquent, leur vigueur (Clausen et Godman 1969, OMNR 2004). Des arbres indiquant une croissance plus rapide pourraient être maintenus sur pied jusqu'à un plus grand dhp, de même que ceux indiquant une croissance plus faible pourraient être récoltés plus tôt. Les chercheurs en sylviculture des feuillus à la DRF se préoccupent de cette question dans leurs travaux de recherche. Cependant, il faut comprendre que si la recherche arrive à mieux préciser quel groupe d'arbres est moins susceptible de mourir ou de se dégrader, alors ce groupe sera aussi de plus petite taille que le groupe actuel d'arbres composant le CFC parmi les gros dhp. Plus on cherchera à isoler un type d'arbre précis, moins nombreux ils seront dans les peuplements.

Cette méthode n'a pas permis de préciser les diamètres de maturité à une échelle plus fine que la situation géographique, comme celle de la station par exemple. L'échantillonnage utilisé révèle des corrélations entre les situations géographiques et des attributs des stations. Des analyses plus fines pourraient amener de nouvelles connaissances. L'expérience tirée de cette méthode indique que pour parvenir à calculer un diamètre de maturité dans une condition donnée, il faut observer des arbres sur au moins une décennie. De plus, il faut en échantillonner quelques centaines appartenant à la classe visée (p. ex., des R de qualité A, B ou C) et répartis dans toutes les classes de diamètres, idéalement de 34 à 70 cm.

Finalement, il est important de préciser qu'il existe d'autres catégories d'arbres dans les peuplements pour lesquels le risque de perdre du volume de haute valeur est très grand. Par exemple, des analyses préliminaires avec des mesures répétées sur 5 ans pour des érables à sucre et des bouleaux jaunes indiquent que le taux de mortalité de ceux de priorité M est d'environ 20 fois plus élevé que pour ceux de priorité R (données non présentées). Par conséquent, on peut estimer que les arbres de priorité M ont tous dépassé leur maturité pathologique, et qu'il est temps de les récolter s'ils contiennent encore un volume intéressant de bois de haute valeur. Quant à ceux de priorité S, leur taux de mortalité 5 ans est d'environ 3 fois plus élevé que ceux de priorité R, donc leur maturité pathologique n'est probablement pas atteinte.

2.5 Conclusion

Les diamètres de maturité calculés à l'échelle de l'arbre ont pour utilité première d'aider les ingénieurs forestiers à mieux définir les peuplements qu'ils veulent produire, selon les objectifs du plan aménagement. Ainsi, les érables à sucre et les bouleaux jaunes vigoureux et de belle qualité peuvent procurer leur maximum de volume et de valeur en bois d'œuvre (DérF1F2) s'ils sont maintenus en croissance sur une rotation de 20 ans, alors qu'ils commençaient la rotation avec un dhp de moins de 44 à 50 cm, selon l'essence et l'endroit (tableau 2.2). Pour une rotation de 30 ans ou plus, ces dhp peuvent être diminués de 1 à 4 cm selon l'essence.

Ces nouvelles connaissances s'intègrent à la démarche diagnostique conduisant à la prescription sylvicole, mais elles ne doivent pas être transformées en une modalité aveugle de diamètre maximal unique pour toutes les prescriptions sylvicoles. En effet, les analyses qui ont conduit à ces diamètres de maturité considéraient uniquement les produits de l'arbre, mais ne considéraient pas l'ensemble du peuplement et de la forêt, ni les coûts de récolte. Ainsi, l'ingénieur forestier qui souhaite appliquer un diamètre maximal pour récolter des arbres vigoureux et de belle qualité peut commencer son analyse avec les diamètres de maturité calculés dans la présente étude, mais il conserve la responsabilité d'ajuster le diamètre maximal de chaque prescription en considérant l'ensemble du diagnostic sylvicole. Autrement, il est dangereux d'écramer les peuplements en utilisant un diamètre trop faible.

La section suivante vise d'ailleurs à mesurer les effets de la récolte de tiges ayant atteint une telle maturité. Ces effets sont mesurés à l'échelle du peuplement.

Chapitre trois

Test de l'effet des traitements réalisés selon diverses modalités

Afin de tester l'effet des traitements réalisés selon diverses modalités, le CIMOTFF a convenu d'évaluer les impacts des modalités sur plusieurs rotations en réalisant diverses simulations sur un groupe de peuplements représentatifs mais variés. Pour chacun de ces peuplements, une ou plusieurs familles de traitements plausibles ont été identifiés en fonction de leurs caractéristiques. Les modalités et les traitements sélectionnés ont pour but de générer un vaste gradient de peuplements après coupe afin de mieux y dégager les tendances.

3.1 Matériel et méthodes

3.1.1 Choix des peuplements à simuler

Origine des données sur les peuplements

Les données sur les peuplements utilisés pour la réalisation des analyses proviennent d'un exercice de regroupement de près de 35 000 placettes d'échantillonnage (PE) d'inventaires d'intervention disponibles dans la base de données provinciale DICA. Les PE de l'année 2011 et une partie de celles de 2012 ont été utilisées.

L'objectif poursuivi par ce travail de regroupement était l'obtention d'informations dendrométriques à une échelle qui s'apparente à celle d'un peuplement sur pied. Pour ce faire, les critères de sélection suivants ont été utilisés :

- Année de mesure (saison);
- Unité d'aménagement forestier (UAF);
- Secteur d'intervention;
- Groupement d'essence cartographique (synthèse);
- Densité (cartographique);

- Âge (cartographique);
- Végétation potentielle (cartographique).

Les regroupements contenant moins de 5 placettes d'échantillonnage ont été supprimés, ainsi que ceux pour lesquels la priorité de récolte (MSCR) et le potentiel de bois d'œuvre (classification OP) n'ont pas été évalués. Au total, 935 groupes résiduels ont été conservés et caractérisés en vue d'une sélection finale.

Caractérisation des regroupements

Une compilation du contenu dendrométrique de chacun des regroupements retenus a été produite. Ces informations ont par la suite été utilisées pour caractériser chacun de ceux-ci. Les attributs de caractérisation qui ont été retenus sont :

- Type de couvert;
- Composition en essences;
- Surface terrière;
- Capital forestier en croissance (CFC);
- Structure;
- Proportion d'essences sans preneur;
- Stade évolutif.

Les sections qui suivent présentent les spécifications d'évaluation de chacun de ces attributs.

Attribut 1 : Type de couvert

Le type de couvert de chaque PE a été défini sur la base des proportions de surface terrière des essences résineuses et des feuillus intolérants à l'ombre. Le tableau 3.1 présente les types de couvert ainsi que leurs critères de définition.

Tableau 3.1. Critères de définition des types de couvert

Type de couvert	Critères	
	Proportion de la surface terrière totale représentée par des essences résineuses	Proportion de la surface terrière en feuillus représentée par des essences feuillues tolérantes*
FT (Feuillu tolérant)	<25 %	>=50 %
FTR (Mélangé à dominance de feuillu tolérant)	>=25 % et <50 %	>=50 %

* Essences feuillues autres que BOP, BOG, CET, NOC, PED, PEG, PEB, PET, PEH, ERR, FRN

Les regroupements non inclus dans la définition des types de couvert FT et FTR, de même que ceux n'ayant pas au moins 16 m²/ha de surface terrière, ont été exclus de l'analyse. Ces exclusions ont laissé 563 regroupements disponibles pour la suite du travail de caractérisation.

Attribut 2 : La composition en essences

La composition en essences a été définie sur la base des types de couvert et des proportions de surface terrière du BOJ, de l'ERS et des autres feuillus tolérants à l'ombre. Le tableau 3.2 présente les groupes retenus ainsi que leurs critères de définition.

Tableau 3.2. Critères de définition de la composition en essences

Composition	Type de couvert	Critères		
		Proportion de la surface terrière feuillue représentée par		
		BOJ	ERS	Autres FT
BJ+R	FTR	$\geq 50 \%$	-	-
BJ-R	FTR	$< 50 \%$ et $\geq 25 \%$	-	-
FXR	FTR	$< 25 \%$	-	-
ERBJ	FT	$\geq FT$	$\geq BOJ$ et $\geq FT$	
ERFT	FT	$< FT$	$\geq BOJ$ et $\geq FT$	
BJER	FT	$\geq ERS$ et $\geq FT$	$\geq FT$	
BJFT	FT	$\geq ERS$ et $\geq FT$	$< FT$	
FTER	FT		$\geq BOJ$	$\geq ERS$ et $\geq BOJ$
FTBJ	FT		$< BOJ$	$\geq ERS$ et $\geq BOJ$

Attribut 3 : La surface terrière

Deux classes de surface terrière ont été définies afin d'exprimer la quantité de bois présent dans chacun des regroupements. Ces deux classes sont :

- 16 à 24 m²/ha;
- 24 m²/ha et +.

Seuls les arbres marchands et commerciaux ont été considérés dans le calcul.

Attribut 4 : Proportion d'essences sans preneur

Les essences sans preneur correspondent à celles qui sont régulièrement problématiques en termes d'intérêt pour la transformation en sciage ou, dans certaines régions, celles pour lesquelles il n'y avait pas de marché au moment de l'évaluation. Il existe des variations régionales dans la liste de ces essences. Régulièrement, des modulations sont aussi apportées en fonction de la dimension des bois. Dans un objectif de simplification pour les travaux du CIMOTFF, la liste des essences sans preneur a été réduite aux essences suivantes :

- HEG;
- ERR;
- THO;
- PRU;
- Ainsi qu'au SAB d'un dhp de 10 à 14 cm dans certaines simulations.

Sur la base des proportions d'essences sans preneur, en surface terrière, deux classes ont été définies, soit :

- Inférieure à 20 %;
- Supérieure ou égale à 20 %.

Attribut 5 : Le capital forestier en croissance

Dans le cadre des présentes analyses, le capital forestier en croissance a été défini comme étant la surface terrière des arbres d'essences désirées, de priorité C ou R, identifiés sur le terrain comme contenant du bois d'œuvre (classe O). Le tableau 3.3 présente, selon le type de couvert, les essences considérées comme désirées. Deux catégories de peuplements ont été définies, soit :

- 40 % de la surface terrière ou 9 m²/ha ;
- Insuffisant (aucun des 2 critères précédents atteints).

Tableau 3.3. Essences désirables selon le type de couvert

Type de couvert	Essences désirées
FT	ERS, BOJ, TIL, FRA, FRP, CHB, CHR, CET
FTR	BOJ, EPB, EPR, EPN, SAB, PIB

Attribut 6 : Stade évolutif

Sur la base de la proportion de surface terrière en feuillus intolérants à l'ombre, deux stades évolutifs ont été définis. Le tableau 3.4 présente ces stades de même que leurs critères de définition.

Tableau 3.4. Critères de définition des stades évolutifs

Stade évolutif	Proportion de surface terrière en feuillus intolérants
Faciès	>25 %
Stable	<=25 %

Attribut 7 : La structure

L'attribut de structure est défini par la fréquence relative, en nombre de tiges, des arbres répartis en 3 catégories de grosseur : petits bois (24 à 28 cm), bois moyens (30 à 38 cm) et gros bois (40 cm et +). Seules les essences feuillues tolérantes sont considérées dans cette classification. Selon le triangle des structures, les catégories possibles sont :

- Gros bois;
- Bois moyens - Gros bois;
- Bois moyens;
- Petits Bois - Bois Moyens;
- Irrégulier;
- Petits bois - Gros bois;
- Petits bois.

Sélection des regroupements et confection des peuplements

Pour chacun des regroupements, un nom de peuplement a été défini en concaténant les valeurs de sept attributs de caractérisation définis. Un tableau présentant le nombre de regroupements partageant le même nom de peuplement a par la suite été confectionné. Ce dernier a servi de base à l'identification finale des peuplements à simuler. Cette sélection s'est réalisée sur la base de l'abondance (nombre de regroupements par peuplement) et de la représentation des niveaux des attributs d'intérêt.

Au final, 11 peuplements ont été retenus. Pour chacun de ceux-ci, 6 regroupements ont été sélectionnés au hasard afin de confectionner les tables de peuplements à utiliser dans les analyses. Le choix du nombre de peuplements et du nombre de regroupements a été contraint par la capacité d'analyse du CIMOTFF et par les échéanciers prescrits. Cela représente un total de 991 PE. Le tableau 3.5 fait état des peuplements sélectionnés et de leurs caractéristiques.

Tableau 3.5. Liste des peuplements sélectionnés pour l'analyse

Peuplement	Nombre de regroupements	Nombre de PE
Peuplement 1 : FT + BJER + 24 et plus + <20 % + 40 % ou 9 m ² + Stable + IR	6	75
Peuplement 2 : FT + ERBJ + 16 à 24 + <20 % + 40 % ou 9 m ² + Stable + IR	6	49
Peuplement 3 : FT + ERBJ + 24 et plus + <20 % + 40 % ou 9 m ² + Stable + IR	6	104
Peuplement 4 : FT + ERFT + 16 à 24 + >=20 % + Insuffisant + Stable + IR	6	61
Peuplement 5 : FT + ERFT + 24 et plus + >=20 % + 40 % ou 9 m ² + Stable + IR	6	128
Peuplement 6 : FT + ERFT + 24 et plus + >=20 % + Insuffisant + Stable + IR	6	129
Peuplement 7 : FTR + BJ+R + 16 à 24 + <20 % + 40 % ou 9 m ² + Stable + IR	6	87
Peuplement 8 : FTR + BJ-R + 16 à 24 + <20 % + Insuffisant + Stable + IR	6	54
Peuplement 9 : FTR + BJ-R + 24 et plus + <20 % + 40 % ou 9 m ² + Stable + IR	6	97
Peuplement 10 : FTR + FXR + 24 et plus + >=20 % + Insuffisant + Stable + IR	6	104
Peuplement 11 : FTR + BJ-R + 24 et plus + <20 % + 40 % ou 9 m ² + Facies + IR	6	103

3.1.2 Description dendrométrique des peuplements initiaux

Les principales caractéristiques dendrométriques des peuplements étudiés sont résumées au tableau 3.6, et les valeurs de chaque peuplements sont présentées à l'annexe 1.

Tableau 3.6. Statistiques dendrométriques des peuplements initiaux.

		FT (n = 6)		FTR (n = 5)	
		moy.	min. - max.	moy.	min. - max.
Surface terrière (m ² /ha)	Totale	25,3	21,6 – 28,5	25,0	21,7 – 28,8
	Petits bois, feuillus durs	3,4	2,8 – 4,5	2,3	1,8 – 3,3
	Bois moyens, feuillus durs	6,3	5,3 – 7,7	4,1	3,5 – 5,0
	Gros bois, feuillus durs	7,5	5,9 – 9,0	5,0	3,6 – 6,8
	CFC	9,9	7,0 – 12,4	10,0	6,8 – 12,7
	CFC feuillus, dhp>45 cm	1,5	1,1 – 2,0	1,3	1,0 – 1,7
	MO	4,9	3,2 – 5,8	5,8	3,9 – 7,7
	MP	1,8	0,9 – 2,4	1,3	0,7 – 1,9
	SO	3,6	2,5 – 5,0	2,1	1,2 – 3,8
	SP	1,4	0,9 – 1,8	1,2	0,4 – 1,7
Volume (m ³ /ha)	Marchand brut	194,5	168,1 – 226,0	176,7	153,6 – 205,6
	Résineux brut	15,2	8,3 – 26,8	55,6	40,8 – 64,9
	Feuillus tolérants brut	173,9	151,9 – 209,2	107,9	86,8 – 142,6
	ERS et BOJ brut	133,4	96,9 – 171,2	90,8	76,2 – 110,5
	Pâte feuillus durs	100,4	80,8 – 122,7	63,9	52,1 – 86,4
	Sciage feuillus durs	54,1	43,0 – 63,9	34,4	27,6 – 40,5
	Sciage F1+F2+déroutage	20,8	16,3 – 24,6	13,7	10,0 – 16,5

3.1.3 Choix des modalités à simuler

Pour chaque groupe de peuplements, de un à trois traitements plausibles ont été identifiés en fonction des caractéristiques du peuplement (tableau 3.7). Ces traitements ont été choisis dans le but de générer un vaste gradient de peuplements après coupe afin de mieux y dégager les tendances.

Tableau 3.7. Traitements plausibles retenus pour chaque groupe de peuplements.

N°	Gr. ess.	Appel.	Classe G (m²/ha)	Prop. ess. non désirées	Niveau de CFC	Stade évolutif	Struc.	Trait. 1	Trait. 2	Trait. 3
1	FT	BJER	24 et +	<20 %	≥40 % ou ≥9 m²/ha	Stable	IR	CJ 30 %	CPI_CP 30 %	-
2	FT	ERBJ	16 à 24	<20 %	≥40 % ou ≥9 m²/ha	Stable	IR	CJ 30 %	CPI_CP 30 %	CPI_RL 35 %
3	FT	ERBJ	24 et +	<20 %	≥40 % ou ≥9 m²/ha	Stable	IR	CJ 30 %	CPI_CP 30 %	-
4	FT	ERFT	16 à 24	≥20 %	Insuffisant	Stable	IR	CPI_RL 35 %	-	-
5	FT	ERFT	24 et +	≥20 %	≥40 % ou ≥9 m²/ha	Stable	IR	CJ 30 %	CPI_CP 30 %	-
6	FT	ERFT	24 et +	≥20 %	Insuffisant	Stable	IR	CPI_CP 30 %	CPI_RL 35 %	-
7	FTR	BJ+R	16 à 24	<20 %	≥40 % ou ≥9 m²/ha	Stable	IR	CPI_CP 30 %	-	-
8	FTR	BJ-R	16 à 24	<20 %	Insuffisant	Stable	IR	CPI_RL 35 %	-	-
9	FTR	BJ-R	24 et +	<20 %	≥40 % ou ≥9 m²/ha	Stable	IR	CPI_CP 30 %	CPI_RL 35 %	-
10	FTR	FXR	24 et +	≥20 %	Insuffisant	Stable	IR	CPI_RL 35 %	-	-
11	FTR	BJ-R	24 et +	<20 %	≥40 % ou ≥9 m²/ha	Faciès	IR	CPI_CP 30 %	CPI_RL 35 %	-

Des modalités des traitements ont aussi été identifiées selon ce qui a couramment été observé ou demandé en forêt publique ces dernières années (tableau 3.8). Tout comme pour les traitements plausibles, les modalités retenues ont pour but de générer un vaste gradient de conditions après coupe, pour mieux y dégager les tendances. Ainsi, certaines modalités testées étaient jugées extrêmes et non désirables, mais elles ont été conservées dans le but de générer ce vaste gradient de conditions de peuplements résiduels. Pour tous les groupes de modalités, le prélèvement des arbres de priorité M pâte a été limité de façon à en conserver 1 m²/ha sur pied, pour conserver des arbres susceptibles de produire du bois mort en cours de rotation et, éventuellement, améliorer la rentabilité de l'intervention. Pour les groupes de modalités de base, soit ceux inspirés des normes en vigueur avant le 1^{er} avril 2013, la simulation du prélèvement comprenait une mesure de protection du CFC à 88 % dans les CJ et à 80 % dans les CPI_CP. Pour tous les autres groupes de modalités, il n'y a pas eu de mesure de protection du CFC afin de permettre la création du vaste gradient de conditions recherchées.

Tableau 3.8. Combinaisons des modalités testées.

N° groupe de modalités	Diamètre de maturité financière (Diamf) ERS et BOJ, C ou R	Taux de prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers
1	6° (CJ) ou 4° (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	De base	Récolte	De base
2				Accrue
4			Ne récolte pas	De base
5				Accrue
7		+ 0 %	Récolte	De base
9				Accrue
10			Ne récolte pas	De base
12				Accrue
13	2° priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	De base	Récolte	De base
13a				Accrue
15			Ne récolte pas	Accrue
16				De base
19		+10 %	Récolte	De base
21				Accrue
22			Ne récolte pas	De base
24				Accrue
25	2° priorité de récolte, diamètre ≥ 50 cm	De base	Récolte	De base
28			Ne récolte pas	
31		+10 %	Récolte	

L'effet de changer le diamètre de maturité financière (Diamf), et celui d'élever la priorité de récolte, ont été testés pour l'érable à sucre et le bouleau jaune. De base, les arbres de priorité C ou R de ces essences sont récoltés lorsque leur dhp atteint au moins 56 cm, sauf pour les pertes aléatoires causées par les sentiers de débardage. De plus, ces arbres peuvent être récoltés lorsque ceux des 5 priorités précédentes ont été récoltés. Dans le cas des CJ, l'ordre de priorité est normalement le suivant :

1. MO;
2. Essences peu longévives;
3. MP (sauf 1 m²/ha conservé);
4. SO;
5. SP;
6. Diamf.

Pour les CPI, les Diamf passent habituellement avant les SO.

