



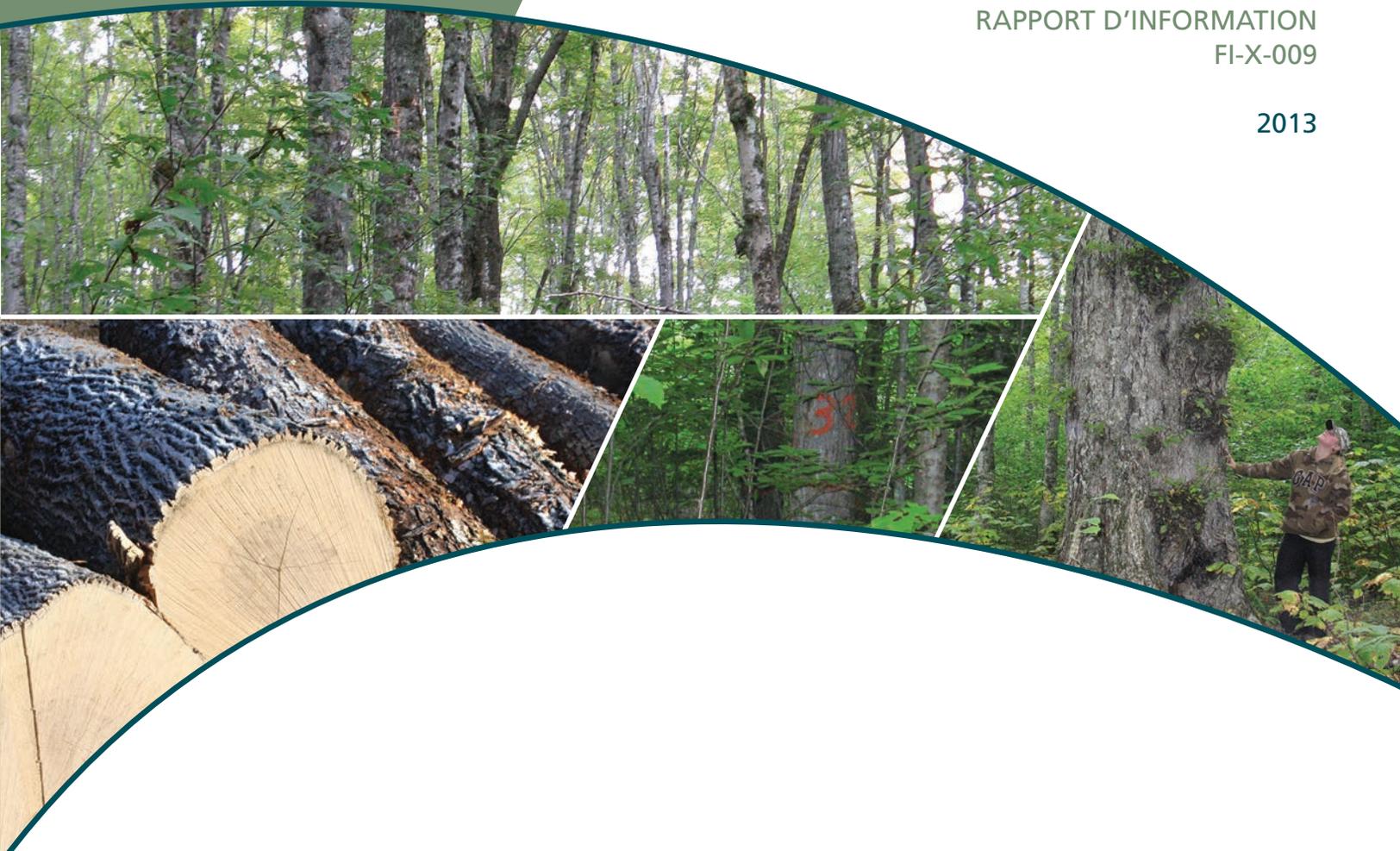
Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada



SERVICE CANADIEN DES FORÊTS
CENTRE CANADIEN SUR LA FIBRE DE BOIS
RAPPORT D'INFORMATION
FI-X-009

2013



Effets de la coupe partielle sur la dynamique des peuplements et la qualité des feuillus nordiques de la région forestière acadienne

D. Edwin Swift, Isabelle Duchesne, Chhun-Huor Ung, Xiaodong Wang et Roger Gagné

Centre canadien sur la **fib**re de bois

Concertation pour optimiser la valeur de la fibre de bois – des solutions pour le secteur forestier avec **FPInnovations**



Canada

Pour de plus amples renseignements sur le Service canadien des forêts, visitez notre site Web ou contactez l'un de nos établissements.

scf.rncan.gc.ca



Contactez-nous

① **Centre de foresterie de l'Atlantique**
C.P. 4000
1350, rue Regent Sud
Fredericton (Nouveau-Brunswick) E3B 5P7
Tél. : 506-452-3500
Télééc. : 506-452-3525
scf.rncan.gc.ca/centres/afc

Centre de foresterie de l'Atlantique
Bureau de Corner Brook
C.P. 960
26, Promenade University
Corner Brook (Terre-Neuve-et-Labrador) A2H 6J3
Tél. : 709-637-4900
Télééc. : 709-637-4910

② **Centre de foresterie des Laurentides**
C.P. 10380, succursale Sainte-Foy
1055, rue du P.E.P.S.
Québec (Québec) G1V 4C7
Tél. : 418-648-3335
Télééc. : 418-648-5849
scf.rncan.gc.ca/centres/lfc

③ **Centre de foresterie des Grands Lacs**
1219 Queen Street East
Sault Ste. Marie (Ontario) P6A 2E5
Tél. : 705-949-9461
Télééc. : 705-541-5700
scf.rncan.gc.ca/centres/glfc

④ **Centre de foresterie du Nord**
5320-122nd Street NW
Edmonton (Alberta) Canada T6H 3S5
Tél. : 780-435-7210
Télééc. : 780-435-7359
scf.rncan.gc.ca/centres/nofc

⑤ **Centre de foresterie du Pacifique**
506 West Burnside Road
Victoria (Colombie-Britannique) V8Z 1M5
Tél. : 250-363-0600
Télééc. : 250-363-0775
scf.rncan.gc.ca/centres/pfc

⑥ **Administration centrale**
580, rue Booth
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
contact-contactez.rncan-rncan.gc.ca
scf.rncan.gc.ca

Centre canadien sur la fibre de bois
580, rue Booth, 7e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Tél. : 613-947-9001
Télééc. : 613-947-9033
ccfb.rncan.gc.ca

Effets de la coupe partielle sur la dynamique des peuplements et la qualité des feuillus nordiques de la région forestière acadienne

D. Edwin Swift¹, Isabelle Duchesne^{2,3}, Chhun-Huor Ung², Xiaodong Wang⁴ et Roger Gagné²

¹Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts - Centre canadien sur la fibre de bois
C.P. 4000, Fredericton (N.-B.) E3B 5P7, Canada

²Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts - Centre canadien sur la fibre de bois
1055, rue du P.E.P.S., C.P. 10380, Québec (Qc) G1V 4C7, Canada

³antérieurement employée par FPIinnovations
Produits de bois, Service de fabrication du bois d'œuvre
319, rue Franquet, Québec (Qc) G1P 4R4, Canada

⁴Université de technologie de Luleå
Département d'ingénierie de produits de bois,
Luleå, Suède
(antérieurement employée par Ressources naturelles Canada,
Service canadien des forêts - Centre canadien sur la fibre de bois)

Rapport d'information FI-X-009

(Révisé le 11 octobre 2013)

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts – Centre canadien sur la fibre de bois
C.P. 4000, Fredericton (N.-B.) E3B 5P7

ISSN 1915-2264
ISBN 978-0-660-20663-9
N° de catalogue Fo148-1/9F-PDF

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada 2013

- Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelques moyens que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques, mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.
- On demande seulement :
 - de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
 - d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur;
 - d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada et que la reproduction n'a pas été faite en association avec Ressources naturelles Canada ni avec l'appui de celui-ci.
- La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de Ressources naturelles Canada (RNCAN). Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec RNCAN à droitdauteur.copyright@rncan-nrcan.gc.ca.

RNCAN, Service canadien des forêts - Centre canadien sur la fibre de bois
C.P. 4000
Fredericton (N.-B.) Canada E3B 5P7
Tel.: (506) 452-3500
Fax: (506) 452-3525

Révision et mise en page par C.M. Simpson, ELS
Design de la couverture et préparation des figures par Sandra Bernier

Résumé

L'éclaircie commerciale et la coupe partielle visent habituellement à améliorer et à augmenter la quantité des tiges de haute qualité pour la production de billes de sciage et de produits de placage ainsi qu'à réduire la mortalité des arbres et la révolution des peuplements en régime équienne. Peu d'études ont été publiées concernant les effets de la coupe partielle sur la dynamique des peuplements, la qualité des arbres, les attributs des fibres et les produits forestiers possibles pour favoriser l'aménagement inéquienne des forêts de feuillus nordiques de la région forestière acadienne. Une étude à long terme sur la coupe sélective dans le Centre-Ouest du Nouveau-Brunswick offre une occasion d'obtenir ce genre de données, dans le cadre de l'Initiative sur les feuillus de l'Est de FPInnovations et du Centre canadien sur la fibre de bois de Ressources naturelles Canada. Les résultats de l'étude portent à croire que le traitement a augmenté la croissance et la qualité des arbres, mais le rétablissement des peuplements est un processus lent dans les peuplements inéquennes de seconde venue soumis à des cycles de récolte de 20 ans. La croissance des peuplements et l'évolution de la qualité des arbres dans les parcelles-témoins et les parcelles traitées montrent des valeurs analogues à celles signalées dans les autres études sur les peuplements de feuillus nordiques et sont le jeu d'un certain nombre de facteurs biologiques et de facteurs relatifs au traitement.

Nous examinons les résultats de 15 années d'observation à la lumière des principales études publiées sur la dynamique des peuplements, l'évolution de la qualité des arbres et le recrutement. En résumé, plus la surface terrière est réduite par une coupe d'éclaircie, plus le diamètre des arbres résiduels augmente. Les peuplements éclaircis n'ont toutefois pas atteint la surface terrière qu'ils avaient au début de l'étude. Les taux d'accroissement annuels du volume indiquent que les peuplements de feuillus soumis à des coupes partielles ont présenté une meilleure croissance que prévu au début de l'étude. Le rétablissement du peuplement et l'amélioration de la qualité des tiges se font lentement, et ne s'obtiennent pas nécessairement après une première coupe dans les peuplements de feuillus nordiques de seconde venue où les arbres de plus grande qualité ont été récoltés à plusieurs reprises par le passé. L'évolution observée de la qualité des arbres est très variable dans ces peuplements en raison de plusieurs facteurs comme la qualité initiale des tiges, la croissance des tiges, le taux de mortalité, le taux de récolte (réglementé ou non), l'essence et la qualité du site. Comme prévu, le recrutement est plus fréquent dans les peuplements éclaircis que dans les peuplements témoins. Dans tous nos sites sauf un, où le peuplement est plus mixte, le recrutement ne consiste pas en un mélange diversifié d'essences désirées, mais en un dense couvert secondaire de hêtres à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.) et d'érables à sucre (*Acer saccharum* Marsh.).

Abstract

The objectives of commercial thinning and partial harvesting have traditionally been to improve and increase the amount of higher quality stems for sawlog and veneer products, reduce losses from mortality, and reduce harvest rotations for even-aged silvicultural systems. Literature on the impact of partial harvesting on stand dynamics, tree grade changes, fibre attributes, and potential forest products to promote uneven-aged stand structures and management is scarce for the northern hardwood forests of the Acadian Forest Region. A long-term selection harvest study established in west-central New Brunswick provides an opportunity to obtain such information under the Eastern Hardwood Research Initiative of FPInnovations and Natural Resources Canada, Canadian Wood Fibre Centre. Results from the study suggest that the treated stands benefited in terms of growth and improved quality, but stand restoration is a slow process in second-growth, uneven-aged stands on 20-year harvest cycles. Stand growth responses and tree grade changes for both the control and treated plots are within the values reported for northern hardwood stands and are influenced by a number of treatment and biological factors.

The results of 15 years of observation are discussed in the context of the major publications existing in the literature for stand dynamics, tree grade changes, and the occurrence of ingrowth. In summary, the greater the basal area removed, the greater the diameter response of individual residual trees in the thinned plots. The thinned stands have not recovered the basal area values that existed at the start of this study. Annual volume increment growth rates suggest that hardwood stands subjected to partial removals produced better growth response than was predicted at the start of the study. Stand restoration and stem quality improvement are slow processes that may not be achieved with a first harvest entry in second-growth northern hardwood stands that have repeatedly had the higher quality trees removed in the past. Changes in tree grades were observed to be very dynamic in these second-growth northern hardwood stands because of a number of factors such as initial stem quality, stem growth, mortality rates, harvest rates (both regulated and unregulated), species, and site quality. As expected, ingrowth occurred more frequently in the thinned stands than in the control stands. Except for one study site, which featured a more "mixedwood" characteristic, ingrowth did not exist as a diverse mixture of desired tree species but as a secondary canopy of American beech (*Fagus grandifolia* Ehrh.) and sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.).

Table des matières

Résumé	3
Introduction	6
Objectifs	7
Matériel et méthodes.....	9
Descriptions des sites d'étude	9
Traitements	11
Plan expérimental	11
Mesures des arbres	11
Résultats	13
Dynamique des peuplements	13
Évolution de la qualité des arbres	17
Dynamique du recrutement.....	19
Discussion	22
Dynamique des peuplements	22
<i>Accroissement en volume</i>	22
<i>Surface terrière</i>	23
<i>Accroissement du diamètre de la tige</i>	24
Évolution de la qualité des arbres	25
Dynamique du recrutement.....	27
Conclusions	29
Dynamique des peuplements	29
Évolution de la qualité des arbres	29
Dynamique du recrutement.....	30
Recommandations.....	30
Dynamique des peuplements	30
Évolution de la qualité des arbres	30
Dynamique du recrutement.....	30
Remerciements	31
Bibliographie	32
Annexe I - Système du ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick pour la classification de la qualité des arbres selon les produits qu'on pourrait en tirer, modifié, d'après McDonald (1999)	40
Annexe II - Personnel	41

Liste des tableaux

Tableau 1	Pourcentage d'occurrence des essences, pondéré par la surface terrière, en 1993, avant la coupe pour chaque site et chaque traitement	9
Tableau 2	Âge des peuplements d'après le carottage à hauteur de souche en 2010	10
Tableau 3	Caractéristiques des trois écodistricts dans lesquels se trouvent les sites d'étude (tiré de Zelazny, 2007)	10
Tableau 4	Pourcentages des arbres dans diverses classes de qualité en fonction des produits qu'on pourrait en tirer, selon les méthodes de McDonald (1999, ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick) et de Monger (2007, ABCD)	18

Liste des figures

Figure 1	Localisation des six sites d'étude au Nouveau-Brunswick (1 = Grand John n° 2; 2 = McLean's Brook; 3 = Grand John n° 1; 4 = Dunbar n° 1; 5 = Dunbar n° 2; 6 = Wiggin's Corner).....	8
Figure 2	Surface terrière (m ² /ha) en 1993 avant éclaircie	12
Figure 3	Surface terrière prélevée (m ² /ha) en 1993	13
Figure 4	Diamètre moyen (cm) des arbres dans quatre des sites d'étude	14
Figure 5	Évolution de la surface terrière (m ² /ha)	14
Figure 6	Accroissement annuel moyen du volume ligneux (m ³ /ha) durant les 5 premières années	15
Figure 7	Accroissement annuel moyen du volume ligneux (m ³ /ha) durant les 15 dernières années	16
Figure 8	Accroissement annuel moyen du volume ligneux (m ³ /ha) durant les 10 dernières années.....	16
Figure 9	Évolution de la qualité des arbres (%) selon McDonald (1999) dans les parcelles a) témoins et b) éclaircies pour les périodes de mesure	17
Figure 10	Évolution de la qualité des arbres (%) selon Monger (2007) dans les parcelles témoins et éclaircies de quatre des sites d'étude 15 ans après le traitement	19
Figure 11	Recrutement a) 5 ans et b) 15 ans après le traitement	20
Figure 12	Recrutement par essence en 2008	21

Introduction

Les forêts de feuillus nordiques constituent un important type de forêt dans l'Est du Canada (Farr, 2003) et elles sont composées d'essences qui présentent une grande importance écologique et économique dans la région (Mulliens et McKnight, 1981; Farr, 2003). L'industrie du bois franc de l'Est du Canada traverse actuellement une période difficile en raison de la baisse de la demande sur le marché américain et de la délocalisation d'usines de fabrication de meubles et d'autres produits secondaires (Ouellet et Fournier, 2009; F. Fournier, communication personnelle, 21 septembre 2010, Fredericton, Nouveau-Brunswick; D. Toole, communication personnelle, 24–25 mars 2011, Truro, Nouvelle-Écosse). Dans certains territoires forestiers, on modifie la possibilité annuelle de coupe (PAC) pour tenir compte des changements touchant la ressource et l'industrie du bois franc (J. Landry, F. Fournier et D.E. Swift, communication personnelle, 22 février 2012). Pour répondre à ces préoccupations et accroître la compétitivité de l'industrie dans l'Est du Canada, le Centre canadien sur la fibre de bois (Ressources naturelles Canada) et FPInnovations ont lancé en 2008 l'Initiative de recherche sur les feuillus, couvrant toute la chaîne de valeur des produits de bois franc. Il s'agit d'un partenariat entre des gestionnaires de la ressource et des organismes de l'industrie du bois franc du Nouveau-Brunswick, de la Nouvelle-Écosse, de l'Ontario et du Québec. L'initiative a été financée par le Programme des technologies transformatrices de Ressources naturelles Canada. Des chercheurs universitaires y ont également participé. L'Initiative comprend 18 projets portant notamment sur le marché, les besoins des utilisateurs, la fabrication de produits du bois, la récolte et l'effet des pratiques sylvicoles sur la ressource (J. Landry, F. Fournier et D.E. Swift, communication personnelle, 22 février 2012). Le présent rapport donne les résultats préliminaires d'un des trois projets sur les perspectives économiques et les pratiques sylvicoles à adopter.

