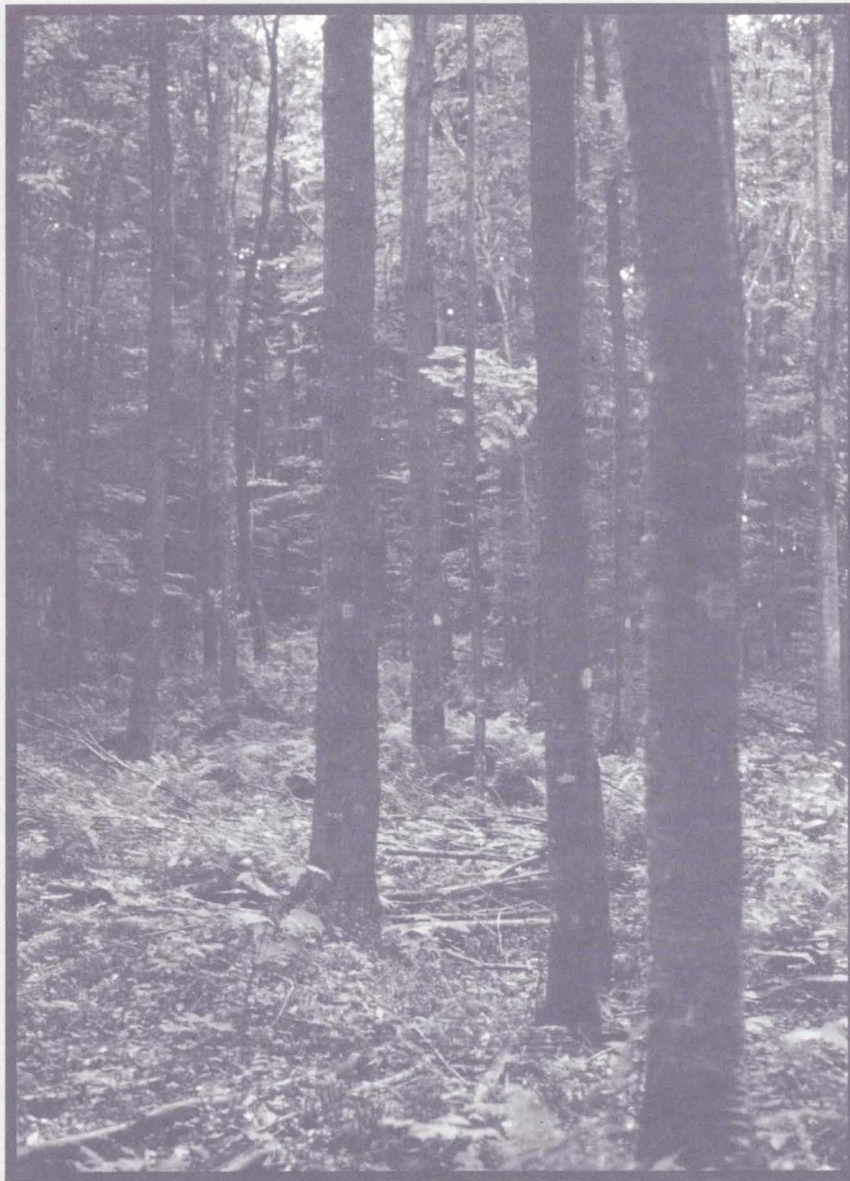




Réaction des principales essences feuillues à l'éclaircie de mise en lumière dans une érablière à bouleau jaune en Estrie

Richard Zarnovican et Claude Laberge
Région du Québec • Rapport d'information LAU-X-109



Ressources naturelles
Canada

Service canadien
des forêts

Natural Resources
Canada

Canadian Forest
Service

Canada

LE CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (Ressources naturelles Canada). Le Centre collabore avec divers organismes gouvernementaux, avec les intervenants de l'industrie forestière et avec les établissements d'enseignement dans le but de promouvoir, par des travaux de recherche et de développement, un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec.

Au Québec, les activités portent sur la recherche dans les domaines des ressources forestières et de la protection des forêts, et sur le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins de divers organismes intéressés à l'aménagement forestier. Les résultats de ces travaux sont diffusés sous forme de rapports techniques et scientifiques, de conférences et autres publications.

THE LAURENTIAN FORESTRY CENTRE is one of six regional establishments of the Canadian Forest Service (Natural Resources Canada). The Centre cooperates with other government agencies, educational institutions and the forest industry to promote through research and development the most efficient and rational management and use of Quebec's forests.

In Quebec, the program consists of forest resource and protection research and forest development. Most research is undertaken in response to the needs of the various forest management agencies. The results of this research are distributed in the form of scientific and technical reports, conferences, and other publications.