Un type de modalité testé a été de devancer la priorité des Diamf au 2^e rang et d'inverser l'ordre de priorité des MO et des essences peu longévives, puis d'abaisser le diamètre de récolte à 50 ou à 40 cm

pour l'érable à sucre et le bouleau jaune⁷. Il est à noter que ces diamètres diffèrent de ceux proposés au chapitre 2, car ils ont dû être fixés avant l'achèvement des analyses sur les diamètres de maturité. Ces derniers permettent toutefois de générer un vaste gradient de conditions après coupe pour mieux y dégager les tendances.

Le taux de prélèvement de base était de 30 % de la surface terrière marchande dans les CJ et les CPI_CP, puis de 35 % dans les CPI_RL. Une modalité testée dans les CPI était d'ajouter 10 % au prélèvement de base pour le faire passer à 40 pour les CPI_CP, ou à 45 % pour les CPI_RL.

Dans les modalités de base, les essences pour lesquelles il n'y a pas toujours un marché pour écouler les bois sont récoltées au même titre que toutes les essences. Une modalité testée a été de ne pas récolter les essences sans preneur dans des peuplements où ces essences composent au moins 20 % de la surface terrière du peuplement.

Dans toute récolte partielle, une partie des arbres est récoltée pour permettre la circulation de la machinerie, ce qui en fait un prélèvement théoriquement aléatoire. De base, la proportion de la surface terrière prélevée aléatoirement par l'effet des sentiers de débardage a été fixée à 3,5 % dans les CJ, ce qui implique une opération avec des sentiers qui sillonnent légèrement entre les arbres pour minimiser la récolte d'arbres non martelés. Une modalité testée dans les CJ a été de simuler des sentiers répartis systématiquement avec un taux de prélèvement de 12,5 %, soit des sentiers d'environ 4,5 m de largeur répartis aux 35 m. Cette modalité était la modalité de base dans les CPI_CP, tandis qu'une proportion accrue de sentiers dans les CPI_CP signifiait un prélèvement 18 %, pour des sentiers de 4,5 m de large répartis aux 25 m. Dans la CPI_RL, seuls les sentiers avec un taux de prélèvement de 18 % de la surface terrière ont été simulés.

Pour chaque agencement de groupe de peuplements et de traitements, les modalités de traitements plausibles et pertinentes ont été identifiées. Par exemple, il n'était pas utile d'évaluer l'impact de ne pas récolter d'essences sans preneur pour une strate qui n'en possédait pas significativement. Le tableau 3.9 présente une synthèse du nombre de simulations effectuées par combinaison de traitements et de modalités, tandis que l'annexe 2 présente le détail des 131 combinaisons de modalités, traitements et groupes de peuplement retenus.

⁷ Au moment de faire les simulations, le travail sur les diamètres de maturité n'était pas complété, d'où le choix de deux diamètres contrastés pour les tests.

Tableau 3.9. Nombre de simulations effectuées par combinaison de traitement et de modalité.

Diamètre (Diamf)	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP	CPI_RL	Total
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	4	8	7	19
			Accrue	4			4
		Ne récolte pas	De base	1	1	3	5
			Accrue	1			1
	+10 %	Récolte	De base		8	7	15
			Accrue		8		8
		Ne récolte pas	De base		1	3	4
			Accrue		1		1
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	4	6	7	17
			Accrue	4			4
		Ne récolte pas	De base	1	1	3	5
			Accrue	1			1
	+10 %	Récolte	De base		8	7	15
			Accrue		8		8
		Ne récolte pas	De base		1	3	4
			Accrue		1		1
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	4	7		11
		Ne récolte pas	De base	1			1
	+10 %	Récolte	De base		7		7
Total				25	66	40	131

3.1.4 Simulation des traitements dans MÉRIS

Utilisation de MÉRIS

Le logiciel MÉRIS (Modèle d'évaluation de la rentabilité des investissements sylvicoles), en développement au moment de la réalisation du présent mandat, a été utilisé pour la réalisation des analyses. Cet outil est issu de la fusion des fonctionnalités d'analyses de rentabilité financière des traitements sylvicoles commerciaux de ASEF (Analyses Sylvicole Et Financière) et de celles de rentabilité économique du MÉE (Modèle d'Évaluation Économique). Ces deux logiciels, de même que leur guide d'utilisateur, sont disponibles gratuitement sur le site Web du BMMB. Une description un peu plus détaillée des fonctionnalités de MÉRIS est présentée dans la section 3.1.5.

Rappel important

La version de MÉRIS utilisée en est une de développement et d'essais, en cours d'amélioration et de mise à niveau, et dont la validation finale n'était pas complétée. Il est donc possible que quelques anomalies subsistent.

Par contre, l'utilisation de MÉRIS faite par le CIMOTFF se base plus sur le module de croissance, soit SaMARE, qui a été validé scientifiquement, et sur les analyses financières de l'ASEF.

Bien que les peuplements initiaux soient chacun constitués d'un nombre important de placettes, on doit noter que le retour de SaMARE est une placette moyenne. Aussi, le module SaMARE utilise la l'emplacement du peuplement pour faire le lien avec les caractéristiques climatiques et écologiques et la croissance des arbres. Pour éviter des écarts relatifs dans le modèle de croissance qui seraient causés non pas par les modalités de récolte, mais par les variations bioclimatiques, on a donc pris des coordonnées moyennes représentatives de la forêt feuillue, tant du point de vue forestier que financier (zone de tarification). Les coordonnées utilisées sont :

- Latitude : 46.5 °N;
- Longitude : -75.00 °W;
- Altitude : 350 m.

Cet emplacement se retrouve dans la zone de tarification 661, soit près de Mont-Laurier.

Les taux d'aide financière associés aux traitements⁸ sont les taux officiels en vigueur pour l'année financière en cours, soit :

- CJ : 587 \$/ha X 90 % = 528,30 \$/ha
- CPI_CP : 352 \$/ha X 90 % = 316,80 \$/ha
- CPI_RL : 352 \$/ha X 90 % = 316,80 \$/ha

Ces 131 combinaisons ont fait l'objet de simulations dans MÉRIS. Les placettes ont d'abord été importées dans le logiciel et les volumes bruts d'inventaire calculés en fonction de tarifs de cubage locaux présents dans l'outil. La ventilation des produits est basée sur la matrice de répartition des produits MSCR-OP également présente dans le logiciel.

⁸ Ce taux d'aide financière représente la différence entre les coûts d'une CPRS et le traitement de coupe partielle.

Simulations des traitements

Pour être en mesure de faire une étude comparative entre les différentes modalités, des instructions de martelage associées aux traitements et aux modalités ont été modélisées puis simulées dans MÉRIS. L'annexe 3 présente l'ensemble des traitements, leurs paramètres et leurs modalités.

Puisque l'évaluation des impacts porte sur plus d'une rotation, ces traitements sont réutilisés pendant tout l'horizon d'analyse. Pour les CJ et les CPI_CP, 3 coupes ont été simulées. Les deuxième et troisième coupes ont été simulées lorsque le peuplement avait reconstitué au moins 24 m²/ha de surface terrière et son volume initial de bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2 de feuillus durs). Si un peuplement avait eu initialement un volume de bois d'œuvre de haute valeur supérieur à 27,1 m³/ha (soit la moyenne de 21,7 m³/ha + 25 %), alors les coupes auraient été déclenchées avant la reconstitution du volume initial, mais cette mesure n'a pas été nécessaire avec les peuplements à l'étude. Quant aux CPI_RL, 2 récoltes ont été simulées, à 30 ans d'intervalle. Compte tenu de la période de calibration du modèle de croissance, l'application d'une 3^e rotation n'apparaissait pas pertinente pour les CPI-RL puisqu'elle était prévue 90 ans après la seconde intervention. Les données d'inventaire du peuplement résiduel après coupe ont ensuite été exportées vers le modèle de croissance SaMARE. Les descriptions détaillées de MÉRIS et de SaMARE sont présentées dans les sections suivantes.

3.1.5 Fonctionnement du logiciel MÉRIS

MÉRIS permet la récupération et l'analyse des données d'inventaires d'intervention, la simulation des modalités de traitements de récolte complexes (jardinage, coupe progressive, etc.), paramétrables par l'utilisateur, et le calcul de leur rentabilité financière. Cette dernière fonctionnalité implique le calcul, par l'outil, des coûts d'opération des modalités simulées ainsi qu'une estimation, grâce à une matrice de répartition, des produits présents dans les arbres sur pied et prélevés, ainsi que la valeur de ceux-ci. MÉRIS permet aussi le calcul de la rentabilité économique de scénarios sylvicoles, composés d'un ou de plusieurs traitements, dans lesquels s'inscrit la récolte commerciale. Pour alimenter la réalisation des analyses économiques, qui nécessitent des estimations de rendements forestiers, un lien avec le modèle de croissance SaMARE a été implanté dans MÉRIS. Celui-ci permet de simuler l'évolution des peuplements forestiers résiduels de feuillus tolérants résultant de l'application des modalités de récoltes définies. Les autres modèles de croissance, notamment ARTÉMIS, seront aussi éventuellement intégrés dans l'outil, ce qui permettra, à terme, d'élargir la gamme de compositions forestières pour lesquelles des fonctionnalités de croissance sont disponibles.

Les principales fonctionnalités de l'outil qui ont été utilisées sont les suivantes :

Simulation de récolte

MÉRIS contient une fonctionnalité de définition de traitements et de modalités. Il est possible d'y préciser des largeurs de sentier, de définir des priorités de récolte en fonction de différents critères (essences, dhp, vigueur, etc.), des niveaux de prélèvement à atteindre et des seuils de peuplements résiduels à respecter. Il permet aussi un martelage positif des tiges à conserver. La simulation de la récolte peut se faire placette par placette (mode PE) ou à l'échelle du peuplement (mode UE). C'est ce dernier mode qui a été utilisé pour la réalisation des analyses. Notons que MÉRIS ne simule pas les effets de blessures portées aux arbres résiduels lors des traitements. Pour être en mesure de faire une étude comparative entre les différentes modalités, des instructions de martelage associées aux traitements et aux modalités correspondant au tableau 3.9 ont été modélisées puis simulées dans MÉRIS. L'annexe 3 présente l'ensemble des traitements, leurs paramètres et leurs modalités.

Évolution des peuplements résiduels avec SaMARE

Les peuplements résiduels issus des simulations de récoltes peuvent être dirigés vers SaMARE pour en simuler une évolution. Des informations plus détaillées sur cette fonctionnalité sont présentées dans la section 3.1.6 et à l'annexe 4.

Caractérisation en produits des peuplements

La matrice de répartition par produits MSCR-OP a été utilisée pour procéder à la caractérisation des volumes sur pied, prélevé et résiduel. Ceux-ci sont fonction de l'essence des arbres, leur dimension (dhp), leur priorité de récolte (MSCR) et de leur classification de bois d'œuvre (OP). Les données qui ont permis de confectionner ces matrices, pour les essences principales, consistent en des études de débitages réalisés à différents moments dans le temps. Quelques lacunes à cette matrice ont été mises en évidence dans le cadre du présent travail et sont exposées dans la section 3.1.6.

Calcul de la valeur des arbres

Les valeurs contenues dans MÉRIS correspondent à des revenus nets de transformation. Elles sont calculées à l'échelle des produits (billes de sciage, déroulage, pâte) en fonction des prix de marché de leur contenu, en catégories de sciage et de copeaux, desquels sont déduits des coûts de transformation. La valeur d'un arbre s'estime par la sommation de la valeur des produits qu'il contient.

Calcul de la rentabilité financière

Le calcul de la rentabilité financière requiert de déduire, du revenu net de transformation d'une simulation de récolte, les coûts d'opérations pour récolter ces bois et les livrer aux usines⁹. Cette estimation de coût repose essentiellement sur les enquêtes sur les coûts d'approvisionnement réalisées périodiquement par le BMMB auprès des industriels en forêt feuillue et résineuse. Des informations plus précises, telles des équations de coûts de récoltes, sont aussi utilisées.

Par ailleurs, l'étude des valeurs récoltées à l'aide du logiciel MÉRIS doit, actuellement, être interprétée avec soin en tenant compte qu'il fonctionne à l'aide d'une matrice provinciale de répartition par produits, et que, dans le cadre des présentes analyses, les prélèvements sont basés sur une directive de récolte unique, peu importe le peuplement, et que le logiciel n'est pas sensible à la complexité spatiale des structures verticales et horizontales, sauf à la surface terrière.

Les informations relatives aux portraits forestiers et les résultats financiers de la première opération de récolte ont été colligés par la suite. Pour les besoins du présent projet, on a retenu les valeurs tendance des produits plutôt que les valeurs actuelles.

3.1.6 Simulation dans SaMARE de l'évolution des peuplements traités

Pour simuler la croissance d'un peuplement de feuillus durs, MÉRIS soumet une table de peuplements résiduels à SaMARE, avec les informations qui précisent l'essence, le dhp, la fréquence, la priorité de récolte MSCR et le potentiel de bois d'œuvre OP de chaque groupe de tiges.

SaMARE (Fortin *et al.* 2009a) est un simulateur de croissance à l'échelle de l'arbre, calibré avec des données observées sur 5, 10 et 15 ans dans le dispositif d'expérimentation de la coupe de jardinage dans des érablières à la DRF. Une description plus détaillée du fonctionnement de SaMARE et de ses potentiels et limites est présentée à l'annexe 4. Quelques points importants à connaître au sujet de SaMARE dans le cadre des analyses du comité :

- SaMARE tient compte de la classe de vigueur (codification 1234), laquelle peut être prédite à partir de la priorité de récolte MSCR (voir aussi la section suivante). Ainsi, SaMARE est plus sensible qu'ARTÉMIS à des différences de choix d'arbres à prélever pour une même essence et un même dhp.

⁹ Pour les simulations du CIMOTFF, puisque nous avons un seul emplacement pour les peuplements soumis aux simulations, les coûts de livraison aux usines sont identiques dans tous les cas.

- SaMARE n'a pas été calibré dans les peuplements mixtes. Cependant, une comparaison de l'évolution prédite par SaMARE et ARTÉMIS pour des peuplements mixtes de la mesure des effets réels des CJ indique que les biais des deux simulateurs sont semblables (Guillemette *et al.*, en préparation). Néanmoins, l'interprétation de l'évolution des essences résineuses doit être faite avec prudence, particulièrement en ce qui concerne le recrutement.
- La simulation ne considère pas d'effets sur la régénération qui proviendrait de trouées, de bandes ou de surfaces dont le terrain a été préparé. Le recrutement est représentatif de celui sous couvert dans des coupes de jardinage.
- L'horizon de calibration de SaMARE est de 15 ans, alors que les simulations sont faites sur un plus long horizon. Plus l'horizon de simulation est grand, plus l'incertitude augmente.

La croissance des peuplements résiduels résultant des traitements a été simulée sur un horizon de 50 ans, avec des résultats intermédiaires pour chaque pas de 5 ans. Chaque simulation contient 200 itérations qui ont par la suite été compressées pour produire une table de peuplements par pas de simulation, lesquelles ont ensuite été importées dans MÉRIS. Cependant, une mesure de correction a été apportée à l'étape d'importation, et est décrite à la section suivante.

Après la simulation d'un premier traitement et d'une première croissance dans SaMARE, un second traitement a été simulé dans MÉRIS, ainsi qu'une seconde croissance dans SaMARE (CJ et CPI_CP uniquement). Finalement, un troisième traitement a été simulé dans MÉRIS à la suite de cette seconde croissance.

3.1.7 Potentiel de bois d'œuvre et matrice de répartition par produits

En cours d'analyse, trois problèmes ont été soulevés avec l'utilisation de la classe de présence (O) ou d'absence (P) d'une bille potentielle de bois d'œuvre dans l'arbre, laquelle est une variable très importante dans la matrice actuelle de répartition par produits.

Premièrement, la procédure d'entrée dans SaMARE à partir de MÉRIS ne contient pas de modèle statistique permettant de convertir le potentiel de bois d'œuvre obtenu lors des inventaires d'interventions (la face d'avant-dernière qualité a au moins 50 % de sa longueur en débits clairs, sur une bille de 2,5 m de longueur) dans le format utilisé dans les dispositifs de recherche, lesquels ont servi à la calibration de SaMARE (un débit clair de 1,8 m, sans réduction volumétrique pour la carie). Le potentiel de bois d'œuvre est lu, puis appliqué directement dans SaMARE. Cette différence de méthode de classement devrait avoir pour effet de soumettre à SaMARE un peuplement en apparence de meilleure qualité et

donc, de produire un meilleur rendement. Des tests ont été effectués avec d'autres simulations et il a été conclu qu'au bout de 20 ans ou plus de croissance, l'effet de cette différence initiale n'était plus perceptible sur les principales variables à l'étude, et que les simulations étaient bonnes. Cependant, lors du retour des données de SaMARE vers MÉRIS, l'absence d'un modèle statistique de conversion de format vers OP avait pour effet de générer artificiellement un volume de qualité pâte nettement supérieur à ce qui est habituellement observé. Cette situation a été corrigée temporairement en remplaçant la classe OP générée directement par SaMARE en fin de rotation par une classe OP prédite dans les mêmes proportions que celles observées avec les peuplements initiaux, pour une même essence, un même dhp et une même classe de priorité de récolte MSCR. Ainsi, SaMARE a servi à prédire une nouvelle table de peuplements avec l'essence, le dhp et la priorité de récolte, mais le potentiel de bois d'œuvre OP a été attribué avec un autre modèle statistique reproduisant les proportions initialement observées.

Deuxièmement, en cours de mandat, le comité a été informé que la classe OP présente dans la matrice de répartition par produits ne provenait pas d'une donnée évaluée *a priori* sur l'arbre sur pied, mais plutôt d'une observation *a posteriori*, effectuée lors du tronçonnage de l'arbre (Filip Havreljuk, DRF, comm. pers. 2014). Ainsi, les arbres dans lesquels une bille de déroulage ou de sciage F1, F2 ou F3 a été observée lors du tronçonnage sont les arbres classés O, tandis que les autres sont classés P. Or, nous savons par expérience qu'une évaluation du potentiel d'un arbre sur pied à détenir un type de bille ne constitue pas une certitude qu'il la détiendra, et le même principe s'applique à l'évaluation sur pied de l'absence d'une telle bille. Par conséquent, la matrice actuelle est susceptible de surestimer le volume de bois d'œuvre dans les arbres classés O et de le sous-estimer dans les arbres classés P. Pour construire une matrice de répartition par produits avec les données les plus fiables prises sur le terrain, il faut se concentrer sur l'essence, le dhp, la priorité de récolte MSCR et la classe de qualité ABCD. Des données de vigueur sont également disponibles, mais elles ont été prises selon deux protocoles différents dans des chantiers différents (DRF et bénéficiaires de CAAF) et dans le second cas, leur fiabilité est inconnue.

Une des façons de corriger ces problèmes est de prendre des mesures sur le terrain pour calibrer des modèles statistiques permettant de convertir les formats de données de la norme OP vers les autres classements de qualité, et *vice versa*. Cependant, une question fondamentale a été soulevée par le comité : quelle norme OP est utilisée sur le terrain? Il semblerait que ce soit surtout la norme de 2006 (MRNF 2006), laquelle est une retranscription de celle présente dans les *Instructions relatives* depuis la décennie 1990. Cependant, il semblerait qu'elle ait été appliquée différemment dans certaines régions et que c'est ce qui se retrouverait dans la version 2012 (MRN 2012) de cette norme. La principale différence entre les deux normes est l'absence (2006) ou la présence (2012) d'un critère sur la réduction

volumétrique tolérée dans la bille. Avant de calibrer des modèles de conversion, il faudra éclaircir cette question.

Néanmoins, les principaux biais ont été corrigés et le comité est confortable avec ces simulations, surtout pour interpréter leurs résultats sur une base comparative entre les modalités et traitements.

Recommandation 1

Le CIMOTFF recommande de modifier la façon dont est établie la matrice de répartition du volume des arbres sur pied par produits (par billes), car la matrice actuelle utilise une classe de bois d'œuvre (OP) qui a été observée à la suite du tronçonnage, et non pas lorsque l'arbre était sur pied. Il serait possible d'utiliser soit une matrice nécessitant seulement la classe MSCR, soit une matrice utilisant les classes MSCR et ABCD. Dans ce second cas, il serait possible de calibrer un modèle statistique pour convertir la classe de bois d'œuvre OP en classes de qualité ABCD. De plus, il faudra déterminer si la norme OP de référence est celle de 2006 ou de 2012. Ces options devront, selon nous, être étudiées par le comité sur les matrices de répartition par produits du BMMB, en consultation avec les régions.