Dans l'Est du Canada, la qualité des arbres est un facteur important qui oriente les aménagistes forestiers lorsqu'ils décident des prescriptions sylvicoles à appliquer, tant à l'échelle du peuplement que du paysage. On prévoit la qualité des arbres (selon les produits qu'on pourrait en tirer) d'après les caractéristiques externes des tiges. Les prévisions de la qualité des arbres sont utiles, même si peu d'études en vérifient l'exactitude en mesurant la croissance, la réduction des pertes par mortalité, l'amélioration de la qualité des tiges et la valeur du bois pour les futurs produits forestiers (Guillemette et coll., 2008; Fortin et coll., 2009; S. Bédard et A. Stinson, communication personnelle, 19–21 octobre 2010, Huntsville, Ontario). Le projet 17 de l'Initiative, dont il est fait rapport ici, prolonge une étude antérieure sur la coupe partielle dans le Centre-Ouest du Nouveau-Brunswick pour examiner le jeu des facteurs susmentionnés dans les prévisions de la qualité des arbres. On s'intéresse aux effets de la coupe partielle sur la dynamique des peuplements, à l'exactitude des prévisions de la qualité des arbres et aux attributs des fibres de bois dans des forêts de feuillus nordiques de la région forestière acadienne. Les objectifs du projet 17 sont énumérés ci-dessous.

Objectifs

1. Vérifier les prévisions de la qualité des arbres et les moyens utilisés au Nouveau-Brunswick pour classer les arbres selon les produits qu'on pourrait en tirer et les risques de mortalité.
2. Déterminer l'exactitude des prévisions de la qualité des feuillus dans la région forestière acadienne.
3. Déterminer si la coupe partielle, les dimensions initiales des arbres (diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et cime), la position sociale initiale de la cime et les conditions du site influent sur l'exactitude des prévisions de la qualité des feuillus dans la région forestière acadienne.
4. Déterminer les différents niveaux de risque de mortalité d'après les prévisions de la qualité des arbres à l'aide de modèles de mortalité propres à chaque essence pour des arbres de la région forestière acadienne.
5. Examiner les effets de pratiques sylvicoles (régulation de la densité par coupe partielle) sur la croissance des arbres, la dynamique des peuplements, la qualité externe des tiges, les attributs des fibres et la valeur du bois dans les forêts de feuillus nordiques de la région forestière acadienne.
6. Examiner les effets de pratiques sylvicoles (régulation de la densité par coupe partielle) sur la couleur du bois de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et du bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton) dans les forêts de feuillus nordiques de la région forestière acadienne.
7. Formuler et valider des équations statistiques pour prévoir la valeur des arbres sur pied à partir de variables caractérisant l'arbre ou le peuplement (choisies pour leur rapport coût / efficacité) et de propriétés du bois mesurées par des capteurs acoustiques.
8. Intégrer les données obtenues dans l'étude aux modèles régionaux de croissance et de rendement utilisés par les aménagistes forestiers des provinces Maritimes du Canada, comme le modèle Staman (Norfolk, 2004).
9. Intégrer les données obtenues dans l'étude aux procédures d'inventaire forestier utilisées par les aménagistes forestiers de l'Est du Canada.

Ce rapport présente les résultats préliminaires concernant la dynamique des peuplements, l'évolution de la qualité des arbres et le recrutement (objectif 5).



Figure 1. Localisation des six sites d'étude au Nouveau-Brunswick (1 = Grand John n° 2; 2 = McLean's Brook; 3 = Grand John n° 1; 4 = Dunbar n° 1; 5 = Dunbar n° 2; 6 = Wiggin's Corner).

Matériel et méthodes

Descriptions des sites d'étude

Les six sites étudiés avaient fait l'objet d'une étude antérieure réalisée sur les terres de la Couronne visées par le permis de coupe n° 8 qu'exploite AV Nackawic Inc. dans le Centre-Ouest du Nouveau-Brunswick (figure 1). L'étude initiale visait à examiner l'effet d'un régime sylvicole inéquienne sur la croissance et la dynamique de peuplements de feuillus nordiques. Il s'agit de la plus vieille étude sur la coupe partielle dans des forêts de feuillus nordiques du Nouveau-Brunswick. Situés dans la région forestière acadienne (Rowe, 1972), les sites sont des peuplements dominés, en proportions variables, par l'érable à sucre, le bouleau jaune, l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) et le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.) avec, comme composantes mineures, le frêne blanc (*Fraxinus americana* L.), l'érable de Pennsylvanie (*Acer pensylvanicum* L.), l'ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* (Mill.) K. Koch), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), la pruche du Canada (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.), le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) (tableau 1). La maladie corticale du hêtre (*Nectria coccinea* (Pers.: FR.) Fr. var *faginata* Lohman, Watson et Ayers) a beaucoup influé sur la présence et l'état du hêtre à grandes feuilles dans l'aire d'étude (Boyce, 1961; Myren, 1994). La maladie a produit son « front de mortalité » initial il y a longtemps, et la surveillance régionale des ravageurs forestiers ne la signalait pas comme un grave problème lorsque l'étude a été établie en 1993 (Magasi et Hurley, 1994).

Les pratiques forestières et agricoles du passé ont beaucoup influé sur la structure des peuplements forestiers de la région (Zelazny, 2007). Des carottes prélevées en 2010 sur des arbres dans les peuplements étudiés montrent que ces peuplements de seconde venue résultent de coupes partielles répétées qui visaient les tiges de meilleure qualité (tableau 2). Dans les Maritimes, la coupe sélective était la méthode traditionnelle pour produire du bois de sciage (Lees, 1978). L'âge des peuplements étudiés varie de 40 à 160 ans, correspondant à des dates d'établissement des semis de 1850 à 1970. La structure des peuplements étudiés est très représentative de la ressource en bois franc du Nouveau-Brunswick (McDonald, 1999) et du Québec (Roberge, 1988b; Guillemette et coll., 2012). Les peuplements de feuillus dans la région appalachienne ont des historiques d'exploitation semblables (Miller et coll., 2003 et 2008).

Tableau 1 Pourcentage d'occurrence des essences, pondéré par la surface terrière, en 1993, avant la coupe pour chaque site et chaque traitement

Site d'étude	Essences									
	Érable à sucre		Bouleau jaune		Érable rouge		Hêtre à grandes feuilles		Autres essences*	
	Témoin	Éclaircie	Témoin	Éclaircie	Témoin	Éclaircie	Témoin	Éclaircie	Témoin	Éclaircie
Grand John n° 2	61	72	31	1	1	11	1	1	8	15
McLean's Brook	49	44	17	7	0	0	34	49	0	0
Grand John n° 1	63	60	9	1	0	0	25	34	2	5
Dunbar n° 1	–	0	–	49	–	37	–	4	–	20
Dunbar n° 2	51	49	24	10	14	24	7	15	4	2
Wiggin's Corner	45	19	7	7	13	38	27	23	7	13

* frêne blanc, érable de Pennsylvanie, ostryer de Virginie, peuplier faux-tremble, pruche du Canada, sapin baumier et épinette rouge

Tableau 2 Âge des peuplements d'après le carottage à hauteur de souche en 2010

Site d'étude	Traitement	Âge (ans)	Date	Commentaires
Grand John n° 2	témoin	40–160 (90)	1850–1970 (1920)	
	éclaircie	50–110 (90)	1900–1960 (1920)	
McLean's Brook	témoin	40–100	1920–1970	
	éclaircie	50–80	1930–1960	petit échantillon
Grand John n°1	témoin	40–100	1910–1970	
	éclaircie	40–90	1920–1970	
Dunbar n° 1	témoin	NA	NA	pas établi
	éclaircie	–	–	pas échantillonné
Dunbar n° 2	témoin	40–140 (110)	1870–1970 (1900)	
	éclaircie	50–110	1870–1960	petit échantillon
Wiggin's Corner	témoin	70–150 (120)	1850–1940 (1890)	
	éclaircie	50–150 (110)	1860–1960 (1900)	

Tableau 3 Caractéristiques des trois écodistricts dans lesquels se trouvent les sites d'étude (tiré de Zelazny, 2007)

Site d'étude	Écodistrict	Superficie (ha)	Altitude moyenne au-dessus du niveau de la mer (m)	Précipitations moyennes de mai à septembre (mm)	Nombre moyen de degrés-jours au-dessus de 5 °C
Grand John n° 2	Buttermilk	215 338	245	450–500	1 650–1 750
McLean's Brook					
Grand John n° 1	Cardigan	86 707	150	400–450	1 550–1 700
Dunbar n° 1					
Dunbar n° 2					
Wiggin's Corner	Nackawic	143 646	185	425–450	1 650–1 700

Selon une classification forestière plus récente, les sites sont situés dans l'écorégion du bas plateau central (Zelazny, 2007). Il s'agit de la plus grande écorégion du Nouveau-Brunswick, caractérisée par la diversité de ses éléments de paysage. Elle a un climat continental, elle est abritée des influences maritimes et elle reçoit moins de précipitations que les écorégions voisines. Les étés y sont plus chauds, et les hivers plus froids, que dans les régions situées plus près du détroit de Northumberland et de la baie de Fundy. Parce que les nuits sont plus froides dans les poches de gelée, les forêts de feuillus nordiques ont tendance à occuper les pentes supérieures des collines. Les six sites d'étude se trouvent dans trois des 12 écodistricts de l'écorégion (tableau 3). Les écodistricts présentent des différences climatiques comme les précipitations moyennes de mai à septembre et le nombre moyen de degrés-jours au-dessus de 5 °C. Les sols forestiers des écodistricts Buttermilk et Cardigan sont considérés comme moins fertiles que ceux de l'écodistrict Nackawic.

Traitements

Le régime sylvicole inéquienne a consisté en un cycle de coupe de 20 ans. Voici les critères de priorité pour le prélèvement des arbres :

- épinettes (*Picea* spp.) et sapins baumiers mûrs ou surannés;
- arbres sur le point de mourir;
- hêtres à grandes feuilles de faible qualité;
- tous les arbres de plus de 40 cm de DHP;
- tous les arbres de moins de 40 cm de DHP dont la qualité externe de la tige est faible.

Un des objectifs des coupes partielles a consisté à réduire la surface terrière à 16–18 m²/ha. Les coupes ont été réalisées par abattage manuel à la scie à chaîne, et les arbres abattus ont été enlevés à l'aide de débardeurs à câbles. Les coupes sur tous les sites ont été faites entre septembre et décembre 1993.

Plan expérimental

En 1993, deux parcelles-échantillons permanentes (PEP) de 40 m sur 40 m (1 600 m²) ont été établies dans chaque peuplement ou site d'étude : une parcelle témoin dans la partie du peuplement non soumise au traitement sylvicole et une parcelle éclaircie dans la partie du peuplement qui a subi le traitement. Il s'agissait donc d'un plan expérimental à parcelles appariées. Des contraintes de temps en 1993 ont empêché l'établissement d'une parcelle témoin au site Dunbar n° 1 (tableau 2). Dans des années ultérieures, la zone éclaircie pour ce site a fait l'objet de coupes partielles (des arbres de meilleure qualité) non autorisées. En raison de ces irrégularités dans l'établissement des parcelles et des coupes non autorisées, le site Dunbar n° 1 a été exclu des analyses présentées dans ce rapport. Dans chaque PEP, quatre quadrats, ou sous parcelles, de 20 m sur 20 m ont été établis pour faciliter la localisation et les mesures des arbres de l'étage dominant. Les quadrats ont été numérotés de 1 à 4 à partir du coin sud-ouest de la PEP. Pour réduire au minimum les effets de bordure liés aux chemins futurs et aux traitements sylvicoles, une bande tampon d'une largeur de 20 à 40 m a été établie autour de chaque PEP.

Mesures des arbres

Des mesures ont été prises sur les arbres de l'étage dominant en 1993 (immédiatement après le traitement), en 1998 (5 ans après le traitement) et en 2008 (15 ans après le traitement). Pour diverses raisons, ces mesures n'ont pas été faites dans toutes les PEP à ces dates. Tel qu'indiqué plus haut, une parcelle témoin n'a jamais été établie au site Dunbar n° 1. Quelque temps après les mesures de 1998, des coupes non autorisées ont été faites dans la parcelle éclaircie de ce site, de sorte que les mesures n'ont pas pu y être faites en 2008. En 2008, la parcelle éclaircie du site McLean's Brook a été coupée à blanc avant qu'on ait pu y prendre les mesures. En 1998, les mesures n'ont pas été faites au site Wiggin's Corner. Il y a souvent des irrégularités ou lacunes d'échantillonnage de ce genre dans les études à long terme, mais on peut les surmonter en utilisant des techniques d'analyse appropriées.

En 1993, tous les arbres ayant 9,9 cm ou plus de DHP ont été classés comme des arbres de l'étage dominant; on les a numérotés (consécutivement, à partir du coin gauche avant du premier quadrat), on a cartographié leur emplacement et on a pris les mesures sur ces arbres avant l'opération de coupe. Chaque arbre de l'étage dominant a été cartographié en relevant sa distance et la direction dans

laquelle il se trouvait par rapport aux coins situés au bas ou à l'avant (ligne reliant A et B) du quadrat. Les arbres qui mesuraient moins de 9,9 cm de DHP en 1993 et qui ont ensuite atteint ce diamètre en 1998 ou en 2008 ont été inclus dans le recrutement. Voici les mesures faites sur les arbres en 1993, en 1998 et en 2008 : 1) essence, 2) diamètre de la tige (DHP, en cm) à une hauteur de 1,30 m, 3) hauteur totale de l'arbre (m), 4) hauteur jusqu'à la cime vivante (m), 5) largeur de la cime (cm), 6) classe de cime (d'après Nyland, 1996), 7) forme de la cime et 8) qualité externe de la tige déterminée selon la méthode du ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick (annexe I). La largeur de la cime consistait en une mesure prise dans la même direction que pour la cartographie (ligne reliant A et B). Après la coupe effectuée en 1993, tout dommage causé à la tige des arbres résiduels a été relevé. Les mesures faites en 2008 comprenaient également la mesure de la qualité externe de l'arbre selon la méthode de Monger (2007).

En 2009, des arbres se trouvant dans la zone tampon autour des PEP des sites Dunbar et McLean's Brook ont été échantillonnés pour le volet analyse destructrice du projet visé (projet 17) et du projet n° 16 (Duchesne et coll., 2012).

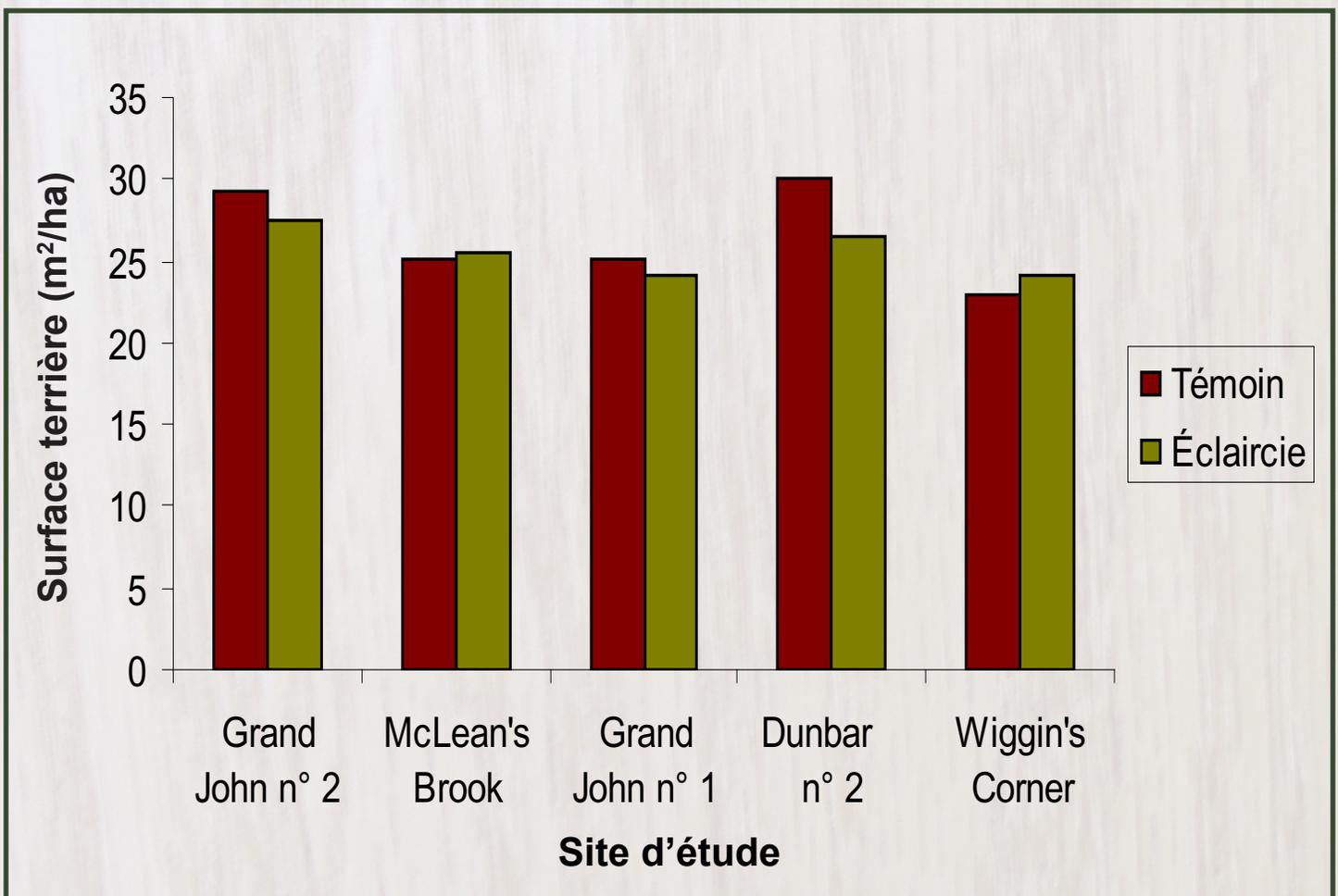


Figure 2. Surface terrière (m²/ha) en 1993 avant éclaircie.

