

La forêt d'enseignement et de recherche Mousseau
Quinze années de recherche sur la coupe de jardinage
dans des peuplements de feuillus nobles
et des peuplements mixtes

Dans le cadre la tournée de l'IUFRO 1.14
« Sylviculture basée sur les perturbations naturelles –
aménagement pour la complexité »,
du 14 au 18 mai 2006

par

Steve Bédard, ing. f., M. Sc.
et
Zoran Majcen, ing. f., *Ph. D.*

avec la collaboration de
François Guillemette, ing. f., M. Sc.
et
Sébastien Meunier, ing. f., M. Sc.

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles
et de la Faune
Gouvernement du Québec
Vendredi, le 19 mai 2006

The Mousseau research and teaching forest
15 years of research on selection systems
in hardwood and mixedwood forests

Post conference tour of the IUFRO 1.14
Research Group meeting May 14-18, 2006
“Natural disturbance-based silviculture –
Managing for complexity”

by

Steve Bédard, ing. f., M. Sc.
and
Zoran Majcen, ing. f., *Ph. D.*

with the collaboration of
François Guillemette, ing.f., M.Sc.
and
Sébastien Meunier, ing.f., M.Sc.

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles
et de la Faune
Gouvernement du Québec
Friday, May 19, 2006

Remerciements

Nous tenons à remercier M. Gregory Crook pour la traduction de la version anglaise de ce document.

Acknowledgement

The authors would like to thank Mr. Gregory Crook for the English translation of the original French manuscript.

La forêt d'enseignement et de recherche Mousseau

La forêt d'enseignement et de recherche Mousseau est située près de Sainte-Véronique à environ 50 kilomètres au sud-est de Mont-Laurier et 250 km au nord-ouest de Montréal (Figure 1). D'une superficie de près de 3 600 hectares, cette forêt se trouve en plein cœur du domaine de l'érablière à bouleau jaune. Par sa diversité et son historique de perturbations, elle constitue un échantillon représentatif de ce domaine bioclimatique.

Les premiers travaux de recherche effectués dans la forêt Mousseau ont débuté en 1981, par des études écologiques et dendrométriques. Ces travaux ont permis d'acquérir des connaissances de base sur la composition, les caractéristiques de l'habitat et la croissance de la forêt de feuillus. La Direction de la recherche et du développement, maintenant la Direction de la recherche forestière (DRF), s'est d'ailleurs appuyée sur ces travaux pour entreprendre un projet de recherche appliquée portant sur les coupes de jardinage, en collaboration avec l'unité de gestion de La Lièvre. Les premiers résultats de ces études, parus en 1986, ont permis de démontrer les avantages reliés à ce type de coupe. D'ailleurs, le premier guide technique portant sur la coupe de jardinage des érablières, publié en 1990, a été élaboré en partie sur la base des expériences réalisées dans la forêt Mousseau.

L'intérêt grandissant pour l'acquisition de connaissances sur l'aménagement des forêts de feuillus a incité le gouvernement du Québec à conférer à ce territoire une vocation d'enseignement et de recherche. Ainsi, depuis sa création en 1990, la forêt Mousseau a été visitée par plusieurs groupes de forestiers et d'intervenants du milieu forestier. Les visiteurs peuvent prendre connaissance de divers types de travaux comme la coupe de jardinage par pieds d'arbres, la coupe de jardinage par trouées, la coupe progressive d'ensemencement et la coupe de succession et la coupe rase par bandes. Par ailleurs, les résultats des travaux de recherche réalisés dans la forêt Mousseau permettent déjà de vérifier certaines hypothèses de rendement de la forêt de feuillus après une première rotation de quinze ans.

Végétation

La forêt Mousseau fait partie du domaine climacique de l'érablière à bouleau jaune de GRANDTNER (1966) ou du sous-domaine bioclimacique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest de SAUCIER *et al.* (2001). L'étude de MAJCEN *et al.* (1984) confirme la prédominance des érablières à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton, *Yellow birch*) sur le territoire de la forêt Mousseau. Ces érablières sont principalement composées d'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh., *Sugar maple*), l'érable rouge (*Acer rubrum* L., *Red maple*) s'y retrouvant en faible proportion. L'essaim climacique (Figure 2) est composé de trois sous-associations faisant partie de l'érablière à bouleau jaune : typique, à hêtre et à orme d'Amérique. La sous-association typique colonise les dépôts modérément bien drainés sur les versants à

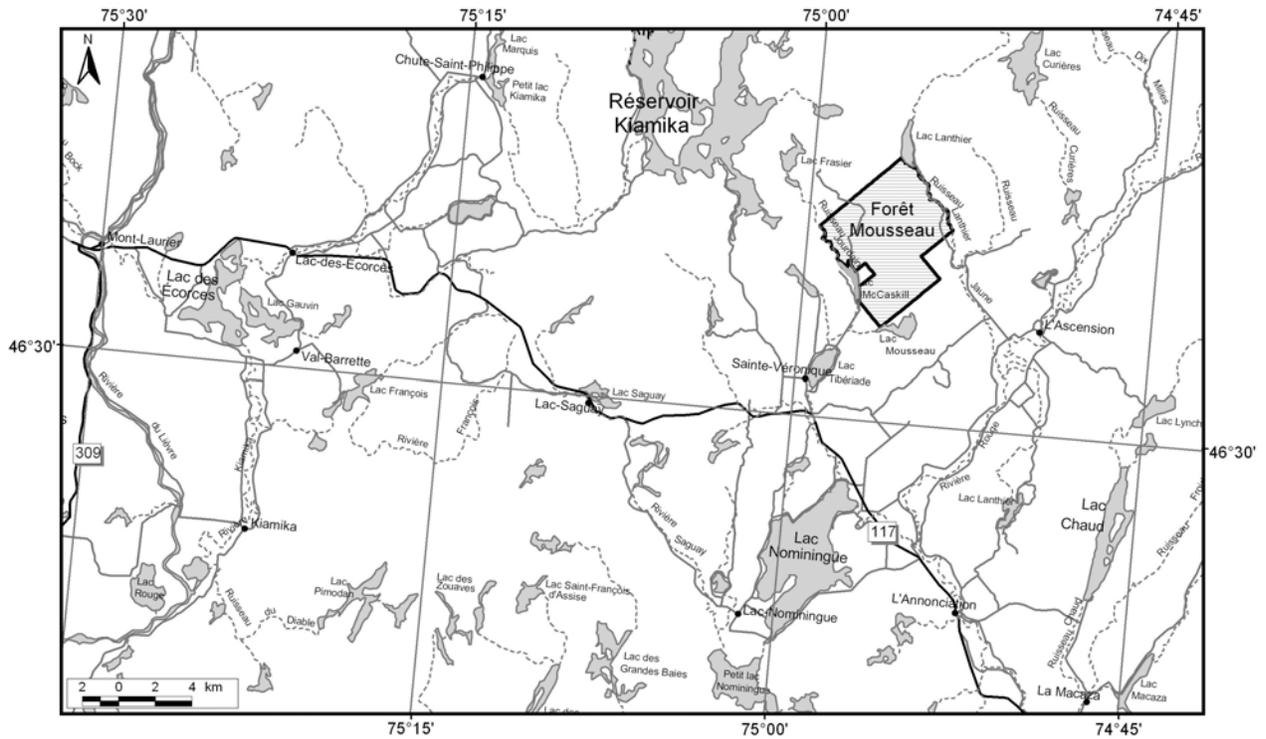
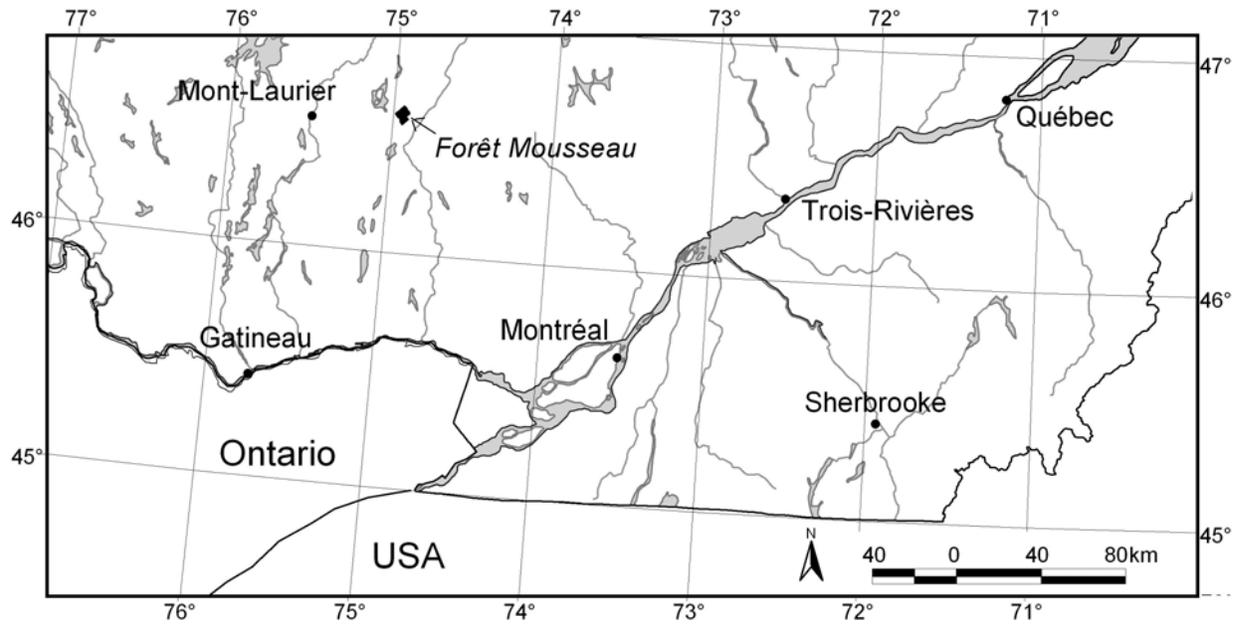


Figure 1. Situation géographique de la forêt Mousseau.

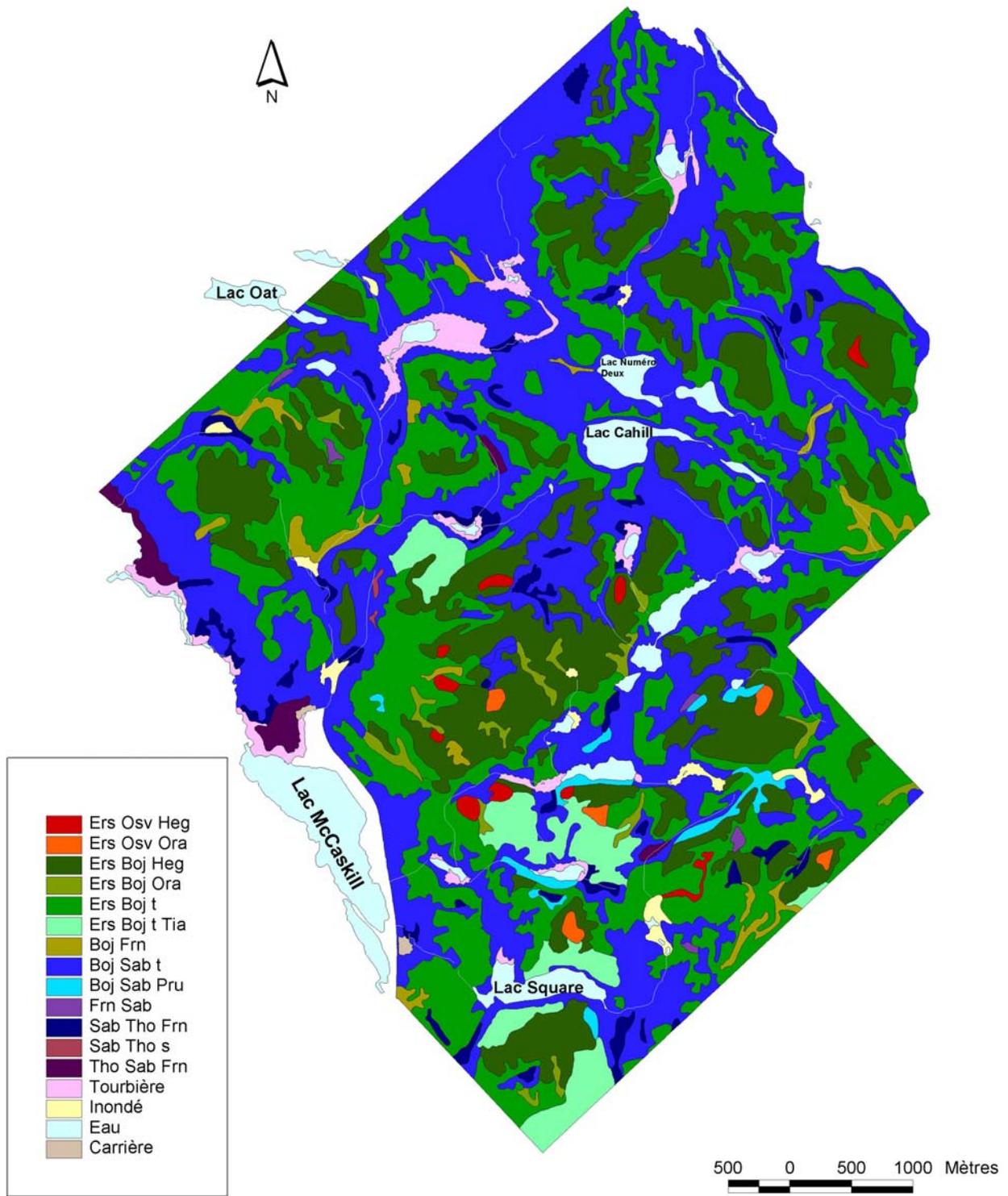


Figure 2. Végétation potentielle.