3.1.8 Analyses des résultats de simulations

Des analyses de variance (ANOVA, avec la procédure MIXED de SAS 9.3) qui tiennent compte de l'effet aléatoire de peuplement ont été effectuées sur les résultats des simulations afin de détecter les effets des modalités (% de sentiers, ordre de prélèvement, taux de prélèvement) de chacun des 3 traitements sylvicoles sur les variables analysées. La plupart des ANOVA ont été effectuées sur la différence de valeur entre 2 périodes, généralement entre la valeur finale et la valeur initiale. Lorsqu'une modalité présentait une différence significative au seuil d'erreur de 5 %, un test de Dunnett était appliqué afin de comparer chaque niveau de la modalité avec la combinaison de référence, laquelle est le traitement avec toutes les modalités de base. Par exemple, pour l'ordre de prélèvement à 3 niveaux, les niveaux Diamf de 50 cm avant les MO, puis de Diamf de 40 cm avant les MO sont comparés à celui de base. Les seuils des comparaisons multiples sont ajustés pour tenir compte de la multiplicité des tests. Pour les CPI_CP, il a fallu construire des contrastes entre certains niveaux des modalités, car la modalité de proportion de sentiers n'a pas été testée aux 2 niveaux (12,5 et 18 %) lorsque le prélèvement était fixé à 30 %. En d'autres termes, la modalité à 18 % de sentiers n'était présente qu'avec la combinaison de la modalité augmentant le prélèvement.

Des analyses par régressions multiples ont aussi été réalisées afin créer des modèles simples permettant de relier des composantes de la surface terrière du peuplement résiduel 1 (c'est-à-dire après la première

intervention) avec l'état prédit à la fin de la première rotation (peuplement initial 2) pour des composantes en feuillus durs des peuplements. Les variables indépendantes testées sont la durée de la rotation et 22 combinaisons formées de 2 groupes d'essences (incluses dans le CFC ou les autres feuillus durs), de 4 classes de dhp (10-22 cm, 24-32 cm, 34-44 cm et 46 cm et +) et de 3 priorités de récolte en interaction avec le potentiel de bois d'œuvre (CO+RO, MO+SO, pâte). Toutes les variables ont été incluses dans le premier modèle, puis celles n'ayant pas d'effet significatif ont été retirées une à une. Le premier modèle a été créé pour prédire le volume de bois d'œuvre feuillu de haute qualité (DérF1F2) au début de la prochaine rotation. Par la suite, il a été nécessaire de calibrer un second modèle permettant d'alimenter le premier et, ainsi, parvenir à identifier des balises de structure cible des peuplements pour espérer soutenir la production à long terme. Finalement, un troisième modèle a été calibré pour identifier les paramètres les plus susceptibles d'expliquer la production de bois de pâte des feuillus durs dans les peuplements. Les modèles ont été calibrés avec la procédure MIXED de SAS 9.3 pour tenir compte de l'effet aléatoire de peuplement, puis des coefficients de détermination (R^2) ont été calculés avec la procédure GLM afin de vulgariser la précision des modèles.

3.2 Résultats des simulations

La section suivante vise à répondre aux questions énumérées précédemment. Pour des besoins de simplification et de compréhension, l'information est généralement synthétisée. Toutefois, les détails sont présentés à l'annexe 5. Il est important de rappeler que les résultats doivent surtout être interprétés sur une base comparative entre les modalités, plutôt que sur une base de valeurs absolues.

3.2.1 Récolte

Les modalités testées génèrent-elles davantage de bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2) que le traitement de référence?

CJ et CPI_CP

En comparaison avec les modalités de référence, les modalités testées augmentent significativement ($p < 0,05$) le volume moyen à l'hectare des 3 récoltes pour les produits DérF1F2 dans les CJ et les CPI_CP, à l'exception de la modalité où la proportion de sentiers est accrue ($p \geq 0,5189$, tableau 3.10). Cette récolte supplémentaire a eu pour effet de diminuer la taux de protection du CFC (tableau 3.11, aucun test statistique). La modalité avec un diamètre de maturité financière de 40 cm est celle qui présente les plus grandes récoltes du volume concerné. Ces récoltes sont de l'ordre de 50 % plus élevées que les modalités de référence, comme le démontre le tableau 3.10, même si les taux de protection du CFC sont de 20 à 30 % plus faibles (tableau 3.11).

Bien qu'aucun test statistique n'ait été réalisé avec la modalité qui consistait à ne pas récolter les essences sans preneur, les résultats suggèrent que cette modalité n'a pas eu d'effets notables sur les volumes récoltés, même si elle n'est pas durable (section 3.2.3). D'ailleurs, le taux de protection du CFC diminue d'une récolte à l'autre avec cette modalité et atteint parfois des valeurs nulles à la 3^e récolte (tableau 3.11 et données non présentées). On dénote toutefois que pour certaines modalités particulières et certains peuplements spécifiques, les volumes générés sont moindres ou équivalents aux traitements de référence (voir annexe 5).

Tableau 3.10. Volume moyen à l'hectare des 3 récoltes en produits DérF1F2, pour les CJ et les CPI_CP (m³/ha).

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	7,7	6,6
			Accrue	7,1	
		Ne récolte pas	De base	11,2	11,6
			Accrue	9,0	
	+10 %	Récolte	De base		8,9
			Accrue		8,8
		Ne récolte pas	De base		9,3
			Accrue		8,7
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	13,1	9,9
			Accrue	12,0	
		Ne récolte pas	De base	16,0	12,3
			Accrue	15,6	
	+10 %	Récolte	De base		13,5
			Accrue		12,9
		Ne récolte pas	De base		9,8
			Accrue		9,6
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	8,8	8,0
		Ne récolte pas	De base	12,8	
	+10 %	Récolte	De base		10,8

CPI_RL

La modalité d'augmenter de 10 % le prélèvement dans les CPI_RL a augmenté significativement ($p < 0,0001$) le volume moyen récolté des produits de valeur (tableau 3.12). La hausse est toutefois moins prononcée que pour les CJ et CPI_CP. On dénote cependant que pour certaines modalités particulières, pour des peuplements spécifiques, les volumes générés sont moindres ou équivalents aux traitements de référence (voir annexe 5). Toutefois, en moyenne, l'augmentation est de l'ordre de 8 à 16 %, selon la modalité de diamètre financier ou lorsque les essences sans preneur ne sont pas récoltées. Bien qu'aucun test statistique n'ait été réalisé sur la modalité qui consiste à ne pas récolter les essences sans preneur, les volumes moyens tendent à augmenter pour cette modalité. Cependant, la durabilité de cette modalité est discutable dans les CPI_RL (section 3.2.3).

Tableau 3.11. Taux moyen de protection du CFC des 3 récoltes.

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	95	86
			Accrue	87	
		Ne récolte pas	De base	86	48
			Accrue	78	
	+10 %	Récolte	De base		81
			Accrue		79
		Ne récolte pas	De base		28
			Accrue		23
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	67	62
			Accrue	60	
		Ne récolte pas	De base	61	34
			Accrue	53	
	+10 %	Récolte	De base		54
			Accrue		52
		Ne récolte pas	De base		23
			Accrue		17
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	87	76
		Ne récolte pas	De base	79	
	+10 %	Récolte	De base		73

Note. Le taux de chacune des récoltes est très semblable à la moyenne des 3 récoltes, sauf pour les modalités ne récoltant pas les essences sans preneur, pour lesquelles le taux diminue beaucoup d'une récolte à l'autre.

Tableau 3.12. Volume moyen à l'hectare des 2 récoltes en produits DérF1F2, pour les CPI_RL (m³/ha)

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+ 10%
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	Récolte	7,3	8,5
	Ne récolte pas	8,0	9,4
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	Récolte	7,7	8,3
	Ne récolte pas	8,2	9,0

La valeur de la récolte moyenne est-elle supérieure à celle du traitement de référence?

Dans les CJ, la valeur des récoltes simulées avec la modalité de diamètre de 40 cm est significativement supérieure à celle avec le diamètre de base ($p=0,0002$, tableau 3.13). Dans les CPI_CP, les modalités de diamètre de 40 et de 50 cm, de même que celle avec un prélèvement accru de 10 %, ont augmenté significativement la valeur des récoltes ($p \leq 0,0027$, tableau 3.13). L'augmentation de la proportion des sentiers n'a pas eu d'effet significatif ($p=0,4414$). Quant aux CPI_RL, seule l'augmentation de 10 % du

prélèvement a causé une augmentation significative de la valeur des récoltes ($p < 0,0001$, tableau 3.14). Encore une fois, pour tous les traitements, la modalité de ne pas récolter les essences sans preneur indique une tendance à augmenter la valeur de récolte, sauf avec le taux de prélèvement accru dans les CPI_CP, bien que cette mesure ne soit pas durable (section 3.2.3).

Tableau 3.13. Valeur de récolte moyenne globale à l'hectare des 3 récoltes pour les CJ et CPI_CP (\$/ha)

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	De base	Récolte	De base	3 295 \$	3 060 \$
			Accrue	3 181 \$	
		Ne récolte pas	De base	4 044 \$	3 706 \$
			Accrue	3 418 \$	
	+10 %	Récolte	De base		4 140 \$
			Accrue		4 082 \$
		Ne récolte pas	De base		3 353 \$
			Accrue		3 184 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	De base	Récolte	De base	3 820 \$	3 380 \$
			Accrue	3 604 \$	
		Ne récolte pas	De base	4 508 \$	3 731 \$
			Accrue	4 343 \$	
	+10 %	Récolte	De base		4 544 \$
			Accrue		4 472 \$
		Ne récolte pas	De base		3 367 \$
			Accrue		3 259 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 50 cm	De base	Récolte	De base	3 429 \$	3 215 \$
		Ne récolte pas	De base	4 189 \$	
	+10 %	Récolte	De base		4 226 \$

Tableau 3.14. Valeur de récolte moyenne globale à l'hectare des 2 récoltes pour les CPI_RL (\$/ha).

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+10 %
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	Récolte	4 174 \$	4 489 \$
	Ne récolte pas	4 541 \$	4 890 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	Récolte	4 185 \$	4 500 \$
	Ne récolte pas	4 546 \$	4 849 \$

Le degré de rentabilité des récoltes s'est-il amélioré du point de vue de l'État?

Pour les CJ, la rentabilité financière du point de vue de l'État (ici représenté par le MRN) est significativement plus élevée avec les modalités de diamètre à maturité financière à 40 cm et à 50 cm ($p \leq 0,0026$), mais celle à 40 cm est la plus élevée (tableau 3.15). Pour les CPI_CP, la plupart des modalités permettent une augmentation de la rentabilité comparativement aux modalités de référence ($p < 0,0001$), à l'exception de la modalité d'augmentation de la proportion de sentiers ($p = 0,1714$) et de la modalité qui ne récolte pas les essences sans preneur (pas de tests statistiques).

Tableau 3.15. Rentabilité financière moyenne des 3 récoltes du point de vue de l'État dans les CJ et les CPI_CP (\$/ha)

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	De base	Récolte	De base	-131 \$	119 \$
			Accrue	-145 \$	
		Ne récolte pas	De base	-81 \$	149 \$
			Accrue	-159 \$	
	+10 %	Récolte	De base		253 \$
			Accrue		236 \$
		Ne récolte pas	De base		105 \$
			Accrue		80 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	De base	Récolte	De base	25 \$	280 \$
			Accrue	0 \$	
		Ne récolte pas	De base	40 \$	165 \$
			Accrue	23 \$	
	+10 %	Récolte	De base		379 \$
			Accrue		363 \$
		Ne récolte pas	De base		119 \$
			Accrue		96 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 50 cm	De base	Récolte	De base	-88 \$	237 \$
		Ne récolte pas	De base	-44 \$	
	+10 %	Récolte	De base		334 \$

Le tableau 3.16 présente la même rentabilité financière à partir uniquement des peuplements qui ont fait l'objet à la fois d'une CJ et d'une CPI_CP, soit les peuplements 1, 2, 3 et 5. On remarque que la différence du bilan entre les CJ et les CPI_CP s'explique en bonne partie par un écart d'aide financière de plus de 200 \$/ha entre ces 2 traitements (528 \$/ha pour les CJ vs 316 \$/ha pour les CPI_CP). Puisque la rentabilité financière du point de vue de l'État correspond à la différence entre l'aide financière accordée et les redevances perçues sur les bois vendus, une aide financière moindre et des redevances similaires améliorent la rentabilité financière pour l'État.

Tableau 3.16. Rentabilité financière moyenne des 3 récoltes du point de vue de l'État pour les peuplements 1, 2, 3 et 5

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	-131 \$	64 \$
			Accrue	-145 \$	
		Ne récolte pas	De base	-81 \$	
			Accrue	-159 \$	
	+10 %	Récolte	De base		193 \$
			Accrue		194 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	25 \$	235 \$
			Accrue	0 \$	
		Ne récolte pas	De base	40 \$	
			Accrue	23 \$	
	+10 %	Récolte	De base		320 \$
			Accrue		309 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	-88 \$	130 \$
		Ne récolte pas	De base	-44 \$	
	+10 %	Récolte	De base		225 \$

Pour les CPI_RL, seule la modalité d'augmenter de 10 % le prélèvement a augmenté significativement la rentabilité du point de vue de l'État ($p < 0,0001$, tableau 3.17). L'absence de récolte des essences sans preneur tend à réduire la rentabilité du point de vue de l'État.

Tableau 3.17. Rentabilité financière moyenne des 2 récoltes du point de vue de l'État pour les CPI_RL (\$/ha)

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+10 %
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	Récolte	318 \$	350 \$
	Ne récolte pas	149 \$	199 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	Récolte	330 \$	353 \$
	Ne récolte pas	154 \$	199 \$

Le niveau de rentabilité des récoltes s'est-il amélioré du point de vue du bénéficiaire (scieur)?

Dans les CJ, les modalités de diamètre financier à 40 et 50 cm augmentent significativement ($p \leq 0,0024$) la rentabilité financière du bénéficiaire, tandis que celle où la proportion de sentiers est accrue diminue significativement cette rentabilité ($p = 0,0420$, tableau 3.18). Des effets significatifs semblables sont observés dans les CPI_CP, en plus d'un effet positif de l'augmentation du taux de prélèvement

($p < 0,0001$). On dénote cependant que pour certaines modalités particulières, pour des peuplements spécifiques, la rentabilité est moindre ou équivalente à celle des traitements de référence (voir annexe 5). On remarque aussi que la différence du bilan entre les CJ et les CPI_CP s'explique encore une fois, en bonne partie, par un écart d'aide financière de plus de 200 \$/ha entre ces 2 traitements (528 \$/ha pour les CJ *versus* 316 \$/ha pour les CPI_CP).

Tableau 3.18. Rentabilité financière moyenne des 3 récoltes pour le bénéficiaire (scieur) dans les CJ et les CPI_CP (\$/ha).

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	De base	Récolte	De base	9 \$	-190 \$
			Accrue	-48 \$	
		Ne récolte pas	De base	132 \$	-99 \$
			Accrue	-4 \$	
	+10 %	Récolte	De base		-121 \$
			Accrue		-163 \$
		Ne récolte pas	De base		-206 \$
			Accrue		-252 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	De base	Récolte	De base	305 \$	57 \$
			Accrue	207 \$	
		Ne récolte pas	De base	355 \$	-62 \$
			Accrue	263 \$	
	+10 %	Récolte	De base		142 \$
			Accrue		88 \$
		Ne récolte pas	De base		-184 \$
			Accrue		-225 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 50 cm	De base	Récolte	De base	98 \$	6 \$
		Ne récolte pas	De base	188 \$	
	+10 %	Récolte	De base		60 \$

Pour les CPI_RL, seule la modalité d'augmentation du prélèvement produit une baisse significative de la rentabilité pour le bénéficiaire ($p = 0,0062$, tableau 3.19). La modalité visant le maintien sur pied des essences sans preneur tend à diminuer sensiblement la rentabilité pour le bénéficiaire. On dénote cependant que certaines modalités particulières, pour des peuplements spécifiques, génèrent des rentabilités positives ou équivalentes aux traitements de référence (voir annexe 5).

Tableau 3.19. Rentabilité financière moyenne des 2 récoltes pour le bénéficiaire (scieur) dans les CPI_RL (\$/ha).

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+10 %
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	Récolte	-140 \$	-192 \$
	Ne récolte pas	-400 \$	-349 \$
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	Récolte	-116 \$	-243 \$
	Ne récolte pas	-396 \$	-262 \$

3.2.2 Rendement

Le rendement en bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2, m³/(ha·an)) est-il équivalent à celui du traitement de référence?

Le tableau 3.20 présente le rendement annuel moyen à l'hectare en DérF1F2. Selon les matrices de répartition par produits utilisées, ces produits sont composés en grande partie d'érable à sucre et de bouleau jaune, avec un peu de chêne, de bouleau à papier et de tilleul. Il n'y a pratiquement pas d'érable rouge ni de hêtre dans ce volume. Le volume présenté au tableau 3.21 est constitué de la somme des récoltes de ces produits, sauf la dernière récolte du scénario, à laquelle on ajoute la différence de ces mêmes produits entre le peuplement initial à la dernière récolte et le peuplement initial à la première récolte. Cette somme est ensuite divisée par la somme de la longueur des 2 rotations calculées.

Pour les CJ, les modalités visant la récolte des diamètres à maturité financière de 40 ou de 50 cm améliorent significativement le rendement ($p < 0,0001$), tandis que la modalité d'augmentation de la proportion de sentiers n'a pas eu d'effet significatif ($p = 0,9410$, tableau 3.20). Même si la modalité visant le maintien sur pied des essences sans preneur n'a pas été statistiquement testée, le rendement qui lui est attribué est nettement plus faible. L'augmentation du rendement dans le cas de la modalité visant la récolte des arbres au diamètre à maturité financière de 40 cm est de l'ordre de 40 %, comparativement à un gain de l'ordre de 20 % avec les Diamf de 50 cm.

Les mêmes conclusions s'observent pour la CPI_CP, pour laquelle la modalité d'augmentation du taux de prélèvement n'a pas eu d'effet significatif ($p = 0,2251$, tableau 3.20). L'augmentation du rendement dans le cas de la modalité visant la récolte des diamètres à maturité financière de 40 cm est de l'ordre de 36 %, comparativement à un gain de l'ordre de 30 % avec les diamètres à maturité financière de 50 cm. On

dénote cependant que pour certaines modalités particulières et certains peuplements spécifiques, le rendement est moindre ou équivalent aux traitements de référence (voir annexe 5).

Attribuer une priorité de récolte plus élevée aux diamètres à maturité financière, voire même prélever des tiges d'un diamètre légèrement inférieur à celui-ci (p. ex., des tiges de 40 cm, alors que les diamètres à maturité financière des tiges seraient plus près de 46 cm, chapitre 2), améliore le rendement du peuplement en déroulage et en sciage de haute valeur. On récolte ainsi des tiges qui ont des risques élevés de se dégrader, puis de mourir, et qui offrent une contribution marginale au rendement du peuplement (figure 2.2b).

Tableau 3.20. Rendement annuel moyen en volume de Dér F1F2 de feuillus durs ($m^3/(ha \cdot an)$) pour les CJ et CPI_CP.

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	De base	Récolte	De base	0,40	0,33
			Accrue	0,41	
		Ne récolte pas	De base	0,24	0,18
			Accrue	0,23	
	+10 %	Récolte	De base		0,34
			Accrue		0,32
		Ne récolte pas	De base		0,11
			Accrue		0,09
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	De base	Récolte	De base	0,59	0,45
			Accrue	0,55	
		Ne récolte pas	De base	0,39	0,20
			Accrue	0,37	
	+10 %	Récolte	De base		0,42
			Accrue		0,40
		Ne récolte pas	De base		0,13
			Accrue		0,12
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 50 cm	De base	Récolte	De base	0,48	0,43
		Ne récolte pas	De base	0,29	
	+10 %	Récolte	De base		0,39

Pour les CPI_RL, il n'y a pas de différence significative de rendement ($p \geq 0,4052$, tableau 3.21) sur la première rotation de 30 ans. Cependant, la modalité visant le maintien sur pied des essences sans preneur peut causer une diminution apparente du rendement.

Tableau 3.21. Rendement annuel moyen en produits de DérF1F2 de feuillus durs (m³/(ha·an)) dans les CPI_RL.

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+10 %
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	Récolte	0,37	0,38
	Ne récolte pas	0,32	0,25
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	Récolte	0,38	0,38
	Ne récolte pas	0,33	0,27

Le rendement en surface terrière totale (m²/(ha·an)) est-il équivalent à celui du traitement de référence?

Dans les CJ, la modalité d'augmentation de la proportion de sentiers cause une baisse significative du rendement en surface terrière ($p \leq 0,0304$, tableau 3.22). De plus, la modalité visant à maintenir sur pied des essences sans preneur a un effet notable sur la réduction du rendement, bien qu'aucun test statistique n'ait été réalisé. Les effets d'augmenter la proportion de sentiers ($p = 0,0106$) ou de laisser sur pied des essences sans preneur, sont semblables dans la CPI_CP et dans la CJ. De plus, dans la CPI_CP, on observe un gain de rendement attribuable à l'augmentation du taux de prélèvement ($p = 0,0002$).