Résultats

Dynamique des peuplements

La fréquence et l'occurrence des essences (tableau 1) et la surface terrière résiduelle (m^2/ha) variaient entre les parcelles et entre les sites d'étude (figure 2). La surface terrière avant le traitement variait de 22,9 à 29,3 m^2/ha . Dans les parcelles éclaircies, l'intensité de coupe a varié de 23 à 56 % (figure 3). Une telle fourchette d'intensité de coupe est souhaitable pour une étude, même si la surface terrière résiduelle visée (16–18 m^2/ha) n'a pas été atteinte dans tous les sites. L'accroissement moyen du diamètre des tiges a suivi la tendance prévue : il était plus élevé dans les parcelles éclaircies que dans les parcelles témoins, et plus le prélèvement était grand, plus cet accroissement était important (figure 4). La baisse initiale de l'accroissement du diamètre dans les parcelles éclaircies résulte du prélèvement des arbres de plus de 40 cm de DHP. L'accroissement de la surface terrière a réagi de façon variable à l'intensité d'éclaircie (figure 5). Dans certaines parcelles (McLean's Brook et Grand John n° 1 et n° 2), la surface terrière a augmenté avec le temps, comme prévu, alors qu'elle est restée constante au site Wiggin's Corner et qu'elle a diminué au site Dunbar n° 2. La surface terrière a augmenté dans toutes les parcelles éclaircies, mais aucune n'a atteint la valeur qu'elle avait avant la coupe d'éclaircie 15 ans auparavant.

L'accroissement annuel du volume durant les cinq premières années après le traitement (figure 6) était très variable : il était négatif dans trois parcelles, minime dans trois parcelles et très positif dans les deux parcelles du site Grand John n° 1 (davantage dans la parcelle témoin que dans la parcelle éclaircie). Durant cette période, l'accroissement moyen du volume s'est chiffré à 0,2 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ dans les parcelles témoins et à 0,4 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{an}$ dans les parcelles éclaircies.

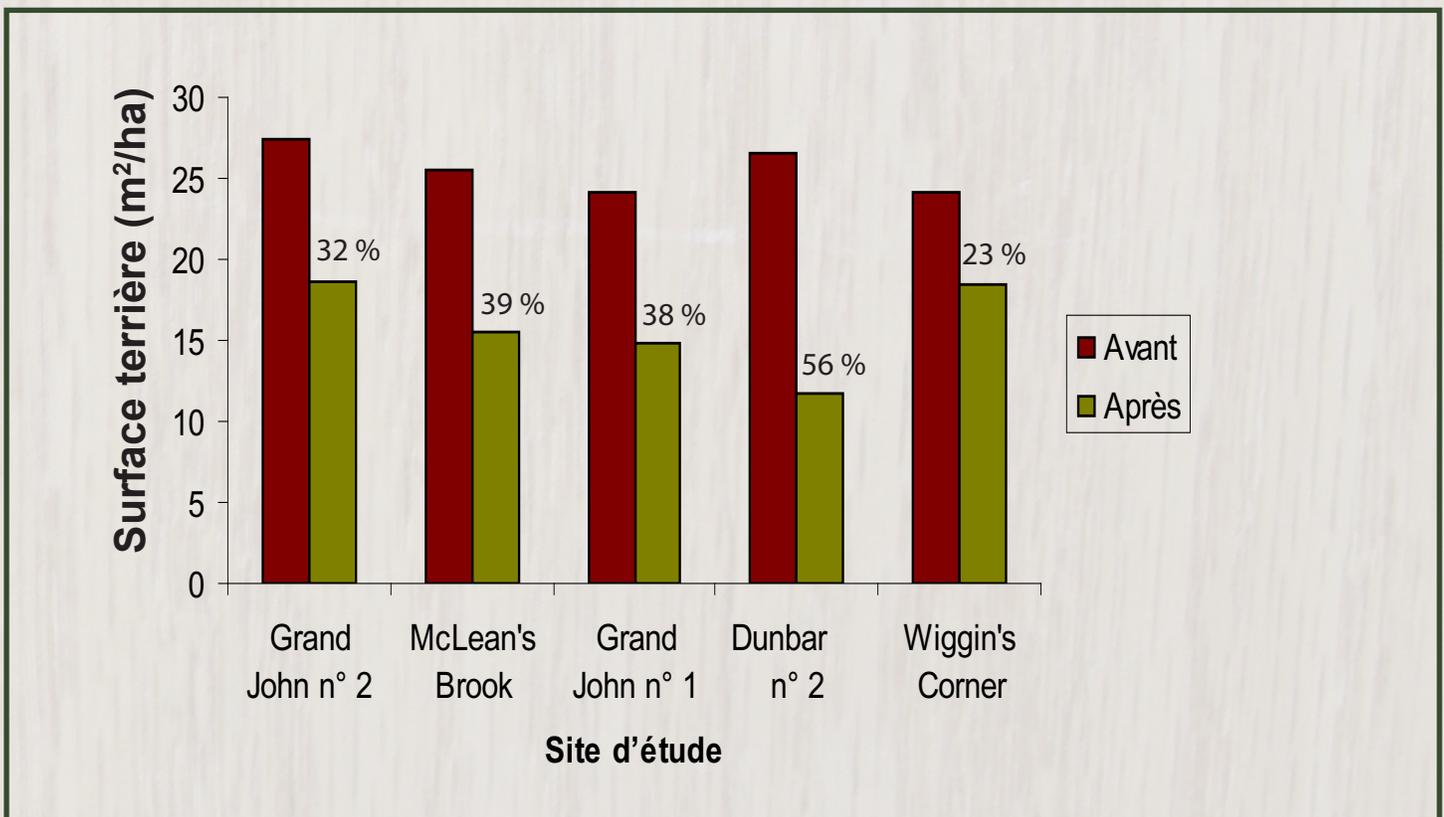


Figure 3 Intensité de la coupe exprimée en pourcentage de surface terrière prélevée (m^2/ha) en 1993.

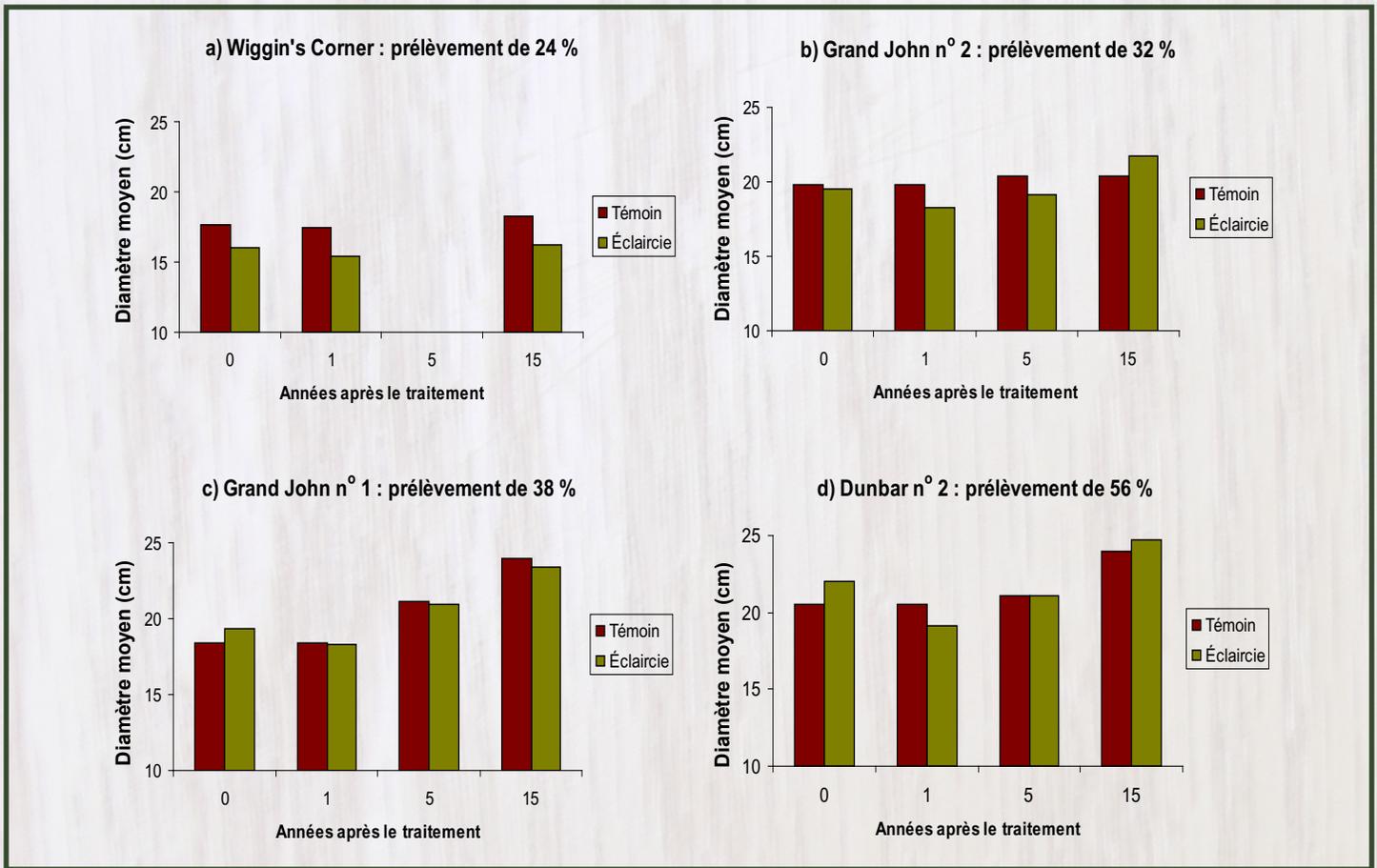


Figure 4. Diamètre moyen (cm) des arbres dans quatre des sites d'étude.

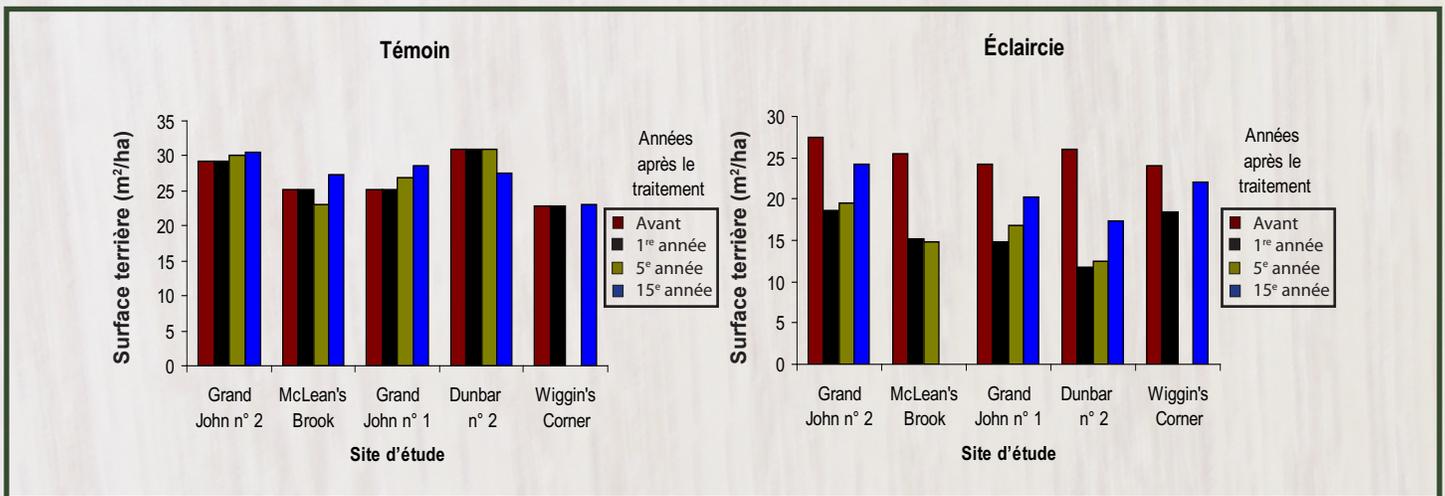


Figure 5. Évolution de la surface terrière (m²/ha).



Figure 6. Accroissement annuel moyen du volume ligneux (m^3/ha) durant les cinq premières années.

L'accroissement annuel moyen du volume ligneux ($m^3/ha/an$) sur la période de 15 ans était positif et variable dans toutes les parcelles sauf la parcelle témoin du site Dunbar n° 2, où il était négatif en raison de la mort de quelques grands arbres (figure 7). L'accroissement annuel moyen du volume était de $2,3 m^3/ha/an$ dans les parcelles témoins et de $2,8 m^3/ha/an$ dans les parcelles éclaircies.

Lorsqu'on examine les données pour les 10 dernières années (années 5 à 15), soit après la période d'adaptation, l'accroissement du volume ligneux des arbres résiduels était positif dans toutes les parcelles, sauf la parcelle témoin du site Dunbar n° 2 (figure 8). On estimait que cet accroissement annuel serait de $2,4 m^3/ha/an$ dans les peuplements de feuillus nordiques du Nouveau-Brunswick; l'accroissement annuel moyen du volume a été de $1,3 m^3/ha/an$ dans les parcelles témoins, ce qui est inférieur à cette valeur prédite, et de $4,0 m^3/ha/an$ dans les parcelles éclaircies, ce qui dépasse la valeur prédite.

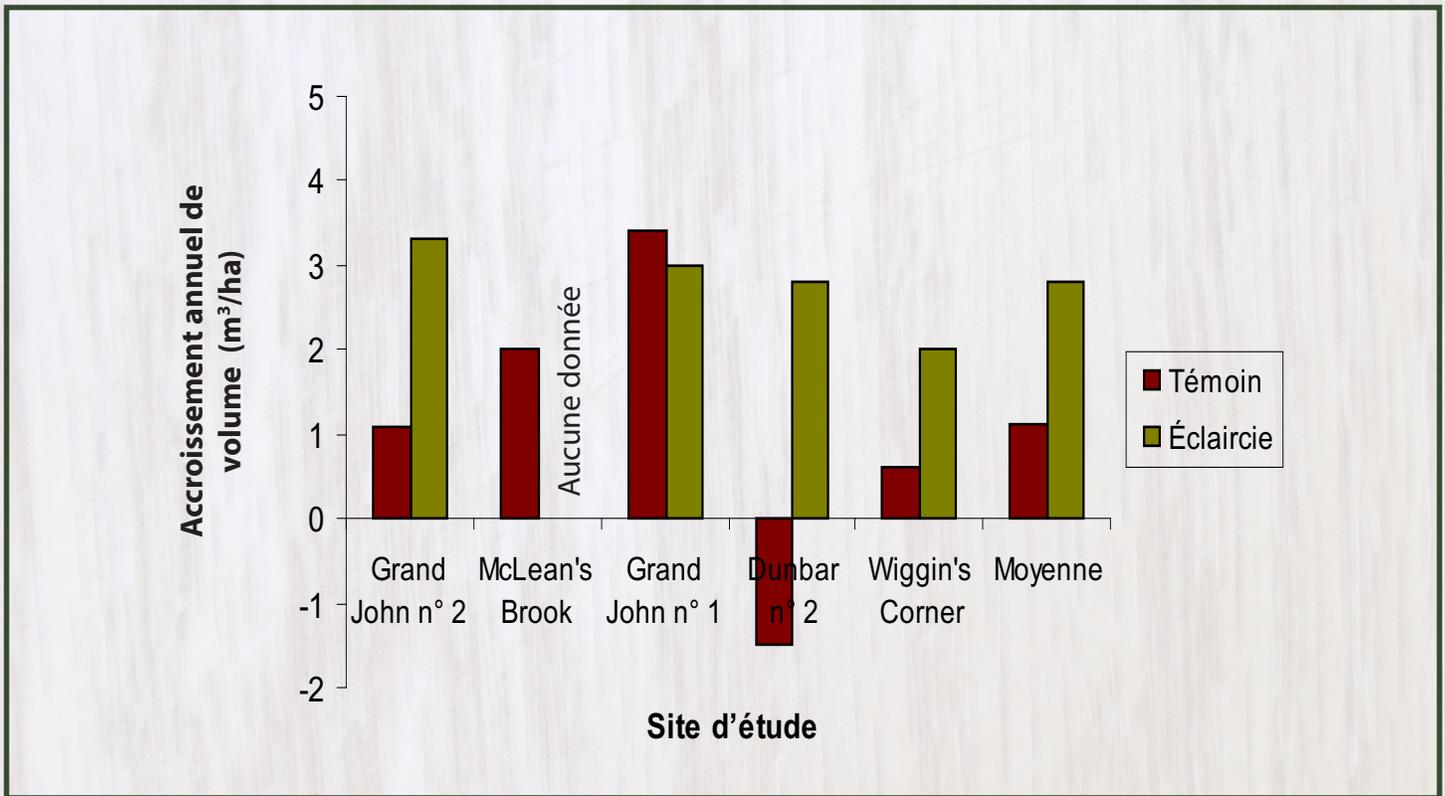


Figure 7. Accroissement annuel moyen du volume ligneux (m³/ha) durant les 15 dernières années.