pente douce. Une variante à tilleul (*Tilia americana* L., *American basswood*) de la même sous-association se rencontre à quelques endroits dans la partie sud du territoire. La sous-association à hêtre (*Fagus grandifolia* Ehrh., *American beech*) occupe les dépôts bien drainés qui sont prédominants sur les sommets et sur les moyens et hauts versants des collines. La sous-association à orme d'Amérique (*Ulmus americana* L., *American Elm*) est beaucoup moins importante et limitée sur les dépôts imparfaitement drainés situés dans les dépressions étroites que l'on retrouve entre les collines traversées par des ruisseaux à faible débit. Lorsque le drainage devient mauvais, mais toujours en présence du drainage latéral (*seepage*), l'érable à sucre cède sa place dominante au bouleau jaune, qui forme l'association de la bétulaie à bouleau jaune et frêne noir (*Fraxinus nigra* Marsh., *Black ash*). Le frêne noir forme parfois de petits peuplements avec du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill., *Balsam fir*), sur les dépôts organiques mal drainés avec drainage latéral qu'on peut rencontrer dans les cuvettes étroites encaissées entre les pentes des collines.

À l'autre extrême, sur certains sommets des collines et le haut des versants bien ensoleillés, on trouve l'association de l'érablière à ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* [Mill.] K. Koch, *Ironwood*). Deux sous-associations ont été notés : celle à orme d'Amérique sur les dépôts bien à modérément bien drainés en présence de drainage latéral et celle à hêtre sur les dépôts bien drainés. Les surfaces occupées par ces deux groupements sont minimales et elles sont plus fréquentes dans la partie sud du territoire.

Le principal groupement édaphique de la forêt Mousseau est la bétulaie à bouleau jaune et sapin baumier typique, dont la présence est conditionnée principalement par la forte pierrosité du sol. Ce groupement colonise les bords des lacs, les buttes, les dépressions et les bas des versants. Elle peut se rencontrer aussi sur les diverses positions des versants, si le dépôt trop pierreux défavorise l'installation des érablières. La sous-association à pruche (*Tsuga canadensis* [L.] Carr., *Eastern hemlock*) de la bétulaie à bouleau jaune et sapin baumier est beaucoup plus rare et peut se rencontrer occasionnellement sur les pentes abruptes parsemées d'affleurements.

Les groupements à prédominance de conifères, tels la sapinière à thuya occidental (*Thuja occidentalis* L., *Eastern white-cedar*), le frêne noir et la cédrière à sapin baumier et frêne noir, se forment sur les dépôts organiques mal drainés des dépressions humides où la circulation externe des eaux est très lente ou inexistante.

Les groupements énumérés sont généralement considérés comme stables dans leurs milieux naturels respectifs, où ils semblent pouvoir se perpétuer sans perturbation majeure (MAJGEN *et al.* 1984). Les divers groupements composés de peupliers (faux-tremble [*Populus tremuloides* Michx., *Quaking aspen*] et à grandes dents [*Populus grandidentata* Michx., *Bigtooth aspen*]) et de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh., *Paper birch*) sont d'origine de feu et forment des stades de reconstitution sur les

stations naturelles des érablières et des bétulaies jaunes à sapin baumier. En 1981, ces groupements couvraient des surfaces importantes, mais les traitements sylvicoles qui y ont été appliqués, au cours de la première rotation de quinze ans, en ont considérablement changé la composition. Les coupes de succession réalisées dans ces peuplements visaient en premier lieu les feuillus intolérants à l'ombre rendus à maturité. Au moment de la cartographie, en 1981, les groupements de reconstitution les plus fréquents ont été les tremblaies à érable à sucre typique et à hêtre, les érablières avec faciès à tremble (les trembles adultes épars dans une érablière), la tremblaie à bouleau jaune et sapin baumier typique et la bétulaie à bouleau jaune et sapin baumier typique avec faciès à tremble ou à bouleau à papier.

Les coupes de forte intensité réalisées par le passé, qui ont affecté les bétulaies à bouleau jaune et sapin baumier, ont été à l'origine de la formation des broussailles de cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* L.f., *Pin cherry*) avec des conifères épars ou de groupes importants de cerisier de Pennsylvanie parmi les bouleaux jaunes et les sapins (faciès à cerisier de Pennsylvanie). Les concentrations des peuplements avec du cerisier de Pennsylvanie ont été trouvés uniquement sur des petites surfaces, près de la limite nord du territoire.

Établissement des unités expérimentales

La Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles avait comme objectif d'établir un bloc expérimental composé d'une unité témoin et d'une unité coupée, dans chacun des quinze compartiments de la forêt Mousseau. Les expériences prévoyaient au départ des coupes de jardinage de diverses intensités, des coupes de succession et des coupes à blanc par bandes. Ces dernières devaient être réalisées sur des surfaces restreintes. Au cours des années, d'autres expériences ont été ajoutées comme la coupe progressive d'ensemencement, la scarification mécanique du sol dans le but de régénérer le bouleau jaune, la coupe à blanc dans deux parquets, la coupe par trouées de diverses grandeurs dans l'érablière à bouleau jaune typique et dans la bétulaie à bouleau jaune et sapin baumier. La figure 3 présente la localisation sur le territoire des unités expérimentales ainsi que leur année d'établissement.

Coupe de jardinage et de succession

Les expériences dans les coupes de jardinage et de succession comprennent, d'une part, une unité de 2 ha dans la partie coupée du peuplement et d'autre part une unité d'un hectare dans la partie non coupée (témoin). Les unités ont été subdivisées en sous-placettes de forme carrée de 50 m de côté (0,25 ha chacune) formant un rectangle de 100 m sur 200 m dans la partie coupée et un rectangle de 100 m sur 100 m pour le témoin. En 1983 et 1984 seulement, la surface des placettes témoins a été de 2 ha comme dans le cas des unités coupées.

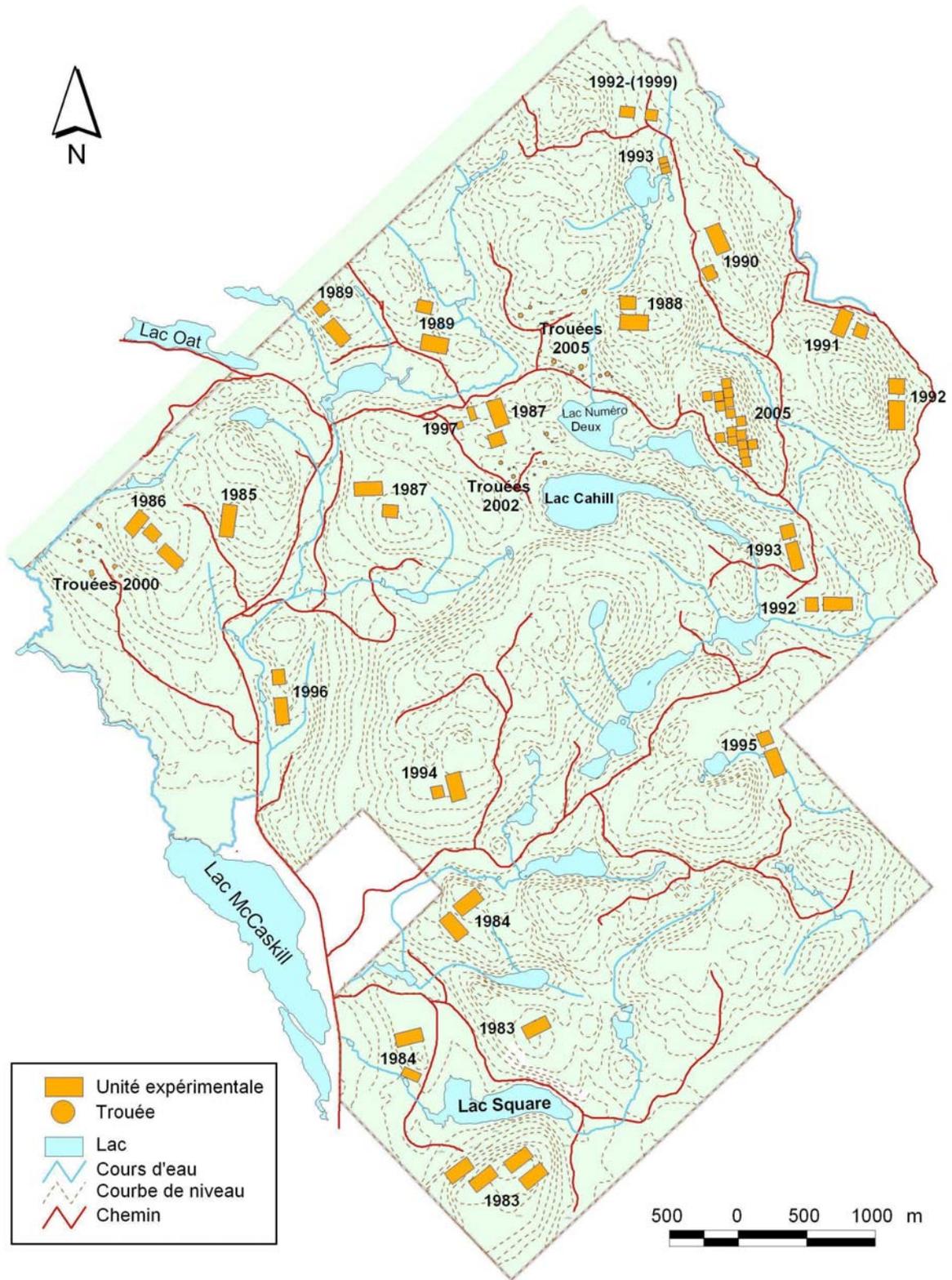


Figure 3. Localisation des unités expérimentales

Dans toutes les unités, les tiges de 1,1 cm et plus de diamètre à hauteur de poitrine (dhp) ont été mesurées au compas forestier et classées par classes de 2 cm. Les tiges de 9,1 cm ont été marquées au dhp au moyen d'un marqueur d'écorce (*bark scriber*) et étiquetées avec des étiquettes en plastique agrafées sur les arbres. La prise de mesure a été réalisée avant la coupe, immédiatement après la coupe et dix ans après. Dans les secteurs où la deuxième rotation avait commencé, les mesures ont été réalisées avant la deuxième coupe, soit après quinze ans, et immédiatement après cette deuxième coupe. Autour des unités prévues pour la coupe et les témoins, une bande de protection de 25 m de largeur a été délimitée dans le but d'éviter l'effet de bordure. L'intensité de la coupe à l'intérieur de la bande de protection a été la même que dans les limites de l'unité jardinée. Les témoins et leur bande de protection ont été conservés intacts (aucune coupe).

À l'intérieur des unités témoins et coupées, dans deux placettes de 0,25 ha, les tiges de 9,1 cm de dhp ont été numérotées à la peinture blanche et mesurées au galon circonférentiel, au millimètre près, après la coupe et ensuite aux cinq ans. Ces tiges ont été examinées avec précision et tous les défauts trouvés sur les tiges ont été inscrits sur les fiches préparées à cette fin.

La régénération a été étudiée dans des placettes de 4 m² (1 m sur 4 m). Dans les unités traitées, il y avait dix placettes de régénération alors que dans les témoins, il y en avait cinq. Les semis de toutes les espèces ligneuses commerciales et non commerciales ont été dénombrées à l'intérieur des placettes, selon différentes classes de développement (hauteur < 20 cm; hauteur entre 20 et 50 cm; hauteur entre 50 et 100 cm; hauteur > 100 cm et dhp < 1 cm; dhp > 1 cm).