Richard Zarnovican

Richard Zarnovican travaille au Centre de foresterie des Laurentides à Sainte-Foy depuis 1977. Il détient un Doctorat en aménagement et sylviculture de l'Université Laval et il conduit présentement des recherches en sylviculture et en production des forêts aménagées. Il a aussi travaillé au Service des études écologiques régionales de 1974 à 1976.



Claude Laberge

Claude Laberge a obtenu un Baccalauréat spécialisé en statistiques et une Maîtrise en mathématiques (option statistique) de l'Université Laval. Il termine présentement un Doctorat en sciences de l'eau à l'INRS-Eau (composante de l'Université du Québec). Il a occupé différents postes de recherche à l'INRS-Eau, au CIRAL de l'Université Laval et au Service canadien des forêts. Il se spécialise dans l'application de la statistique au domaine de l'environnement et de la détection de tendances temporelles.

**Réaction des principales essences feuillues
à l'éclaircie de mise en lumière
dans une érablière à bouleau jaune en Estrie**

Richard Zarnovican et Claude Laberge

Rapport d'information LAU-X-109

1994

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts - Région du Québec

DONNÉES DE CATALOGAGE AVANT PUBLICATION (CANADA)

Zarnovican, Richard

Réaction des principales essences feuillues à l'éclaircie de mise en lumière dans une érablière à bouleau jaune en Estrie.

(Rapport d'information ; LAU-X-109)

Comprend un résumé en anglais.

Publ. aussi en anglais sous le titre : Reaction of principal hardwood species to light felling in a maple-yellow birch forest in the Eastern Townships.

Publ. par le Centre de foresterie des Laurentides.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-662-99406-X

N° de cat. Fo46-18/109F

1. Éclaircie (Sylviculture) -- Cantons-de-l'Est (Québec)
 2. Bois durs -- Cantons-de-l'Est (Québec).
 3. Érable -- Cantons-de-l'Est (Québec).
 4. Bouleau jaune -- Croissance.
- I. Laberge, Claude.
II. Service canadien des forêts. Région du Québec.
III. Centre de foresterie des Laurentides.
IV. Titre.
V. Coll. : Rapport d'information (Centre de foresterie des Laurentides) ; LAU-X-109.

SD396.5H3Z3714 1994 634.953'09714 C94-980319-7

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1994
Numéro de catalogue Fo46-18/109F
ISBN 0-662-99406-X
ISSN 0835-1589

Il est possible d'obtenir sans frais un nombre restreint d'exemplaires de cette publication auprès de:

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts - Région du Québec
Centre de foresterie des Laurentides
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Des copies ou des microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title "Reaction of principal hardwood species to light felling in a maple-yellow birch forest in the Eastern Townships" (Catalog No. Fo46-18/109E).



TABLE DES MATIÈRES

| | Page |
|---|-------------|
| LISTE DES TABLEAUX | iv |
| LISTE DES FIGURES | iv |
| RÉSUMÉ | v |
| ABSTRACT | vi |
| INTRODUCTION | 1 |
| Objectif de l'étude | 2 |
| MATÉRIEL ET MÉTHODES | 2 |
| Description du massif boisé | 2 |
| Protocole dendrométrique et sylvicole | 4 |
| Analyse statistique | 6 |
| RÉSULTATS ET DISCUSSION | 6 |
| État des peuplements en 1986 | 6 |
| Nature et intensité des éclaircies | 12 |
| État des peuplements en 1992 | 12 |
| Effet des éclaircies sur l'accroissement radial | 13 |
| Parcelle 1 - éclaircie par le haut | 17 |
| Parcelle 2 - éclaircie combinée | 17 |
| Parcelle 3 - éclaircie sélective | 18 |
| Effet des éclaircies - sommaire | 19 |
| CONCLUSION | 20 |
| REMERCIEMENTS | 21 |
| OUVRAGES CONSULTÉS | 21 |

LISTE DES TABLEAUX

| | Page |
|---|-------------|
| Tableau 1. Caractéristiques des parcelles avant et après l'éclaircie | 8 |
| Tableau 2. Distribution du volume par classe de qualité | 8 |
| Tableau 3. Inventaire des parcelles au printemps 1992 | 13 |
| Tableau 4. Nombre d'arbres sondés par essence et par parcelle | 13 |
| Tableau 5. Sommaire des éclaircies par essence et par parcelle | 19 |