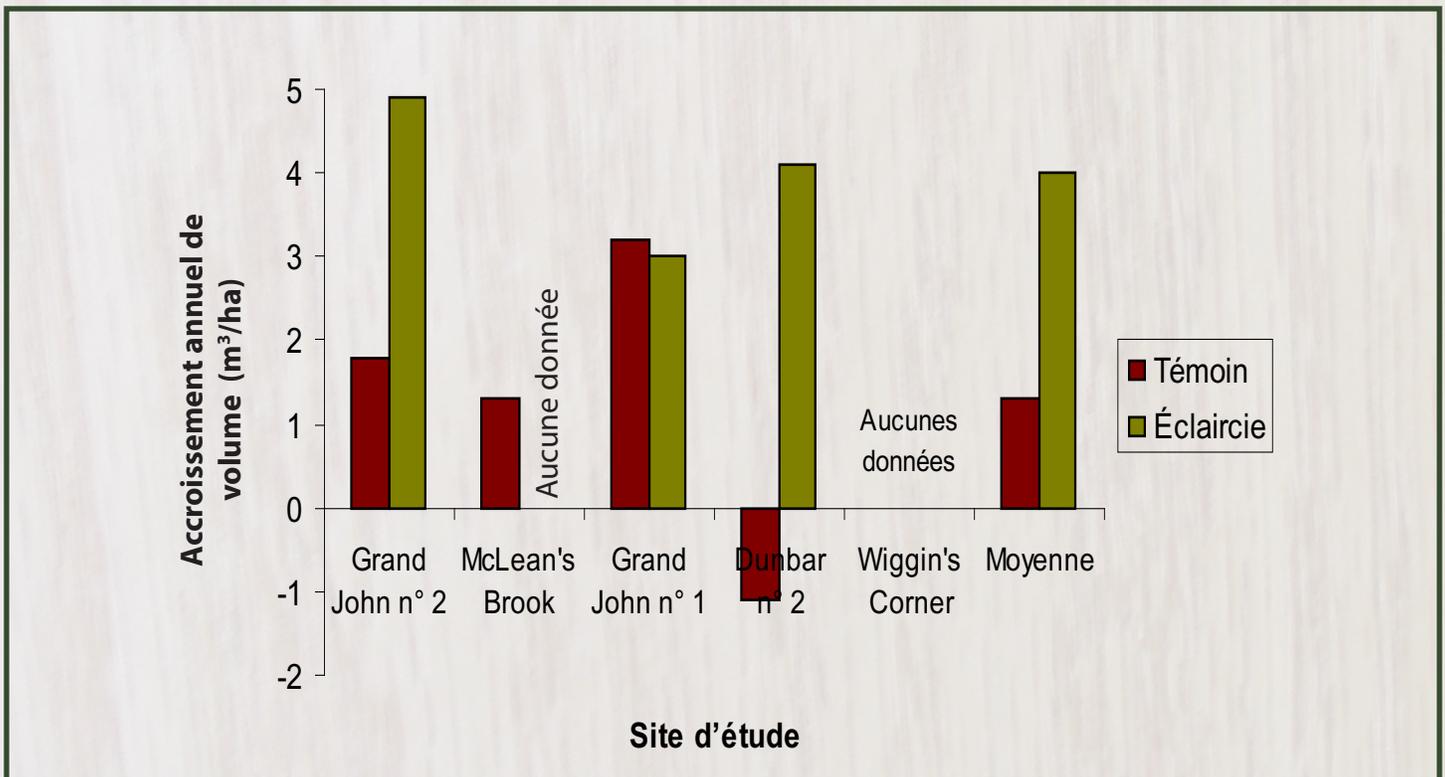


Figure 8. Accroissement annuel moyen du volume ligneux (m³/ha) durant les 10 dernières années.

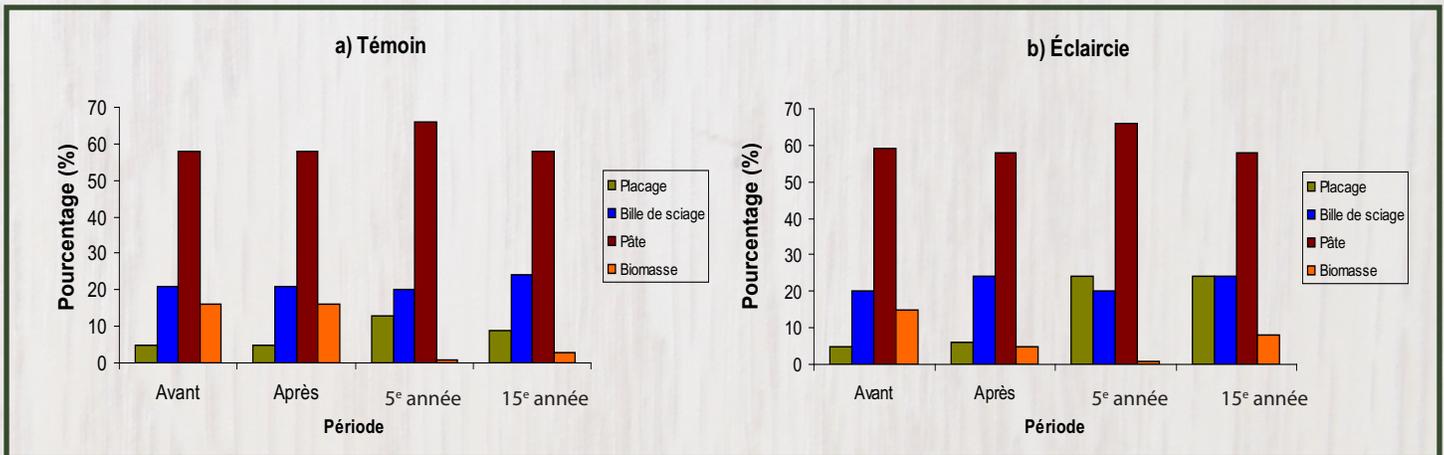


Figure 9. Évolution de la qualité des arbres (%) selon McDonald (1999) dans les parcelles a) témoins et b) éclaircies pour les périodes de mesure.

Évolution de la qualité des arbres

D'après une version modifiée du système actuellement utilisé au Nouveau-Brunswick (McDonald, 1999) pour classer la qualité d'un arbre selon le produit qu'on pourrait en tirer, les parcelles témoins et les parcelles éclaircies ont présenté des tendances semblables vers des produits plus recherchés et de plus grandes valeurs (figure 9). Le traitement d'éclaircie a augmenté, par rapport aux parcelles témoins, le pourcentage d'arbres se prêtant à la production de placages ou de billes de sciage, mais les arbres de moindre qualité dont on ne peut tirer que de la pâte, du bois de chauffage ou de la biomasse prédominaient quand même dans les peuplements. Le rétablissement des peuplements est un processus lent dans ces peuplements de seconde venue, car ils n'ont subi qu'une coupe sélective depuis 15 ans. Toutefois, lorsqu'on examine les parcelles prises individuellement (tableau 4), on observe une évolution plus variable de la qualité des arbres, en fonction de la combinaison de divers facteurs comme la qualité initiale des tiges, la croissance des tiges, le taux de mortalité, le taux de récolte, l'essence et la qualité du site.

Les changements dans la qualité externe des tiges n'ont pu être examinés, selon la méthode de Monger (2007), que dans quatre des sites d'étude. De plus, seules les données de la dernière période de mesure (2008) ont pu être analysées, parce que les mesures antérieures de la qualité des arbres ont été faites uniquement avec l'aide de la méthode de McDonald (1999) modifiée. Les deux méthodes de classement de la qualité des arbres ont donné des tendances semblables (figures 9 et 10), c'est-à-dire qu'après une intervention sylvicole, les peuplements sont dominés par des arbres de faible qualité dont on ne peut tirer que des produits de faible valeur. Par contre, dans certains cas, la parcelle témoin contenait davantage d'arbres se prêtant à la production de placages ou de billes de sciage, ce qui s'explique vraisemblablement par les effets de la qualité du site, du prélèvement des arbres de plus de 40 cm de DHP et des différences entre essences, ainsi que par la plus grande rigueur de la classification de Monger (2007). Wiedenbeck et coll. (2004) ont observé des différences semblables dans les attributs de qualité des feuillus pour la production de placages dans l'Est de l'Amérique du Nord. Ils ont attribué ces variations aux différences 1) dans les procédures d'évaluation de qualité des arbres, 2) dans les caractéristiques de produit exigées par les marchés et 3) dans les caractéristiques régionales des diverses essences pour certains marchés. Les deux méthodes de classement utilisées dans l'étude montrent que le rétablissement de ces peuplements de seconde venue est un processus lent qui n'est pas réalisable par une seule coupe d'éclaircie.

Tableau 4. Pourcentages des arbres dans diverses classes de qualité en fonction des produits qu'on pourrait en tirer, selon les méthodes de McDonald (1999, ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick) et de Monger (2007, ABCD)

Site d'étude	Traitement	Année	Classification du MRNNB				Classification ABCD			
			1	2	3	4	A	B	C	D
Grand John n° 2	témoïn	1993	5,8	31,7	55,8	6,7	–	–	–	–
		1998	10,9	13,4	75,6	0,0	–	–	–	–
		2008	7,4	11,5	81,5	0,0	1,6	4,9	14,7	78,7
	éclaircie	1993*	5,5	21,1	66,4	7,0	–	–	–	–
		1993**	5,1	22,2	68,7	4,0	–	–	–	–
		1998	6,9	20,8	72,3	0,0	–	–	–	–
		2008	6,4	21,3	72,3	0,0	0,0	4,3	21,3	74,4
McLean's Brook	témoïn	1993	8,0	8,0	72,0	12,0	–	–	–	–
		1998	13,7	23,7	61,2	1,2	–	–	–	–
		2008	9,6	26,0	64,4	0,0	4,1	8,2	31,5	56,2
	éclaircie	1993*	4,9	11,5	68,0	15,6	–	–	–	–
		1993**	7,3	17,1	65,8	9,8	–	–	–	–
		1998	11,4	22,9	61,4	4,3	–	–	–	–
		2008	–	–	–	–	–	–	–	–
Grand John n° 1	témoïn	1993	1,5	16,8	59,1	22,6	–	–	–	–
		1998	8,1	18,0	73,9	0,0	–	–	–	–
		2008	8,9	21,1	70,0	0,0	0,0	2,2	33,7	64,0
	éclaircie	1993*	2,6	20,3	61,1	15,9	–	–	–	–
		1993**	3,6	24,1	65,1	7,2	–	–	–	–
		1998	15,3	19,7	64,8	0,0	–	–	–	–
		2008	17,2	23,4	59,4	0,0	1,6	9,4	25,0	64,0
Dunbar n° 2	témoïn	1993	5,7	23,6	53,7	17,1	–	–	–	–
		1998	20,4	29,6	48,2	1,8	–	–	–	–
		2008	16,9	32,5	50,6	0,0	0,0	11,1	27,2	61,7
	éclaircie	1993*	7,9	22,7	54,5	14,8	–	–	–	–
		1993**	12,5	28,6	53,6	5,4	–	–	–	–
		1998	24,0	16,0	60,0	0,0	–	–	–	–
		2008	20,0	17,8	16,2	0,0	4,4	13,3	15,6	66,7
Wiggin's Corner	témoïn	1993	5,3	17,6	57,3	19,9	–	–	–	–
		2008	8,2	21,2	52,9	17,7	0,0	3,5	8,2	88,3
	éclaircie	1993*	5,1	24,7	49,9	21,3	–	–	–	–
		1993**	4,0	28,2	48,3	19,5	–	–	–	–
		2008	3,5	30,1	45,1	21,3	0,0	0,0	8,0	92,0

* Mesures avant traitement

** Mesures après traitement

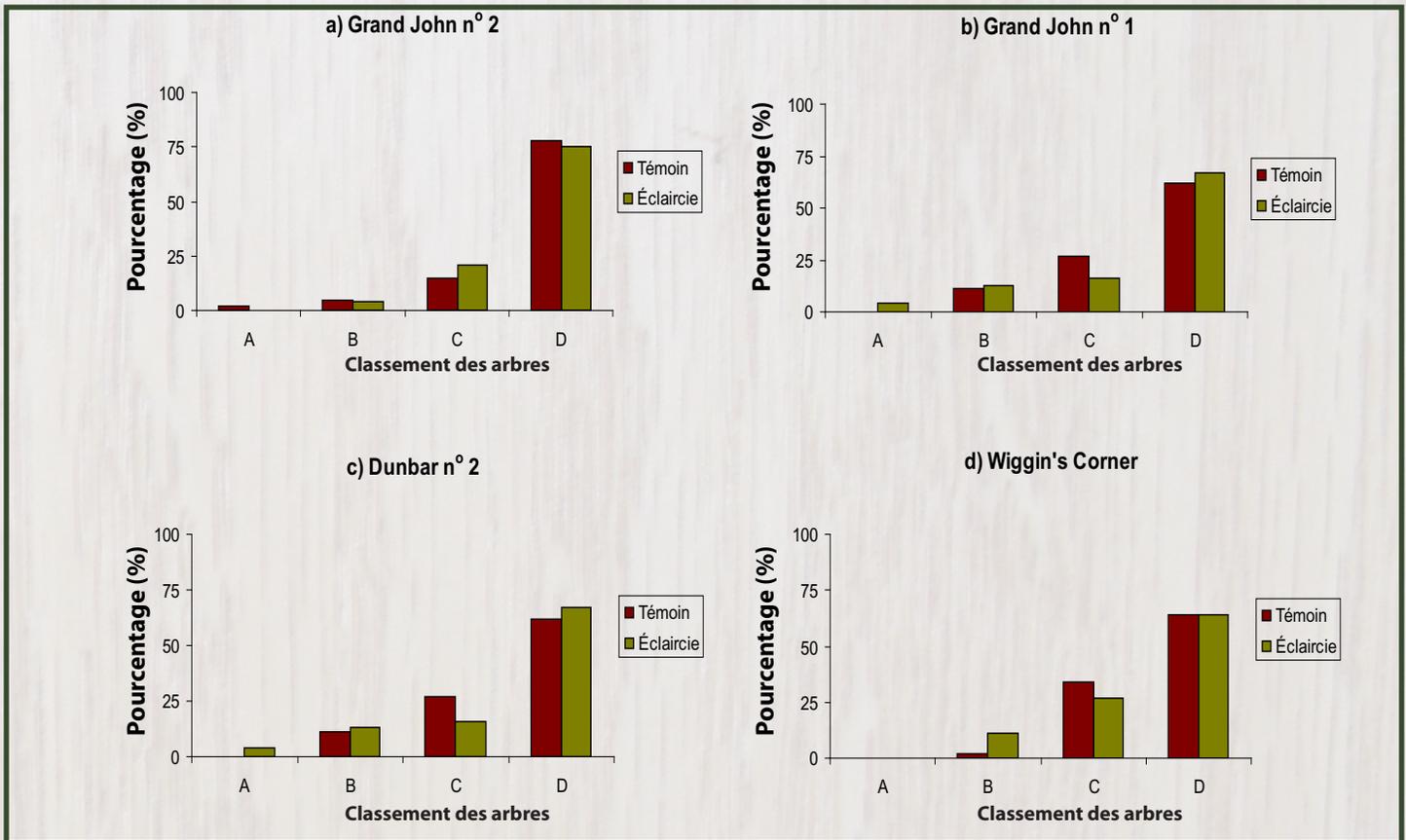


Figure 10. Évolution de la qualité des arbres (%) selon Monger (2007) dans les parcelles témoins et éclaircies de quatre sites d'étude 15 ans après le traitement.

Dynamique du recrutement

Du recrutement a été observé seulement dans un des sites, cinq ans après le traitement d'éclaircie (figure 11). Comme on pouvait s'y attendre, le recrutement (densité des recrues) avait augmenté au bout de 15 ans et était plus élevé dans les parcelles éclaircies. Dans la plupart des sites, le recrutement forme un couvert secondaire de hêtres à grandes feuilles et d'érables à sucre (figure 12). Il n'y a pas eu de recrutement dans la parcelle témoin du site Grand John n° 2, mais le recrutement est dominé par l'érable à sucre dans la parcelle éclaircie adjacente, tout comme dans la parcelle témoin et la parcelle éclaircie du site Grand John n° 1. Le site Wiggin's Corner diffère des autres sites du fait que le couvert secondaire y est composé de diverses essences feuillues et résineuses, soit l'érable rouge, l'ostryer de Virginie, le sapin baumier et l'épinette rouge, en plus du hêtre à grandes feuilles et de l'érable à sucre. Cette dynamique de peuplement naturel indique que le site Wiggin's Corner présente des peuplements de caractère plus mixte que les quatre autres sites. Leak et coll. (1987) ont décrit des forêts nordiques semblables au New Hampshire (États-Unis).