Tableau 3.22. Rendement annuel moyen en surface terrière totale (m²/(ha·an)) pour les CJ et CPI_CP.

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	0,34	0,27
			Accrue	0,31	
		Ne récolte pas	De base	0,21	0,19
			Accrue	0,21	
	+10 %	Récolte	De base		0,30
			Accrue		0,29
		Ne récolte pas	De base		0,23
			Accrue		0,23
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	0,32	0,26
			Accrue	0,30	
		Ne récolte pas	De base	0,22	0,20
			Accrue	0,22	
	+10 %	Récolte	De base		0,28
			Accrue		0,27
		Ne récolte pas	De base		0,23
			Accrue		0,24
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	0,35	0,28
		Ne récolte pas	De base	0,23	
	+10 %	Récolte	De base		0,29

Dans les CPI_RL, il y a aussi un effet positif du taux de prélèvement ($p=0,0203$, tableau 3.23). Cependant, l'effet de ne pas récolter des essences sans preneur semble améliorer le rendement en surface terrière sur la rotation de 30 ans.

Tableau 3.23. Rendement annuel moyen en surface terrière totale ($m^2/(ha \cdot an)$) dans les CPI_RL.

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+10 %
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	Récolte	0,26	0,27
	Ne récolte pas	0,31	0,31
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	Récolte	0,25	0,28
	Ne récolte pas	0,30	0,31

3.2.3 Durabilité

Afin de s'assurer que les générations futures puissent bénéficier d'une ressource en quantité et en qualité au moins équivalente aux peuplements actuels, différentes questions ont été formulées.

Le volume sur pied en bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2) s'est-il maintenu dans le temps par rapport à l'état initial?

Le tableau 3.24 présente l'écart entre le volume sur pied avant la coupe 3 et celui avant la coupe 1 des produits de DérF1F2 pour les CJ et les CPI_CP. Il permet de constater que les peuplements finaux issus des différentes modalités, incluant celles de référence, se sont tous appréciés d'un certain volume de bois de valeur, à l'exception de la modalité visant à maintenir sur pied des essences sans preneur. Dans certains cas, le volume sur pied de bois de valeur a décru de $17 m^3/ha$, ce qui représente en fait une liquidation de ces volumes lors de la 1^{re} ou de la 2^e récolte. Rappelons qu'en moyenne, la plupart des peuplements contenaient initialement de 13 à $21 m^3/ha$ de ces produits sur pied. Outre la modalité de ne pas récolter les essences sans preneur, les autres modalités dans les CJ n'ont pas eu d'effet significatif sur l'évolution de ce volume sur pied ($p=0,1867$). Par contre, dans les CPI_CP, la modalité de prélèvement accru de 10 % a eu pour effet de produire un accroissement significativement plus faible de ce volume ($p=0,0021$).

Tableau 3.24. Écart du volume de DérF1F2 entre l'état final après la 2^e rotation et l'état initial en début de la 1^{re} rotation dans les CJ et les CPI_CP (m³/ha).

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	2,9	5,7
			Accrue	5,9	
		Ne récolte pas	De base	-0,4	-6,9
			Accrue	-0,7	
	+ 10 %	Récolte	De base		4,9
			Accrue		4,9
		Ne récolte pas	De base		-16,8
			Accrue		-17,7
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	3,5	6,1
			Accrue	3,5	
		Ne récolte pas	De base	0,3	-8,7
			Accrue	-0,2	
	+ 10 %	Récolte	De base		3,8
			Accrue		4,6
		Ne récolte pas	De base		-17,2
			Accrue		-17,5
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	4,0	7,5
		Ne récolte pas	De base	0,5	
	+ 10 %	Récolte	De base		6,3

Dans les CPI_RL, le taux de prélèvement de base avec la modalité de récolte des essences sans preneur a permis d'augmenter significativement le volume de DérF1F2 sur pied à la seconde rotation ($p < 0,0001$, tableau 3.25), tandis que la modalité avec prélèvement accru a permis son maintien. Malgré l'absence de tests statistiques, la modalité de ne pas récolter les essences sans preneur tend nettement à réduire ce volume, particulièrement si le taux de prélèvement est accru.

Tableau 3.25. Écart du volume de DérF1F2 entre l'état final et l'état initial de la première rotation dans les CPI_RL (m³/ha).

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+10 %
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	Récolte	4,3	0,2
	Ne récolte pas	-2,4	-8,7
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	Récolte	3,2	0,1
	Ne récolte pas	-2,4	-8,2

Le volume de pâte sur pied de feuillus durs s'est-il maintenu par rapport à l'état initial?

Le volume de pâte s'est accru dans toutes les modalités de CJ et de CPI_CP (tableau 3.26), mais cette augmentation est significative seulement dans les CPI_CP ($p \leq 0,0330$). De plus, dans ce traitement, l'augmentation est significativement plus importante avec la modalité de prélèvement supérieur de 10 % ($p=0,0017$). Pour les deux traitements, l'augmentation est nettement plus importante avec la modalité visant à maintenir sur pied des essences sans preneur.

Tableau 3.26. Écart du volume de pâte de feuillus durs entre l'état final après la 2^e rotation et l'état initial en début de la première rotation dans les CJ et les CPI_CP (m³/ha).

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	De base	Récolte	De base	6,0	15,3
			Accrue	4,5	
		Ne récolte pas	De base	28,1	49,4
			Accrue	24,9	
	+10 %	Récolte	De base		23,2
			Accrue		24,4
		Ne récolte pas	De base		59,4
			Accrue		62,2
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	De base	Récolte	De base	12,2	19,3
			Accrue	11,5	
		Ne récolte pas	De base	25,2	55,8
			Accrue	27,6	
	+10 %	Récolte	De base		29,8
			Accrue		28,5
		Ne récolte pas	De base		59,6
			Accrue		64,7
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 50 cm	De base	Récolte	De base	8,6	17,0
		Ne récolte pas	De base	29,9	
	+10 %	Récolte	De base		23,0

Dans les CPI_RL, le volume de pâte de feuillus durs avec récolte des essences sans preneur s'est accru significativement avec le prélèvement de base à 35 % ($p=0,0043$), mais pas avec le prélèvement accru de 10 % ($p \geq 0,0915$, tableau 3.27). Malgré l'absence de tests statistiques, la modalité de ne pas récolter les essences sans preneur indique une tendance évidente à la hausse pour ce volume, particulièrement si le taux de prélèvement est de 35 %.

Tableau 3.27. Écart du volume de pâte de feuillus durs entre l'état final et l'état initial de la 1^{re} rotation dans les CPI_RL (m³/ha).

Diamf	Essences sans preneur	% prélèvement	
		De base	+10 %
4 ^e priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	Récolte	11,7	4,1
	Ne récolte pas	21,3	11,0
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	Récolte	11,7	5,4
	Ne récolte pas	19,9	12,2

Les rotations dans les CJ et les CPI_CP modifiées sont-elles équivalentes à celles des modalités de référence?

Les modalités de référence des CJ ainsi que l'application d'un diamètre de maturité financière de 50 cm conduisent à 2 rotations cumulant près de 45 ans, soit des rotations de 20 ou 25 ans chacune (tableau 3.28). La modalité avec un diamètre de maturité financière de 40 cm tend à augmenter la durée des 2 rotations à une somme de 50 ans ($p=0,0854$). Dans les CPI_CP, l'augmentation du taux de prélèvement a pour effet d'augmenter significativement la durée des 2 rotations ($p<0,0001$), soit d'environ 56 à environ 70 ans. Pour les 2 traitements, la durée de la seconde rotation n'était pas significativement différente de la première, avec les modalités testées. Cependant, l'augmentation la plus importante de la durée des rotations, et de la seconde rotation face à la première, correspond à la modalité visant à maintenir sur pied les essences sans preneur. D'ailleurs, les rotations avec cette modalité sont sous-estimées, car la plupart ont été arrêtées à 50 ans puisque c'était la limite de l'horizon de simulation de chacune des rotations.

Puisque les rotations des CPI_RL ont été fixées au préalable, aucun résultat n'est présenté.

Le volume récolté en bois d'œuvre de haute valeur (DérF1F2) s'est-il maintenu dans le temps?

Il n'y a pas de différence significative du volume récolté de bois d'œuvre de haute valeur entre la 3^e et la 1^{re} récolte dans les CJ, même si les tendances sont à la hausse ($p\geq 0,1285$, tableau 3.29). Quant aux CPI-CP, les volumes récoltés dans les modalités soumises à des tests statistiques se sont presque tous accrus significativement entre ces deux récoltes ($0,0009\leq p\leq 0,0543$). De plus, avec les modalités de diamètre de maturité financière de 50 cm et un taux accru de prélèvement, le volume a augmenté davantage et significativement par rapport aux autres modalités ($p=0,0095$). Encore une fois, la modalité visant le maintien sur pied des essences sans preneur fait exception. Dans certains cas, le volume récolté de bois de valeur a décru de 11 m³/ha, voire même de 14 m³/ha, ce qui est expliqué par la liquidation complète de ces volumes lors de la 1^{re} ou de la 2^e récolte.

Tableau 3.28. Sommation de la durée des 2 rotations (années). Les valeurs présentées entre parenthèses indiquent la tendance de la durée entre la première et la seconde rotation.

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	44 (-1)	58 (+4)
			Accrue	46 (+1)	
		Ne récolte pas	De base	85 (+15)	90 (+20)
			Accrue	70 (+10)	
	+10 %	Récolte	De base		67 (+1)
			Accrue		71 (+6)
		Ne récolte pas	De base		85 (+15)
			Accrue		85 (+15)
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	50 (-3)	56 (+3)
			Accrue	49 (-1)	
		Ne récolte pas	De base	80 (+10)	90 (+10)
			Accrue	80 (+20)	
	+10 %	Récolte	De base		74 (+1)
			Accrue		78 (+1)
		Ne récolte pas	De base		85 (+15)
			Accrue		85 (+15)
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	44 (-1)	54 (-1)
		Ne récolte pas	De base	80 (+20)	
	+10 %	Récolte	De base		68 (-1)

Tableau 3.29. Écart entre le volume de DérF1F2 récolté entre la 3^e et la 1^{re} récolte dans les CJ et les CPI_CP (m³/ha).

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥56 cm	De base	Récolte	De base	1,5	2,2
			Accrue	1,5	
		Ne récolte pas	De base	2,6	2,1
			Accrue	2,4	
	+10 %	Récolte	De base		2,0
			Accrue		2,2
		Ne récolte pas	De base		-12,1
			Accrue		-11,2
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥40 cm	De base	Récolte	De base	1,1	3,2
			Accrue	1,8	
		Ne récolte pas	De base	1,5	-3,0
			Accrue	2,2	
	+10 %	Récolte	De base		2,8
			Accrue		3,3
		Ne récolte pas	De base		-14,0
			Accrue		-14,2
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥50 cm	De base	Récolte	De base	0,6	2,6
		Ne récolte pas	De base	3,7	
	+10 %	Récolte	De base		4,6

La surface terrière de gros bois sur pied (G des 40 cm+) des essences feuillues à bois dur a-t-elle diminué, augmenté ou est-elle demeurée équivalente?

L'ensemble des peuplements finaux issus des différentes modalités de CJ montre une tendance à l'augmentation de la quantité de gros bois (tableau 3.30). Cette tendance est plus grande avec la modalité visant à maintenir sur pied des essences sans preneur. Dans la CPI_CP, l'augmentation est significative pour toutes les modalités ($p \leq 0,0014$), mais il y n'y a pas de différences significatives entre celles-ci. Contrairement à la CJ, le maintien sur pied des essences sans preneur dans la CPI_CP tend à moins augmenter la surface terrière de gros bois.

Tableau 3.30. Écart entre la quantité finale de gros bois de feuillus durs à la fin de la 2^e rotation et la quantité initiale au début de la 1^{re} rotation (m²/ha, dhp de 40 cm et plus).

Diamf	% prélèvement	Essences sans preneur	Proportion de sentiers	CJ	CPI_CP
6 ^e (CJ) ou 4 ^e (CPI) priorité de récolte, diamètre ≥ 56 cm	De base	Récolte	De base	1,3	4,0
			Accrue	3,0	
		Ne récolte pas	De base	4,8	4,5
			Accrue	4,3	
	+10 %	Récolte	De base		4,0
			Accrue		4,2
		Ne récolte pas	De base		2,3
			Accrue		2,4
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 40 cm	De base	Récolte	De base	1,3	4,4
			Accrue	2,4	
		Ne récolte pas	De base	3,6	3,9
			Accrue	4,5	
	+10 %	Récolte	De base		4,0
			Accrue		4,3
		Ne récolte pas	De base		1,8
			Accrue		2,4
2 ^e priorité de récolte, diamètre ≥ 50 cm	De base	Récolte	De base	1,7	4,5
		Ne récolte pas	De base	4,0	
	+10 %	Récolte	De base		4,6

Comment les traitements et les modalités affectent-ils la complexité structurale des peuplements?

De façon cohérente avec les résultats de surface terrière en gros bois de feuillus durs, les simulations indiquent que d'une rotation à l'autre les peuplements progressent tous vers des catégories de structure plus complexe, selon les catégories A, B, C et D de Jetté *et al.* (2013b, figures 3.1 à 3.3), et ce, indépendamment des modalités testées. En effet, les évolutions représentées par des lignes en zigzag se dirigent toutes vers le haut d'une rotation à l'autre. Cependant, pour plusieurs modalités de

traitements, les peuplements évoluent à partir de la catégorie la moins complexe, soit la catégorie D, pour se retrouver dans la catégorie B en fin de rotation.

En peuplement feuillu (CJ et CPI_CP), ce sont les groupes de modalités de base, avec ou sans la modalité de diamètre financier à 50 cm, qui évitent le plus de descendre aussi bas que dans la catégorie D, tout en permettant de remonter dans la catégorie B (Figures 3.1 et 3.2). La modalité de maintien des essences sans preneur montre de bons résultats, mais ceux-ci cachent une partie de la réalité où la composition en essences évolue dans un sens qui n'est pas nécessairement souhaité d'un point de vue écologique (HEG et ERR). La bonne performance de ces modalités est surtout attribuable au fait que la surface terrière initiale était plus élevée dans ces peuplements.

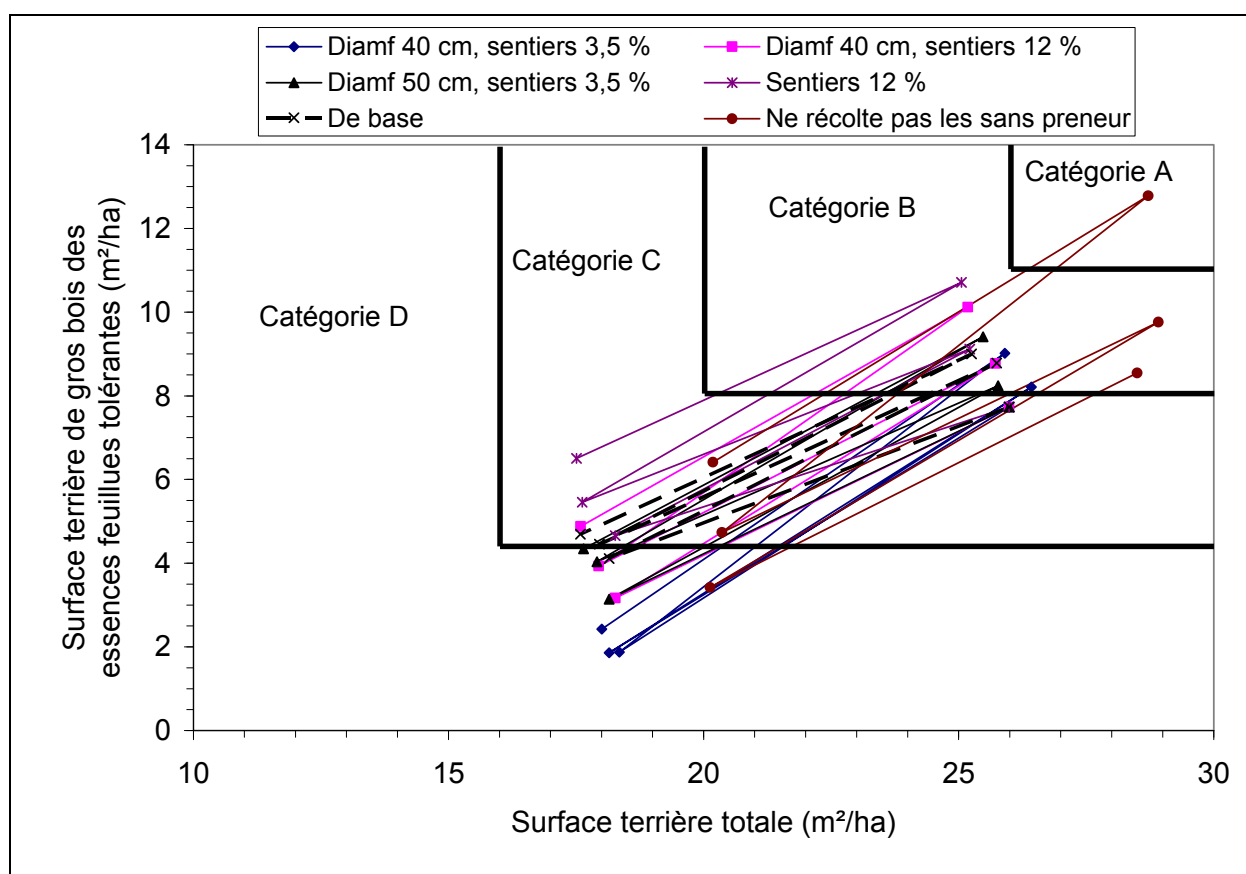


Figure 3.1. Évolutions moyennes des paramètres de structure interne des peuplements de feuillus tolérants traités par CJ sur trois rotations, selon les principaux groupes de modalités.

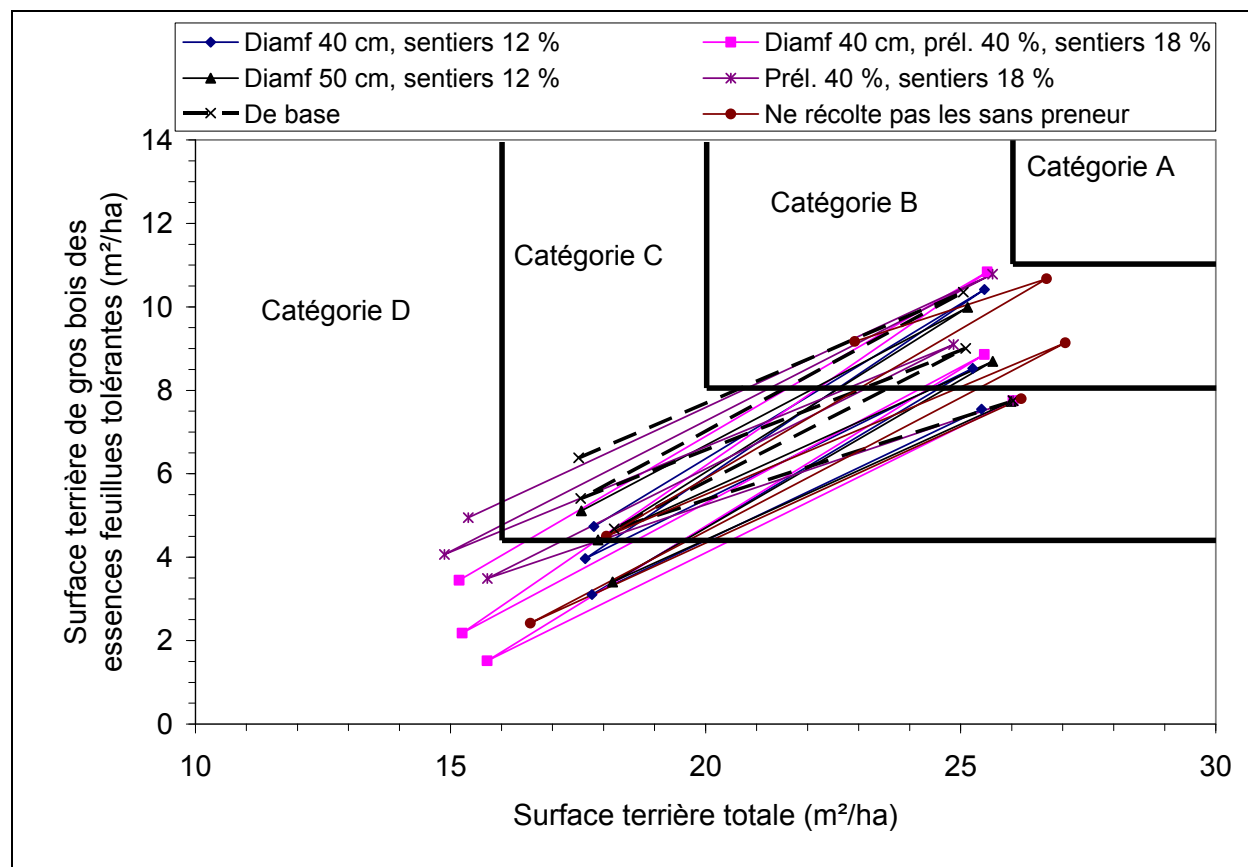


Figure 3.2. Évolutions moyennes des paramètres de structure interne des peuplements de feuillus tolérants traités par CPI_CP sur trois rotations, selon les principaux groupes de modalités.