L'équipe de la DRF a réalisé le marquage des arbres pour la coupe, selon les principes du jardinage, dans deux placettes contiguës de 1 ha. Les principaux facteurs pris en compte lors du marquage ont été : la surface terrière marchande, la distribution diamétrale des tiges, la vigueur des tiges et la composition en essence du peuplement. Le marquage s'est ainsi effectué selon une distribution théorique des tiges (facteur q) et les priorités des récoltes ont été définies selon les essences présentes et la vigueur des tiges. L'objectif du marquage était d'assainir le peuplement, en prélevant en priorité les tiges de faible vigueur, qui avaient le moins de chance de survivre jusqu'à la prochaine rotation, dans toutes les classes de diamètre ainsi que les essences non désirées. Le pourcentage de prélèvement moyen visé était de 30 % jusqu'à concurrence de 10 m²/ha afin d'assurer la stabilité du peuplement après la coupe. Parmi les défauts qui altéraient le plus souvent les tiges, on retrouvait les caries et les trous causés par les chancre et les champignons ainsi que les bris de cimes. Les coupes de succession ont été réalisées sans aucun marquage préalable, lorsque les tiges d'essences intolérantes à l'ombre rendues à maturité dépassaient 30 % de la surface terrière du peuplement. Dans le cas des tiges arrivées à maturité et éparées d'espèces intolérantes à l'ombre, elles ont été prélevés avec les tiges de faible vigueur des autres essences.

Dispositifs d'étude de la régénération dans les trouées

Un dispositif de coupe par trouées a été installé en 2000 dans une érablière à bouleau jaune. L'objectif était de connaître le développement de la régénération dans des trouées de trois dimensions différentes soit : 15, 25 et 35 m de diamètre. Le traitement (grandeur de trouée) a été attribué de façon aléatoire aux endroits propices à l'installation des trouées (présence de semenciers, drainage mésique, sols assez profonds). Le dispositif comprend douze trouées (quatre répétitions de trois dimensions). De plus, une trouée de chaque dimension a été clôturée deux ans après la coupe, afin d'exclure la présence du cerf de Virginie. Dans chaque trouée, des placettes-échantillons de 25 m² (5 m sur 5 m) ont été installées selon deux axes (nord-sud et est-ouest). Ces placettes sont utilisées pour évaluer la préparation de terrain et le recouvrement des espèces végétales. À l'intérieur de ces placettes, quatre sous-placettes de 1 m sur 1 m ont été établies afin de dénombrer l'ensemble des semis selon les mêmes classes de hauteur que définies dans la section précédente.

En 2002, un autre dispositif a été installé dans une bétulaie jaune à sapin baumier. L'objectif de ce dispositif est le même que pour le dispositif décrit précédemment. Tout comme dans le dispositif établi en 2000 dans l'érablière, celui-ci comprend douze trouées. Le traitement (dimension de la trouée) a été attribué de façon aléatoire aux endroits propices à l'installation des trouées. Trois dimensions différentes ont été expérimentées (10, 15, 25 m de diamètre). De plus, une trouée de chaque dimension a été clôturée afin d'empêcher le broutement du cerf de Virginie. Des relevés de régénération ont été réalisés en 2005 selon la méthodologie décrite précédemment. Un autre dispositif utilisant la même méthodologie a été établi en 2005 dans une érablière à bouleau jaune. Ce dispositif est composé de quinze trouées de trois grandeurs différentes (15, 25 et 35 m de diamètre) et chaque grandeur a été répétée cinq fois.

Dispositif de coupes partielles avec des surfaces terrières résiduelles variables

En 2005, un nouveau dispositif visant à comparer l'effet de différentes surfaces terrières résiduelles a été établi dans une érablière à bouleau jaune et hêtre. Le dispositif comporte quatre traitements : témoin (aucune coupe), et trois intensités de coupe de jardinage (15, 30 et 40 % de la surface terrière). Le dispositif est disposé en bloc complet aléatoire avec des unités expérimentales de 50 m sur 50 m dans lesquelles un suivi dendrométrique est effectué dans des parcelles de 30 m sur 30 m. En plus des variables dendrométriques habituellement présent, les tiges ont été localisés à l'intérieur des unités expérimentales et la classe MSCR (BOULET 2005) a été notée ainsi que tous les défauts externes visibles sur chaque tige. En 2005, les tiges qui ont été récoltées ont toutes été tronçonnées et mesurées afin de connaître le volume récolté par classe de qualité selon la classification développée par PÉTRO et CALVERT (1976) et par le MRN (2000). Les analyses des données après traitement débuteront en 2007.

Coupe de jardinage par pieds d'arbres (Arrêt n° 1)

Problématique

Les érablières sont les peuplements les plus répandus dans la zone des forêts de feuillus du Québec méridional. Par le passé, les coupes à diamètre limite ont été les plus fréquemment pratiquées dans ces forêts. Cette pratique, dans bien des cas, laissait sur pied les arbres de moindre qualité, diminuant ainsi le potentiel des peuplements exploités. En outre, lorsque l'intensité de la coupe était trop forte, la coupe à diamètre limite engendrait des problèmes de régénération. Vers la fin des années 1970, les autorités gouvernementales ont cherché des méthodes alternatives à la coupe à diamètre limite. C'est ainsi que l'expertise scientifique et technique de la Direction de la recherche forestière (DRF) fut sollicitée. Dans un premier temps, les travaux de la DRF ont surtout porté sur l'étude de la dynamique naturelle des forêts feuillues et mélangées du sud-ouest québécois (MAJCEN *et al.* 1984 et 1985). Ces études ont démontré que les érablières formaient, dans bien des cas, des peuplements à structure inéquienne caractérisés par un mélange de tiges d'âges et de dimensions variées. Les résultats obtenus ont également montré que ces peuplements présentaient une courbe de distribution diamétrale en forme de « J inversé » se rapprochant de la distribution théorique de Liocourt. Ces observations ont également été rapportées dans des érablières du nord-est des États-Unis par de nombreux chercheurs (ARBOGAST 1957, TRIMBLE *et al.* 1974, MARQUIS 1976, CROW *et al.* 1981, SMITH et LAMSON 1982, LEAK et GOTTSACKER 1985 et NYLAND 1987). Ces derniers proposaient des modèles d'aménagement qui favorisaient le maintien de la distribution des tiges selon le modèle de Liocourt par des coupes de jardinage. En s'inspirant des travaux des chercheurs aux États-Unis et des connaissances acquises sur la structure et l'accroissement des forêts de feuillus naturelles au Québec, les coupes de jardinage ont été mis en pratique au début des années 1980 (MAJCEN 1994). L'objectif était de pratiquer une sylviculture mieux adaptée aux caractéristiques des érablières et d'améliorer leur qualité tout en favorisant la régénération des essences désirées. L'hypothèse de départ est que les coupes de jardinage pourraient se pratiquer selon une rotation pouvant varier de 15 à 20 ans, tout en conservant la structure diamétrale en « J inversé ».

Caractéristiques du peuplement avant et après la coupe

Cette érablière à bouleau jaune et hêtre (EBH) fait partie du dispositif expérimental de suivi des coupes de jardinage de la forêt Mousseau. Les coupes ont été effectuées en 1985 et 1986 et une partie du peuplement a été laissée comme témoin. Le prélèvement visait la récolte des tiges les moins vigoureuses dans toutes les classes de diamètre (Figure 4). Le tableau 1 présente les caractéristiques dendrométriques de la placette témoin et des placettes jardinées, avant et après la coupe

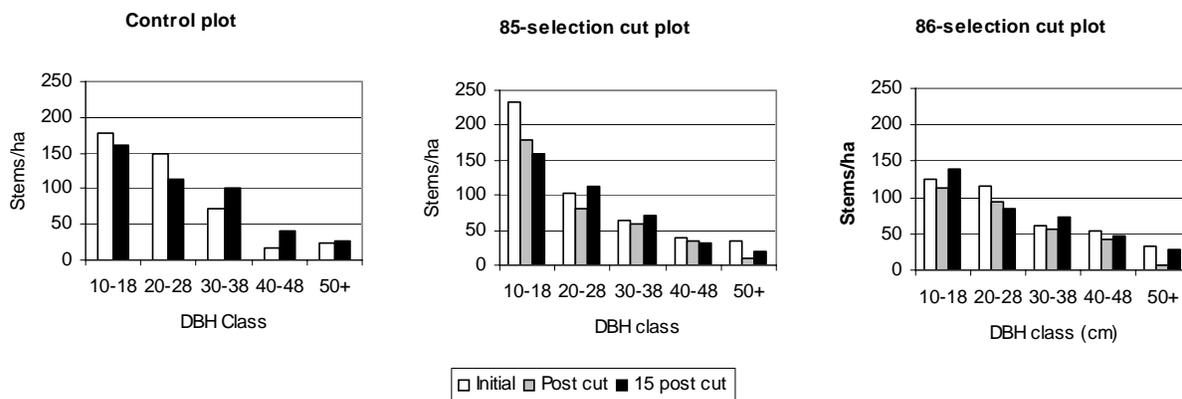


Figure 4. Diameter distribution

Tableau 1. Surface terrière et volume marchand selon l'essence, avant et après la coupe

Plot	Period	Basal area (m ² /ha)	Removal (%)	m ³ /ha	Merchantable volume (%)				
					SM	YB	AB	BA	Other
Control	No cut	24.9		212	98		2	-	< 1
85-selection cut	Before cut	27.5		240	90	6	3	-	< 1
	Post cut	18.7	32	157	95	2	2	-	1
86-selection cut	Before cut	28.4		257	88	1	11	-	< 1
	Post cut	19.1	33	167	83	2	15	-	< 1

Note : SM : sugar maple, YB : yellow birch, AB: American beech, BA: American basswood

Résultats

Accroissements annuels périodiques

Les accroissements annuels périodiques en surface terrière sont présentés au tableau 2.

Tableau 2. Accroissements annuels périodiques en surface terrière

Plot	Initial BA (m ² /ha)	Survivor	Ingrowth	Gross growth (m ² /ha/yr)	Mortality	Net growth
Control	24.9	0.49	0.03	0.52	0.20	0.33
85-selection cut	18.7	0.40	0.05	0.45	0.12	0.33
86-selection cut	19.1	0.48	0.05	0.53	0.03	0.49

Régénération

Le tableau 3 illustre le nombre de gaules à l'hectare dans les placettes témoins et traitées. Le bouleau jaune a profité de la coupe dans plusieurs blocs et particulièrement dans 85-selection plot, 86-selection plot. Dans ces derniers, le nombre de gaules de bouleau jaune se compte par centaines et représentent une proportion importante parmi les autres espèces. Les gaules de bouleau jaune sont abondantes dans les endroits où les arbres sont plus espacés et où les rayons du soleil pénètrent au moins une partie de la journée. Il s'agit généralement des petites ouvertures de 100 à 400 m² créées après le prélèvement de grosses tiges ou de petits groupes de deux ou trois tiges. Le succès de cette régénération est aussi attribuable aux bonnes années semencières de bouleau jaune et à la scarification du sol par le débusquage des tiges lors de l'exploitation automnale.

Tableau 3. Nombre de gaules quinze ans après la coupe

Plot	Period	SM	YB	AB	Other commercial	Total commercial	Total non commercial
.....(Stems/ha).....							
Control	Initial	1196	10	70	8	1284	-
	15 yr after	1544	20	306	20	1890	2
85-selection cut	Initial	528	18	46	-	592	6
	15 post-cut	2154	830	904	64	3952	272
86-selection cut	Initial	1176	56	248	8	1488	80
	14 post-cut	2646	494	794	12	3946	140

Note : SM : sugar maple, YB : yellow birch, AB: American beech.

Le hêtre livre souvent une sérieuse concurrence à l'érable à sucre et au bouleau jaune après la coupe de jardinage. Comme il s'agit d'une espèce très tolérante à l'ombre, elle se développe aussi dans les témoins. Le nombre de gaules de hêtre est régulièrement disproportionné à son avantage par rapport à la surface terrière de cette espèce dans les peuplements. Il est avantagé par rapport aux essences de plus grande valeur par le développement des drageons en grand nombre sur les racines des vieux hêtres (BOHN et NYLAND 2003). Selon HORNBECK et LEAK (1992) les drageons du hêtre présentent 50 % de la régénération totale de cette espèce. La prolifération des gaules de hêtre au détriment des autres essences au Québec a été signalée par MAJCEN 1997, MAJCEN et BÉDARD 2000 et BÉDARD et MAJCEN 2001.