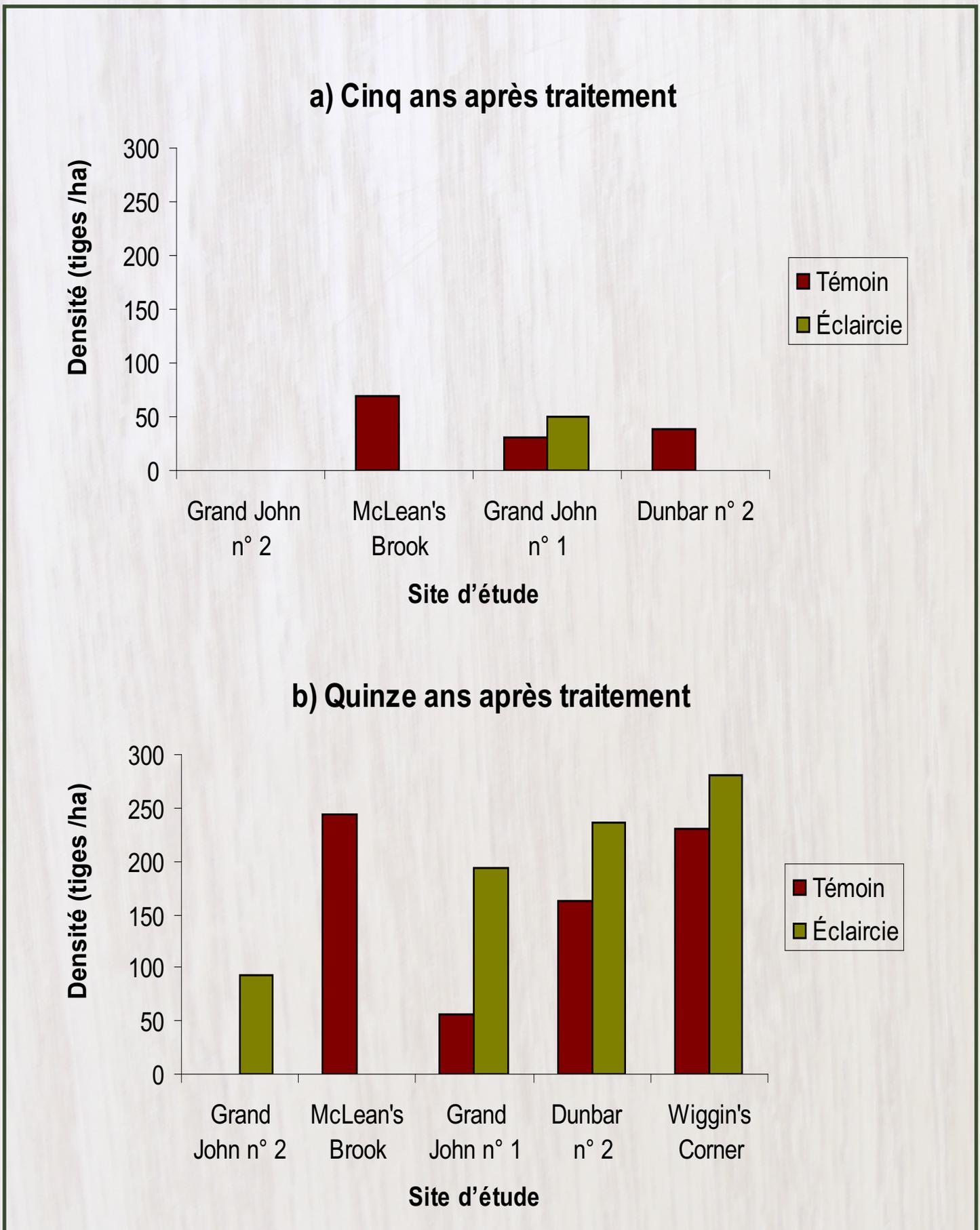


Figure 11. Recrutement a) 5 ans et b) 15 ans après le traitement.

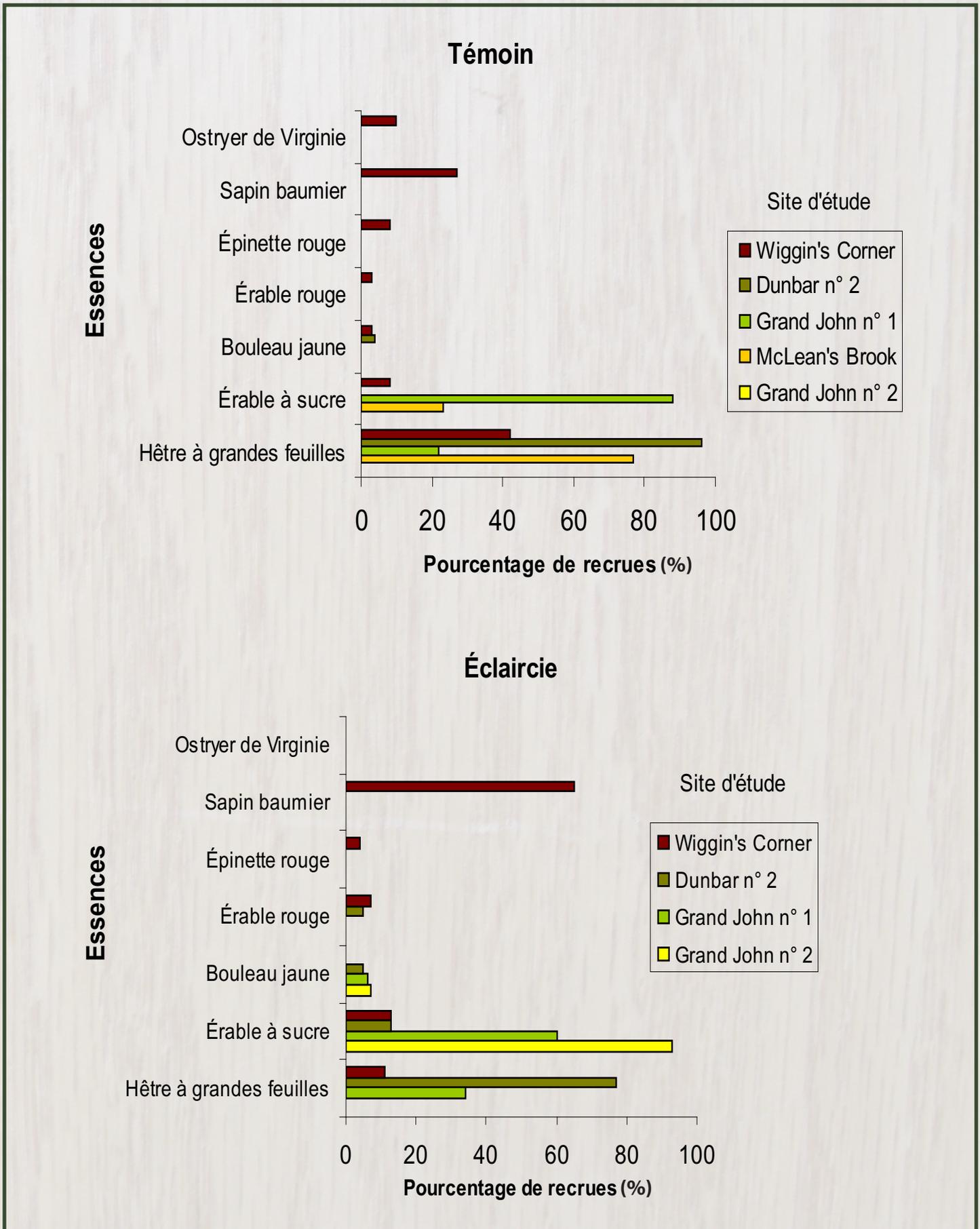


Figure 12. Recrutement par essence en 2008.

Discussion

Dynamique des peuplements

Accroissement en volume

Dans les provinces Maritimes, les feuillus se présentent habituellement en peuplements mixtes de conifères et de feuillus plutôt qu'en peuplements purs d'une essence (Rowe, 1972; Lees, 1978). La composition taxinomique diversifiée, les surfaces terrières et les volumes des sites d'étude sont représentatifs des peuplements de feuillus nordiques de la région et dans l'ensemble du Nord-Est des États-Unis (Hornbeck et Leak, 1992). L'augmentation des taux de croissance après 15 ans dans les peuplements soumis à une coupe d'éclaircies (figure 7) s'accorde avec les résultats des coupes partielles cycliques dans des peuplements inéquienne de feuillus tolérant l'ombre en Ontario : une augmentation de la surface terrière d'entre 0,4 et 0,6 m²/ha/an et un accroissement en volume ligneux de 3,3 m³/ha/an (Berry, 1981; Anderson et coll., 1990). Plonski (1974) prévoit un accroissement en volume annuel moyen de 2,4 m³/ha pour les feuillus nordiques de l'Ontario. Dans les États des Grands Lacs, l'accroissement périodique en volume des peuplements de feuillus nordiques s'établit en moyenne à 4,2 m³/ha/an (Godman et coll., 1990). Les valeurs obtenues dans cette étude sont dans les mêmes plages que celles obtenues par d'autres études dans les États des Grands Lacs (Erdmann et Oberg, 1973; Crow et coll., 1981). Au Québec, on a observé une augmentation progressive de l'accroissement en volume dans des peuplements éclaircis de bouleaux jaunes et d'érables à sucre (Roberge, 1987, 1988b).

La grande variation du taux annuel d'accroissement en volume durant les cinq premières années est le fruit de nombreux facteurs (figure 6). Cette grande variation commande une analyse approfondie de l'effet des changements dans la densité des peuplements sur le volume pour chaque classe de station. Il faut du temps aux arbres résiduels pour s'ajuster au nouvel environnement créé par les coupes partielles. Ils doivent étendre leur cime et leur système racinaire afin d'occuper l'espace laissé par l'enlèvement des arbres concurrents (Robertson et Myketa, 1998). Après, la croissance augmentera dans les peuplements éclaircis (figure 8). Jones et Thomas (2004) ont observé que l'effet du traitement sur la croissance des érables à sucre dans des peuplements inéquiennes de feuillus nordiques du centre de l'Ontario est décalé de 3 à 5 ans. Toutefois, des études au Québec ont montré que la croissance du diamètre se remarque 2 ans après une coupe sélective (Forget et coll., 2007). L'effet sur la croissance a été le plus fort chez le hêtre à grandes feuilles, suivi du bouleau jaune et de l'érable à sucre dans cette étude. La croissance du diamètre a été la plus forte, proportionnellement, chez l'érable à sucre de taille intermédiaire. Un autre facteur qui contribue à la variation de l'effet sur la croissance dans les peuplements éclaircis est que le profil de croissance du diamètre des tiges varie beaucoup selon les classes de diamètre, en raison du site, de la composition taxinomique, de la structure du peuplement et des différences de traitement sylvicole (Erdmann et Oberg, 1973; Roberge, 1987, 1988b; Leak, 2004). Roberge (1987, 1988b) a observé des augmentations et des diminutions de l'accroissement annuel moyen en volume dans les parcelles témoins d'un peuplement de bouleaux jaunes et d'érables à sucre, en raison des différentes espèces de feuillus et de la mortalité des résineux. Dans la même étude, la proportion des diverses essences influait sur le taux de croissance dans les parcelles éclaircies. Crow et coll. (1981) ont également signalé une grande variation de la croissance en volume entre les coupes partielles et les répétitions dans un peuplement dominé par l'érable à sucre dans le Nord du Michigan (États-Unis). Ils ont constaté une croissance en volume négative au cours de la première période de 5 ans (Crow et coll., 1981). Roberge (1975) attribue une partie de la croissance négative constatée dans son étude au choc causé à certains des arbres résiduels par l'abattage d'un nombre considérable d'arbres. Certaines coupes partielles ont donné lieu à une croissance négative au cours des cinq premières années. Toutefois, dans l'aménagement de la forêt, il faudrait accorder plus d'importance à

l'amélioration de la qualité de la tige et de la taille de l'arbre qu'à la croissance du diamètre et à celle du volume, car ces facteurs ont un plus grand effet sur la valeur du peuplement (Roberge, 1975; Leak et coll., 1987).

Surface terrière

L'accroissement en surface terrière a donné des résultats analogues à ceux de l'accroissement en volume dans les peuplements que nous avons étudiés. Encore une fois, la grande variation pointe vers la nécessité d'une analyse approfondie de l'effet des changements de densité du peuplement sur la surface terrière pour chaque classe de station. Les valeurs de la surface terrière initiale (de 22,9 à 29,3 m²/ha) (figure 2) sont proches de celles signalées pour les peuplements de feuillus nordiques des États des Grands Lacs : de 27,6 à 36,8 m²/ha, certains vieux peuplements dépassant 45,9 m²/ha (Godman et coll., 1990). Les valeurs de surface terrière sont dans les plages obtenues dans les peuplements de feuillus nordiques de seconde venue au Québec (Bédard et Majcen, 2001; Hartmann et coll., 2009) et en Nouvelle-Angleterre (Solomon, 1977). La présente étude et celle de Bédard et Majcen (2001) montrent un plus grand accroissement de la surface terrière dans les parcelles traitées que dans les parcelles témoins (figure 5). Contrairement à Bédard et Majcen (2001), nous avons relevé dans notre étude que la surface terrière de certaines parcelles témoins diminuait avec le temps. La valeur la plus faible de 22,9 m²/ha s'explique en partie par le mauvais drainage à Wiggin's Corner (site d'étude 6) et le caractère plus « mixte » de cette forêt par comparaison aux autres sites d'étude. Leak et coll. (1987) considèrent des peuplements semblables dans le Nord-Est des États-Unis comme étant mixtes, par opposition aux peuplements qui contiennent des feuillus tolérant mieux l'ombre, comme les assemblages hêtre–bouleau–érable et hêtre–érable rouge. Les conditions du site ont un effet prononcé sur la productivité du peuplement, qui est exprimée par la surface terrière totale et le volume (Gevorkiantz et Duerr, 1937; Godman et coll., 1990).

Comme l'accroissement moyen en volume, la surface terrière des sites d'étude était influencée par l'intensité de l'éclaircie et par la surface terrière résiduelle (figures 2, 3 et 5), mais aussi par bien d'autres facteurs, ce qui indique encore une fois qu'il faudrait approfondir l'examen des effets des différences entre les sites sur l'évolution temporelle de la densité du peuplement et ces autres facteurs. L'analyse de peuplements inéquienues de feuillus nordiques dans l'Est ontarien a montré que l'effet sur la croissance est maximisé pour les arbres ayant un DHP de 24 cm et plus quand la surface terrière résiduelle est d'environ 14 m²/ha (ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, 1983). Des études menées plus au sud dans les États des Grands Lacs suggèrent une surface terrière résiduelle de 16 m²/ha pour les arbres résiduels dont le DHP fait 24 cm et plus (Eyre et Zillgitt, 1953; Arbogast, 1957; Crow et coll., 1981). La croissance dans toute la plage des dimensions de tige peut changer si d'autres tiges sont prélevées (Leak, 2004). Leak et coll. (1987) recommandent une surface terrière minimale de 14,9 à 17,2 m²/ha (65 à 75 pi²/acre) d'arbres ayant un diamètre supérieur à 12,7 cm (5 po) dans les peuplements de feuillus nordiques du Nord-Est des États-Unis faisant l'objet d'un aménagement inéquienue. Dans les meilleurs sites, la surface terrière résiduelle devrait être plus grande, d'environ 18,4 m²/ha (80 pi²/acre) pour améliorer la qualité du bois. Leak et Gove (2008) recommandent une densité moyenne de peuplement de 14,9 à 18,4 m²/ha (65 à 80 pi²/acre) pour les assemblages hêtre–érable rouge–bouleau–pruche de vigueur et de qualité moyennes dans le New Hampshire (États-Unis). Une analyse plus poussée des données pourrait révéler la densité nécessaire pour augmenter la croissance du diamètre afin d'obtenir des tiges de feuillus de grande qualité.

Les différences observées dans l'évolution de la surface terrière des parcelles témoins peuvent être causées par plusieurs facteurs. Comme nous l'avons dit plus haut, les peuplements de feuillus nordiques sont dynamiques et variables selon les classes de diamètre, en raison des différences dans la station, la composition taxinomique, la structure du peuplement et les traitements sylvicoles

(Erdmann et Oberg, 1973; Solomon, 1977; Roberge, 1987, 1988b; Leak, 2004). Il a été montré que la proximité des chemins de coupe a un effet négatif (Hartmann et coll., 2009) ou négligeable (Forget et coll., 2007) sur la croissance et la survie des arbres. L'effet négatif sur la croissance des arbres peut varier en fonction de la classe de cime et de la taille de l'arbre (Hartmann et coll., 2009). Fournier et coll. (2006) attribuent l'effet variable de la coupe sélective sur la surface terrière dans l'Est de l'Ontario à une forte mortalité post-récolte et au faible taux de croissance des arbres survivants. Beaucoup d'arbres qui survivent ont des blessures infligées par la récolte. Nyland (1994) et Caspersen (2006) ont signalé une mortalité accrue dans le peuplement après une coupe partielle, en raison du stress et des blessures de récolte subis par les arbres résiduels. Les dépôts acides et la pollution atmosphérique ont causé de récentes carences en calcium et en magnésium dans certaines forêts de l'Est de l'Amérique du Nord (Horsley et coll., 2000, 2002; Juice et coll., 2006; Patterson et coll., 2012). Ces carences en éléments nutritifs ont entraîné le dépérissement de la cime et la mort des arbres. La défoliation par la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* : Hübner) peut réduire de façon très marquée la croissance et augmenter la mortalité de l'érable à sucre, hôte de prédilection de cet insecte (Wood et coll., 2009). Les érables à sucre défoliés présentent souvent des signes de dépérissement de la cime. La résistance aux effets de la défoliation varie au sein d'un peuplement d'érables à sucre et d'un peuplement à l'autre. La défoliation peut aussi réduire la qualité des érables à sucre dans les peuplements où l'on a procédé à des coupes partielles pour améliorer le bois (Wink et Allen, 2007). La prolifération de pousses adventives le long de la tige des arbres dominants et codominants après une infestation par la livrée des forêts fait perdre de la valeur aux peuplements. Dans les provinces Maritimes, de graves épidémies de livrée des forêts se produisent périodiquement (Magasi, 1995; Simpson et Coy, 1999). D'après les données dont on dispose, de graves défoliations se sont produites dans la zone d'étude entre 1980 et 1984, puis entre 1992 et 1995 (Magasi et Hurley, 1994; Simpson et Coy, 1999). Cependant, aucune mesure directe de la population de la livrée des forêts ou de la défoliation qu'elle a causée n'a été faite durant la période étudiée. Comme dans le cas des peuplements d'épinettes et de sapins baumiers au Nouveau-Brunswick qui ont été défoliés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) (Simpson et Coy, 1999), les peuplements de feuillus dans lesquels on a investi pour en augmenter la valeur peuvent exiger une certaine forme de « protection » contre les ravageurs comme la livrée des forêts. Comme aucun des facteurs avancés ici n'a été directement examiné dans notre étude, il faudra approfondir la recherche.