Quant aux peuplements mixtes, c'est principalement la modalité de prélèvement accru (40 %) qui cause les situations où les peuplements descendent le plus bas dans la catégorie D (Figure 3.3). Néanmoins, la catégorie A, soit celle des vieux peuplements peu perturbés, est tellement large pour les peuplements mixtes qu'il est facile d'espérer y retourner en fin de rotation.

3.2.4 Outils de contrôle du prélèvement

Les analyses de variance présentées dans les sections précédentes permettent d'apprécier une partie des effets des modalités. Indépendamment des modalités employées, l'élément primordial est de s'assurer que le peuplement résiduel possède les attributs nécessaires au renouvellement d'arbres ayant un potentiel de bois d'œuvre de haute valeur. Les simulations réalisées dans le cadre de ce mandat ont permis de calibrer des relations afin de définir des balises à cet effet. Il est important de rappeler que ces régressions sont des modèles simplifiés, basés sur des simulations obtenues avec les modèles MÉRIS et SaMARE (Section 3.1).

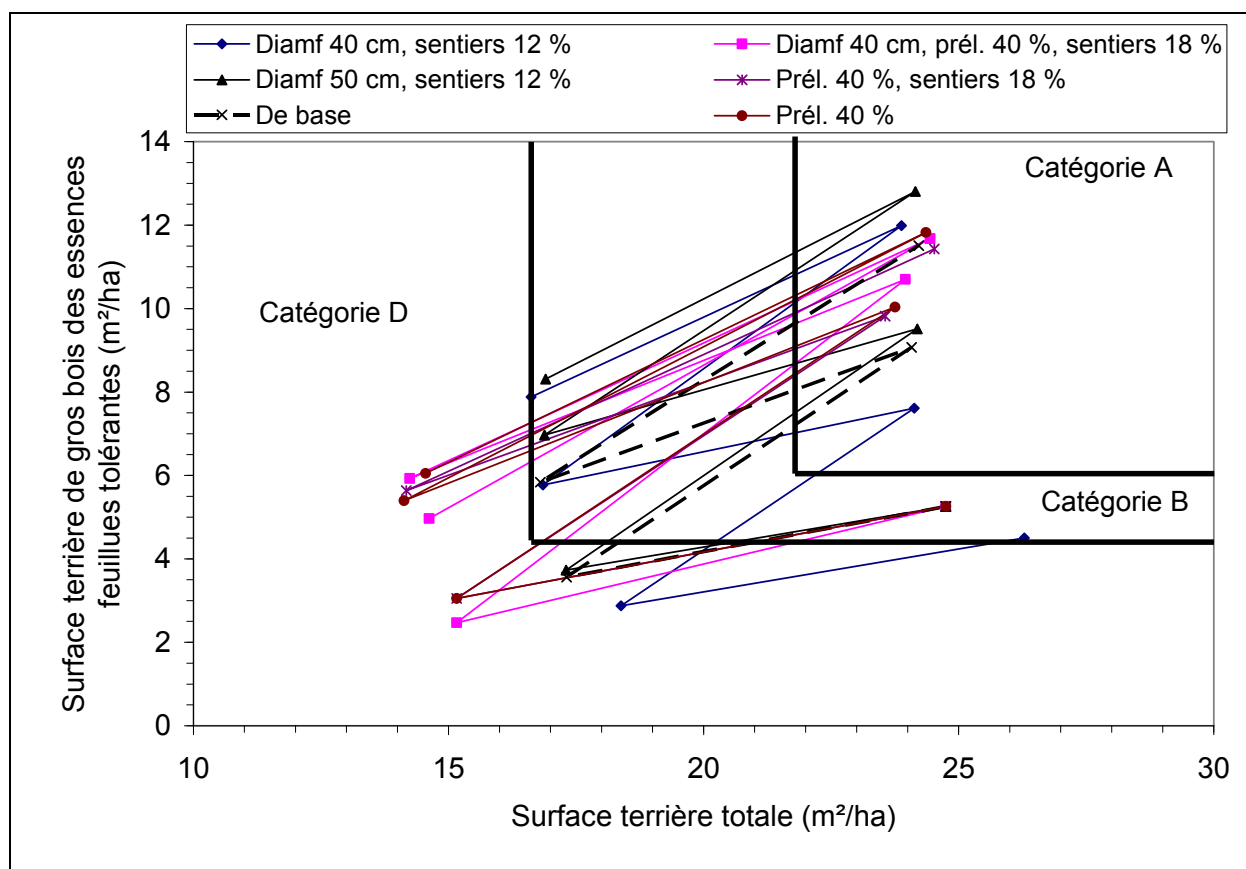


Figure 3.3. Évolutions moyennes des paramètres de structure interne des peuplements mixtes à dominance de feuillus tolérants traités par CPI_CP sur trois rotations, selon les principaux groupes de modalités.

La surface terrière du CFC des essences feuillues dans les classes de dhp de 24 à 44 cm est la principale variable qui explique la variation du volume sur pied de bois d'œuvre feuillu de haute valeur à la prochaine rotation (Figure 3.4). La durée de la rotation (de 20 à 50 ans) explique aussi une partie de la variabilité observée. Ainsi, avec l'équation de la figure 3.4, il est possible de déduire, par exemple, que si l'on souhaite produire un peuplement ayant un volume sur pied de 20 m³/ha de bois d'œuvre de haute valeur dans un horizon de 20 ans, alors le peuplement résiduel doit présentement contenir au minimum 4,6 m²/ha de CFC des essences feuillues ($4,6 \text{ m}^2/\text{ha} = [20 \text{ m}^3/\text{ha} - 1,04 - (0,156 \times 20 \text{ ans})] / 3,45$). Évidemment, pour que ce modèle fonctionne bien, cette surface terrière doit être assez bien répartie dans les classes de dhp de 24 à 44 cm.

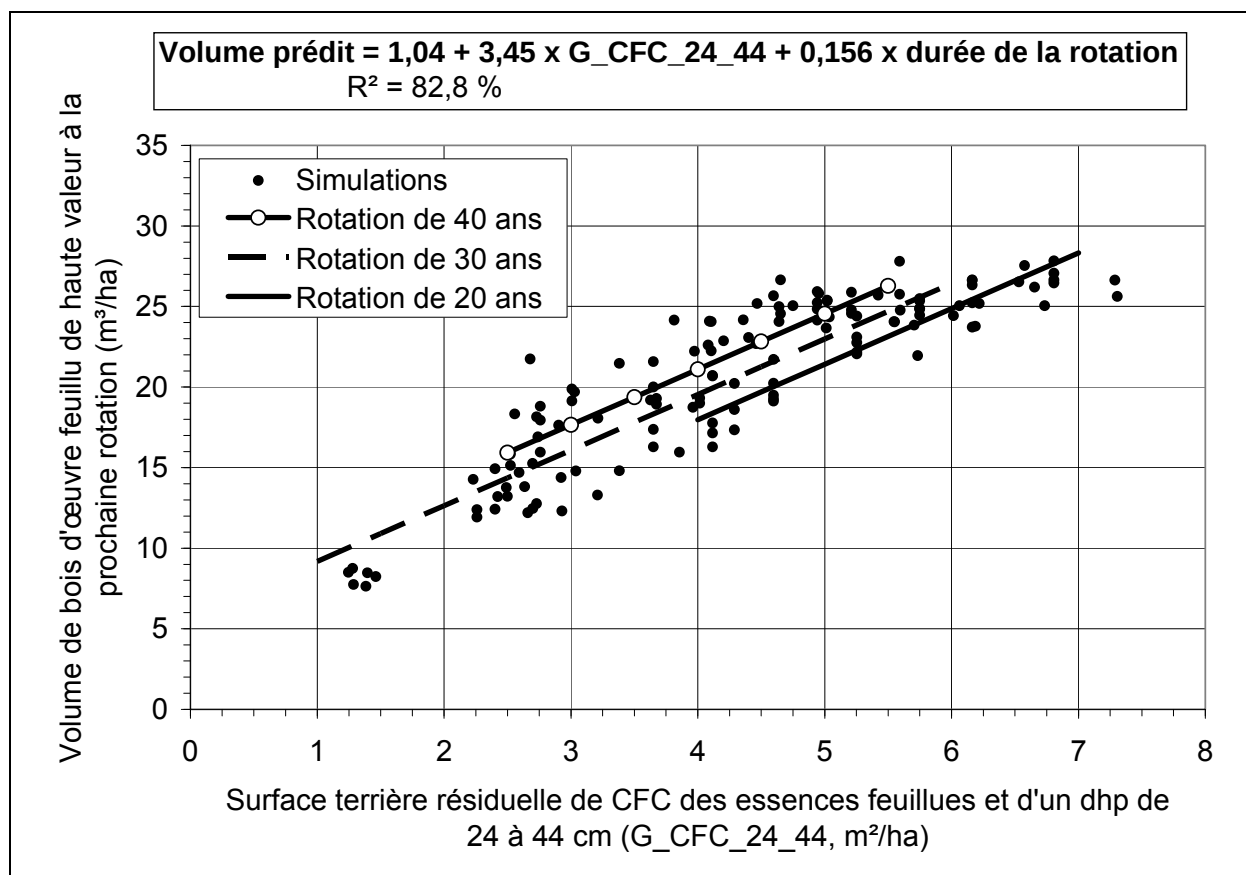


Figure 3.4. Relations entre le volume de bois d'œuvre feuillu de haute valeur prédit à la prochaine rotation et la surface terrière résiduelle du CFC des essences feuillues et au dhp de 24 à 44 cm, selon la durée de la rotation.

Bien que la relation précédente soit robuste pour prédire les caractéristiques du peuplement de la prochaine rotation, la productivité à très long terme des peuplements, soit au-delà de 2 à 3 rotations, est déterminée par la capacité à alimenter la surface terrière du CFC des essences feuillues dans les dhp de 24 à 44 cm. C'est la surface terrière résiduelle des perches d'un dhp de 10 à 22 cm dans les essences désirées (celles qui forment le CFC) qui détermine le plus la surface terrière à la prochaine rotation du CFC des essences feuillues et au dhp de 24 à 44 cm (Figure 3.5). Dans une moindre mesure, la durée de la rotation explique aussi une partie de la variabilité. Évidemment, la surface terrière résiduelle du CFC des arbres au dhp de 24 à 44 cm pourrait aussi être dans l'équation, mais son pouvoir explicatif était trop faible avec les simulations à l'étude. Ainsi, avec l'équation de la figure 3.5, il est possible de déduire, par exemple, que si l'on souhaite maintenir 4,6 m²/ha de CFC en essences feuillues au dhp de 24 à 44 cm, et ce, pour une rotation de 20 ans, alors la surface terrière résiduelle en perches de ces mêmes essences devrait être de l'ordre de 1,9 m²/ha ($1,9 \text{ m}^2/\text{ha} = [4,6 \text{ m}^2/\text{ha} - 1,03 - 0,026 \times 20 \text{ ans}] / 1,61$).

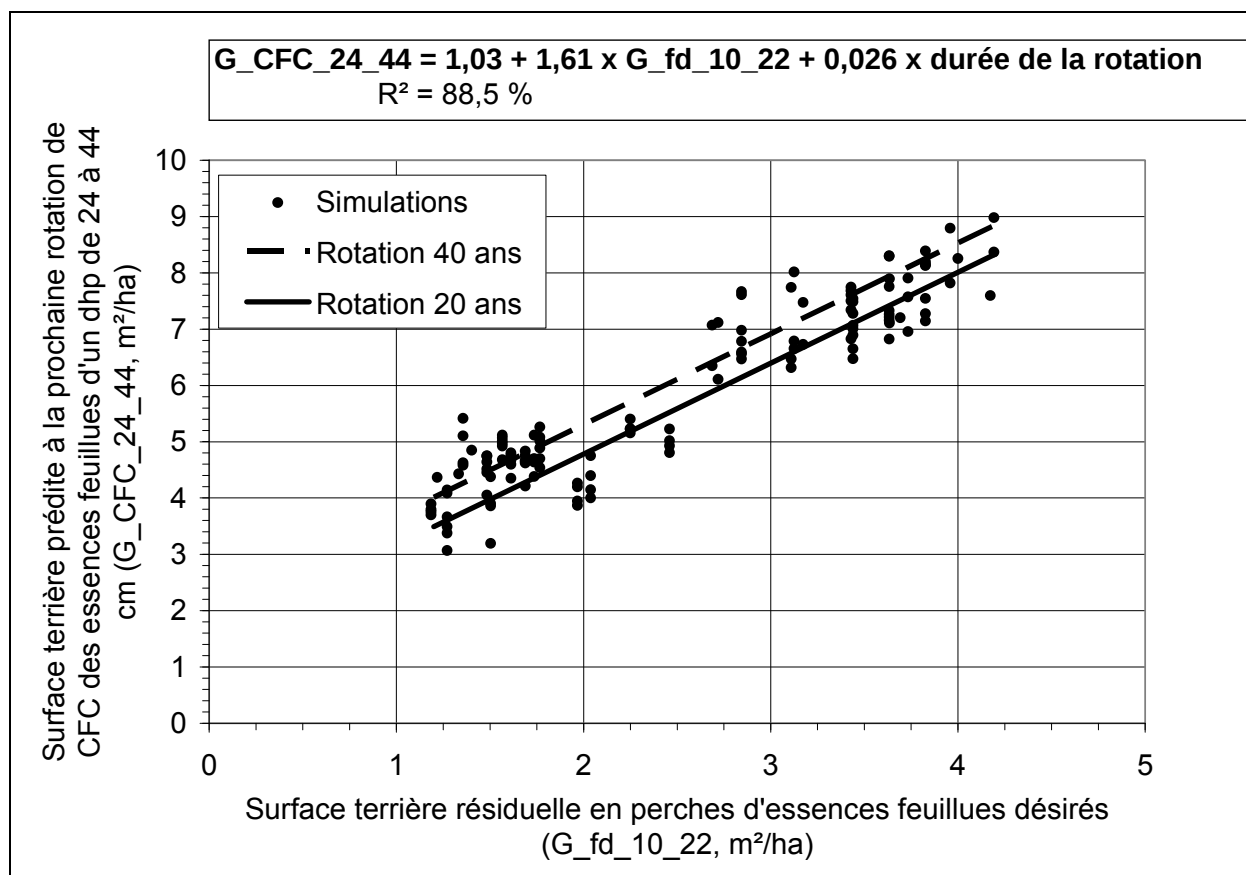


Figure 3.5. Relations entre la surface terrière prédite à la prochaine rotation de CFC d'essences feuillues au dhp de 24 à 44 cm (G_CFC_24_44) et la surface terrière résiduelle des perches d'essences feuillues désirées (G_fd_10_22), selon la durée de la rotation.

Du point de vue de la production totale de pâte de feuillus durs, il n'y a pas de relation intéressante pour aider à la baliser en vue de la prochaine rotation. C'est un volume qui s'accroît beaucoup avec le temps, et pratiquement tous les arbres feuillus durs en ont une bonne proportion.

Cependant, une relation expliquant des variations d'accroissement du volume de pâte de feuillus durs et au dhp de 34 cm et plus a été calibrée (Figure 3.6). Notons que ce volume constitue approximativement 50 % du volume de pâte de feuillus durs dans les peuplements étudiés. Outre l'accroissement important de ce volume avec la durée de la rotation (de 20 à 50 ans, facteur de 0,83 sur la durée), c'est la surface terrière résiduelle des essences feuillues non désirées à bois dur, de priorité MO et SO, et au dhp de 24 à 32 cm (G_fnd_MOSO_24_32) qui explique la plus grande augmentation de ce volume de pâte (de 0 à 1,25 m²/ha, facteur 10,1, figure 3.6). À l'opposé, c'est la même catégorie de surface terrière, mais avec des dhp de 46 cm et plus (G_fnd_MOSO_46), qui explique la plus grande diminution de ce volume (de 0 à 0,5 m²/ha, facteur -14,5, figure 3.6). Ces 2 mêmes surfaces terrières, mais pour les essences feuillues

désirées (G_fd_MOSO_46 et G_fd_MOSO_24_32, respectivement), ont aussi des effets dans les mêmes sens, mais de moindre ampleur (facteurs -2,9 et 1,7, respectivement).

La figure 3.6 démontre que, pour une rotation de 20 ans par exemple, le fait de maintenir sur pied 0,35 m²/ha de feuillus d'essences non désirées (HEG et ERR) de priorité MO et SO et au dhp de 46 cm et plus permet de réduire de 5 m³/ha l'accroissement du volume de pâte pour les arbres ayant un dhp de 34 cm et plus. Évidemment, le volume de pâte sur pied au début de la rotation, soit immédiatement après la coupe, sera plus élevé si on maintient ces arbres sur pied, mais il s'accroîtra moins, principalement à cause des pertes par mortalité.

Quant à la figure 3.6, elle démontre, pour une rotation de 20 ans, par exemple, que le fait de laisser sur pied 1 m²/ha de feuillus d'essences non désirées, de priorité MO et SO et au dhp de 24 à 32 cm, pourrait générer une augmentation de 10 m³/ha de pâte de feuillus durs, au dhp de 34 cm et plus, sur pied à la prochaine rotation. Cette même surface terrière, mais en essences désirées, expliquerait une augmentation de seulement 1,7 m³/ha de ce volume de pâte, comme l'indique le paramètre sur cette variable (G_fd_MOSO_24_32) dans l'équation présentée à la figure 3.6. C'est donc dans ces catégories d'arbres qu'il est possible d'avoir un peu de contrôle sur la production de volume de pâte parmi les bois moyens et les gros bois.

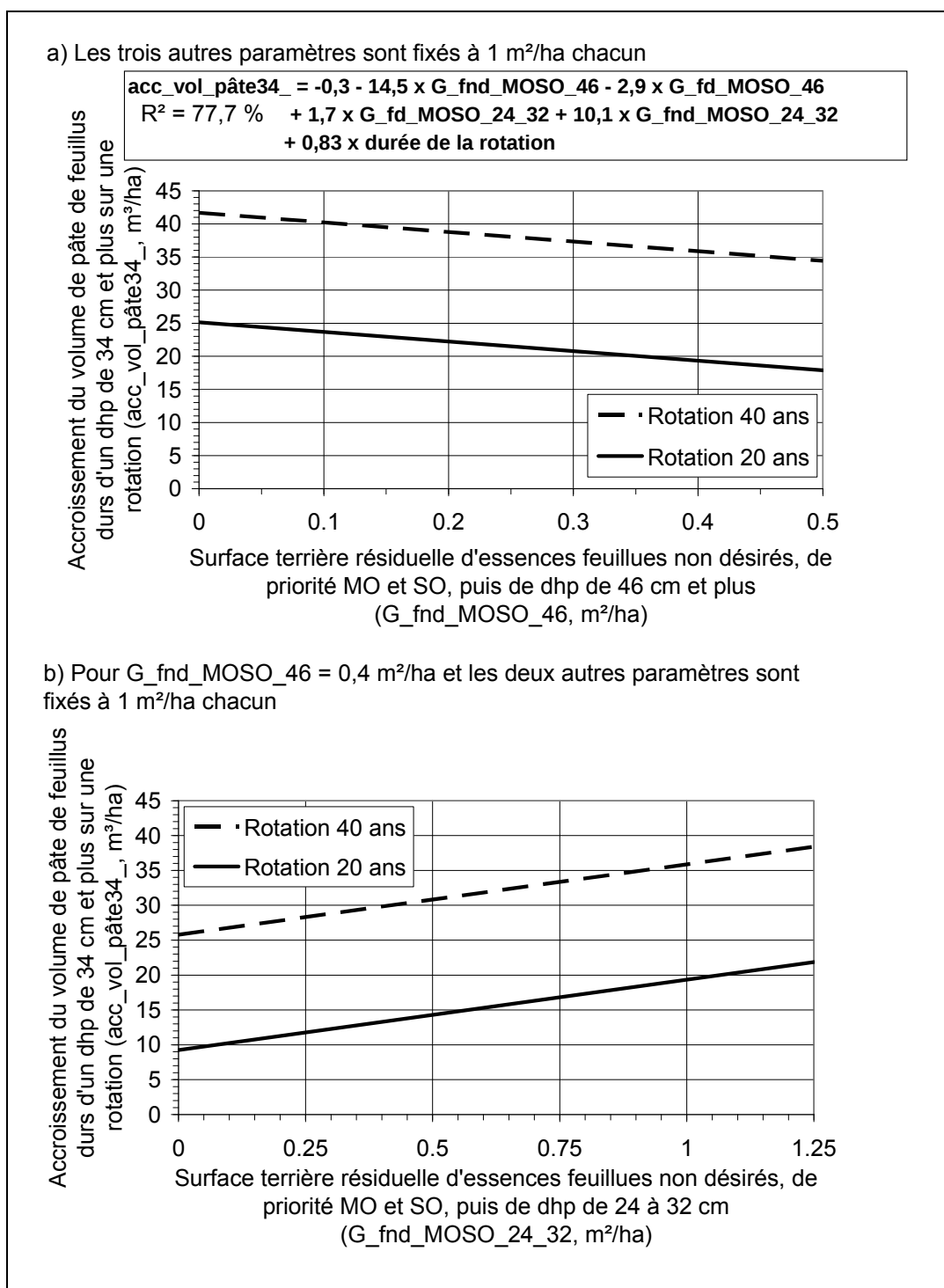


Figure 3.6. Relations entre l'accroissement en volume de pâte de feuillus durs au dhp de 34 cm et plus en cours de rotation (acc_vol_pâte34_) et la surface terrière résiduelle des essences feuillues non désirées (fnd) à bois dur, de priorité MO et SO et au dhp de 46 cm et plus (a) ou au dhp de 24 à 32 cm (b).