Les gaules d'espèces commerciales comptées ensemble sont largement dominantes par rapport aux espèces non commerciales, autant pour les unités jardinées que dans les témoins et ce, dans tous les blocs de la forêt Mousseau.

Coupe de jardinage dans les bétulaies jaunes à sapin (Arrêt n° 3)

Problématique

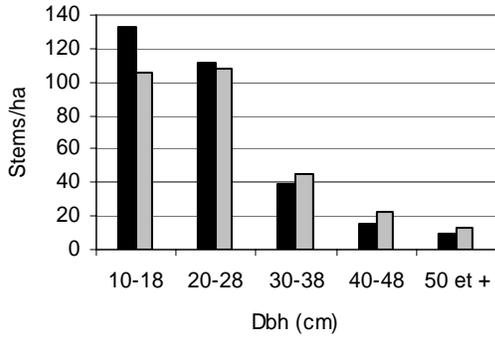
Les bétulaies jaunes à sapin se retrouvent à la fois dans les domaines de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau jaune. Il semble que la structure de ces peuplements dans cette région soit inéquienne, mais elle présente une distribution diamétrale plus irrégulière que les érablières (MAJCEK *et al.* 1987). La dynamique des bétulaies jaunes à sapin est peu documentée, mais la présence du sapin baumier viendrait modifier, de façon plus régulière que dans les érablières, la composition, la structure d'âge et la distribution diamétrale de ces peuplements en raison de la courte longévité et de la vulnérabilité de cette espèce aux chablis et aux épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Les pratiques sylvicoles antérieures ne visaient pas le maintien ou l'atteinte d'une structure diamétrale équilibrée, mais elles ont tout de même permis de conserver, dans bien des cas, une structure irrégulière qui se rapprochait plus ou moins d'une courbe en « J inversé ». La pratique de la coupe de jardinage dans ces peuplements est peu documentée. Toutefois, elle est recommandée pour les peuplements mixtes dans le nord-est des États-Unis (LEAK *et al.* 1987), et elle a été expérimentée dans les peuplements résineux de sapin et d'épinette (FRANK et BJORKBOM 1973, FRANK et BLUM 1978, Kenefic *et al.* 2005). Les travaux entrepris à la forêt Mousseau sont les premiers à avoir été effectués pour ce traitement dans ce type de peuplement. D'autres travaux devraient être entrepris afin d'expérimenter divers types de coupes partielles dans ce type de peuplement.

Caractéristiques du peuplement avant et après la coupe

Cette bétulaie jaune à sapin a été coupée une première fois en 1987 et par la suite en 2002. La figure 5 et le tableau 4 présente les caractéristiques dendrométriques de la placette témoin et de la placette jardinée avant et après la coupe de 1987.

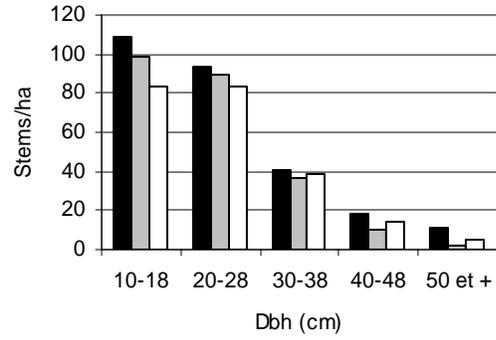
Control plot

Hardw ood species

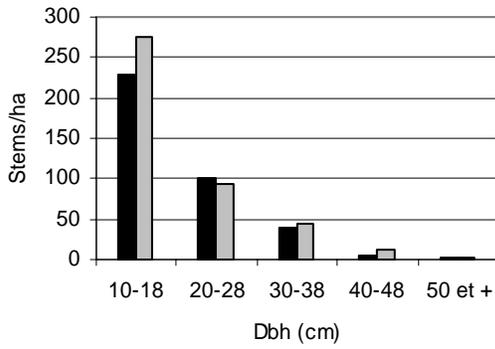


Selection plot

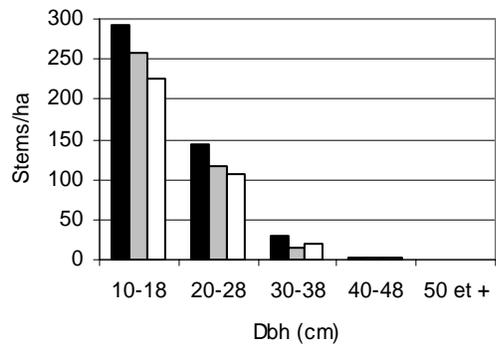
Hardw ood species



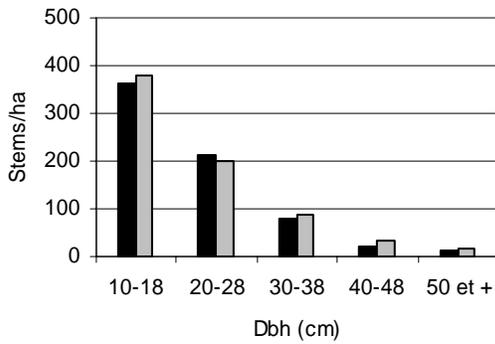
Softw ood species



Softw ood species



All species



All species

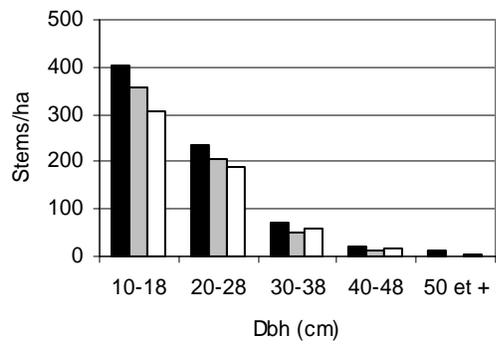


Figure 5. Diameter distribution

Tableau 4. Surface terrière et volume marchand, avant et après la coupe

Plot	Period	Basal area m ² /ha	Removal (%)	m ³ /ha	Merchantable volume (%)					
					YB	RM	BF	SPR	Other HW	Other SW
Control	No cut	28.9		216	51.3	10.1	20.3	14.0	3.7	0.4
87-selection cut	initial	27.3		203	45.3	2.3	38.6	11.6	2.2	-
	Post-cut	21.1	23%	151	40.9	3.6	36.3	15.8	3.3	-

Note : YB : yellow birch, RM : red maple, BF: balsam fir, SPR : spruces (*Picea* spp.), HW : hardwood, SW : softwood.

Résultats

Tableau 5. Accroissements annuels périodiques en surface terrière

Plot	Species	Initial	Post-	Removal	Gross growth	Mortality	Net growth
		B.A. (m ² /ha)	cut B.A. (m ² /ha)				
87-Control	HW	18.1	-	-	0.20	0.17	0.03
	SW	10.8	-	-	0.32	0.12	0.20
	All	28.9	-	-	0.52	0.29	0.23
87-Selection cut	HW	12.7	9.5	3.2	0.21	0.05	0.16
	SW	14.6	11.6	3.0	0.38	0.31	0.07
	All	27.3	21.1	6.2	0.59	0.36	0.23

Note : HW : hardwood, SW : softwood.

Régénération

Les résultats de la régénération sont présentés au tableau 6.

Tableau 6. Nombre de gaules 10 ans après la coupe

Plot	Period	YB	Other Hardwoods	Softwoods	Total Commercial species	Total non commercial species
87 Control	Initial	36	46	642	724	196
	10 yr	28	74	785	887	423
87 Selection	Post-cut	14	47	234	295	162
	10 yr post-cut	36	177	263	477	1 365

Note : YB : yellow birch.

Dispositifs de trouées dans l'érablière à bouleau jaune (Arrêt n° 2) et dans la bétulaie jaune à sapin (Arrêt n° 4)

Problématique

La coupe de jardinage par pieds d'arbres favorise généralement la régénération des espèces tolérantes à l'ombre (LEAK et WILSON 1958, BLUM et FILIP 1963, CROW et METZGER 1987, LAMSON et SMITH 1991, ANDERSON *et al.* 2001). Les espèces les plus tolérantes à l'ombre au Québec sont l'érable à sucre, le hêtre à grandes feuilles, l'ostryer de Virginie, le sapin baumier, la pruche de l'Est et l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg., *Red spruce*). La création de petites ouvertures dans le peuplement favoriserait les essences peu tolérantes à l'ombre, comme le bouleau jaune, le chêne rouge (*Quercus rubra* L., Red oak) et le pin blanc (*Pinus strobus* L., Eastern white pine; EYRE et ZILLGITT 1953, ARBOGAST 1957, LEAK *et al.* 1987, ROBITAILLE et MAJCEN 1991, LESSARD *et al.* 1999, ANDERSON *et al.* 2001, RAYMOND *et al.* 2003). Le fait de maintenir un ombrage partiel crée des conditions moins propices au développement des essences les plus intolérantes à l'ombre.

Le but est donc l'étude de la dynamique de la régénération à la suite de coupes par trouées effectuées pour favoriser la régénération du bouleau jaune. Les objectifs sont :

- déterminer la dimension des trouées favorables à la régénération et au développement du bouleau jaune;
- comparer la croissance et la qualité des tiges dans les trouées et sous couvert partiel;
- quantifier les effets du broutement du cerf de Virginie sur la régénération.

La méthodologie a été décrite précédemment (p. 10) et les résultats seront analysés et publiés au cours des années à venir.

Références bibliographiques

- ANDERSON, H.W, E.P. BOYSEN, D.C. DEY et J.A. RICE, 2001. *Natural regeneration of hardwoods (Chapter 20)*. Dans : Wagner, R.G. et S.J. Colombo : Regenerating the Canadian Forest : Principles and Practices for Ontario. Fitzhenry et Witheside. p. 393-421.
- ARBOGAST, C., Jr., 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. U.S. For. Serv., Lake States For. Exp. Stn., Stn. Pap. No. 56, 21.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCEN, 2001. *Ten-year response of sugar maple-yellow birch-beech stands to selection cutting in Québec*. North. J. Appl. For. 18(4) : 119-126.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCEN 2003. *Growth following selection cutting in Québec Northern hardwoods*. For. Chron. 79 (5) : 898-905.
- BLUM, B.M. et S.M. FILIP, 1963. A demonstration of four intensities of management in northern hardwoods. U.S. Dept. Agr., For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA.
- BOHN, K.K. et R.D. NYLAND, 2003. *Forecasting development of understory American beech after partial cutting in uneven-aged northern hardwoods stand*. For. Ecol. and Manag. 180 : 453-461.
- CROW, T.R. et F.T. METZGER, 1987. *Regeneration under selection cutting*. Dans : Proc. Managing northern hardwoods. Nyland, R.D. (ed.). N.Y. State Univ. Coll., Environ. Sci. For. Syracuse. Tech. Publ. No. 13 (ESF 87-002) (Soc. Am. For. Publ. No. 87-03). p. 81-94.
- CROW, T.R., C.H. TUBBS, R.D. JACOBS et R.R. OBERG, 1981. *Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands*. U.S. For. Serv., Resp. Pap. NC-199. 16 p.
- EYRE, F.H. et W.M. ZILLGITT, 1953. *Partial cutting in northern hardwoods of the lake states*. Lake States For. Exp. Stn., Washington, DC.
- FRANK, R.F. et J.C. BJORKBOM, 1973. *A silvicultural guide for spruce-fir in the northeast*. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. NE-6. 29 p.
- FRANK, R.F. et B.M. BLUM, 1978. *The selection system of silviculture in spruce-fir stands-procedure, early results, and comparisons with unmanaged stands*. USDA For. Serv., Res. Pap. NE-425. 15 p.

- HORNBECK, J.W. et W.B. LEAK, 1992. *Ecology and management of northern hardwood forests in New England*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-159. 44 p.
- KENEFIC, L.S., P.E. SENDAK et J.C. BRISSETTE, 2005. *Comparison of fixed diameter-limit and selection cutting in northern conifers*. North. J. Appl. For. 22(2) : 77-84.
- LAMSON, N.I. et H.C. SMITH, 1991. *Yields of Appalachian hardwood stands managed with single-tree selection for at least 30 years*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Radnor, PA.
- LEAK, W.B. et J.H. GOTTSACKER, 1985. *New approaches to uneven-age management in New England*. North. J. Appl. For. 2(1) : 28-31.
- LEAK, W.B. et R. WILSON, Jr., 1958. *Regeneration after cutting of old-growth northern hardwoods in New Hampshire*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Pap. 103. 8 p.
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et P.S. DEBALD, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. USDA For. Serv., Res. Pap. NE-603. 35 p.
- LESSARD, G., T. RYABEL, D. BLOUIN, M. HUOT, R. JOBIDON, C. CAMIRÉ et C. OLMIER, 1999. *L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec*. L'Aubelle.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1984. *Écologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec. Étude de douze secteurs forestiers*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ressources, Service de la rech. Mémoire n° 85. 334 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1985. *Composition, structure et rendement des érablières dans cinq secteurs de la région de l'Outaouais*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ressources, Dir. de la rech. et du dév. Mémoire n° 88. 130 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1987. *Composition, structure et rendement des tremblaies à érable à sucre et des bétulaies jaunes à sapin baumier dans trois secteurs forestiers du sud-ouest québécois*. Gouv. du Québec, min. Énergie et Ress., Serv. de la rech. Rapport interne n° 287, 109 ages.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD, M. MÉNARD et Y. GRENIER, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de rech. for. n° 96. 95 p.