Accroissement du diamètre de la tige

Nous n'avons pas observé l'effet classique « de scie à chaîne », soit l'augmentation du diamètre moyen des tiges dans les parcelles traitées, parce qu'on y avait prélevé les arbres de DHP supérieur à 40 cm (figure 4). Toutefois, nous avons observé une hausse de l'accroissement du diamètre chez les arbres résiduels dans les parcelles éclaircies, en accord avec les résultats d'autres études sur des feuillus nordiques dans l'Est du Canada (Roberge, 1988b; Anderson et coll., 1990; Bédard et Majcen, 2001, 2003; Fortin et coll., 2009), dans les États des Grands Lacs (Erdmann et Oberg, 1973; Crow et coll., 1981; Gronewold et coll., 2012) et dans le Nord-Est des États-Unis (Trimble, 1968, Solomon, 1977; Leak et coll., 1987). En règle générale, plus le taux de prélèvement est fort, plus l'effet sur le diamètre des arbres résiduels est grand. Une étude ontarienne (Jones et Thomas 2004) a montré que l'effet sur l'accroissement du diamètre était le plus marqué chez les érables à sucre de taille intermédiaire. Bédard et Majcen (2001) ont aussi observé un effet d'accroissement différent parmi les classes de diamètre. Leak (2004) signale que l'effet sur l'accroissement du diamètre varie en fonction de la classe de diamètre et de l'essence et qu'il est tributaire des conditions du site. Dans des peuplements faisant l'objet de coupes sélectives légères ou qui ont une forte densité de tiges, Nyland (1987) et Erdmann et Oberg (1973) ont observé que l'accroissement en diamètre culmine à un certain diamètre, puis diminue.

Solomon (1977) indique que l'effet sur le diamètre a été le plus fort chez le bouleau jaune et l'érable rouge, suivis de l'érable à sucre et du hêtre à grandes feuilles dans des peuplements de feuillus nordiques de seconde venue du New Hampshire. Roberge (1987, 1988b) a observé que l'effet était plus fort sur le bouleau jaune que sur l'érable à sucre dans un peuplement de ces deux essences. On a observé le même rapport entre le bouleau jaune et l'érable à sucre dans les États des Grands Lacs (Crow et coll., 1981). Cela dit, une autre étude réalisée au Québec sur un peuplement d'érables à sucre et de bouleaux jaunes a montré un plus grand accroissement du diamètre chez l'érable à sucre que chez le bouleau jaune (Roberge, 1988a). Erdmann et Oberg (1973) ont aussi observé un plus grand accroissement du diamètre de l'érable à sucre par rapport au bouleau jaune dans des peuplements dominés par l'érable à sucre dans le Nord Est du Wisconsin, aux États-Unis. Roberge (1975) signale un effet variable sur l'accroissement du diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune en fonction de la période de mesure. Il a observé la plus forte croissance chez les arbres codominants et de taille intermédiaire, en fonction du degré de dégagement des arbres concurrents. Des études au Québec font état d'une croissance moyenne de 3 cm en 10 ans dans l'ensemble des classes de diamètre (Bédard et Majcen, 2001, 2003). Anderson et coll. (1990) ont constaté que l'érable à sucre présentait un accroissement du diamètre de lent à moyennement rapide, mais persistant, de 2,5 cm en 10 ans chez les arbres mûrs de peuplements non aménagés. L'accroissement du diamètre du bouleau jaune est généralement plutôt faible dans les peuplements non aménagés. Fortin et coll. (2009) indiquent que seuls quelques arbres (13 %) ne sont pas passés à une classe de diamètre supérieure et que la plupart (74 %) ont gagné entre 2 et 4 cm, d'après une étude effectuée au Québec. Outre la composition taxinomique et le site, l'âge des arbres influe aussi sur l'accroissement du diamètre (Godman et coll., 1990). Godman (1957) donne des exemples de peuplements matures d'érables à sucre dont la croissance est plus lente que celle des arbres dans des peuplements plus jeunes. Comme le diamètre moyen des arbres résiduels augmente dans les parcelles témoins et dans les parcelles éclaircies, les peuplements des sites d'étude n'ont pas atteint une période de stabilisation dans leur développement d'assemblages inéquiennes (Roberge, 1988b).

Évolution de la qualité des arbres

L'objectif de l'éclaircie commerciale et de la coupe partielle a traditionnellement été d'améliorer la qualité des tiges et d'augmenter la quantité de tiges de grande qualité pour en tirer des billes de sciage et des produits de placage (Lees, 1978; Miller et coll., 2003; Webster et coll., 2009; Gronewold et coll., 2012). Selon une étude récente dans des peuplements de feuillus nordiques des États des Grands Lacs, les gros arbres augmentent en valeur lorsqu'ils atteignent la qualité voulue pour des produits de placage, mais les critères de qualité pour ces arbres varient beaucoup (Webster et coll., 2009). L'éclaircie commerciale et la coupe partielle ont été employées pour restaurer des peuplements de feuillus nordiques de grande valeur comportant des tiges de grande qualité (MacLean, 1950; Roberge, 1975). Ces objectifs commerciaux de l'aménagement inéquienne donnent généralement lieu à la suppression de certains éléments de la structure du peuplement qu'on retrouve dans les forêts de feuillus anciennes, comme les arbres comportant des cavités, les chicots et les gros arbres à valeur de conservation (Kenefic et Nyland, 2007; Gronewold et coll., 2010). Plus la récolte des arbres résiduels et des tiges de mauvaise qualité est intense, plus l'impact de l'aménagement inéquienne est grand sur la structure complexe des vieux peuplements de feuillus nordiques. Vanderwel et coll. (2008) ainsi que Gronewold et coll. (2010) ont observé que les récoltes effectuées à plus de 20 ans d'intervalle ont peu d'effet sur les caractéristiques non commerciales de la structure des peuplements de feuillus nordiques. Dans une étude plus récente, Gronewold et coll. (2012) ont observé que la qualité moyenne des arbres était assez peu touchée par la densité des arbres résiduels au bout de 50 ans dans des forêts de feuillus nordiques du Michigan faisant l'objet d'une coupe de jardinage par arbre. Le cycle de récolte de 20 ans dépasse le cycle recommandé de 15 ans pour le Nord-Est des États-Unis (Leak et

coll., 1987). Il conviendrait peut-être de modifier les critères de sélection des arbres à prélever afin de préserver certains éléments structuraux des vieux peuplements de feuillus.

De nombreuses études et expériences sur le terrain ont fait la démonstration de l'augmentation de la croissance des arbres et de leur utilisation, mais peu ont porté sur la façon dont les traitements sylvicoles influent sur la qualité des arbres (Miller et coll., 2003). Nous n'avons pas fini d'analyser les informations issues de notre étude, mais les résultats préliminaires montrent qu'il faut de la patience pour pouvoir augmenter la fréquence des tiges de qualité donnant des produits de plus grande valeur dans les peuplements de feuillus nordiques où s'est pratiquée à répétition une récolte non réglementée d'un produit désiré sans égard à la dynamique et à la valeur futures du peuplement (figures 9 et 10). Les peuplements que nous avons étudiés ont fait l'objet d'une seule récolte pour enlever les arbres les plus dégradés sur un cycle de récolte de 20 ans. Sendak et Rice (2000) indiquent une variation analogue de la qualité des arbres une quarantaine d'années après une première coupe partielle dans des peuplements de feuillus nordiques de seconde venue des montagnes Blanches du New Hampshire, aux États-Unis. Ils ont attribué la variation aux différences dans la composition taxinomique et dans les surfaces terrières et volumes initiaux. Des récoltes plus fréquentes hâteraient le développement des peuplements de grande valeur pour la production de billes de sciage et de produits de placage, mais ce genre d'intervention n'est pas toujours économiquement viable et ne peut pas toujours maintenir la structure voulue du peuplement. La littérature offre des renseignements pour aider les aménagistes forestiers à prendre des décisions en vue d'améliorer des peuplements dégradés de feuillus (voir Kenefic et Nyland, 2006; Nyland, 2003, 2006; Clatterbuck, 2010). Selon l'état du peuplement, la restauration forestière peut être lente et il peut ne pas être rentable d'y procéder.

Dans le cas de prélèvements partiels ou d'éclaircies commerciales, Miller et coll. (2003) ont constaté que la qualité des arbres n'augmentait que pour certaines essences dans un peuplement de feuillus en Virginie Occidentale, aux États-Unis. Le cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrh.), le chêne rouge (*Quercus rubra* L.) et le tulipier de Virginie (*Liriodendron tulipifera* L.) ont montré une amélioration après traitement, en raison d'une croissance accrue et de la rétention des gros arbres de grande qualité. Par contre, l'érable rouge et le chêne blanc (*Quercus alba* L.) n'ont pas montré d'amélioration, en raison de la piètre qualité des arbres résiduels. L'examen d'une grande variété de modes d'éclaircie dans des peuplements de chênes blancs au Kentucky et dans l'Ohio a révélé des différences d'amélioration de qualité des arbres entre les sites d'étude (Brown et coll., 2004). Dans certains cas, l'intensité d'éclaircie influe sur la qualité. Strong et coll. (1995) indiquent qu'une intensité moyenne de prélèvement de 17,2 m²/ha (75 pi²/acre) a donné la meilleure amélioration moyenne de la qualité des arbres, sauf pour le dégagement des arbres d'avenir. Cela dit, la qualité des arbres a augmenté avec le temps dans les peuplements dominés par l'érable à sucre faisant l'objet d'une coupe de jardinage par arbre. Le prélèvement d'intensité moyenne dans le cadre d'une coupe de jardinage par arbre a aussi donné de très bons rendements, mais les éclaircies intensives (13,8 m²/ha ou 62 pi²/acre) ont fourni le meilleur rendement (Niese et coll., 1995). L'exactitude des prévisions de qualité des arbres a été analysée pour cinq essences de feuillus des Appalaches entre 12 et 15 ans après une éclaircie commerciale en Virginie Occidentale (Miller et coll., 2008). On a évalué les différences entre les essences et entre les traitements dans l'exactitude des prévisions de qualité d'arbre. L'exactitude était moindre pour le cerisier tardif et le chêne rouge dans les peuplements éclaircis en raison des blessures de récolte et des pousses adventives. Les prévisions étaient aussi moins précises pour les gros arbres et ceux de grande qualité que pour les tiges plus petites et de moindre qualité. L'évaluation de la qualité des arbres résiduels dans 20 peuplements de feuillus des Appalaches faisant l'objet d'un régime sylvicole à deux classes d'âge a montré que les diminutions de qualité les plus importantes étaient imputables aux pousses adventives et aux blessures infligées par la récolte (Johnson et coll., 1998). La période de coupe jouait sur la fréquence des blessures infligées. Celles-ci étaient plus fréquentes et plus graves

quand la récolte se faisait au printemps ou à l'été que lorsque l'opération était menée à l'automne ou à l'hiver. L'amélioration de la composition taxinomique et de la qualité des arbres peut avoir un effet à long terme dans le cas des feuillus nordiques du Nord-Est des États-Unis. Leak et Sendak (2002) notent une augmentation des billes de pied de qualités 1 et 2, de 30 % dans le cas du hêtre à grandes feuilles et de 65 % dans le cas de l'érable à sucre après 41 ans dans le cadre d'une étude où on a procédé à trois coupes de jardinage par arbre à 20 ans d'intervalle. Fournier et coll. (2006) signalent que le matériel sur pied acceptable a doublé 20 ans après une première coupe sélective en Ontario. Ainsi, n'importe quel système de prévision de la qualité des arbres sur pied comportera une certaine variabilité. Néanmoins, les données variables peuvent être intégrées dans les courbes de rendement des peuplements pour prévoir la possible évolution de la valeur des arbres et aider les aménagistes forestiers à décider quels arbres ne pas toucher lorsqu'ils effectuent une coupe partielle. Par exemple, Myers et coll. (1986) ont établi des équations de régression pour prévoir la répartition des qualités de billes de pied à partir des inventaires de cinq essences de feuillus des Appalaches. Pour la forêt de feuillus du Nord-Est des États-Unis, Yaussy (1993) a élaboré des équations de régression logistique appliquées à 20 groupes d'essences, et ces équations pouvaient être intégrées à des simulateurs de croissance et de rendement des arbres, comme le NE TWIGS et le simulateur de végétation forestière (FVS). Vu le besoin de classer et de prévoir la qualité des billes de feuillu en fonction des divers produits et usages, plusieurs systèmes de classification des billes ont été élaborés au Québec, et Fortin et coll. (2009) ont évalué trois des systèmes en vigueur. Les trois permettaient mieux de distinguer la qualité des billes que le volume ligneux. Comme on s'y attendait, la « vraie » méthode de classification de la qualité des arbres s'est avérée le meilleur système, d'après les critères d'information d'Akaike et de Bayes. Les renseignements de cette étude pourraient servir à l'élaboration des équations initiales de prévision de la qualité des arbres pour les simulateurs de rendement et de croissance actuels qu'utilise le Comité technique sur les feuillus du Nouveau-Brunswick. Le ministère des Ressources naturelles de la Nouvelle-Écosse a intégré les renseignements sur la qualité des arbres dans ses procédures d'inventaire (Keys et McGrath, 2002).

Dynamique du recrutement

L'abondance du hêtre à grandes feuilles qui constitue le principal élément du sous-étage (figures 11 et 12) a été fréquemment observée et documentée dans l'ensemble de l'aire de répartition des feuillus nordiques (Tubbs et Houston, 1990; Robertson et Myketa, 1998; Nelson et Wagner, 2011). L'augmentation possible de la présence du hêtre à grandes feuilles dans les peuplements de feuillus nordiques après des perturbations naturelles ou après la récolte constitue un problème pour l'aménagement de la forêt, car elle fait diminuer les réserves de fibre et la possibilité annuelle de coupe (Nelson et Wagner, 2011). Comme il a besoin de peu de lumière et qu'il produit fréquemment une grande quantité de graines, le hêtre à grandes feuilles peut constituer une végétation préétablie qui domine l'étage de régénération dans les peuplements de feuillus nordiques (Tubbs et Houston, 1990). Le jardinage par arbre favorise en général le hêtre à grandes feuilles et l'érable à sucre, car la régénération de ces essences peut percer la litière de feuilles et tolère la pénombre (Berry 1981; La Rocque, 1985; Robertson et Myketa, 1998). Dans des petites trouées isolées, le hêtre à grandes feuilles a supplanté les semis et gaules de l'érable à sucre dans les peuplements témoins et dans les peuplements éclaircis (Jones et coll., 1989; Tubbs et Houston, 1990; Bohn et Nyland, 2003; Nolet et coll., 2008). Les essences à graines légères, comme le bouleau jaune et le bouleau blanc, exigent souvent des travaux de préparation du terrain supplémentaires afin d'enlever la litière de feuilles laissée par l'érable à sucre et le hêtre à grandes feuilles et de mélanger l'humus et le sol minéral. Les deux espèces de bouleau précitées ont aussi besoin de l'éclaircissement accru que procure la coupe par trouées employée dans les régimes sylvicoles inéquienues appliqués aux peuplements de feuillus nordiques. La plus grande dimension des trouées comparée à celles ouvertes par le jardinage par arbre permet en outre d'appliquer diverses méthodes

de préparation du terrain pour répondre aux besoins des lits de germination des essences à graines légères comme le bouleau jaune et le bouleau blanc (Erdmann, 1990; Robertson et Myketa, 1998; Leak et coll., 1987; Leak, 1999). Loucks (1962) affirme que la préparation du terrain est nécessaire pour favoriser la régénération du bouleau jaune dans les forêts partiellement coupées de la région des bas plateaux des Maritimes où se trouve une partie des sites d'étude. La présence de l'érable à sucre et du bouleau jaune dans certains des sites d'étude (figure 12) était attribuable en partie aux grandes trouées et aux chemins d'extraction ayant reçu la préparation voulue par le passage du débusqueur traînant les tiges récoltées. L'examen des cartes pour les parcelles éclaircies révèle un mélange de petites trouées (< une longueur d'arbre) et de grandes trouées (> deux longueurs d'arbre) ouvertes dans les sites de coupe. Les besoins des lits de germination étaient comblés dans les trouées, qui offraient en outre la luminosité requise pour la régénération du bouleau jaune modérément tolérante à l'ombre. Par ailleurs, il est possible qu'une partie de la régénération préexistante du hêtre à grandes feuilles et de l'érable à sucre ait été détruite par l'extraction des tiges récoltées. Les coupes se sont faites entre septembre et décembre 1993 dans tous les sites d'étude. Selon Tubbs et Reid (1984), la période de coupe peut influencer sur la régénération et, donc, sur le recrutement. Si la coupe d'un peuplement de feuillus se fait à l'été, la scarification du sol suffit généralement pour le bouleau jaune, et une partie de la régénération préexistante sera dégradée ou détruite. Les opérations de coupe à l'hiver préservent d'habitude la régénération préétablie et ne travaillent pas suffisamment le sol pour les essences de bouleau. Si la coupe se fait durant une année de forte production de graines, le profil de régénération du peuplement de feuillus nordiques peut changer. Comme la couche de neige n'aurait pas été épaisse à la fin de la période de coupe, il y aurait eu combinaison de perturbations du terrain, de protection des jeunes pousses et de destruction de la régénération établie depuis plus longtemps. On sait que l'érable à sucre inhibe la croissance du bouleau jaune lorsque les périodes de croissance des racines des deux essences se chevauchent (Tubbs, 1965). Selon Smith (1986) et Anderson et coll. (1990), le jardinage par bouquets produit une matrice d'îlots équiennes d'essences intolérantes ou moyennement tolérantes à l'ombre dans des peuplements inéquiennes dominés par des essences qui tolèrent l'ombre, comme c'est le cas au site Dunbar n° 2. Sans les perturbations naturelles et celles des coupes, les éléments bouleau jaune et bouleau blanc de la forêt de feuillus nordiques diminueront pour finir par disparaître du paysage (Leak et Yamasaki, 2010).