Chapitre quatre

Discussion sur l'effet des modalités des traitements et les balises

À la suite des analyses menées sur les résultats des simulations, certains constats s'imposent et ont incité le CIMOTFF à formuler des recommandations afin de tirer parti des nouvelles connaissances, ou encore, de mettre en garde contre des effets indésirables. Bien qu'en moyenne, plusieurs modalités offrent des perspectives intéressantes, on dénote que certaines modalités particulières, pour des peuplements spécifiques, performant parfois de manière moindre ou équivalente aux traitements de référence. Ceci s'explique notamment par la structure spécifique à chaque peuplement résiduel. Il apparaît donc essentiel, avant d'appliquer quelconques modalités, de s'assurer que le peuplement résiduel aura les caractéristiques nécessaires pour générer le peuplement futur souhaité.

4.1 L'effet de ne pas récolter les essences sans preneur

De manière générale, la modalité consistant à ne pas récolter les essences sans preneur cause une dégradation du peuplement et ne permet pas de maintenir des récoltes durables. C'est en quelque sorte une liquidation des tiges de valeur (tableau 3.24). En effet, même si la structure du plan de simulation et de ses analyses ne permettait pas de produire des tests statistiques pour cette modalité, les résultats sont évidents. Cette modalité cause une augmentation du volume de pâte de feuillus durs (+13 à +38 m³/ha selon le cas, tableau 3.26) et un allongement des rotations (tableau 3.28), au point où la plupart des 3^e coupes dans les CJ et les CPI_CP ont été simulées après 50 ans, non pas parce que les critères requis pour une coupe étaient rencontrés, mais parce que la limite de l'horizon de simulation était atteinte. De plus, cette modalité était moins rentable pour l'État (environ -170 \$/ha, tableau 3.17) et pour les scieurs dans les CPI_RL (environ -270 \$/ha, tableau 3.19). Les rendements en volume de bois d'œuvre feuillu de haute valeur étaient aussi plus bas, et ce, dans les 3 traitements (-0,05 à -0,29 m³/(ha·an) selon le cas, tableaux 3.20 et 3.21), de même que les rendements en surface terrière (-0,03 à -0,13 m²/(ha·an) selon le cas, tableau 3.22). Le taux de protection du CFC était faible à presque

nul lorsque cette modalité était combinée avec d'autres modalités particulières (17 à 79 % selon le cas, tableau 3.11) et il diminuait d'une récolte à l'autre. Leurs seuls bénéfices sont à court terme; le volume récolté en bois d'œuvre de haute valeur augmente dans les CJ (+1,9 à + 4 m³/ha selon le cas, tableau 3.10) et les CPI_RL (moy. +0,7 m³/ha, tableau 3.12). La valeur des récoltes est gonflée dans la plupart des cas, mais insoutenable à long terme (+700 \$/ha en moyenne dans les CJ et les CPI_CP, tableau 3.13, et +370 \$/ha en moyenne dans les CPI_RL, tableau 3.14), à l'exception des CPI_CP avec un taux de prélèvement accru (-1000 \$/ha en moyenne, tableau 3.13).

Malgré ce constat, les relations calibrées (Figures 3.4 à 3.6) peuvent aider à baliser la récolte et le maintien du hêtre et de l'érable rouge lorsque ces essences ne trouvent pas preneur et n'interfèrent pas avec le recrutement de tiges d'avenir. D'un côté, les relations impliquant les surfaces terrières des essences désirées de priorité C et R dans les perches et les 24 à 44 cm de dhp permettent d'encadrer le déplacement du prélèvement des essences non désirées vers les essences désirées. D'un autre côté, limiter la croissance du volume de pâte de feuillus durs dans les dhp de 34 cm et plus, à l'aide de la régression proposée, conduira à récolter de ces hêtres et érables rouges dans les petits bois et une partie dans les bois moyens, soit les diamètres de 24 à 32 cm. Il faut aussi faire attention au risque d'établissement d'une cohorte de gaules de HEG en laissant sur pied des HEG>34 cm dont le système racinaire aura été endommagé par la récolte, et dont le drageonnement risque d'être stimulé par le dépérissement en lien avec la maladie corticale.

La modalité consistant à ne pas récolter les essences sans preneur n'est pas durable, et le retour est compromis. Il faut considérer la récolte des bois sans preneur comme de l'amélioration nécessaire pour éviter de modifier indûment la composition du peuplement et, ainsi, éviter d'augmenter les problèmes d'approvisionnement dans l'avenir. Par conséquent, nous recommandons de gérer la présence des essences sans preneur à l'aide des régressions proposées, particulièrement celle calibrée sur la surface terrière de petits bois et bois moyens (de 24 à 32 cm) de priorité MO et SO, car autrement la production en essences désirées risque de ne pas rencontrer les objectifs.

Recommandation 2

Le CIMOTFF recommande de contrôler la présence des essences sans preneur à l'aide des régressions proposées, particulièrement dans le cas des arbres de priorité MO et SO dans les petits bois et les bois moyens (de 24 à 32 cm), afin d'éviter de modifier indûment la composition du peuplement ce qui pourrait augmenter les problèmes d'approvisionnement dans l'avenir.

Une nuance doit toutefois être mentionnée pour le cas des sapins de moins de 16 cm, puisque, dans les analyses du CIMOTFF, un seul peuplement contenant un volume initial appréciable de résineux (58 m³/ha) a fait l'objet de cette modalité. De plus, ce peuplement, le numéro 10, a été traité en CPI_RL. Des analyses additionnelles et spécifiques à ces types de peuplements devraient être menées. Cependant, ce n'est pas avec la version actuelle de SaMARE qu'il faudrait effectuer ces analyses pour le sapin, puisque ce modèle est calibré pour les érablières. Les connaissances actuelles au sujet des peuplements à dominance feuillue indiquent que la probabilité de mortalité du sapin, en l'absence d'épidémie de TBE, augmente très rapidement avec le dhp (Fortin *et al.* 2009a). Les sapins au dhp de 10 à 14 cm qui sont maintenus sur pied ont donc la plus faible probabilité de mortalité. Si l'on craint l'envahissement par les gaules et les perches de sapin, il suffit de préparer le terrain dans des ouvertures propices à la régénération d'autres essences, comme le bouleau jaune. En effet, les études sur les trouées dans les BJR démontrent que celles-ci ont un effet très négatif sur la régénération préétablie des résineux, puisqu'elles permettent aux feuillus de dominer la régénération des ouvertures (Prévost *et al.* 2010).

4.2 L'effet d'accroître la proportion de sentiers

La modalité où la proportion de sentiers positionnés de façon aléatoire est accrue n'a pas permis d'augmenter le volume récolté de bois d'œuvre d'essences feuillues, de même que la valeur des récoltes, contrairement aux autres modalités qui ont généralement produit ces effets (tableaux 3.10 et 3.13). Conséquemment, cette modalité était moins rentable pour le scieur (-65 \$/ha en moyenne¹⁰, tableau 3.18). Ceci s'explique par le fait que, pour un même prélèvement global, l'augmentation de la proportion de sentiers fait en sorte que le prélèvement est plus aléatoire, et que la capacité de cibler des arbres particuliers est diminuée. Pour le bénéficiaire, son impact sur la rentabilité financière reste difficile à mesurer, puisque MÉRIS ne capte pas les baisses de coûts reliées à une hausse de la productivité de la machinerie causée par cette modalité. De plus, la proportion accrue de sentiers n'a pas eu d'effet significatif sur le rendement en volume de bois d'œuvre d'essences feuillues de haute valeur (tableau 3.20), même si le rendement en surface terrière a été diminué significativement (de -0,01 à -0,03 m²/(ha·an) selon le cas, tableau 3.22).

Une autre considération est que cette modalité pourrait avoir un effet important à plus long terme, en réduisant davantage la quantité d'arbres de 10 à 22 cm de diamètre. En effet, la relation présentée à la figure 3.35 montre bien l'importance de maintenir une quantité suffisante de perches d'essences désirées afin de soutenir un recrutement élevé de CFC dans les petits et moyens bois, lesquels finissent par

¹⁰ Les chiffres présentés dans les sections 4.2 à 4.5 ne comprennent pas ceux associés à une modalité de maintien sur pied des essences sans preneur.

procurer un rendement intéressant en valeur et en bois d'œuvre. Cette relation peut être particulièrement utile afin d'évaluer le risque associé à l'augmentation de la proportion de sentiers. En fonction de la cible souhaitée de CFC pour des dhp de 24 à 44 cm, il est possible de vérifier si le peuplement initial possède suffisamment de perches d'essences désirées pour y supporter un abattage accru. Dans un cas de surabondance de ces perches, une forte proportion de sentiers pourrait être envisagée sans trop mettre à risque le rendement et la durabilité. À noter que cette modalité est associée à une diminution du taux de protection du CFC d'environ 8 % dans les CJ et de 2 % dans les CPI-CP, avec un prélèvement de 40 % (tableau 3.11). Cette diminution du CFC est alors répartie dans toutes les classes de dhp.

Il faut aussi rappeler que les simulations ne considéraient pas les blessures portées aux arbres.

4.3 L'effet d'accroître de 10 % le prélèvement dans les CPI

Le fait d'augmenter de 10 % le taux de prélèvement dans les CPI_CP a démontré une augmentation de la période de rotation d'environ 7 ans, pour atteindre 35 ans en moyenne (+25 % en moyenne, tableau 3.28). Cet allongement de la rotation a pour effet d'augmenter le volume de pâte de feuillus durs sur pied (+7 m³/ha, tableau 3.26). Le taux de protection du CFC est aussi diminué d'environ 5 % avec cette modalité (tableau 3.11), mais ceci est sans conséquence sur les rendements en volume de bois d'œuvre feuillu de haute valeur, ni en surface terrière totale (tableaux 3.20 et 3.22). Aussi, cette modalité génère des peuplements résiduels ayant des structures internes plus perturbées (figure 3.2).

D'un autre côté, le prélèvement accru a l'avantage d'améliorer le volume récolté en bois d'œuvre de haute valeur (+3 et +1 m³/ha dans les CPI_CP et CPI_RL, tableaux 3.10 et 3.12), ainsi que la valeur des récoltes (+1085 et +315 \$/ha, tableaux 3.13 et 3.14). Conséquemment, les 2 types de rentabilité sont améliorées, sauf la rentabilité pour le scieur dans les CPI_RL (tableaux 3.15 à 3.19). Pour ce traitement, le volume sur pied de bois d'œuvre feuillu de haute qualité ne s'est pas autant accru avec le prélèvement à 45 %, qu'avec celui à 35 % (tableau 3.25). La grande différence d'une telle modalité entre la CPI_CP et la CPI_RL est que dans la CPI_RL, la rotation n'est pas augmentée pour tenir compte du taux de prélèvement plus élevé, contrairement à la CPI_CP. Rappelons que la rotation fixe dans les CPI_RL est conséquente avec le scénario sylvicole défini.

Recommandation 3

Le CIMOTFF recommande que les modalités visant soit à accroître la proportion de sentiers, soit à accroître le prélèvement de 10 % dans les CPI, ne soient envisagées que lorsque la quantité résiduelle d'essences feuillues désirées de 10 à 22 cm de dhp est suffisante pour soutenir la production future de CFC pour des dhp de 24 à 44 cm. Nous recommandons de valider cette quantité de tiges de 10 à 22 cm de dhp à l'aide de la régression proposée.

4.4 L'effet d'augmenter la récolte d'arbres à partir d'un diamètre de maturité financière de 40 ou de 50 cm

Dans les simulations réalisées, le fait d'augmenter la priorité de récolte des arbres de classe CO ou RO dont le dhp est de 40 ou 50 cm et plus a eu la plupart du temps des effets positifs ou négligeables, et parfois un effet négatif, sur la structure interne des peuplements résiduels (figure 3.1 à 3.3). En effet, cette modalité a permis d'améliorer le volume de bois d'œuvre de haute valeur, autant dans les récoltes (Diamf de 40 cm : +5 et +4 m³/ha dans les CJ et CPI_CP, tableau 3.10) que dans son rendement annuel (Diamf de 40 cm : +0,16 et +0,12 m³/(ha·an) dans les CJ et CPI_CP, tableau 3.20). Cependant, ce gain de rendement en volume de bois d'œuvre de haute valeur ne s'est pas répercuté de façon significative sur le rendement en surface terrière (tableau 3.22). Pour un même taux de prélèvement, le fait de prélever davantage dans les plus gros bois aurait permis de maintenir sur pied davantage de bois moyens, lesquels sont moins susceptibles de mourir et plus susceptibles de permettre à une partie de leur volume de gagner une classe de bille (passer de F3 à F2, par exemple). À l'inverse, les gros arbres de qualité peuvent gagner un peu de volume de haute qualité en accroissant leur dhp, mais ils risquent davantage de perdre un gros volume s'ils meurent ou commencent à se dégrader (chapitre 2). Ce constat expliquerait pourquoi les peuplements simulés avec cette modalité ont affiché de bons rendements, même si leur taux de protection du CFC a été de faible, soit de 60 à 67 % avec un Diamf de 40 cm et un prélèvement de 30 %, par exemple (tableau 3.11). Ce résultat indique que le critère de protection du CFC pour assurer le rendement futur du peuplement s'applique principalement aux perches, petits bois et bois moyens, plutôt qu'aux gros et très gros bois. Les effets de cette modalité sur le bois d'œuvre se sont répercutés positivement sur la valeur des récoltes dans les CPI_CP (+90 à + 404 \$/ha selon le cas, tableau 3.14) et sur les 2 types de rentabilités dans les CJ et les CPI_CP (+43 à +296 \$/ha selon le cas, tableaux 3.15 et 3.18).

Évidemment, la durabilité d'une telle modalité doit être balisée pour éviter de tomber dans les effets négatifs des coupes à diamètre limite (p. ex., voir Guillemette et Bédard 2006 à ce sujet). À cet effet, les

relations présentées aux figures 3.4 et 3.5 peuvent être très utiles. La première relation indique le niveau de CFC des arbres de 24 à 44 cm de dhp qu'il faut conserver sur pied pour espérer retrouver un volume de bois d'œuvre de haute qualité donné à la prochaine rotation. S'il n'y a pas suffisamment de surface terrière de CFC dans les dhp de 24 à 44 cm pour assurer la durabilité pour la prochaine rotation, une modalité possible est d'augmenter le diamètre maximal dans le peuplement, de façon à ajouter au CFC des arbres de 24 à 44 cm de dhp les surfaces terrières des arbres d'essences désirées et de priorité CO et RO au dhp de 46, 48 ou 50 cm, par exemple. Autrement, le diagnostic sylvicole peut conduire à d'autres solutions, comme d'augmenter la période de rotation, de changer les objectifs de l'intervention, et par le fait même, le choix du traitement sylvicole, ou adapter d'autres modalités du traitement.

Recommandation 4

Le CIMOTFF recommande d'intégrer dans le diagnostic sylvicole la notion de diamètre de maturité financière ainsi que l'évaluation du CFC des arbres de 24 à 44 cm de dhp. De plus, il recommande l'évaluation de la quantité initiale et résiduelle d'arbres d'essences feuillues désirées de 10 à 22 cm de dhp, afin de s'assurer qu'elle sera suffisante pour soutenir la production future de CFC des arbres de 24 à 44 cm de dhp. Une attention particulière devra être portée aux directives d'opérations et aux suivis afin de s'assurer que ces petites tiges seront bien protégées lors des opérations.

Il est important de mentionner que l'augmentation de la priorité de récolte des arbres de classe CO ou RO dont le dhp est de 40 ou 50 cm a été simulée dans des peuplements contenant seulement de 1 à 2 m²/ha d'arbres visés par un diamètre de maturité financière de 46 cm et plus dans le peuplement initial, ce qui représente de 6 à 13 arbres à l'hectare. Ainsi, même si la priorité de récolte de ces arbres a été haussée, cette situation n'a pas empêché d'améliorer la qualité des peuplements en récoltant des arbres de priorité M. Ce sont surtout les arbres de priorité S qui ont été moins récoltés pour permettre la récolte des Diamf. Par conséquent, même si le CIMOTFF recommande de prendre en compte les diamètres de maturité financière, il insiste aussi sur l'importance d'améliorer les peuplements, notamment en récoltant les arbres de priorité M (voir la section 2.4), particulièrement s'ils contiennent encore du bois d'œuvre de haute valeur.

Les analyses réalisées dans le cadre des travaux du CIMOTFF ont porté sur les essences les plus recherchées par l'industrie du bois d'œuvre. Cependant, les principes qui déterminent les diamètres de maturité pathologique, technique et financière pourraient aussi être utiles pour les essences moins longévives. Par exemple, de telles études pourraient renseigner sur la probabilité qu'un sapin de tel ou tel

dhp soit toujours vivant lors de la prochaine intervention de récolte, et ainsi guider les décisions relatives au choix d'un diamètre de récolte.

Recommandation 5

Le CIMOTFF recommande qu'un comité se penche sur les diamètres de maturité des essences peu longévives, comme le sapin, afin de les adapter régionalement et éventuellement guider les décisions des sylviculteurs réalisant les prescriptions sylvicoles.

4.5 Effet sur le rendement en bois d'œuvre

La plupart des modalités augmentent la durée de la rotation de manière significative. Pour les modalités autres que l'augmentation du prélèvement, la rotation augmente toutefois proportionnellement moins vite que la quantité de bois de valeur récoltée, de sorte que ces modalités améliorent le rendement en bois d'œuvre de haute valeur (exprimé en $\text{m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$) de manière significative. Par exemple, pour les CJ, les modalités visant la récolte des arbres au diamètre à maturité financière (Diamf) de 40 cm offrent un rendement de $0,59 \text{ m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$, comparativement à $0,40 \text{ m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$ pour les modalités de référence (tableau 3.20). C'est une augmentation considérable, de 48 %, mais un Diamf de 40 cm ne représente cependant pas le diamètre recommandé selon les travaux du CIMOTFF (chapitre 2). Les modalités visant la récolte des Diamf de 50 cm lors d'une CJ offrent un rendement de $0,48 \text{ m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$, comparativement à $0,40 \text{ m}^3/(\text{ha}\cdot\text{an})$, ce qui représente un gain de 20 % (tableau 3.20). Puisque le CIMOTFF recommande d'intégrer un Diamf fixé selon l'essence et la situation géographique au diagnostic sylvicole, et que les analyses démontrent des Diamf d'environ 46 cm pour l'érable à sucre et de 48 cm pour le bouleau jaune (tableau 2.2), l'effet devrait se situer entre ces 2 valeurs.

Deux éléments sont importants pour bien comprendre cette recommandation qui, autrement, pourrait sembler contradictoire. D'abord, pour une analyse à l'échelle de l'arbre, celle des Diamf du chapitre 2 est plus précise que celle qui peut être obtenue en interprétant les résultats des simulations du chapitre 3. En effet, le chapitre 2 s'appuie directement sur des observations effectuées sur le terrain et sélectionne des données davantage validées, et observées sur une plus longue période, que celles ayant servi à calibrer SaMARE. Ainsi, dans une prochaine version de SaMARE (calibration en cours), il est possible que les nouveaux résultats de simulation soient plus près de ceux du chapitre 2. Ensuite, les analyses du chapitre 3 sont effectuées davantage à l'échelle du peuplement qu'à l'échelle de l'arbre. Ainsi, d'autres arbres que ceux au Diamf de priorité CO ou RO contribuent au rendement du peuplement. De plus, il se peut qu'à l'échelle du peuplement, il soit avantageux de déplacer une proportion de la récolte des bois

moyens de priorité S vers les gros bois de priorité CO ou RO. Par conséquent, il demeure pertinent d'approfondir ce type d'analyse, notamment lors de l'optimisation, par itération et simulation, du choix de modalités pour une prescription en particulier.