- MAJCEN, Z. et Y. RICHARD, 1992. *Résultats après cinq ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière*. Can. J. For. Res. 22 : 1623-1629.
- MAJCEN, Z., 1994. *Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec*. Revue forestière française, numéro 4 : 375-384.
- MAJCEN, Z., 1995. *Résultats après 10 ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de rech. for. n° 122. 23 p.
- MAJCEN, Z. et Y. RICHARD, 1995. *Coupe de jardinage dans six régions écologiques du Québec : Accroissement quinquennal en surface terrière*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de rech. for. n° 120. 22 p.
- MAJCEN, Z., 1996. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans cinq secteurs forestiers : Accroissement quinquennal en surface terrière et état de la régénération*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Note de rech. for. n° 70. 20 p.
- MAJCEN, Z., 1997. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs forestiers : accroissement décennal en surface terrière et état de la régénération*. Gouv. du Québec, min. des Ressources naturelles, Dir. de la rech. forestière. Mémoire de rech. for. n° 129. 48 p.
- MAJCEN, Z. et S. BÉDARD. 2000. *Accroissement après 15 ans dans une érablière à la suite de coupes de jardinage de diverses intensités*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for., Note de rech. for. n° 98. 12 p.
- MARQUIS, D., 1976. *Application of uneven-aged silviculture and management in public and private lands*. Dans : Uneven-aged silviculture and management in the United States. U.S. Dept. of Agric., Forest Serv., Timber Man. Research, Washington, D.C., Gen. Tech. Rep. Wo-24, p. 25-61.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 2000. *Grille de classification pour les billes de sciage non conventionnelles*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de l'assistance technique. 1 p.
- NYLAND, R.D., 1987. *Selection system and its application to uneven-aged northern hardwoods*. Dans : Managing northern hardwoods. Proceedings of a silvicultural Symposium, 23-25 June 1986. State university of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York. Faculty of For. Misc. Pub. No. 13 (ESF 87-002). Soc. of Amer. Forest. Pub. No. 87-03. p. 49-80.

PÉTRO, F.J. et W. CALVERT, 1976. *La classification des billes de bois franc destinée au sciage*. Pêche et Environnement Canada. Service des forêts. 69 p.

RAYMOND, P., A.D. MUNSON, J.-C. RUEL et P. NOLET, 2003. *Group and single-tree selection cutting in mixed tolerant hardwood–white pine stands : Early establishment dynamics of white pine and associated species*. For. Chron. 79 : 1093-1106.

ROBITAILLE, L. et Z. MAJGEN, 1991. *Traitements sylvicoles visant à favoriser la régénération et la croissance du bouleau jaune*. L'Aubelle 82 : 10-12.

SMITH, H.C. et N.I. LAMSON, 1982. *Number of residual trees. A guide for selection cutting*. Broomall, Pa : Northeast For. Exp. Stn., USDA For. Serv. Gen. Rep. NE-80. 33 p.

TRIMBLE, R.T., J.J. MENDEL et R.A. KENNEL, 1974. *A procedure for selection marking in hardwoods. Combining silvicultural considerations with economic guidelines*. USDA Forest Service, Research Paper NE-292, 13 p.

The Mousseau research and teaching forest

The Mousseau research and teaching forest is located near the village of Sainte-Véronique, about fifty kilometres southeast of Mont-Laurier, and 250 km northwest of Montréal (Figure 1). Covering an area of almost 3,600 hectares, this forest is in the heart of the sugar maple/yellow birch bioclimatic domain. Because of its diversity and history of disturbance, it is a representative sample of this bioclimatic domain.

The first research carried out in the Mousseau Forest was begun in 1981, consisting of ecological and mensurational studies. This initial work was essential in acquiring basic knowledge on the composition, habitat and growth characteristics of the hardwood forest. Also, the Direction de la recherche forestière of the ministère des Ressources naturelles et de la Faune, supported this work in order to undertake applied research into selection cutting, in collaboration with the Lièvre management unit. The first results of these studies, appearing in 1986, demonstrated the advantages of this type of cut. Moreover, the first technical guide on selection cutting in sugar maple stands, published in 1990, was partly prepared based on the experiments undertaken in the Mousseau Forest.

The increasing interest in acquiring knowledge on how to manage hardwood forests lead to the Québec government conferring a research and teaching vocation to this territory. Thus, since its creation in 1990, the Mousseau Forest has been visited by several groups of foresters and other stakeholders in the forestry field. Visitors can gain awareness of various silvicultural interventions, including single-tree selection, patch selection cutting, shelterwood cutting, succession cutting and the strip clear-cut. The research results from the Mousseau Forest already allow us to verify certain productivity scenarios for the hardwood forest after the first 15-year cutting cycle.

Vegetation

The Mousseau Forest is a part of the sugar maple/yellow birch bioclimatic field as defined by GRANDTNER (1966), or part of the western sugar maple/yellow birch bioclimatic sub-field of SAUCIER *et al.* (2001). The study by MAJCEN *et al.* (1984) confirms the predominance of sugar maple/yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) types on the Mousseau Forest territory. These maple stands are composed mainly of sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.), red maple (*Acer rubrum* L.) being present in a low proportion. The sugar maple/yellow birch type comprises of three sub-associations: typical, in association with beech, and in association with American elm (Figure 2). The typical sub-association colonizes moderately well-drained deposits on gentle slopes. A basswood (*Tilia americana* L.) variant of the same sub-association is seen in a few places in the southern part of the forest. The beech (*Fagus grandifolia* Ehrh.) sub-association occupies well-drained deposits that are found predominantly on summits and on medium-

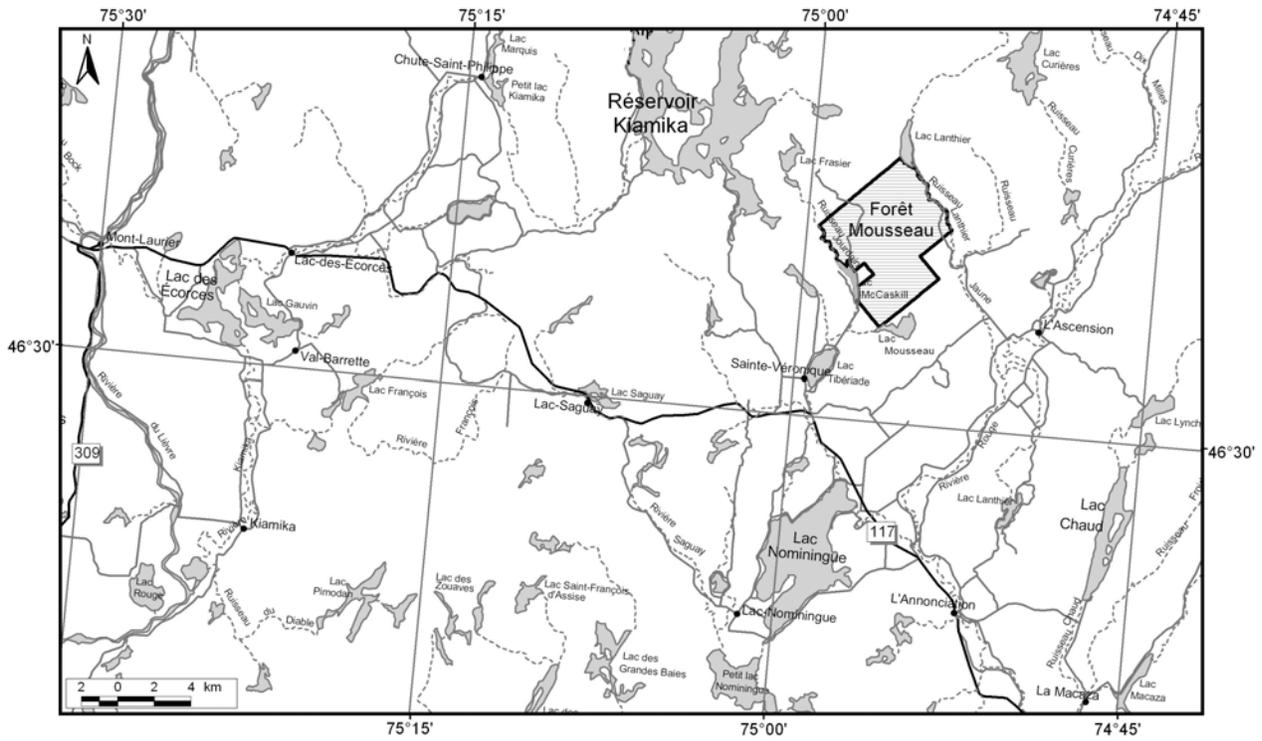
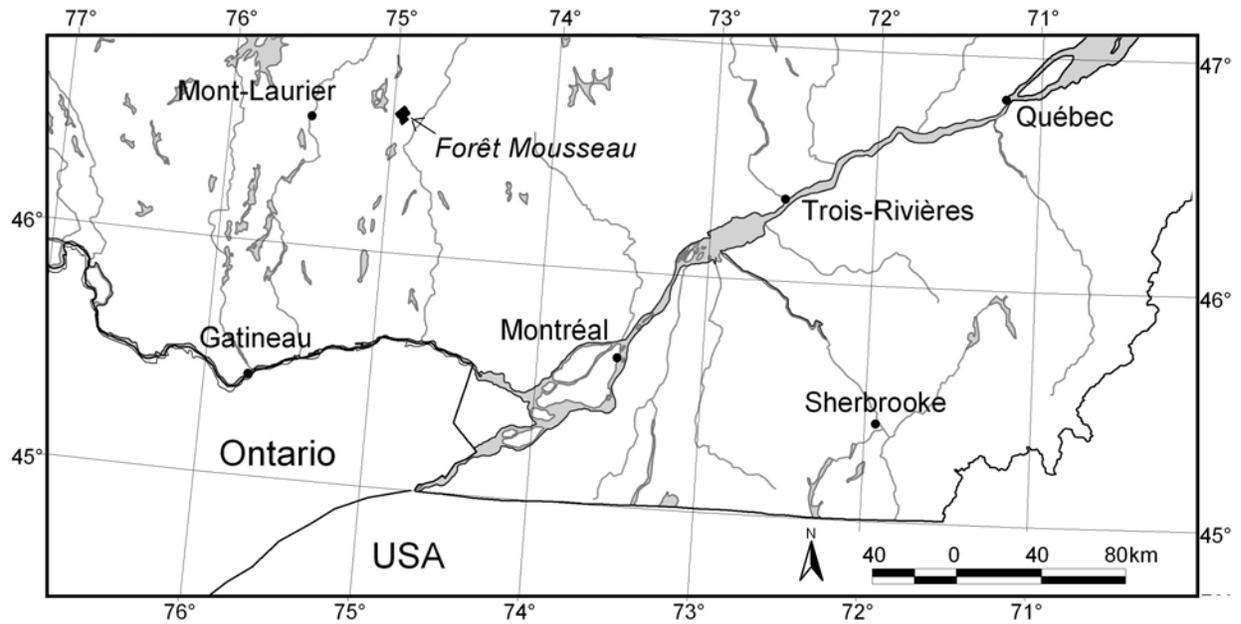


Figure 1. Geographic location of the Mousseau Forest.