La suppression du hêtre à grandes feuilles est souvent réalisée par application au sol ou par voie aérienne d'herbicides chimiques, mais elle peut entraîner d'autres problèmes de concurrence végétale (Robertson et Myketa, 1998). Smallridge et Nyland (2009) fournissent une des nombreuses lignes de conduite pour la lutte contre le hêtre à grandes feuilles dans les peuplements de feuillus nordiques. Dans une série d'articles, Nyland et coll. (2004) exposent l'écologie des principaux arbres et arbustes concurrents dans ces peuplements, et les effets des méthodes de lutte contre cette concurrence (Nyland et coll., 2006). Une étude récente a montré que le hêtre à grandes feuilles est plus vulnérable à certains herbicides que l'érable à sucre, l'érable rouge ou le bouleau jaune (Nelson et Wagner, 2011). À l'heure actuelle, le ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick emploie les petites coupes par trouées (bandes ou cercles irréguliers) pour diminuer la présence du hêtre à grandes feuilles dans les forêts de feuillus nordiques. La plus grande luminosité et la perturbation du sol dans ces petites trouées mesurant entre 0,04 et 0,24 ha réduisent le sous-étage du hêtre à grandes feuilles tout en favorisant d'autres essences comme l'érable à sucre et le bouleau jaune (Erdmann, 1990). Le traitement a été élaboré et éprouvé au Nouveau-Brunswick, sur les conseils de William Leak, Ph. D., du USDA Forest Service à Durham, au New Hampshire. Leak et Filip (1977) ont été parmi les premiers à faire état des résultats d'un tel traitement dans les forêts nordiques des montagnes Blanches du New Hampshire. Leak et Yamasaki (2010) ont en outre observé que, si de bonnes techniques d'aménagement sont appliquées, le hêtre à grandes feuilles peut faire partie d'une composante saine et productive des peuplements de feuillus nordiques.

Conclusions

Dynamique des peuplements

Les diverses conditions des peuplements et taux de prélèvement divers ont eu des effets variés sur la croissance, ce qui s'accorde avec les résultats rapportés dans la documentation que nous avons examinée.

Plus la surface terrière est réduite par une coupe d'éclaircie, plus le diamètre des arbres résiduels augmente dans les parcelles éclaircies. Cependant, cette réaction de croissance ne permettrait pas de retrouver l'ancienne surface terrière ou l'ancien volume ligneux si trop d'arbres ont été prélevés.

Les peuplements éclaircis n'ont pas atteint la surface terrière qu'ils avaient au début de l'étude. Toutefois, cet objectif d'aménagement n'est pas nécessairement aussi important que le niveau de surface terrière fixé ou souhaité par les aménagistes forestiers, particulièrement lorsque la valeur du peuplement est plus importante que l'accroissement du volume, en fonction des marchés et des objectifs d'aménagement.

Les taux annuels d'accroissement du volume prévus dans le passé de 2,4 m³/ha/an ont été confirmés dans notre étude pour les peuplements témoins.

D'après les taux annuels d'accroissement du volume, les peuplements de feuillus soumis à des coupes partielles ont de meilleurs résultats de croissance que ce qui avait été prévu au départ de l'étude initiale.

Les taux annuels d'accroissement du volume ont beaucoup varié pour un même traitement et d'un traitement à l'autre en fonction de nombreux facteurs possibles. Reconnaître et préciser ces facteurs pourraient permettre d'obtenir de meilleurs résultats de croissance que les valeurs moyennes observées dans l'étude.

Les peuplements de feuillus, surtout ceux où on a investi afin d'en augmenter la valeur des produits, exigent peut-être une certaine forme de « protection » contre les ravageurs comme la livrée des forêts pour en obtenir la croissance et le taux de croissance voulus.

La dynamique des peuplements de feuillus est complexe, et il faut mieux la comprendre pour cerner les effets sur la croissance et le développement.

Évolution de la qualité des arbres

La restauration des peuplements et l'amélioration de la qualité des tiges sont des processus lents, et il est possible que la première coupe ne donne pas de résultats dans des peuplements de feuillus nordiques de seconde venue dont les arbres de meilleure qualité ont été prélevés de façon répétée dans le passé.

Nous avons observé que l'évolution de la qualité des arbres dans ces peuplements de feuillus nordiques de seconde venue était très variable en raison de plusieurs facteurs—qualité initiale de la tige, croissance de la tige, taux de mortalité, taux de prélèvement (réglementé et non réglementé), essences et qualité du site.

Les différences entre les systèmes de classification de la qualité des arbres sont manifestes pour les produits de grande qualité. Il faut tenir compte de ces différences au chapitre des caractéristiques régionales de qualité et des besoins du marché, maintenant et à l'avenir.

Dynamique du recrutement

En général, le recrutement est plus fréquent dans les peuplements éclaircis que dans les peuplements témoins.

Sauf dans le site Wiggin's Corner, où le peuplement présente des caractéristiques de forêt mixte, le recrutement ne consiste pas en un mélange diversifié d'essences désirées, mais en un couvert secondaire de hêtres à grandes feuilles et d'érables à sucre.

Recommandations

Dynamique des peuplements

Les taux annuels d'accroissement en volume font croire que les peuplements de feuillus se développent mieux que ce que laissent supposer les prévisions passées. Il faudrait donc réaliser d'autres études pour vérifier et déterminer l'effet éventuel sur la possibilité annuelle de coupe et le taux optimal de prélèvement pour un type de peuplement et un terrain donnés.

Comme les taux de croissance sont influencés par de multiples facteurs, il faut cerner et préciser ces facteurs pour déterminer leurs effets sur la croissance à l'échelle du paysage.

Dans une future étude, il faudrait examiner l'influence de la qualité du site sur l'évolution temporelle de la densité du peuplement.

Évolution de la qualité des arbres

Comme une évolution très variable de la qualité des arbres a été observée à l'échelle de la parcelle, il faut quantifier ce facteur au niveau de l'arbre et de l'essence et l'intégrer dans le processus d'aménagement forestier pour l'approvisionnement en bois. Il est donc proposé d'envisager au Nouveau-Brunswick un nouveau système de classification de la qualité qui intègre la vigueur de l'arbre, analogue au système à quatre classes qui a déjà été employé au Québec.

Les systèmes de classification de la qualité des arbres doivent tenir compte des différences dans les caractéristiques régionales de qualité et les besoins du marché, maintenant et à l'avenir.

Il faut élaborer un système national de classification de la qualité des arbres qu'adopteront les gestionnaires de la ressource dans tout l'Est du Canada afin de permettre des comparaisons et des évaluations à l'échelle nationale.

Dynamique du recrutement

À moins qu'un autre système sylvicole ou d'autres prescriptions sylvicoles soient appliqués pour produire de nouvelles cohortes d'arbres de récolte souhaités dans ces peuplements inéquiennes, un couvert secondaire dominé par le hêtre à grandes feuilles et l'érable à sucre se formera, sauf dans les sites de forêt mixte (feuillus et résineux). Il faut augmenter la scarification du sol et la fréquence des grandes trouées pour augmenter la présence du bouleau jaune dans les diverses classes de diamètre des cohortes de recrutement.

Remerciements

Le projet n'aurait pu être réalisé sans Fred Somerville, ancien employé d'AV Nackawic Inc., qui a lancé l'étude initiale et nous a fourni les données antérieures. Nous apprécions les conseils que nous ont donnés le Centre canadien sur la fibre de bois (Ressources naturelles Canada), le Comité directeur de l'Initiative de recherche sur les feuillus de FPIInnovations et le Comité technique sur les feuillus du Nouveau-Brunswick. Nous sommes reconnaissants aux entreprises et organismes suivants pour leur soutien ou leur collaboration : ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick (Jean-Louis Laplante, Mike Bartlett, Martha O'Sullivan, Chris Ward, Jennifer Landry (ancien employée), Dale Wilson et Adam Dick); Groupe Savoie (Serge Laplante); Acadian Timber Ltd. (Kevin Topolinski); Northern Hardwood Research Institute (Gaëtan Pelletier); AV Nackawic (Maurice LeBlanc et Daniel Rogers); Université de Sherbrooke (Richard Fournier); Université du Nouveau-Brunswick (Fan-Rui Meng et Charles P.-A. Bourque); State University of New York (Ralph Nyland, Diane Kiernan et Eddie Bevilacqua). Katalijn MacAfee nous a fourni du soutien administratif. Nous remercions également Bernard Lévesque, du ministère des Ressources naturelles du Québec, de nous avoir fourni la classification MSCR, ainsi que Bernard Daigle (CCFB), Jennifer Landry et Dean Toole (CCFB) pour leurs commentaires sur le document.

Bibliographie

- Anderson, H.W., Batchelor, B.D., Corbett, C.M., Deugo, D.T., Husk, C.F. et Wilson, W.R.** 1990. *A silvicultural guide for the tolerant hardwoods working group in Ontario*. Ontario Ministry of Natural Resources, Forest Resources Group Science and Technical Series Volume 7.
- Arbogast, C. Jr.** 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. Paper 56. USDA Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, St. Paul (Minnesota) É.-U.
- Bédard, S. et Majcen, Z.** 2001. Ten-year response of sugar maple–yellow birch–beech stands to selection cutting in Quebec. *Northern Journal of Applied Forestry* **18**(4): 119–126.
- Bédard, S. et Majcen, Z.** 2003. Growth following single-tree selection cutting in Quebec northern hardwood. *The Forestry Chronicle* **79**(5): 898–905.
- Berry, A.B.** 1981. *Étude de l'exploitation des feuillus tolérants par coupe sélective*. Rapport d'information PI-X-8F. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – Institut national de foresterie de Petawawa, Chalk River (Ontario) Canada.
- Bohn, K.K. et Nyland, R.D.** 2003. Forecasting development of understory American beech after partial cutting in uneven-aged northern hardwood stands. *Forest Ecology and Management* **180**(1–3): 453–461.
- Boyce, J.S.** 1961. *Forest pathology*. 3^e édition. McGraw-Hill Book Company, New York (New York) É.-U.
- Brown, J., Miller, G.W., and Gottschalk, K.W.** 2004. Effects of alternative thinning treatments on tree grades at three upland hardwood sites in Kentucky and Ohio: 30 year results. Page 520 dans D.A. Yaussy, D.M. Hix, R.P. Long et P.C. Goebel, éditeurs. *Proceedings, 14th Central Hardwood Forest Conference*. Rapport général technique NE-316. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Caspersen, J.P.** 2006. Elevated mortality of residual trees following single-tree felling in northern hardwood forests. *Revue canadienne de recherche forestière* **36**(5): 1255–1265.
- Clatterbuck, W.K.** 2010. *Treatments for improving degraded hardwood stands*. University of Tennessee Cooperative Extension Publication FOR-104. University of Tennessee, Knoxville (Tennessee) É.-U.
- Crow, T.R., Tubbs, C.H., Jacobs, R.D. et Oberg, R.R.** 1981. *Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands*. Research Paper NC-199. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul (Minnesota) É.-U.
- Duchesne, I., Ung, C.-H., Swift, D.E. et Ferland-Raymond, B.** 2012. *Hardwood Initiative—Part 5: Development of new processes and technologies in the hardwood industry: Project 16 – Towards a Forest Inventory Capable of Predicting the Properties and Economic Value of Hardwoods in Eastern Canada. Development of a Product Matrix by Tree Grade and DBH class for Sugar Maple and Yellow Birch*. FPIInnovations Partner Report. FPIInnovations, Québec (Québec) Canada.

- Erdmann, G.G.** 1990. *Betula alleghaniensis* Britton. Yellow birch. Pages 325–332 dans R.M. Burns et B.H. Honkala, coordonnateurs techniques. *Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods*. USDA Forest Service Agricultural Handbook 654. USDA, Washington (D.C.) É.-U.
- Erdmann, G.G. et Oberg, R.R.** 1973. *Fifteen-year results from six cutting methods in second-growth hardwoods*. Research Paper NC-100. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul (Minnesota) É.-U.
- Eyre, F.H. et Zillgitt, W.M.** 1953. *Partial cuttings in the northern hardwoods of the Lake States*. Bulletin technique LS-1076. USDA Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, St. Paul (Minnesota) É.-U.
- Farr, K.L.** 2003. *Les forêts du Canada*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa (Ontario) Canada.
- Forget, E., Nolet, P., Doyon, F., Delagrangé, S. et Jardon, Y.** 2007. Ten-year response of northern hardwood stands to commercial selection cutting in southern Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* **242**(2-3): 764–775.
- Fortin, M., Guillemette, F. et Bédard, S.** 2009. Predicting volumes by log grades in standing sugar maple and yellow birch trees in southern Quebec, Canada. *Revue canadienne de recherche forestière* **39**(10): 1928–1938.
- Fournier, A., Woods, M., Stinson, A. et Zhang, T.** 2006. *Maximizing the value of hardwoods through intensive silviculture (Stroke's Study)*. FPIInnovations General Revenue Report Project No. 652. FPIInnovations, Québec (Québec) Canada.
- Gevorkiantz, S.R. et Duerr, W.A.** 1937. A yield table for northern hardwoods in the Lake States. *Journal of Forestry* **35**(4): 340–343.
- Godman, R.M.** 1957. *Silvicultural characteristics of sugar maple (Acer saccharum)*. Research Paper 50, USDA Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, St. Paul (Minnesota) É.-U.
- Godman, R.M., Yawney, H.W. et Tubbs, C.H.** 1990. *Acer saccharum* Marsh. Sugar maple. Pages 325–332 dans R.M. Burns et B.H. Honkala, coordonnateurs techniques. *Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods*. USDA Forest Service Agricultural Handbook 654. USDA, Washington (D.C.) É.-U.
- Gronewold, C.A., D'Amato, A.W. et Palik, B.J.** 2010. The influence of cutting cycle and stocking level on the structure and composition of managed old-growth northern hardwoods. *Forest Ecology and Management* **259**(6): 1151–1160.
- Gronewold, C.A., D'Amato, A.W. et Palik, B.J.** 2012. Relationships between growth, quality, and stocking within managed old-growth northern hardwoods. *Revue canadienne de recherche forestière* **42**(6): 1115–1125.
- Guillemette, F., Bédard, S. et Fortin, M.** 2008. Evaluation of a tree classification system in relation to mortality risk in Quebec northern hardwoods. *The Forestry Chronicle* **84**(6): 886–899.

- Guillemette, F., Lambert, M.-C. et Bédard, S.** 2012. Sampling design and precision of basal area growth and stand structure in uneven-aged northern hardwoods. *The Forestry Chronicle* **88**(1): 30–39.
- Hartmann, H., Beaudet, M., Mazerole, M.J. et Messier, C.** 2009. Sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) growth is influenced by close conspecifics and skid trail proximity following selection harvest. *Forest Ecology and Management* **258**(5): 823–831.
- Hornbeck, J.W. et Leak, W.B.** 1992. *Ecology and management of northern hardwood forests in New England*. Rapport général technique NE-159. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Horsley, S.B., Long, R.P., Bailey, S.W., Hallett, R.A. et Hall, T.J.** 2000. Factors associated with the decline disease of sugar maple on the Allegheny plateau. *Revue canadienne de recherche forestière* **30**(9): 1365–1378.
- Horsley, S.B., Long, R.P., Bailey, S.W., Hallett, R.A. et Wargo, P.M.** 2002. Health of eastern North American sugar maple forests and factors affecting decline. *Northern Journal of Applied Forestry* **19**(1): 34–44.
- Johnson, J.E., Miller, G.W., Baumgras, J.E. et West, C.D.** 1998. Assessment of residual stand quality and regeneration following shelterwood cutting in Central Appalachian hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry* **15**(4): 203–210.
- Jones, R.H., Nyland, R.D. et Raynal, D.J.** 1989. Response of American beech regeneration to selection cutting of northern hardwoods in New York. *Northern Journal of Applied Forestry* **6**(1): 34–36.
- Jones, T.A. et Thomas, S.C.** 1994. The time course of diameter increment responses to selection harvests in *Acer saccharum*. *Revue canadienne de recherche forestière* **34**(7): 1525–1533.
- Juice, S.M., Fahey, T.J., Siccama, T.G., Driscoll, C.T., Denny, E.G., Eagar, C., Cleavitt, N.L., Minocha, R. et Richardson, D.A.** 2006. Response of sugar maple to calcium addition to northern hardwood forest. *Ecology* **87**(5): 1267–1280.
- Kenefic, L.S. et Nyland, R.D.** 2007. Cavity trees, snags, and selection cutting: a northern hardwood case study. *Northern Journal of Applied Forestry* **24**(3): 192–197.
- Kenefic, L.S. et Nyland, R.D., editors.** 2006. *Proceedings of the conference on diameter-limit cutting in northeastern forests*. Rapport général technique NE-342. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Keys, K. et McGrath, T.** 2002. *Tree grade versus product output from a mature sugar maple stand in Cape Breton, Nova Scotia*. Rapport de recherche forestière n° 68. Nova Scotia Department of Natural Resources, Truro (Nouvelle-Écosse) Canada.
- La Rocque, G.** 1985. *Regeneration in a tolerant hardwood stand managed under single-tree selection*. Rapport d'information PI-X-50. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts - Institut national de foresterie de Petawawa, Chalk River (Ontario) Canada.
- Leak, W.B.** 1999. Species composition and structure of a northern hardwood stand after 61 years of group/patch selection. *Northern Journal of Applied Forestry* **16**(3): 150–153.