Finalement, des effets similaires à ceux observés dans les CJ s'observent pour la CPI_CP, avec un gain de l'ordre de 30 % entre la modalité de base et le prélèvement des arbres au Diamf de 50 cm (0,43 vs 0,33 m³/(ha·an), tableau 3.20). Cette différence est observée dans les CPI_CP, malgré le fait que le prélèvement des arbres au Diamf y a initialement une plus haute priorité (4^e) que dans les CJ (6^e).

L'augmentation de la rotation ainsi que les rendements ont été évalués à l'échelle du peuplement, mais l'impact de tels prélèvements à grande échelle et à long terme sur la possibilité forestière n'a pas été évalué.

4.6 Effet sur la structure et la surface terrière

Les peuplements initiaux étaient, pour la plupart, de catégorie B (modérément perturbé) dans le diagramme de complexité des structures, lequel permet de comparer l'état d'un peuplement aux caractéristiques désirées de vieilles forêts (figures 3.1 à 3.3). L'effet de la récolte déplace la position du peuplement vers le bas et la gauche, car la surface terrière est diminuée et la complexité structurale est un peu moindre. Pour les CJ, la plupart des peuplements passent du type B au type C (jardiné ou irrégulier d'allure jardinée) après la récolte, pour revenir au type B à la fin de la rotation (figure 3.1). Ils passent au type D (fortement perturbé) dans le cas des coupes où les essences sans preneur sont laissées sur pied et lorsque les Diamf sont fixés à 40 cm. Ils peuvent cependant revenir au type B (ou très près) en fin de rotation.

Dans le cas des CPI_CP, les modalités à prélèvement accru avec une proportion de 18 % de sentiers font passer les peuplements du type B au type D, alors que les autres modalités résultent généralement en des peuplements de type C après intervention (figure 3.2). Ils peuvent cependant revenir au type B (ou très près) en fin de rotation, laquelle est, dans ce cas, allongée par rapport à la CJ.

Le cas des CPI_RL est différent, car elles sont généralement appliquées dans les peuplements mixtes pour lesquels le type C n'est pas reconnu (figure 3.3 pour voir les types reconnus en peuplement mixte). Les peuplements initiaux y sont généralement de type A (peu perturbé). Les modalités de prélèvement accru avec des sentiers représentant 18 % et certaines modalités avec un Diamf fixé à 40 cm font passer les peuplements du type A au type D, tandis que les modalités de base et l'application d'un Diamf de 50 cm résultent généralement en des peuplements de type B après intervention. Ils peuvent cependant revenir au type A (ou très près) en fin de rotation, laquelle est, dans ce cas, de 30 à 90 ans.

Ces constats mettent en lumière qu'avec une faible variabilité naturelle en forêt feuillue (figure 3.1, dimension de la catégorie A), il est difficile de faire de l'AFD économiquement viable sans accepter de diminuer, temporairement, l'état de complexité structurale des peuplements. Il faut donc trouver un équilibre entre les zones de conservation, où l'on trouverait des forêts ayant des attributs très près de la forêt primitive (possiblement dans des aires protégées ou des îlots de vieillissement) et la forêt aménagée où l'on viserait à retrouver des conditions plus complexes, proches de celles d'un peuplement modérément ou peu perturbé en fin de rotation (catégories B et A, respectivement). Ainsi, une proportion du territoire aménagé aura des conditions structurales plus complexes, mais ces superficies ne seront pas toujours les mêmes. Cela permettrait de répondre aux préoccupations à l'échelle du paysage.

Par exemple, s'il est possible que les aires protégées contribuent à la proportion de vieilles forêts (p. ex., 12 % du territoire), en plus des îlots de vieillissement (p. ex., 2 % du territoire) et des superficies forestières inaccessibles ou exclues de l'aménagement pour d'autres raisons, alors c'est peut-être au moins 15 % du territoire qui pourrait être constitué de peuplements ayant les attributs des vieilles forêts. À cette proportion, il faudrait ajouter les peuplements qui ont été traités, mais qui sont présentement en fin de rotation (figures 3.1 à 3.3). Ceux-ci pourraient contribuer pendant quelques années (p. ex., 5 ans sur une rotation de 20 à 40 ans, soit 25 à 10 % du temps, respectivement) à la superficie de vieilles forêts pour une proportion représentant peut-être de 10 à 25 % du territoire aménagé en CJ ou en CPI_CP. Au final, même si les peuplements résiduels des CJ et des CPI_CP étaient plus perturbés que ce que crée fréquemment la dynamique naturelle, le paysage pourrait contenir quand même une proportion non négligeable de peuplements répondant aux caractéristiques des vieilles forêts (approximativement de 25 à 35 % en additionnant les sources). Ces proportions s'approchent des seuils d'altérations acceptables selon Jetté *et al.* (2013a,b). En effet, si l'on considère l'unité homogène de végétation correspondant à l'érablière à bouleau jaune, son état de référence est un territoire recouvert à 76 % par des vieux peuplements (Boucher *et al.* 2011). Ensuite, si l'on applique à cet état de référence un seuil d'altération acceptable d'au plus 50 % du territoire qui n'est pas couvert par de vieux peuplements (Jetté *et al.* 2013a,b), alors il faudrait conserver au moins 38 % du territoire en vieux peuplements. Par conséquent, notre évaluation sommaire des effets des modalités étudiées (25 à 35 % du territoire en vieux peuplements peu perturbés) démontre qu'il serait possible de s'approcher de cette cible (38 %) sans déployer de grands efforts d'aménagement. Cependant, cette évaluation est fondée sur plusieurs hypothèses, dont celle que les CPI_RL et les procédés de régénération menant à la futaie régulière seraient peu présents dans le paysage, et celle que les peuplements aménagés en CJ et en CPI_CP seraient maintenus en croissance jusqu'aux critères qui nous ont servi à déclencher les rotations (section 3.1.4). Ainsi, le fait d'attendre que les peuplements aient reconstitué un volume financièrement

intéressant de bois d'œuvre feuillu de haute qualité, permet aussi au peuplement de reconstituer une bonne quantité d'attributs associés aux vieilles forêts.

En plus de la gestion des caractéristiques relatives à l'aménagement écosystémique à l'échelle du paysage, il est possible d'avoir d'autres objectifs à l'échelle du peuplement sur des attributs dispersés. Les simulations testées ont maintenu en tout temps au moins 2 m²/ha de surface terrière de gros bois et une surface terrière totale d'au moins 14 m²/ha (CJ et CPI_CP). Dans les modalités avec des Diamf fixés à 40 cm ou à 50 cm, les gros arbres conservés pouvaient être défectueux ou de qualité. Puisque que le même arbre peut permettre de rencontrer plus qu'un objectif¹¹ il devrait donc être possible de respecter des instructions de martelage ou de prélèvement qui assurent une quantité fixée de gros bois, avec certaines exigences de qualité pour assurer un recrutement adéquat d'arbres fauniques dans le temps. Une telle mesure pourrait ne pas trop affecter la rentabilité du prélèvement, ni la durabilité de celui-ci. Il faut toutefois s'assurer que cette quantité de gros bois ne nuise pas au recrutement de petits bois et à la promotion de moyens bois.

Recommandation 6

Le CIMOTFF recommande de fixer dans les plans d'aménagement :

- 1) des cibles à l'échelle du paysage, relativement à la proportion du paysage désiré en types A et B et d'assurer, soit par la protection, soit par le choix des longueurs de rotation, que ce % est respecté; à cet effet, le fait que la structure interne s'améliore d'une rotation à l'autre devrait influencer les cibles, tout comme le moment où l'on souhaite atteindre ces cibles;
- 2) des cibles à l'échelle du peuplement, par exemple sur la quantité et la qualité de gros et très gros arbres à maintenir;
- 3) de tester, par modélisation, la rentabilité des modalités proposées afin de les optimiser; à cet effet, les arbres défectueux ayant un potentiel faunique pourraient être mis à contribution.

4.7 Considérations générales sur les modalités étudiées

De manière générale, à l'exception des modalités consistant à ne pas récolter les essences sans preneur et d'accroître la proportion de sentiers, la plupart des modalités permettent d'augmenter le prélèvement en bois d'œuvre de valeur et la rentabilité (pour l'État ou pour les scieurs). Ces améliorations

¹¹ Par exemple, un gros arbre laissé sur pied peut compter pour un arbre faunique en plus de permettre de conserver un attribut de structure de vieille forêt.

significatives reposent sur le fait qu'on ne récolte qu'un faible nombre de tiges à l'hectare qui possèdent une grande valeur. À titre d'exemple, on retrouve dans les peuplements étudiés entre 1 et 2 m²/ha d'arbres visés par la modalité de récolte à partir d'un diamètre de maturité financière de 46 cm et plus dans le peuplement initial, ce qui représente de 6 à 13 tiges à l'hectare.

Les simulations indiquent que les récoltes faites selon plusieurs modalités sont durables selon les critères analysés ; elles peuvent être reproduites pour les 3 récoltes consécutives (CJ et CPI_CP) tout en maintenant, voire en améliorant, le peuplement final. On observe aussi qu'elles n'influencent pas de manière importante la structure et la composition du peuplement final (GB et structure interne). Il serait donc possible de maintenir la structure interne des peuplements dans un intervalle acceptable, sans affecter la production de bois d'œuvre de valeur. Ce résultat avec les CJ et les CPI_CP est explicable par un des critères retenus pour déclencher le 2^e et le 3^e traitement. En exigeant de reconstituer le volume initial de bois d'œuvre feuillu de haute valeur (section 3.1.4), il fallait donc attendre que le peuplement retrouve une structure et une composition ayant plusieurs attributs de vieilles forêts. Néanmoins, c'était principalement le critère d'atteindre une surface terrière de 24 m²/ha qui était la variable critique pour déclencher les traitements.

Le CIMOTFF souhaite rappeler qu'au-delà des modalités de récolte dont certains effets ont été évalués, l'aspect le plus critique est d'assurer la régénération adéquate des peuplements, comme en assurant la préparation de terrain lorsque celle-ci est requise. Autrement, le risque à long terme est de liquider les essences désirées et de compromettre la durabilité, nonobstant les choix de modalités de récoltes et les résultats des simulations présentées. Pour assurer la durabilité de l'aménagement avec des coupes partielles en peuplement de structure inéquienne, la préoccupation première doit être la régénération du peuplement. Les prescriptions ne doivent pas être basées aveuglément sur l'hypothèse que la régénération des essences désirées se fera sans effort, particulièrement avec le hêtre qui envahit le paysage, et le bouleau jaune et le chêne qui nécessitent des conditions particulières de régénération.

Finalement, il est important de rappeler certaines implications rattachées à la méthode utilisée pour ces analyses. D'abord, la régression servant à prédire le volume de bois d'œuvre pour les feuillus de haute valeur (Figure 3.4) a été calibrée sur des volumes estimés avec la matrice actuelle de répartition par produits. Or, tel qu'il a été mentionné à la section 3.1.7, cette matrice devra être revue. Par conséquent, la régression présentée ne sera plus applicable lorsqu'une nouvelle matrice sera disponible. Dans ce cas, il faudra donc reprendre la calibration de cette régression. Ensuite, l'utilisation de la régression fondée sur la surface terrière des perches (Figure 3.6) nécessite d'obtenir un inventaire forestier suffisamment précis pour évaluer cette catégorie de diamètres. Or, la faiblesse de l'inventaire au prisme est d'être peu précis avec les petits arbres, car ils sont échantillonnés dans un petit rayon (rayon de 3,54 m [254,6 m²] pour un

dhp de 10 cm). Cependant, le plus grand risque avec les placettes inventoriées au prisme est celui d'obtenir un inventaire négativement biaisé dans l'échantillonnage de ces petits arbres. En effet, il arrive que l'emplacement précis du point de prisme sur le terrain soit déplacé de quelques centimètres à quelques mètres, de façon à être centré sur une tige au dhp d'au moins 20 cm pour faciliter le repérage lors de la vérification (Guillemette *et al.* 2007). Ce déplacement a pour effet de réduire la probabilité de sélection des petites tiges et donc, de sous-estimer la quantité de perches. Par conséquent, l'utilisation de cette régression nécessite de vérifier la qualité de l'inventaire obtenu. Cet aspect serait plus critique dans les peuplements mixtes à bouleau jaune, car ils ont les plus faibles surfaces terrières de perches des essences feuillues désirées (Figure 3.6).

En plus de ces considérations, il est apparu au cours des discussions du comité qu'un effet similaire à celui de laisser en forêt des essences sans preneur pouvait se produire à l'échelle du paysage. En effet, il y a des peuplements appauvris dont les conditions de récolte ne sont pas rentables, mais qui nécessiteraient une intervention sylvicole être remis en production. Or, si ces peuplements sont exclus au moment de délimiter les chantiers dans le but de ne retenir que des peuplements dont l'intervention serait rentable, alors cet effet à l'échelle du paysage serait comparable à celui de laisser des essences sans preneur à l'échelle du peuplement. Par conséquent, il faut s'assurer que les critères de rentabilité, qui influent sur la décision d'intervenir ou non dans un peuplement susceptible d'en bénéficier sur la base de critères sylvicoles, soient considérés à l'échelle d'un chantier ou d'une autre entité territoriale plus vaste à déterminer, et pas seulement peuplement par peuplement.

Recommandation 7

Le CIMOTFF recommande que, lors de la planification et de la réalisation des interventions, la rentabilité financière soit évaluée à l'échelle du chantier d'opération ou d'une autre entité territoriale plus vaste à déterminer, afin d'éviter que les peuplements moins rentables, qui nécessitent une intervention sylvicole propre à en améliorer les conditions futures, ne soient systématiquement contournés.

Chapitre cinq

Processus diagnostique, prescriptions et suivis

Au cours des travaux du CIMOTFF, les discussions ont constamment ramené à l'avant-plan la nécessité d'un bon diagnostic sylvicole et d'une rétroaction sur les décisions sylvicoles afin de développer une expertise régionale et d'adapter le choix des modalités lors de la prescription sylvicole. Cette rétroaction nécessite de disposer de suivis réalisés systématiquement et de façon structurée.

5.1 Cheminement diagnostique

Le processus de l'action sylvicole est décrit en détail dans le chapitre 4 du tome 2 du *Guide sylvicole du Québec* (Gravel *et al.* 2013). De ce processus, une partie est consacrée au cheminement du diagnostic sylvicole. Les grandes étapes de ce cheminement sont : l'identification des objectifs et des enjeux associés au territoire, la détermination de l'état actuel des peuplements et des objectifs de production des peuplements, l'identification des problèmes d'ordre sylvicole, l'identification, l'analyse et le choix des solutions ainsi que finalement, le choix du traitement, des modalités et du scénario sylvicole.

Dans le cadre du présent exercice de simulation du CIMOTFF, les peuplements ou groupes de peuplements n'ont pas fait l'objet d'un cheminement diagnostique sylvicole menant à une prescription sylvicole adaptée à l'état initial, et à des d'objectifs de production spécifique optimisée à chacun des peuplements. Le comité a établi une variété de cas, dont certains extrêmes, afin de pouvoir observer les limites des différents modèles et tenter de dégager les grandes tendances.

À la lumière des premières analyses, le comité confirme l'importance de la composition et de sa distribution dans le peuplement lors d'une démarche d'amélioration de la rentabilité de récolte. Ainsi, les notions de composition (essence et qualité), de distribution diamétrale et de structure du peuplement (verticale et horizontale) sont des indicateurs clés dans la démarche visant à générer de meilleurs

revenus lors des récoltes, qui permettent une production à long terme de bois d'œuvre, en quantité et en valeur.

La présente section tente de confirmer l'importance de certains éléments lors du cheminement du diagnostic sylvicole, et ce, selon les grandes étapes de ce dernier.

Identification des objectifs et des enjeux associés au territoire

L'aménagiste forestier doit établir clairement :

- Les objectifs généraux de productions des différents peuplements (arbres de décision). En plus d'identifier les compositions visées, le désir d'augmenter ou non la quantité de produits de qualité supérieure doit être précisé.
- Les besoins en approvisionnement en quantité et qualité.

Identification des objectifs et des enjeux associés au peuplement

Dans le contexte où le sylviculteur tente d'obtenir des revenus acceptables lors des récoltes actuelles et subséquentes, les objectifs suivants doivent, entre autres, être bien identifiés :

Objectifs à court terme (0-5 ans) :

- La composition visée du peuplement résiduel à la suite de l'intervention de récolte.
- La distribution diamétrale résiduelle en essences désirées à la suite de l'intervention de récolte.
Une attention particulière devrait être portée :
 - o à la distribution et le nombre de gaules et de perches en essence désirées ;
 - o à la surface terrière du CFC dans les classes de diamètres de 24 à 44 cm.
- Le prélèvement total et la surface terrière résiduelle cible.
- La quantité de billes de DérF1F2 en essences désirées à récolter pour obtenir un revenu adéquat.
- Les caractéristiques et le nombre de microsites propices permettant le recrutement d'une nouvelle cohorte en essences désirées.
- La quantification ou une description précise des cibles des attributs écosystémiques (structure, bois mort, chicot, essences en raréfaction, etc.).

À moyen terme (5-20 ans) :

- La quantité cible d'arbres d'avenir d'essences désirées en semis, en gaules et en perches.

À long et très long terme (20 ans et +) :

- La composition visée.
- La structure cible (régulière, irrégulière ou équilibrée).
- Les termes de production (longueurs de rotation cible).
- Les caractéristiques des arbres à maturité ainsi que la quantité désirée. Pour les besoins de l'exercice d'établir des prédictions économiques et financières, ceci peut se traduire par la quantité de billes de DérF1F2 en essences désirées disponibles à chacune des rotations.

Identification des problèmes d'ordre sylvicole

Un problème d'ordre sylvicole est l'écart entre l'état actuel et l'état cible, en relation avec les objectifs établis par le sylviculteur. Ce dernier doit porter une attention supplémentaire aux carences ainsi qu'aux surplus des différentes essences - qualité dans les différents groupes de classes de diamètres de l'état actuel par rapport à l'état cible.

Identification, analyse et choix des solutions

L'étude des solutions menant vers un équilibre des revenus et de la durabilité de la production peut se réaliser en portant une attention supplémentaire aux éléments suivants :

- Le seuil de CFC résiduel équilibré dans les différents regroupements de classes de diamètre (régénération, petit bois, moyen bois, gros bois, etc.). Des outils graphiques (régressions) sont disponibles pour les petits bois ainsi que pour les classes de diamètres 24-44 cm (voir figure 3.4).
- La quantification de la proportion en essences à maîtriser (Ex. HEG, ERR, PET) et en essences désirées selon la vigueur et l'utilisation (Ex. BOJ et ERS Mo, So, Cp et Rp) dans la composition du peuplement résiduel.
- La quantification des billes à récolter pour le sciage et le déroulage, non seulement à l'échelle du peuplement, mais surtout à l'échelle du chantier d'opération.

Les études des valeurs récoltées à l'aide du logiciel MÉRIS doivent, actuellement être interprétées avec soin, comme nous l'avons expliqué au chapitre 3 du présent rapport. Ainsi, l'ordre de prélèvement qui en résulte doit être adapté au divers cas types compris dans un peuplement, et ce, en cohérence avec les différents objectifs.

Nous recommandons d'effectuer plusieurs itérations lors de la recherche des combinaisons optimales (revenu, durabilité de la production de bois) en modifiant les ordres de prélèvement. Généralement, en

tenant compte du prélèvement *a priori* des sentiers d'abattage et de débardage, ainsi que des volumes disponibles dans une condition de prélèvement, MÉRIS prélève rarement après le 4^e ou 5^e ordre de prélèvement.

Dans le cas spécifique de l'utilisation des diamètres de maturité financière comme condition de prélèvement, le sylviculteur doit s'assurer que le peuplement détient une distribution diamétrale en essences désirées de qualité en équilibre, ainsi qu'un recrutement garanti en quantité et en qualité, et ce, dans un temps raisonnable (délai de régénération). Son ordre de prélèvement pourrait être devancé comparativement à nos pratiques traditionnelles, mais il devra garder en tête que plus celui-ci est au début, plus son poids dans le volume de récolte sera significatif.