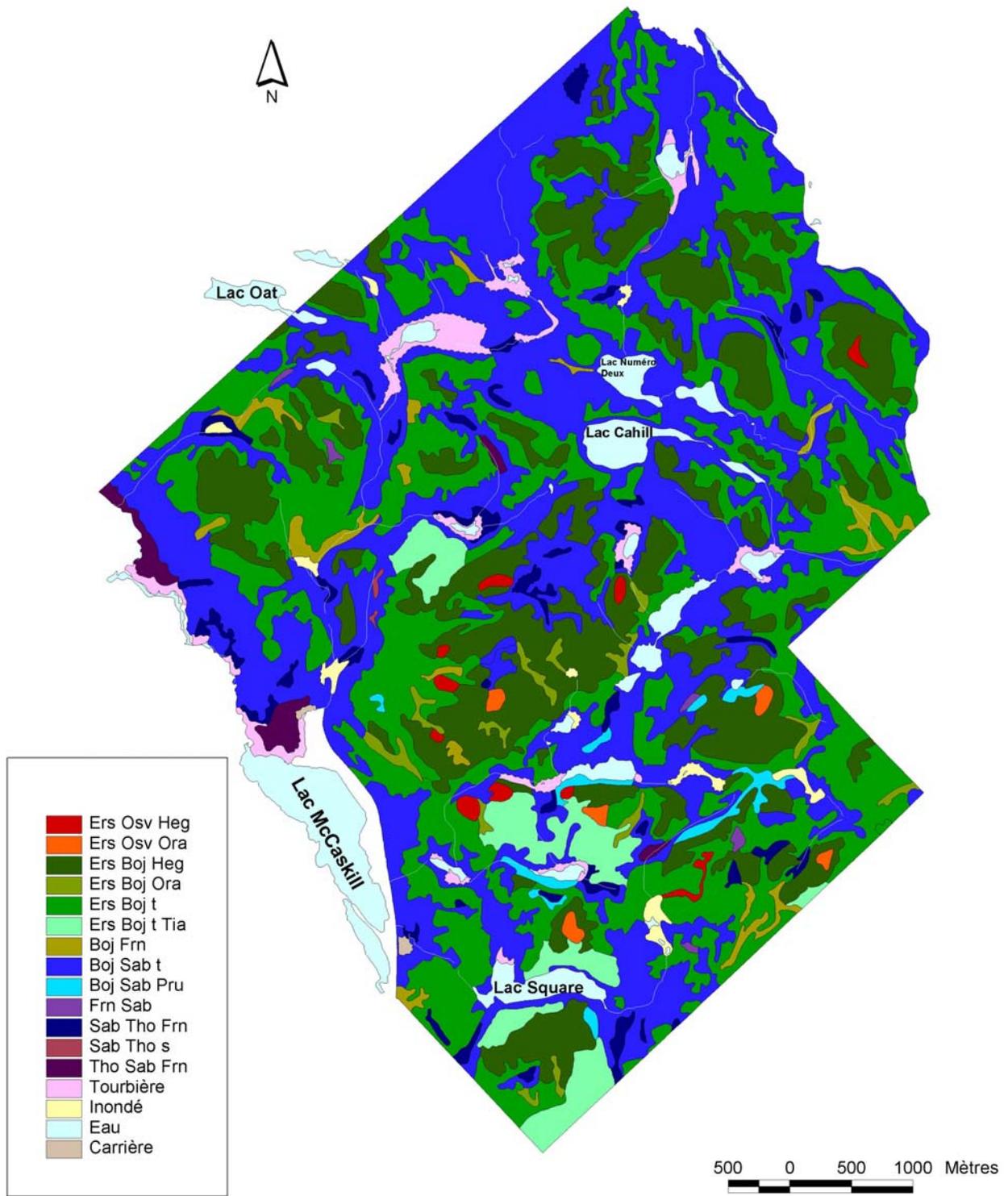


Figure 2. Potential vegetation.

and steep slopes. The American elm (*Ulmus americana* L.) sub-association is much less important, and is limited to imperfectly drained deposits located in narrow depressions that are found among hills crisscrossed by streams having a low rate of flow. When the drainage becomes poor, but where there is seepage, sugar maple yields its dominant position to yellow birch, which forms the association of yellow birch/black ash. Black ash (*Fraxinus nigra* Marsh.) sometimes forms small stands in association with balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.) on organic deposits that are poorly drained, but with seepage, and that can be found in narrow troughs surrounded by hills.

At the other extreme, on some hill summits and sunny upper slopes, the sugar maple/ironwood (*Ostrya virginiana* [Mill.] K. Koch) association is found. Two sub-associations were also observed: American elm on well- to moderately well-drained deposits where seepage occurs, and beech on well-drained deposits. The areas occupied by these two cover types are small, and they are more common in the southern part of the territory.

The principal edaphic cover type at the Mousseau Forest is the yellow birch/balsam fir association, whose presence is determined mainly by high soil stoniness. This association colonizes lake riparian zones, mounds, depressions and lower slopes. It can also be observed in several slope locations if a high stone content is unfavourable to maple establishment. The hemlock (*Tsuga canadensis* [L.] Carr.)/yellow birch/balsam fir sub-association is much rarer, and can occasionally be seen on steep slopes that are interspersed with rock outcrops.

Cover types dominated by softwoods, such as balsam fir/white cedar (*Thuja occidentalis* L.)/black ash, and white cedar/balsam fir/black ash are established on organic soil deposits in humid depressions that are poorly drained, where the outflow of water is very slow or non-existent.

The numbered cover types are generally considered as being stable in their respective natural environments, where they seem able to regenerate themselves without any major perturbation (MAJGEN *et al.* 1984). The various associations composed of poplars (trembling [*Populus tremuloides* Michx.] and large-tooth aspen [*Populus grandidentata* Michx.]) and white birch (*Betula papyrifera* Marsh.) are of fire origin, and form various transition forest types on sites that are characteristic for maples and yellow birch/balsam fir. In 1981, these associations covered large areas in the forest, but the silvicultural treatments that were used during the first 15-year cutting cycle considerably changed the forest's composition. Succession cuts done in these stands firstly targeted mature shade-intolerant hardwoods. When mapping was done in 1981, the most common transition forest types were typical aspen/sugar maple and aspen/beech associations, sugar maple types with scattered mature aspen, aspen/yellow birch, typical aspen/balsam fir and typical yellow birch/balsam fir with scattered aspen or white birch.

High-intensity cuts in the past, which affected yellow birch/balsam fir, resulted in the establishment of brush species like pin cherry with sparse softwoods or large groups of pin cherries (*Prunus pensylvanica* L.f.) among yellow birch and fir (scattered among the pin cherry). Stands with large groups of pin cherry were only found in small areas near the northern limit of the territory.

Establishment of experimental units

The objective of the Forest Research Directorate of the *Ministère des Ressources naturelles* was to establish a block of experimental forest comprised of a control area and a cut area, in each of the 15 compartments of the Mousseau Forest. In the beginning, it was decided to carry out selection cuts of various intensities, succession cuts and strip clearcuts. The latter were restricted to small areas. Over the years, other experiments were added, such as the progressive shelterwood, mechanical soil scarification to regenerate yellow birch, clear cutting in two patches, patch selection cutting of various sized patches in typical sugar maple/yellow birch types and in yellow birch/balsam fir. Figure 3 shows where the experimental units are located and the year of their establishment.

Selection and succession cuttings

Experiments in selection and succession cuts include a unit of two hectares in the treated part of the stand, and a unit of one hectare in the untreated (control) area. The units were subdivided into square sub-plots measuring 50 m x 50 m (0.25 ha each), forming a rectangle of 100 m x 200 m in the harvested part, and a rectangle of 100 m x 100 m for the controls. In 1983 and 1984 only, the area of the control plots was 2 ha, the same as in the harvested units.

In all units, stems of 1.1 cm or more in diameter at breast height (dbh) were measured using callipers and classified in 2-cm classes. Stems of 9.1 cm were marked at dbh using a bark scribe and tagged using plastic tags that were stapled to the trees. The inventory was done before the cut, immediately afterwards, and ten years later. In sectors where the second cutting cycle had begun, the measurements were done before the second cut, after 15 years, and immediately after the second cut. A 25 m buffer zone was established around the units to be cut and controls, in order to prevent a border effect. The cutting intensity within the buffer zone was the same as in the selectively cut unit. The controls and their buffer zone were conserved intact, with no cutting.

Within both the control and cut units, in two 0.25-ha plots, **stems of 9.1 cm dbh** were numbered with white paint and measured to the nearest millimetre using a diameter tape, after the cut and then every five years. These stems were carefully examined and all defects found on the trunk were recorded.

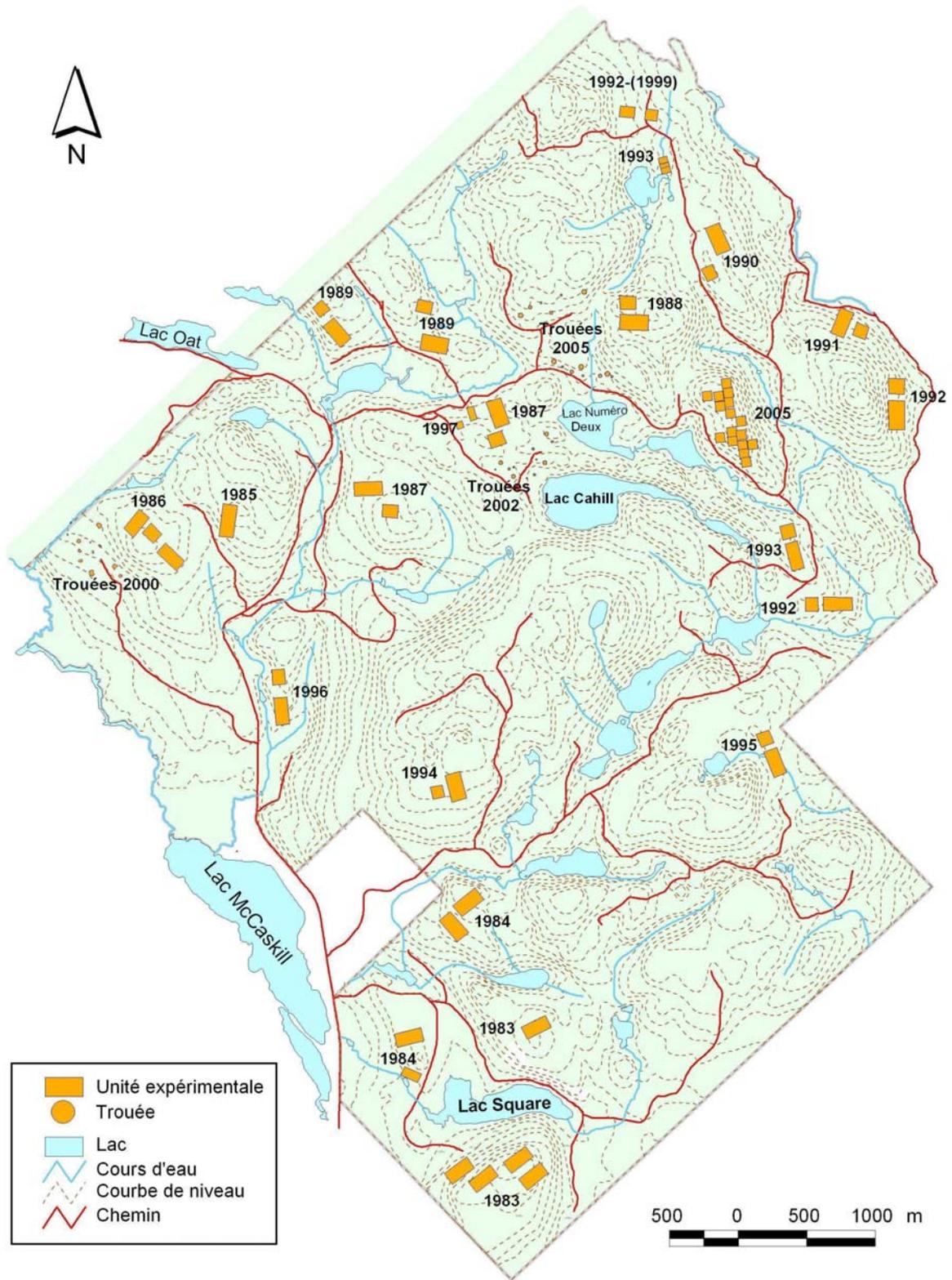


Figure 3. Location of study areas.

The regeneration was studied in 4-m² plots (1 m x 4 m). In the treated units, ten regeneration plots were established, and five were established in the controls. Seedlings of all woody species, both commercial and non-commercial, were numbered by height class in the regeneration plots (< 20 cm; 20 - 50 cm; 50 - 100 cm; > 100 cm and dbh < 1 cm; dbh > 1 cm).

The DRF team used selection cutting principles to mark trees to be cut in two contiguous plots of 1 ha. The principal factors taken into account while marking were: merchantable basal area, the diameter distribution of stems, tree vigour and stand composition. Marking was therefore done according to a theoretical stem distribution (q factor) and harvesting priority was defined in relation to the species present and tree vigour. The objective of marking was to improve the stand, by first removing stems of low vigour in all diameter classes, which had the least likelihood of surviving until the next cutting cycle, as well as undesirable species.. The mean removal percentage targeted was 30%, up to a limit of 10 m²/ha, in order to ensure stand stability after cutting. Among the defects that most often downgraded the trees were stem rots, and cavities caused by cankers and fungi, as well as crown damage. Succession cuts were carried out with no marking, when mature intolerant species surpassed 30% of the stand's basal area. In the case of scattered mature stems of intolerant species, they were removed along with the stems of low vigour of other species.

Gap regeneration studies

A patch-selection study was established in 2000 in a sugar maple/yellow birch stand. The objective was to monitor the development of regeneration in openings of three different sizes: 15-, 25- and 35-m in diameter. The treatment (size of opening) was chosen randomly in places that were favourable for the establishment of patches (presence of seed trees, moderate drainage, fairly deep soils). The study included twelve patches (four repetitions of three sizes). In addition, one patch of each size was fenced two years after cutting to exclude whitetail deer. In each patch, sample plots of 25 m² (5 m x 5 m) were established along two axes (north-south and east-west). These plots are used to evaluate site preparation and vegetation cover. Within these plots, four sub-plots of 1 m x 1 m were established to count all seedlings using the same height classes as defined in the previous section.

In 2002, another study was established in a yellow birch/balsam fir stand. The objective of this study is the same as the one previously described. Similar to the study established in 2000 in a sugar maple stand, this one also is comprised of twelve patches. The treatment (patch size) was randomly distributed in places favourable for creating patches. Three difference patch sizes were used (10-, 15-, 25-m in diameter). Also, a patch of each size was fenced to prevent browsing by whitetail deer. Regeneration surveys were carried out in 2005 using the previously described methodology. Another study using the same methodology was established in 2005 in a sugar maple/yellow birch stand. This one is comprised of 15 patches of three different sizes (15-, 25- and 35-m in diameter), and each was replicated five times.

Partial cutting with different stocking levels

In 2005, a new study was established in a sugar maple/yellow birch/beech stand to compare the effect of different residual stocking levels. The study is comprised of four treatments: control (no cutting), and three intensities of selection cutting (15, 30 and 40% of basal area). The layout is a randomized complete block design with study units measuring 50 m x 50 m, within which mensurational monitoring is done in 30 m x 30 m plots. In addition to the mensurational data usually gathered, stems were mapped in the experimental units and the MSCR class (BOULET 2005) was recorded, as well as visible external defects on each stem. In 2005, harvested trees were all bucked and scaled in order to record the volume by quality class using the classification developed by PÉTRO and CALVERT (1976) and by the MRN (2000). The analysis of post-treatment data will begin in 2007.

Single-tree selection cutting in northern hardwood stands (Site 1)

Introduction

Maple stands are the most common stand types throughout the hardwood zone of southern Québec. In the past, diameter-limit cutting was the most commonly practised method in these forests. In many cases, this practice left poor-quality trees standing, thereby reducing the harvested stand's potential. In addition, when the cutting intensity was too high, diameter-limit cutting resulted in regeneration problems. Toward the end of the 1970s, government authorities were looking for alternative methods of cutting to replace diameter-limit cuts. This is how the scientific and technical expertise of the Forest Research Directorate was requested. At first, DRF work dealt with studying the natural dynamics of hardwood and mixedwood forests in southwestern Québec (MAJCEN *et al.* 1984, 1985). These studies showed that maple stands very often formed uneven-aged stands that were characterized by a mixture of trees of varied age and size. The results obtained also showed that these stands have a diameter distribution curve in the form of an inverse "J" that approaches Liocourt's theoretical distribution. These observations were reported also from studies in maple stands in the northeastern United States by numerous researchers (ARBOGAST 1957, TRIMBLE *et al.* 1974, MARQUIS 1976, CROW *et al.* 1981, SMITH and LAMSON 1982, LEAK and GOTTSACKER 1985 and NYLAND 1987). These authors proposed two management models to help maintain Liocourt's stem distribution model by practising selection cutting. Based on the work by the American researchers and the information acquired about the structure and growth of natural hardwood stands in Québec, selection cutting was introduced early in the 1980s (MAJCEN 1994). The objective was to practise silviculture that was better adapted to the characteristics of maple stands and thereby improve their quality, while favouring the regeneration of desirable species. The guiding hypothesis was that selection felling would be practised using a cutting cycle that could vary from 15 to 20 years, while maintaining the diameter structure curve as an inverse J.

Stand characteristics before and after cutting

This sugar maple/yellow birch/beech stand is part of the study monitoring selection cutting at the Mousseau Forest. The cuts were carried out in 1985 and 1986, and part of the stand was retained as a control. Stem removal aimed at harvesting the less vigorous stems in all diameter classes (Figure 4). Table 1 presents the stem characteristics for the control plot and the selectively cut plots, before and after cutting.

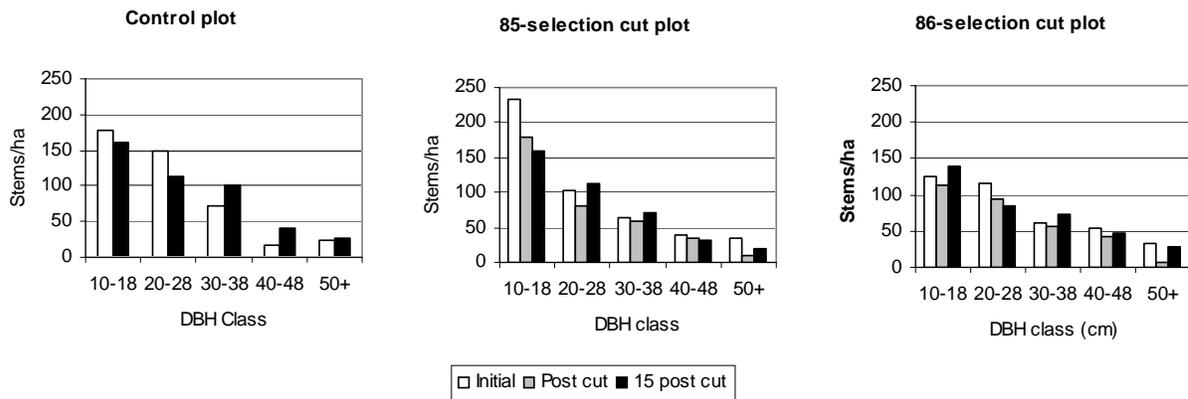


Figure 4. Diameter distribution.

Table 1. Basal area and merchantable volume by species, before and after cutting

Plot	Period	Basal area (m ² /ha)	Removal (%)	M ³ /ha	Merchantable volume (%)				
					SM	YB	AB	BA	Other
Control	No cut	24.9		212	98		2	-	<1
85-selection cut	Before cut	27.5		240	90	6	3	-	<1
	Post cut	18.7	32	157	95	2	2	-	1
86-selection cut	Before cut	28.4		257	88	1	11	-	<1
	Post cut	19.1	33	167	83	2	15	-	<1

Note : SM : sugar maple, YB : yellow birch, AB: American beech, BA: American basswood

Results

Periodic annual growth

Periodic annual growth in basal area is presented in Table 2.

Table 2. Basal area periodic annual growth

Plot	Initial BA (m ² /ha)	Survivor	Ingrowth	Gross growth (m ² /ha/yr)	Mortality	Net growth
Control	24.9	0.49	0.03	0.52	0.20	0.33
85-selection cut	18.7	0.40	0.05	0.45	0.12	0.33
86-selection cut	19.1	0.48	0.05	0.53	0.03	0.49

Regeneration

Table 3 illustrates the number of saplings per hectare in control and treated plots. Yellow birch profited from the cut in several blocks, particularly in the 85-selection plot and the 86-selection plot. In the latter, the number of yellow birch saplings is in the hundreds, and represents a large proportion of the total number for all species. Yellow birch saplings are abundant in places where the trees are more widely spaced, and where the sun can shine for at least part of the day. This generally involves small openings of 100 to 400 m² created after the removal of large stems or of small groups of two or three trees. The success of this regeneration is also attributed to good seed years for yellow birch and soil scarification occurring during the autumn cutting operation.

Table 3. Number of saplings, 15 years after cutting

Plot	Period	SM	YB	AB	Other commercial	Total commercial	Total non commercial	
	(Stems/ha).....						
Control	Initial	1196	10	70	8	1284	-	
	15 yr after	1544	20	306	20	1890	2	
85-selection cut	Initial	528	18	46	-	592	6	
	15 post-cut	2154	830	904	64	3952	272	
86-selection cut	Initial	1176	56	248	8	1488	80	
	14 post-cut	2646	494	794	12	3946	140	

Note : SM : sugar maple, YB : yellow birch, AB: American beech.

American beech is often a serious competitor to sugar maple and yellow birch following selection cutting. Because it is a very shade-tolerant species, it also regenerates in untreated areas. The number of beech saplings is often disproportionate to its advantage in terms of its basal area in the stands. It has an advantage relative to more valuable species by its development of large numbers of suckers from the root systems of old trees (BOHN and NYLAND 2003). According to HORNBECK and LEAK (1992), beech root suckers represent 50% of the total regeneration of this species. The proliferation of beech saplings at the

expense of other species in Québec was reported by MAJCEN (1997), MAJCEN and BÉDARD (2000) and BÉDARD and MAJCEN (2001).

The saplings of commercial species taken together dominate non-commercial species, both in selectively cut areas and in controls, in all blocks in the Mousseau Forest.

Selection cutting in mixedwood stands (Site 3)

Introduction

Yellow birch/balsam fir stands are found both in the sugar maple/yellow birch and the balsam fir/yellow birch bioclimatic fields. It appears that the structure of these stands in this region is uneven, but has a diameter distribution that is more uneven than do maple stands (MAJCEN *et al.* 1987). Stand dynamics in yellow birch/balsam fir stands is relatively undocumented, but the presence of balsam fir would have the effect of modifying, in a more even way than in maple stands, the composition, age structure and diameter distribution of these stands because of their shorter longevity and the vulnerability of this species to windthrow and spruce budworm epidemics. Silvicultural practices in the past did not address the maintenance or development of a balanced diameter stand structure, but they nevertheless resulted in the maintenance, in many cases, of an uneven structure that more or less approached an inverse J curve. Little documentation of selection cutting in these stands has been done. However, the method is recommended for mixedwood stands in the northeastern United States (LEAK *et al.* 1987), and it was tried in balsam fir and spruce softwood stands (FRANK and BJORKBOM 1973, FRANK and BLUM 1978, KENEFIC *et al.* 2005). The work done at the Mousseau Forest is the first to have been carried out using this treatment in this type of stand. Other work should be done in order to experiment with various types of partial cuts in this stand type.

Stand characteristics before and after cutting

This yellow birch/balsam fir stand was cut for the first time in 1987, and then in 2002. Figure 5 and Table 4 present the mensurational characteristics of the control plots and the selectively cut plot, before and after the 1987 cut.