- Leak, W.B.** 2004. Diameter growth in even- and uneven-aged northern hardwoods in New Hampshire under partial cutting. *Northern Journal of Applied Forestry* **21**(3): 160–163.
- Leak, W.B. et Filip, S.M.** 1977. Thirty-eight years of group selection in New England hardwoods. *Journal of Forestry* **75**(10): 641–643.
- Leak, W.B. et Gove, J.H.** 2008. Growth of northern hardwoods in New England: a 25-year update. *Northern Journal of Applied Forestry* **25**(2): 103–105.
- Leak, W.B. et Sendak, P.E.** 2002. Changes in species, grade, and structure over 48 years in a managed New England northern hardwood stand. *Northern Journal of Applied Forestry* **9**(1): 25–27.
- Leak, W.B., Solomon, D.S. et DeBald, P.S.** 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the Northeast (revised)*. Research Paper NE-603. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Leak, W.B. et Yamasaki, M.** 2010. *Seventy-year record of changes in the composition of overstory species by elevation on the Bartlett Experimental Forest*. Research Paper NRS-13. USDA Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Lees, J.C.** 1978. *Hardwood silviculture and management: an interpretive literature review for the Canadian Maritime provinces*. Rapport d'information M-X-93. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – Centre de foresterie de l'Atlantique, Fredericton (Nouveau-Brunswick) Canada.
- Loucks, O.L.** 1962. A forest classification system for the Maritime provinces. *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science* **25**(2): 85–167.
- MacLean, D.W.** 1950. *Improvement cutting in tolerant hardwoods*. Silviculture Research Note 95. Canada Department Resources and Development, Forestry Branch, Forest Resources Division (Ottawa) Ontario, Canada.
- Magasi, L.P.** 1995. Insectes forestiers ravageurs dans la région des Maritimes. Pages 11–26 dans J.A. Armstrong et W.G.H. Ives. *Insectes forestiers ravageurs au Canada*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Administration centrale, Direction des sciences et du développement durable, Ottawa (Ontario) Canada.
- Magasi, L.P. et Hurley, J.E.** 1994. *Les ravageurs forestiers dans les Maritimes en 1993*. Rapport d'information M-X-188F. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts - Centre de foresterie de l'Atlantique, Fredericton (Nouveau-Brunswick) Canada.
- McDonald, M.** 1999. *New Brunswick Crown Land hardwood veneer /sawlog quality survey*. Ministère des Ressources naturelles et de l'énergie du Nouveau-Brunswick, Direction de la Gestion des forêts. Fredericton (Nouveau-Brunswick) Canada.
- Miller, G.W., Gottschalk, K.W., Graves, A.T. et Baumgras, J.E.** 2003. The effects of silvicultural thinning on tree grade distributions of five hardwood species in West Virginia. Pages 39–48 dans B. Smalley, éditeur. 2001. *Proceedings of the 29th Annual Hardwood Symposium: Sustaining Natural Resources on Private Lands in the Central Hardwood Region*. National Hardwood Lumber Association, Memphis (Tennessee) É.-U.

- Miller, G.W., Graves, A.T., Gottschalk, K.W. et Baumgras, J.E.** 2008. Accuracy of tree grade projections for five Appalachian hardwood species. *Northern Journal of Applied Forestry* **25**(1): 45–51.
- Monger, N.R.** 2007. *Classification des tiges d'essences feuillues : normes techniques*. Québec Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec (Québec) Canada.
- Mulliens, E.J. et McKnight, T.S.** 1981. *Canadian woods: their properties and uses*. 3^{ième} édition. University of Toronto Press, Toronto (Ontario) Canada.
- Myers, J.R., Miller, G.W., Wiant, H.V. Jr. et Barnard, J.E.** 1986. *Butt-log grade distributions for five Appalachian hardwood species*. Research Report NE-590. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Myren, D.T., éditeur.** 1994. *Maladies des arbres de l'est du Canada*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Direction des sciences et du développement durable, Ottawa (Ontario) Canada.
- Nelson, A.S. et Wagner, R.G.** 2011. Improving the composition of beech-dominated northern hardwood understories in northern Maine. *Northern Journal of Applied Forestry* **28**(4): 186–193.
- Niese, J. N., Strong, T. et Erdmann, G.G.** 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole size northern hardwoods. II. Economic evaluation. *Revue canadienne de recherche forestière* **25**(7): 1180–1188.
- Nolet, P.D., Bouffard, A.L., Bohn, K.K. et Delagrange, S.** 2008. Relationship between canopy disturbance history and current density of *Fagus grandifolia* and *Acer saccharum* in a northern hardwood landscape. *Revue canadienne de recherche forestière* **38**(2): 216–225.
- Norfolk, C.** 2004. *Staman 5.5 User's guide supplement*. Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick, Direction de la gestion des forêts. Fredericton (Nouveau-Brunswick) Canada.
- Nyland, R.D.** 1987. Selection system and its application to uneven-aged northern hardwoods. Pages 49–80 dans R.D. Nyland. *Managing northern hardwoods, Proceedings of a Silviculture Symposium*. State University of New York, Syracuse (New York) É.-U.
- Nyland, R.D.** 1994. Careful logging in northern hardwoods. Pages 29–51 in J.A. Rice, editor. *Logging damage: the problems and practical solutions*. Forest Research Information Paper 117. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Sault Ste. Marie (Ontario) Canada.
- Nyland, R.D.** 1996. *Silviculture: concepts and applications*. McGraw-Hill, Boston (Massachusetts) É.-U.
- Nyland, R.D.** 2003. Rehabilitating stands after diameter-limit cutting. Dans M. Béland, éditeur. *Proceedings of the tolerant hardwoods management conference*. Université de Moncton - Campus d'Edmundston, 8 mai 2003, Edmundston (Nouveau-Brunswick) Canada. [CD ROM].
- Nyland, R.D.** 2006. Rehabilitating cutover stands: some ideas to ponder. Pages 47–51 dans L.S. Kenefic et R.D. Nyland, éditeurs. *Proceedings of the conference on diameter-limit cutting in northeastern forests*. Rapport général technique NE-342. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.

- Nyland, R.D., Bashant, A.L., Bohn, K.K. et Verostek, J.M.** 2004. Interference to hardwood regeneration in northeastern North America: ecological characteristic of American beech, striped maple, and hobblebush. *Northern Journal of Applied Forestry* **23**(1): 53–61.
- Nyland, R.D., Bashant, A.L., Bohn, K.K. et Verostek, J.M.** 2006. Interference to hardwood regeneration in northeastern North America: controlling effects of American beech, striped maple, and hobblebush. *Northern Journal of Applied Forestry* **23**(2): 122–132.
- Ontario Ministry of Natural Resources (OMNR).** 1983. *Management of tolerant hardwoods in the Algonquin Provincial Park*. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Toronto (Ontario) Canada.
- Ouellet, D. et Fournier, F.** 2009. *Une initiative de recherche visant l'amélioration de la compétitivité de l'industrie des feuillus*. Faits sur la fibre 005. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts - Centre canadien sur la fibre de bois, Ottawa (Ontario) Canada.
- Patterson, S.L., Zak, D.R., Burton, A.J., Talhelm, A.F. et Pregitzer, K.S.** 2012. Simulated N deposition negatively impacts sugar maple regeneration in a northern hardwood ecosystem. *Journal of Applied Ecology* **49**(1): 155–163.
- Plonski, W.L.** 1974. *Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario*. Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario, Toronto (Ontario) Canada.
- Roberge, M.R.** 1975. Effect of thinning on the production of high-quality wood in a Quebec northern hardwood stand. *Revue canadienne de recherche forestière* **5**(1): 139–145.
- Roberge, M.R.** 1987. *Aménagement d'une bétulaie jaune à érables par la coupe par groupes : résultats de 15 ans*. (Management of a yellow birch-maple stand by cutting in groups: 15-year results). Rapport d'information LAU-X-72. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec) Canada.
- Roberge, M.R.** 1988a. *Évolution d'une érablière à bouleau jaune soumise à différents traitements en 1966*. (Development of sugar maple-yellow birch stand following various treatments in 1966). Rapport d'information LAU-X-82B. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec) Canada.
- Roberge, M.R.** 1988b. *Vingt ans d'aménagement par groupes d'une bétulaie jaune à érables*. (Twenty years of group management in a yellow birch-sugar maple stand). Rapport d'information LAU-X-81B. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – Centre de foresterie des Laurentides, Québec (Québec) Canada.
- Robertson, S. et Myketa, D.** 1998. *The selection silvicultural system as related to vegetation management*. Northwest Science and Technology Note TN-44. Ministère des Ressources naturelles de l'Ontario, Thunder Bay (Ontario) Canada.
- Rowe, J.S.** 1972. *Les régions forestières du Canada*. Publication n° 1300. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa (Ontario) Canada.
- Sendak, P.E. et Leak, W.B.** 2000. Hardwood quality development in the White Mountains of New Hampshire. *Northern Journal of Applied Forestry* **17**(1): 9–19.

- Simpson, R. et Coy, D.** 1999. *Atlas écologique de la défoliation causée par les insectes forestiers au Canada de 1980 à 1996*. Rapport d'information M-X-206F. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts - Centre de foresterie de l'Atlantique, Fredericton (Nouveau-Brunswick), Canada.
- Smallridge P. et Nyland, R.D.** 2009. *Woodland guidelines for the control and management of American beech*. Forest Connect Fact Sheet Series. Cornell University Cooperative Extension, Ithaca (New York) É.-U.
- Smith, D.M.** 1986. *The practice of silviculture*. Eighth edition. John Wiley & Sons Inc., New York (New York) É.-U.
- Solomon, D.S.** 1977. *The influence of stand density and structure on the growth of northern hardwoods in New England*. Research Paper NE-362. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Strong, T.F., Erdmann, G.G. et Niese, J.N.** 1995. Forty years of alternative management practices in second-growth, pole size northern hardwoods. I. Tree quality development. *Canadian Journal of Forest Research* **25**(7): 1173–1179.
- Trimble, G.R. Jr.** 1968. *Growth of Appalachian hardwoods as affected by site and residual stand density*. Research Paper NE-98. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Tubbs, C.H.** 1965. *Influence of temperature and early spring conditions on sugar maple and yellow birch germination in upper Michigan*. Research Note LS-72. USDA Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, St. Paul (Minnesota) É.-U.
- Tubbs, C.H. et Houston, D.R.** 1990. *Fagus grandifolia* Ehrh. American beech. Pages 325–332 dans R.M. Burns et B.H. Honkala, coordonnateurs techniques. *Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods*. USDA Forest Service Agricultural Handbook 654. USDA, Washington (D.C.) É.-U.

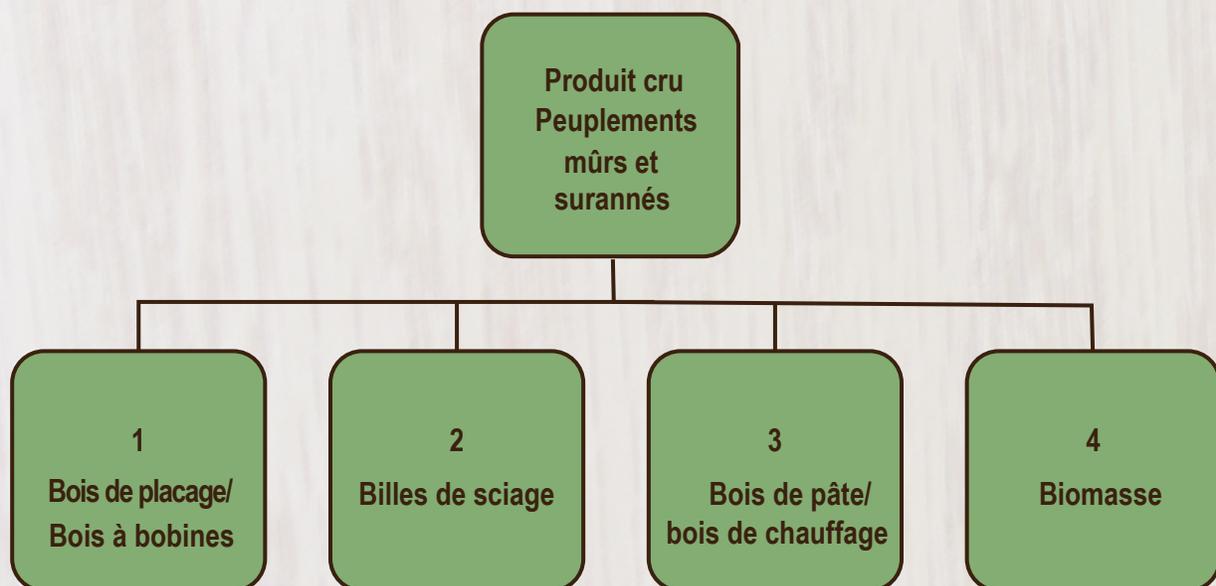
- Tubbs, C.H. et Reid, B.D.** 1984. Logging season affects hardwood reproduction. *Northern Journal of Applied Forestry* **1**(1): 5–7.
- Vanderwel, M.C., Thorpe, H.C., Shuter, J.L., Caspersen, J.P. et Thomas, S.C.** 2008. Contrasting down woody debris dynamics in managed and unmanaged northern hardwood stands. *Canadian Journal of Forest Research* **38**(11): 2850–2861.
- Webster, C.E., Reed, D.D., Orr, B.D., Schmierer, J.M. et Pickens, J.B.** 2009. Expected rates of value growth for individual sugar maple crop trees in the Great Lakes Region. *Northern Journal of Applied Forestry* **26**(4): 133–140.
- Wiedenbeck, J., Wieman, M., Alderman, D., Baumgras, J. et Luppold, W.** 2004. *Defining hardwood veneer log quality attributes*. Rapport général technique NE-313. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Wink, R.A. et Allen, D.C.** 2007. The combined effects of forest tent caterpillar defoliation and timber stand improvement activity on epicormic sprouting of sugar maple and black cherry. *Northern Journal of Applied Forestry* **25**(2): 61–65.
- Wood, D., Yanai, R., Allen, D. et Wilmot, S.** 2009. Sugar maple decline after defoliation by forest tent caterpillar. *Journal of Forestry* **107**(1): 29–37.
- Yaussy, D.M.** 1993. *Method for estimating potential tree-grade distributions for northeastern forest species*. Research Paper NE-670. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Newtown Square (Pennsylvanie) É.-U.
- Zelazny, V.F. (sous la dir.générale de).** 2007. *Notre patrimoine du paysage : l'histoire de la classification écologique des terres au Nouveau-Brunswick*. 2^e édition. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, Fredericton (Nouveau-Brunswick) Canada.

Annexe I

Système du ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick pour la classification de la qualité des arbres selon les produits qu'on pourrait en tirer

(modifié d'après McDonald, 1999)

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. Bois de placage | <ul style="list-style-type: none">- 2,5 m sur les 4 premiers mètres de l'arbre- tige nette sur toutes les faces- aucun défaut important- DHP > 24 cm |
| Bois à bobines | <ul style="list-style-type: none">- bouleau blanc et frêne blanc d'Amérique- 2,5 m sur les 4 premiers mètres de l'arbre- tige nette sur les quatre faces- pas plus de deux défauts mineurs- DHP > 16 cm |
| 2. Billes de sciage | <ul style="list-style-type: none">- 2,5 m sur les 4 premiers mètres de l'arbre- tige nette sur les trois faces- pas plus de deux défauts mineurs sur les trois faces dégagées- DHP > 24 cm |
| 3. Bois à pâte et bois de chauffage | <ul style="list-style-type: none">- arbres qui ne respectent pas les critères 1 et 2- arbres dont 50 % ou plus du volume est marchand |
| 4. Biomasse | <ul style="list-style-type: none">- arbres qui ne respectent pas les critères 1, 2 et 3- arbres dont moins de 50 % du volume est marchand |



Annexe II

Personnel

FPInnovations – Produits du bois

Directeur, Service de fabrication du bois d'œuvre – Francis Fournier
Technologues principaux du Service de fabrication du bois d'œuvre :
Luc Bédard
Yves Giroux
Ghislain Veilleux
Technologue principal, Caractérisation de la ressource :
Francis Tanguay

Centre canadien sur la fibre de bois

Coordonnateur régional - Dean Toole
Chercheur scientifique - Chhun-Huor Ung
Chercheur scientifique, Caractérisation de la ressource - Isabelle Duchesne
Agent de recherche en foresterie - Edwin Swift
Technologues :
André Beaumont
Stacey Brewer
Gavin Comeau
Riley DeMerchant
Roger Gagné
Tyler Harrison
Brian Williams
Assistants de recherche d'été :
Sarah McMullin
Adam Schaubel
Katherine Standen

Le Centre canadien sur la fibre de bois réunit des chercheurs du secteur forestier afin d'élaborer des solutions responsables sur le plan environnemental pour les industries forestières du secteur de la fibre de bois du Canada. Sa mission est de produire des connaissances innovatrices qui accroîtront les débouchés économiques pour que le secteur forestier puisse tirer profit des fibres ligneuses canadiennes. Le Centre canadien sur la fibre de bois fonctionne au sein du Service canadien des forêts, mais sous l'égide du conseil d'administration de FPIInnovations.

FPIInnovations est le plus important institut de recherche forestier à but non lucratif du monde. Avec plus de 600 employés déployés à l'échelle du Canada, FPIInnovations regroupe les atouts de chacun des instituts de recherche et développement reconnus mondialement en une force plus grande et unique.

Pour de plus amples renseignements, veuillez visiter : www.FPIInnovations.ca.

De plus amples renseignements sur les travaux et les publications de Ressources naturelles Canada, du Service canadien des forêts et du Centre canadien sur la fibre de bois sont présentés sur le Web, à l'adresse : <http://ccfb.rncan.gc.ca>. Pour télécharger ou commander des exemplaires supplémentaires de ces publications, visitez notre librairie en ligne : http://scf.rncan.gc.ca/publications?lang=fr_CA

The Canadian Wood Fibre Centre brings together forest sector researchers to develop solutions for the Canadian forest sector's wood fibre related industries in an environmentally responsible manner. Its mission is to create innovative knowledge to expand the economic opportunities for the forest sector to benefit from Canadian wood fibre. The Canadian Wood Fibre Centre operates within the CFS, but under the umbrella of FPIInnovations' Board of Directors.

FPIInnovations is the world's largest private, not-for-profit forest research institute. With over 600 employees spread across Canada, FPIInnovations unites the individual strengths of each of these internationally recognized forest research and development institutes into a single, greater force.

For more information visit:
<http://www.FPIInnovations.ca>

Additional information on Natural Resources Canada, the Canadian Forest Service, and Canadian Wood Fibre Centre research and publications is also available online at: <http://cwfc.rncan.gc.ca>. To download or order additional copies of this publication, see our online bookstore at: <http://bookstore.cfs.rncan.gc.ca>.

Pour commander des publications en ligne, visitez le site Web
« Publications du Service canadien des forêts » à l'adresse :

scf.rncan.gc.ca/publications