Choix du traitement, des modalités de prélèvement et du scénario sylvicole

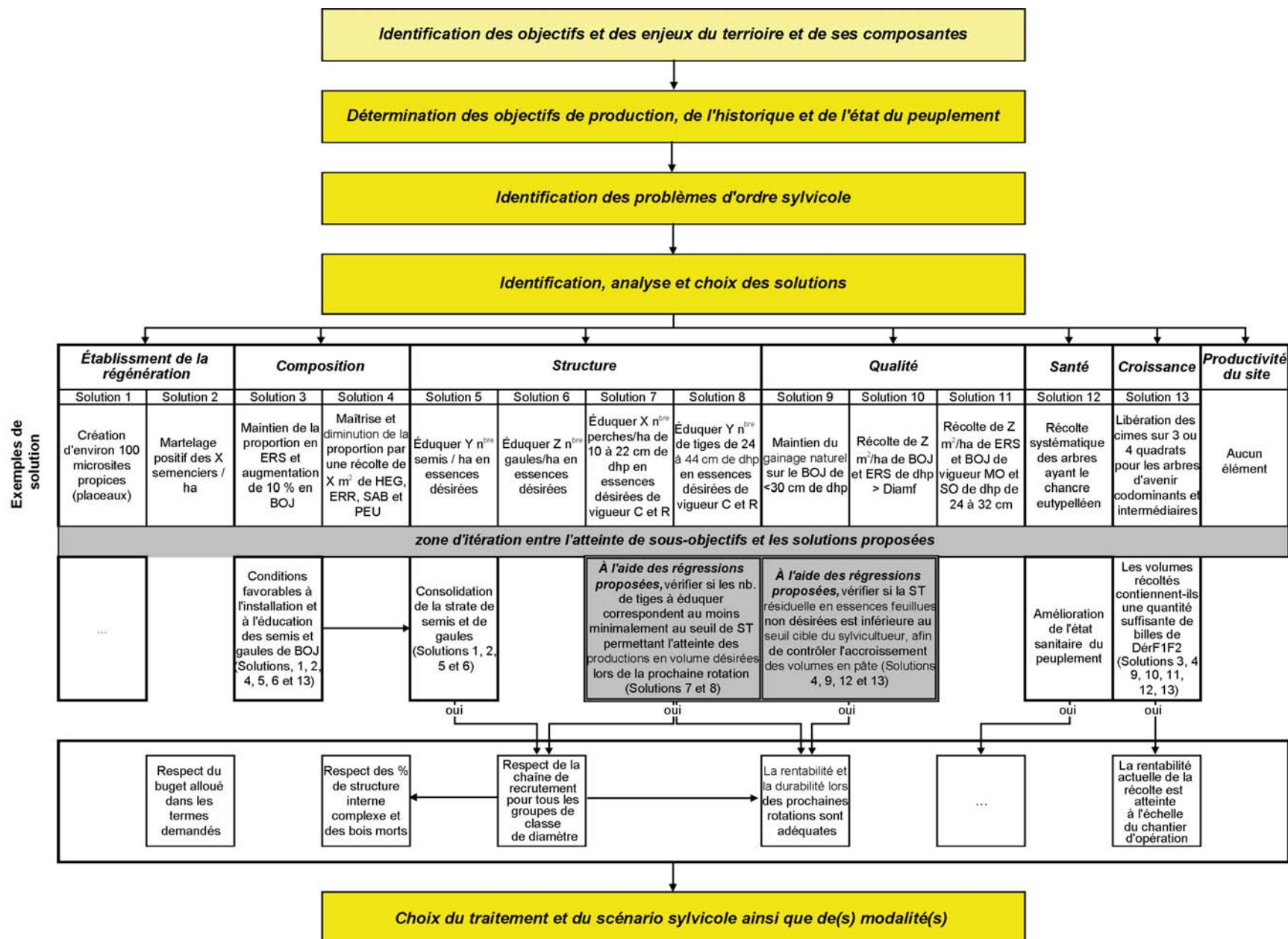
Le sylviculteur arrête les différents choix de traitement, de modalités de prélèvement et de scénario sylvicole dans l'optique de répondre à l'ensemble des objectifs. Ceux-ci sont principalement encadrés par :

- le traitement : la structure et la composition cible du peuplement ;
- les modalités de prélèvement : la capacité de prélèvement dans les différents groupes de classes de diamètres, et ce, en équilibre avec la surface terrière ainsi que la composition résiduelle cible ;
- le scénario sylvicole qui permet d'optimiser les fonctions de régénération (p. ex., la préparation de terrain pour les microsites propices à l'installation du BOJ), d'éducation et de récolte.

La figure 4.1 résume les étapes du cheminement du diagnostic sylvicole.

Recommandation 8

Le CIMOTFF recommande aux sylviculteurs d'intégrer les connaissances qu'il a développées dans le processus diagnostique, et de valider à l'aide des régressions proposées si les modalités envisagées permettent de produire des peuplements résiduels ayant les attributs garantissant d'obtenir les peuplements futurs souhaités. Advenant que le processus d'analyse ne mène pas à une solution acceptable, les sylviculteurs devraient revoir les modalités, la rotation, le traitement ou l'objectif en termes de peuplement futur.



Note : Les outils de contrôle du prélèvement développés par le CIMOTFF sont en grisé.

Figure 4.1. Éléments nouveaux à intégrer au cheminement diagnostique.

5.2 Suivis et contrôles

Dans l'optique où un traitement de coupe partielle tente de répondre à trois objectifs sylvicoles, soit la récolte, l'établissement de la régénération ainsi que l'éducation (amélioration) du peuplement, le comité réitère l'importance d'effectuer les contrôles et suivis subséquents.

5.2.1 Contrôle de conformité

Le contrôle de conformité vise à vérifier le respect de la mise en œuvre technique d'une prescription sylvicole. Les directives opérationnelles et de martelage d'une prescription sylvicole sont établies en fonction des solutions que le sylviculteur désire mettre en place. Le sylviculteur du MRN peut réaliser ce contrôle en deux temps, soit dès le début des opérations et à la fin des travaux.

L'accompagnement sur le terrain des contremaîtres, des marteleurs et des opérateurs dès le début des opérations permet d'effectuer une rétroaction en temps réel et dans le cas échéant, d'apporter des mesures correctives. Cette manière de faire devrait diminuer les reprises de travaux (p. ex., le martelage), réduire l'importance des dommages au peuplement résiduel et augmenter les probabilités d'atteindre les objectifs fixés.

Les contrôles de conformité permettent de vérifier si l'état résiduel désiré du peuplement est tel que le sylviculteur l'avait prévu. Cette étape est très importante, car le fait d'isoler les éléments de performance de la mise en œuvre permettra de bien cerner l'efficacité réelle de la prescription sylvicole lors des suivis subséquents. Il est important de prendre note que certains critères devant être évalués après le traitement sont aussi utilisés pour la reddition de compte avec les différents exécutants. Ceux-ci sont clairement indiqués dans la prescription sylvicole comme telle. Les critères à l'usage du sylviculteur uniquement, sont normalement accessibles à partir des mêmes caractéristiques dendrométriques utilisées pour la reddition de comptes. Deux opérations peuvent être requises lors de la réalisation d'une coupe partielle soit le martelage et la récolte.

Martelage

Le contrôle de cette activité, au-delà des placettes d'échantillonnage, est la seule occasion qu'a le sylviculteur de prendre conscience de la justesse et de l'efficacité de sa directive de martelage. Les écarts entre les outils de simulation de prélèvement (MÉRIS) et les besoins réels en martelage peuvent être réduits par un simple accompagnement en début d'opération. Étant donné que le comité reconnaît l'importance du prélèvement sur les revenus et l'état du peuplement résiduel, les éléments suivants devraient, entre autres, être évalués :

- Le respect des objectifs de martelage (régénération, éducation, récolte) ;
- L'intensité du martelage;
- Le respect de l'ordre du prélèvement;
- La quantité estimée de produits prélevés (essence désirée-utilisation par groupe de classes de diamètre [24-32, 34-46, 48 et +]);
- La protection du CFC par groupe de classes de diamètres;
- La composition résiduelle visée;
- La surface terrière résiduelle visée.

Récolte

Le contrôle de cette activité permet d'établir le niveau de compréhension des directives par le personnel dédié aux opérations, ainsi que la capacité de réalisation et d'exécution du traitement et de ses modalités. Les éléments suivants devraient, entre autres, être évalués :

- Le respect du martelage et, si cela est le cas, de la protection des perches;
- En l'absence de martelage, le respect des directives opérationnelles en matière de sélection d'arbres. Un simple accompagnement en début d'opération permet au sylviculteur de prendre conscience de la justesse et de l'efficacité de sa directive opérationnelle (prélèvement);
- L'intensité de prélèvement (sentiers et récolte partielle);
- La protection du CFC par groupe de classes de diamètres;
- Les blessures aux arbres du peuplement résiduel;
- La composition résiduelle;

5.2.2 Suivis d'efficacité

Le suivi d'efficacité sert à évaluer si les moyens mis en place lors des interventions forestières ont permis d'atteindre les objectifs visés. Les effets directs sur la fonction de la récolte étant couverts par les contrôles de conformité, les suivis d'efficacité se concentrent sur les fonctions de l'établissement de la régénération et de l'éducation du peuplement.

Dans le but de générer un meilleur revenu et de permettre une production à long terme de bois d'œuvre en qualité et valeur, le CIMOTFF confirme l'importance du suivi du comportement de la chaîne de recrutement et du passage graduel d'une classe de taille vers l'autre (semis → gaules → perches → petits bois → moyens bois → gros bois) comme un élément clef de la réussite de l'atteinte des objectifs à long terme. C'est ce que vise le suivi d'efficacité.

A- Établissement de la régénération en essences désirées

À cette étape, le suivi réalisé permet d'évaluer le comportement des peuplements traités en fonction des modalités fixées à la prescription sylvicole ainsi que d'établir le besoin de réaliser des actions correctrices.

Immédiatement après la récolte

- o S'assurer de la présence et la distribution des microsites propices à l'ensemencement naturel des essences désirées.
- o S'assurer de la présence en quantité suffisante de semenciers des essences désirées.

3-5 ans après la récolte

- o S'assurer de l'implantation de la régénération en essences désirées ainsi que de la création de conditions de croissance favorables.

B- Éducation

À cette étape, le suivi réalisé permet de fournir des rétroactions au sylviculteur sur le comportement des peuplements traités en fonction des modalités fixées à la prescription sylvicole.

Les suivis sont établis environ 10 ans après la récolte, et visent surtout à établir les impacts du traitement sur la distribution et la croissance des arbres d'avenir d'essences désirées dans les différents groupes de classes de diamètres (chaîne de recrutement). Il est possible d'obtenir une première impression sur le respect du terme de la rotation visée. De plus, des actions correctrices pourraient être réalisés, mais au stade gaulis seulement.

10 ans après la récolte

Pour les gaules

- o Valider le recrutement de gaules d'avenir d'essences désirées, la mortalité et le maintien des conditions de croissance favorable.

Pour les groupes de classes de diamètres de 10-22 cm, 24-32 cm, 34-46 cm, 48 cm et plus

- o Validation de l'évolution (recrutement) de la surface terrière en essences désirées de qualité par groupe de classes de diamètres.
- o Établir s'il y a augmentation de l'accroissement des arbres résiduels de qualité et si les conditions de croissance favorable sont maintenues.

Bien que certains éléments cités précédemment font déjà l'objet de suivis et contrôles structurés, le CIMOTFF est d'avis qu'il serait important de les rendre plus explicites, notamment en ce qui a trait aux suivis d'efficacité. En effet, il apparaît clair qu'il y demeure un potentiel important d'amélioration, tant en termes de mesure de l'efficacité (rapport entre les résultats obtenus et les objectifs fixés) qu'en termes d'efficience (rapport entre les résultats obtenus et les ressources utilisées pour les atteindre).

5.2.3 Suivis scientifiques

Le CIMOTFF est convaincu de la nécessité de prévoir aussi des suivis de nature plus scientifiques servant à évaluer à long terme l'évolution des peuplements traités avec différentes modalités, à l'image de la mesure des effets réels, et pouvant servir de base à l'amélioration des modèles tactiques comme SaMARE. Ces suivis, à plus long terme, pourraient se faire sur un sous-échantillon des placettes mesurées lors du suivi d'efficacité, de façon à assurer un nombre de répétitions suffisant ainsi qu'une bonne représentativité des stations et de la distribution géographique de ces interventions. Le suivi notamment de l'évolution de la qualité ainsi que de la mortalité des tiges d'avenir qui doivent reconstituer la cohorte des arbres contenant des billes DérF1F2 permettrait de valider les modèles actuels et de les améliorer au besoin.

Recommandation 9

Le CIMOTFF recommande que les sylviculteurs valident à l'aide de contrôles opérationnels et de suivis d'efficacité, l'atteinte des caractéristiques nécessaires pour assurer la pérennité des récoltes dans le temps.

Pour y arriver, le CIMOTFF recommande de mettre en place un comité chargé :

- 1) de définir les variables et surtout le degré d'intensité et de précision requis pour chaque type de suivi d'efficacité et de contrôle de conformité;
- 2) de définir un protocole de relecture des placettes de suivi de conformité afin qu'elles puissent servir aux suivis scientifiques;
- 3) de calculer et de démontrer les coûts et avantages de tels suivis et contrôles.

Conclusion

Le Comité sur l'impact des modalités opérationnelles des traitements en forêt feuillue (CIMOTFF) a mené des travaux ambitieux dont les résultats viennent changer certains paradigmes de la sylviculture des peuplements feuillus.

Les travaux sur les diamètres de maturité sont basés sur des données de recherche forestière qui ont permis d'étudier, sur une période de plus de 15 ans, la survie et le maintien de la qualité de milliers d'érables à sucre et de bouleaux jaunes dans des environnements variés découlant de différentes intensités et modalités de récolte. Les résultats démontrent que la qualité des tiges que l'on voulait protéger lors des opérations de jardinage, sur la base d'un diamètre de maturité pathologique, perdaient de la valeur, soit en raison de leur dégradation ou de leur mortalité, avant que la récolte suivante ne vienne les prélever en fin de rotation. Il y a donc une perte de revenu qui affecte la rentabilité des opérations pour l'industriel comme pour l'État lorsqu'on ne récolte pas les tiges qui dépassent le diamètre de maturité financière propre à l'essence et à la station. Ne peut-on pas alors les récolter sans affecter la qualité produite à long terme, la durée des rotation ou hypothéquer le rendement futur?

Pour répondre à ces questions, le CIMOTFF a donc réalisé des simulations à l'aide d'un modèle tactique spécifique à la forêt feuillue (SaMARE), combiné à un logiciel permettant de simuler la récolte et de procéder à l'évaluation financière et économique des résultats (MÉRIS). Une variété étendue de modalités de récolte a été testée sur différents types de peuplement de départ afin d'explorer un vaste espace de situations. Ces travaux démontrent que plusieurs modalités, y compris celles qui changent les priorités de récolte lors du martelage et certaines de celles où la récolte est légèrement accrue, permettent des opérations de récolte plus rentables et durables, tout en respectant les exigences de maintien d'attributs de forêts complexes, à condition de respecter certaines balises qui ont fait l'objet de recommandations du CIMOTFF.

Ces recommandations et balises sont livrées dans une optique de soutien au travail du sylviculteur, qui doit utiliser l'ensemble des connaissances spécifiques à chaque peuplement pour établir son diagnostic et formuler la prescription propre à rencontrer les objectifs fixés pour celui-ci.

Les recommandations faites par le comité vont nécessiter du travail et des ajustements au cours de leur mise en œuvre. Par conséquent, il serait souhaitable d'en faire un bilan après deux saisons d'application. Le comité croit qu'une première saison sera un test au cours duquel de nouveaux processus de travail seront développés et mis à l'épreuve. Par conséquent, une seconde saison d'opération en fonction des changements proposés serait nécessaire pour en saisir toute la portée. Ainsi, le MRN pourrait réellement constater les résultats des changements aux pratiques sylvicoles qui sont aujourd'hui suggérés.

Recommandation 10

Le CIMOTFF recommande qu'un bilan de l'application de ses recommandations soit fait dans deux ans, soit après deux saisons d'application.

Références bibliographiques

- Barrette, Y., G. Gauthier et A. Paquette, 1996. *Aménagement de la forêt pour fins de production ligneuse*. Dans : Ordre des ingénieurs forestiers du Québec et Les presses de l'Université Laval, Manuel de foresterie. p. 647-672.
- Bouchard, M., S. Déry, H. Jacqmain, J.-P., Jetté et M. Leblanc, 2010. *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré. Partie I – Analyse des enjeux (version préliminaire 1.0)*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts. 117 p.
- Boucher, Y, M. Bouchard, P. Grondin et P. Tardif, 2011. *Le registre des états de référence : intégration des connaissances sur la structure, la composition et la dynamique des paysages forestiers naturels du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 161. 21 p.
[\[http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Boucher-Yan/Memoire161.pdf\]](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Boucher-Yan/Memoire161.pdf).
- Boulet, B., 2005. *Défauts externes et indices de la carie des arbres*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la conservation des forêts. 291 p.
- Boulet, B., 2007. *Défauts externes et indices de la carie des arbres, guide d'interprétation*. Les Publications du Québec, 2^e éd. 317 p.
- Clausen, K.E. et R.M. Godman, 1969. *Bark characteristics indicate age and growth rate of yellow birch*. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Research Note NC-75. 3 p.

- Fortin, M., S. Bédard et J. DeBlois, 2009a. *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. 26 p.
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Fortin-Mathieu/Memoire155.pdf>
- Fortin, M., F. Guillemette et S. Bédard, 2009b. *Predicting volumes by log grades in standing sugar maple and yellow birch trees in southern Quebec, Canada*. Can. J. For. Res. 39: 1928–1938.
- GÉNIVAR INC. 2013. *Documentation des traitements alternatifs réalisés en 2012-2013*. Rapport présenté à la Commission des Ressources naturelles et du Territoire des Laurentides. QUÉBEC. 14 p.
- Gravel, J., S. Meunier et É. Provost, 2013. « Chapitre 4 – Le diagnostic et la prescription sylvicole ». Dans : Ministère des Ressources naturelles (éd.). *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, QC. p. 42-55.
- Guillemette, F. et S. Bédard, 2006. *Sylviculture des peuplements à dominance de feuillus nobles au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Rapport hors série. 94 p.
[\[http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Hors-serie-sylviculture.pdf\]](http://www.mrnf.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Hors-serie-sylviculture.pdf).
- Guillemette, F., S. Bédard, D. Pin et D. Dumais, 2013. « Chapitre 23 – Les coupes de jardinage avec gestion par arbres ». Dans : Ministère des Ressources naturelles (éd.). *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, QC. p. 566-603.
- Hansen, G. et R.D. Nyland, 1987. *Effects of diameter distribution on the growth of simulated uneven-aged sugar maple stands*. Can. J. For. Res. 17: 1-8.
- Havreljuk, F. A. Achim et D. Pothier, 2013. *Regional variation in the proportion of red heartwood in sugar maple and yellow birch*. Can. J. For. Res. 43: 278–287.
- Jetté, J.-P., M. Leblanc, M. Bouchard et N. Villeneuve, 2013a. *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré, Partie I – Analyse des enjeux*, Québec. Gouvernement du

Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers. 150 p.

Jetté, J.-P., M. Leblanc, M. Bouchard, S. Déry et N. Villeneuve, 2013b. *Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré, Partie II – Élaboration de solutions aux enjeux, Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers. 159 p.

Leak, W.B., D.S. Solomon et P.S. DeBald, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. U.S.D.A. Forest Service, Res. Pap. NE-603. Northeastern Forest Experiment Station. Broomall, PA. 36 p.

Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inquiennes*. Guide technique. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 96. 94 p.
[\[http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire96.pdf\]](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire96.pdf).

[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, QC. 744 p.

[MRN] Ministère des Ressources naturelles, 2012. *Notions de la bille de bois d'œuvre – Classe d'utilisation*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers. 4 p.

[MRNF] Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2006. *Notions de la bille de bois d'œuvre*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la coordination des opérations régionales. 6 p.

[OMNR] Ontario Ministry of Natural Resources, 2004. *Ontario Tree Marking Guide, Version 1.1*. Ontario Ministry of Natural Resources, Queen's Printer for Ontario. 252 p.

Petro, F.J. et W.W. Calvert, 1976. *La classification des billes de bois franc destinées au sciage*. Gouvernement du Canada. Ministère des Pêches et de l'Environnement du Canada. Service canadien des forêts. Rapport technique de foresterie 6F. 67 p.

- Pothier, D., M. Fortin, D. Auty, S. Delisle-Boulianne, L.-V. Gagné et A. Achim, 2013. *Improving tree selection for partial cutting through joint probability modelling of tree vigor and quality*. Can. J. For. Res. 43: 288–298.
- Prévost, M., P. Raymond et J.-M. Lussier, 2010. *Regeneration dynamics after patch cutting and scarification in yellow birch - conifer stands*. Can. J. For. Res. 40 (2): 357-369.
- Vézina, S., 2001. *Méthode exploratoire pour définir un diamètre économique optimal*. Gouvernement du Québec. Ministère des ressources naturelles. 35 p.



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 développe de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou 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.

**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec