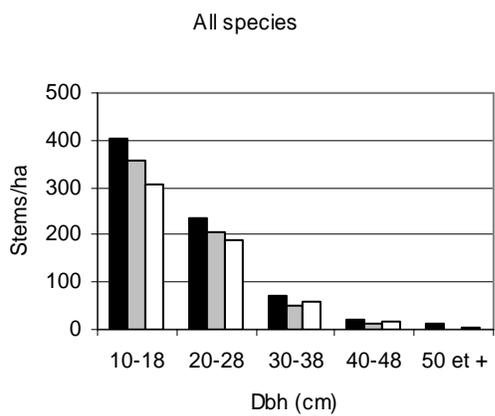
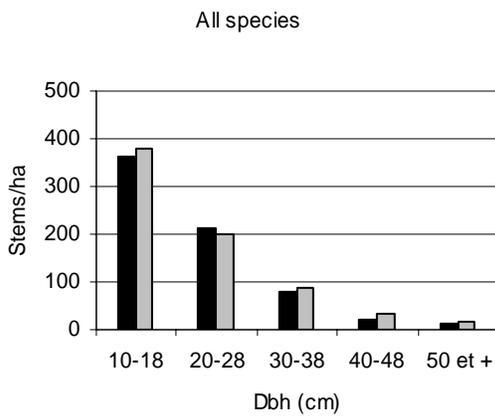
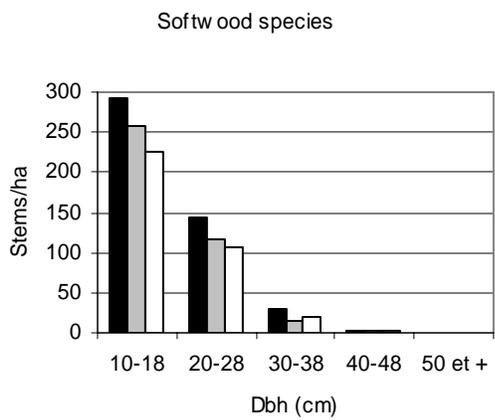
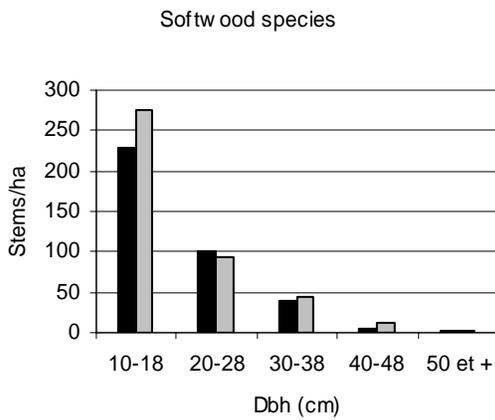
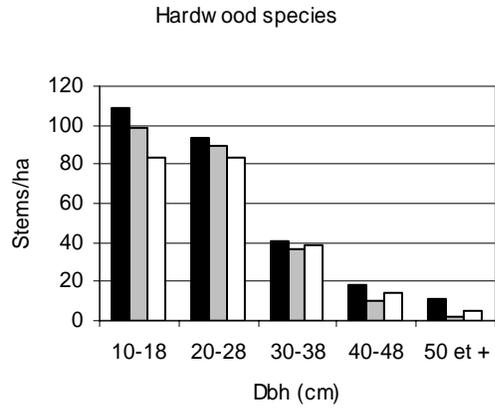
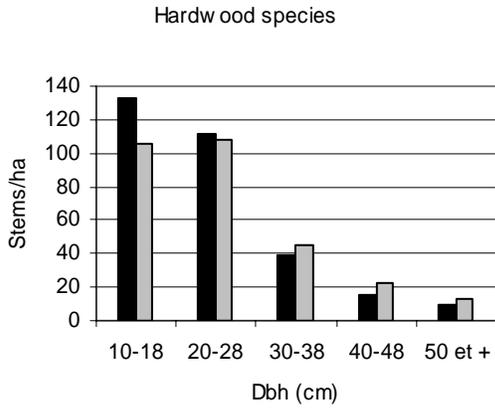


Figure 5. Diameter distribution.

Table 4. Basal area and merchantable volume, before and after cutting

Plot	Period	Basal area			Merchantable volume (%)					
		m ² /ha	Removal (%)	m ³ /ha	YB	RM	BF	SPR	Other HW	Other SW
Control	No cut	28.9		216	51.3	10.1	20.3	14.0	3.7	0.4
87-selection cut	initial	27.3		203	45.3	2.3	38.6	11.6	2.2	-
	Post-cut	21.1	23%	151	40.9	3.6	36.3	15.8	3.3	-

ResultsPeriodic annual growth

Periodic annual growth in basal area is presented in Table 5.

Table 5. Basal area periodic annual growth

Plot	Species	Initial	Post-	Removal	Gross growth	Mortality	Net growth
		B.A.	cut				
		(m ² /ha)	B.A.	(m ² /ha)	(m ² /ha)	(m ² /ha)	(m ² /ha)
87-Control	HW	18,1	-	-	0,20	0,17	0,03
	SW	10,8	-	-	0,32	0,12	0,20
	All	28,9	-	-	0,52	0,29	0,23
87-Selection cut	HW	12,7	9,5	3,2	0,21	0,05	0,16
	SW	14,6	11,6	3,0	0,38	0,31	0,07
	All	27,3	21,1	6,2	0,59	0,36	0,23

Note : HW : hardwood, SW : softwood.

Regeneration

The results of regeneration are presented in Table 6.

Table 6. Number of saplings 10 years after cutting

Plot	Period	YB	Other Hardwoods	Softwoods	Total Commercial species	Total non commercial species
87 Control	Initial	36	46	642	724	196
	10 yr	28	74	785	887	423
87 Selection	Post-cut	14	47	234	295	162
	10 yr post-cut	36	177	263	477	1 365

Note : YB : yellow birch.

Gap regeneration studies in northern hardwood (Site 2) and mixedwood stands (Site 4)

Introduction

Single tree selection cutting is generally favourable for the regeneration of shade-tolerant species (LEAK and WILSON 1958, BLUM and FILIP 1963, CROW and METZGER 1987, LAMSON and SMITH 1991, ANDERSON *et al.* 2001). The most common shade-tolerant species in Quebec are sugar maple, American beech, ironwood, balsam fir, hemlock and red spruce (*Picea rubens* Sarg.). Small gaps created in a stand should be more favourable to intermediately shade-tolerant species such as yellow birch, red oak (*Quercus rubra* L.) and white pine (*Pinus strobus* L.; EYRE and ZILLGITT 1953, ARBOGAST 1957, LEAK *et al.* 1987, ROBITAILLE and MAJCEN 1991, LESSARD *et al.* 1999, ANDERSON *et al.* 2001, RAYMOND *et al.* 2003). Maintaining partial shade creates conditions that are less favourable to the development of the most shade-intolerant species.

The aim is therefore to study the regeneration dynamics after patch cutting is carried out to regenerate yellow birch. The objectives are:

- To determine the optimal gap size for the regeneration and development of yellow birch;
- To compare the growth and quality of stems growing in gaps and under a partial overstory;
- To quantify the effects on regeneration of white tail deer browsing.

The method has been described previously (p. 28) and the results will be analysed and published in the coming years.

Références bibliographiques

- ANDERSON, H.W, E.P. BOYSEN, D.C. DEY et J.A. RICE, 2001. *Natural regeneration of hardwoods (Chapter 20)*. Dans : Wagner, R.G. et S.J. Colombo : Regenerating the Canadian Forest : Principles and Practices for Ontario. Fitzhenry et Witheside. p. 393-421.
- ARBOGAST, C., Jr., 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. U.S. For. Serv., Lake States For. Exp. Stn., Stn. Pap. No. 56, 21.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCEN, 2001. *Ten-year response of sugar maple-yellow birch-beech stands to selection cutting in Québec*. North. J. Appl. For. 18(4) : 119-126.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCEN 2003. *Growth following selection cutting in Québec Northern hardwoods*. For. Chron. 79 (5) : 898-905.
- BLUM, B.M. et S.M. FILIP, 1963. A demonstration of four intensities of management in northern hardwoods. U.S. Dept. Agr., For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Upper Darby, PA.
- BOHN, K.K. et R.D. NYLAND, 2003. *Forecasting development of understory American beech after partial cutting in uneven-aged northern hardwoods stand*. For. Ecol. and Manag. 180 : 453-461.
- CROW, T.R. et F.T. METZGER, 1987. *Regeneration under selection cutting*. Dans : Proc. Managing northern hardwoods. Nyland, R.D. (ed.). N.Y. State Univ. Coll., Environ. Sci. For. Syracuse. Tech. Publ. No. 13 (ESF 87-002) (Soc. Am. For. Publ. No. 87-03). p. 81-94.
- CROW, T.R., C.H. TUBBS, R.D. JACOBS et R.R. OBERG, 1981. *Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands*. U.S. For. Serv., Resp. Pap. NC-199. 16 p.
- EYRE, F.H. et W.M. ZILLGITT, 1953. *Partial cutting in northern hardwoods of the lake states*. Lake States For. Exp. Stn., Washington, DC.
- FRANK, R.F. et J.C. BJORKBOM, 1973. *A silvicultural guide for spruce-fir in the northeast*. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. NE-6. 29 p.
- FRANK, R.F. et B.M. BLUM, 1978. *The selection system of silviculture in spruce-fir stands-procedure, early results, and comparisons with unmanaged stands*. USDA For. Serv., Res. Pap. NE-425. 15 p.

- HORNBECK, J.W. et W.B. LEAK, 1992. *Ecology and management of northern hardwood forests in New England*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-159. 44 p.
- KENEFIC, L.S., P.E. SENDAK et J.C. BRISSETTE, 2005. *Comparison of fixed diameter-limit and selection cutting in northern conifers*. North. J. Appl. For. 22(2) : 77-84.
- LAMSON, N.I. et H.C. SMITH, 1991. *Yields of Appalachian hardwood stands managed with single-tree selection for at least 30 years*. USDA, For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Radnor, PA.
- LEAK, W.B. et J.H. GOTTSACKER, 1985. *New approaches to uneven-age management in New England*. North. J. Appl. For. 2(1) : 28-31.
- LEAK, W.B. et R. WILSON, Jr., 1958. *Regeneration after cutting of old-growth northern hardwoods in New Hampshire*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stn., Pap. 103. 8 p.
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et P.S. DEBALD, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. USDA For. Serv., Res. Pap. NE-603. 35 p.
- LESSARD, G., T. RYABEL, D. BLOUIN, M. HUOT, R. JOBIDON, C. CAMIRÉ et C. OLMIER, 1999. *L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec*. L'Aubelle.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1984. *Écologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec. Étude de douze secteurs forestiers*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ressources, Service de la rech. Mémoire n° 85. 334 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1985. *Composition, structure et rendement des érablières dans cinq secteurs de la région de l'Outaouais*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Ressources, Dir. de la rech. et du dév. Mémoire n° 88. 130 p.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1987. *Composition, structure et rendement des tremblaies à érable à sucre et des bétulaies jaunes à sapin baumier dans trois secteurs forestiers du sud-ouest québécois*. Gouv. du Québec, min. Énergie et Ress., Serv. de la rech. Rapport interne n° 287, 109 ages.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD, M. MÉNARD et Y. GRENIER, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inquiennes*. Guide technique. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de rech. for. n° 96. 95 p.

- MAJCEN, Z. et Y. RICHARD, 1992. *Résultats après cinq ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière*. Can. J. For. Res. 22 : 1623-1629.
- MAJCEN, Z., 1994. *Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec*. Revue forestière française, numéro 4 : 375-384.
- MAJCEN, Z., 1995. *Résultats après 10 ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de rech. for. n° 122. 23 p.
- MAJCEN, Z. et Y. RICHARD, 1995. *Coupe de jardinage dans six régions écologiques du Québec : Accroissement quinquennal en surface terrière*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Mémoire de rech. for. n° 120. 22 p.
- MAJCEN, Z., 1996. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans cinq secteurs forestiers : Accroissement quinquennal en surface terrière et état de la régénération*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for. Note de rech. for. n° 70. 20 p.
- MAJCEN, Z., 1997. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs forestiers : accroissement décennal en surface terrière et état de la régénération*. Gouv. du Québec, min. des Ressources naturelles, Dir. de la rech. forestière. Mémoire de rech. for. n° 129. 48 p.
- MAJCEN, Z. et S. BÉDARD. 2000. *Accroissement après 15 ans dans une érablière à la suite de coupes de jardinage de diverses intensités*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de la rech. for., Note de rech. for. n° 98. 12 p.
- MARQUIS, D., 1976. *Application of uneven-aged silviculture and management in public and private lands*. Dans : Uneven-aged silviculture and management in the United States. U.S. Dept. of Agric., Forest Serv., Timber Man. Research, Washington, D.C., Gen. Tech. Rep. Wo-24, p. 25-61.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 2000. *Grille de classification pour les billes de sciage non conventionnelles*. Gouv. du Québec, min. des Ress. nat., Dir. de l'assistance technique. 1 p.
- NYLAND, R.D., 1987. *Selection system and its application to uneven-aged northern hardwoods*. Dans : Managing northern hardwoods. Proceedings of a silvicultural Symposium, 23-25 June 1986. State university of New York, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York. Faculty of For. Misc. Pub. No. 13 (ESF 87-002). Soc. of Amer. Forest. Pub. No. 87-03. p. 49-80.

PÉTRO, F.J. et W. CALVERT, 1976. *La classification des billes de bois franc destinée au sciage*. Pêche et Environnement Canada. Service des forêts. 69 p.

RAYMOND, P., A.D. MUNSON, J.-C. RUEL et P. NOLET, 2003. *Group and single-tree selection cutting in mixed tolerant hardwood–white pine stands : Early establishment dynamics of white pine and associated species*. For. Chron. 79 : 1093-1106.

ROBITAILLE, L. et Z. MAJZEN, 1991. *Traitements sylvicoles visant à favoriser la régénération et la croissance du bouleau jaune*. L'Aubelle 82 : 10-12.

SMITH, H.C. et N.I. LAMSON, 1982. *Number of residual trees. A guide for selection cutting*. Broomall, Pa : Northeast For. Exp. Stn., USDA For. Serv. Gen. Rep. NE-80. 33 p.

TRIMBLE, R.T., J.J. MENDEL et R.A. KENNEL, 1974. *A procedure for selection marking in hardwoods. Combining silvicultural considerations with economic guidelines*. USDA Forest Service, Research Paper NE-292, 13 p.