LISTE DES FIGURES

| | Page |
|--|-------------|
| Figure 1. Localisation de la forêt expérimentale | 3 |
| Figure 2. Distribution diamétrale de la parcelle 1 en 1986 | 9 |
| Figure 3. Distribution verticale de la parcelle 1 en 1986 | 9 |
| Figure 4. Distribution diamétrale de la parcelle 2 en 1986 | 10 |
| Figure 5. Distribution verticale de la parcelle 2 en 1986 | 10 |
| Figure 6. Distribution diamétrale de la parcelle 3 en 1986 | 11 |
| Figure 7. Distribution verticale de la parcelle 3 en 1986 | 11 |
| Figure 8. Distribution diamétrale de la parcelle 1 après la coupe | 14 |
| Figure 9. Distribution verticale de la parcelle 1 après la coupe | 14 |
| Figure 10. Distribution diamétrale de la parcelle 2 après la coupe | 15 |
| Figure 11. Distribution verticale de la parcelle 2 après la coupe | 15 |
| Figure 12. Distribution diamétrale de la parcelle 3 après la coupe | 16 |
| Figure 13. Distribution verticale de la parcelle 3 après la coupe | 16 |
| Figure 14. Accroissement radial (i_r) avant et après l'éclaircie, selon la parcelle et l'essence | 18 |

RÉSUMÉ

L'effet des éclaircies par le haut, combinée et sélective avec une intensité d'intervention de 44, 50 et 35 % selon le volume coupé, a été étudié sur l'accroissement radial des principales essences d'une érablière à bouleau jaune, âgée de 56 ans, à la forêt de Saint-Zacharie dans le comté de Richmond, au Québec.

Ces éclaircies ont été effectuées dans trois parcelles expérimentales, et leur effet a été étudié pour l'érable à sucre, le hêtre à grandes feuilles, le bouleau jaune, le frêne d'Amérique et le tilleul d'Amérique.

La réaction de l'érable à sucre s'est avérée positive dans l'ensemble; l'intervention intense par le haut dans la parcelle 1 et l'intervention sélective dans la parcelle 3 ont réussi à stimuler la croissance radiale de façon significative, alors que l'intervention intense combinée dans la parcelle 2 n'a pas produit l'effet escompté.

Le hêtre à grandes feuilles a réagi positivement, tant à l'éclaircie par le haut qu'à l'éclaircie combinée, même si cette dernière réaction n'est pas significative au plan statistique. Ces résultats confirment la nature tolérante à l'ombre et la grande plasticité au type d'intervention de cette espèce.

La réaction du bouleau jaune aux traitements d'individualisation a été mitigée; l'analyse de variance a permis de détecter une augmentation significative à la suite de l'éclaircie par le haut et une diminution significative à la suite de l'éclaircie sélective. Cette réaction est principalement due à la difficulté que connaît cette essence à progresser dans une hiérarchie sociale fixée.

Enfin, l'étude révèle qu'il n'y a eu aucune réaction à l'éclaircie sélective chez le tilleul d'Amérique et le frêne d'Amérique. Cela laisse entendre que l'individualisation de ces essences doit avoir lieu suffisamment tôt pour obtenir l'effet désiré.

ABSTRACT

The effect of combined and selective thinnings, and of thinning from above, with a thinning intensity of 50%, 35% and 44% based on cut volume, was studied on the radial increment of the main maple-yellow birch forest species in the 56-year-old Saint-Zacharie forest, Richmond County, Quebec.

Thinnings were carried out in three experimental plots and the effect was studied for sugar maple, beech, yellow birch, white ash and basswood.

The reaction of sugar maple was on the whole positive; intensive thinning from above in Plot 1 and selective thinning in Plot 3 succeeded in significantly stimulating radial growth, while intensive combined thinning in Plot 2 failed to produce the anticipated effect.

Beech reacted positively to both thinning from above and combined thinning, even though the latter reaction was not statistically significant. These results confirmed the species' tolerance to shade and great adaptability to type of treatment.

The reaction of yellow birch to individualization of crop trees was mixed, while analysis of variance made it possible to detect a significant increase following thinning from above and a significant decrease following selective thinning. This reaction was mainly due to the difficulty this species experiences in progressing in a fixed social hierarchy.

The study reveals that there was no reaction to selective thinning in basswood and white ash. This suggests that individualization of these species must take place sufficiently early to achieve the desired effect.

INTRODUCTION

Pour obtenir une qualité de bois acceptable, en particulier dans le cas des feuillus, le forestier doit effectuer une sélection qualitative précoce (De Saint-Vaultry, 1969) sur le mécanisme régulateur de la croissance radiale situé dans la cime verte au niveau du houppier. Les interventions du forestier ont pour but d'assurer le développement harmonieux du pourtour entier de l'arbre, afin d'obtenir une croissance régulière et soutenue.

Un traitement sylvicole approprié permet ainsi d'obtenir ou d'améliorer la qualité technologique, car le niveau des propriétés du bois, en plus de ses qualités intrinsèques, est tributaire de l'épaisseur des cernes et de leur régularité (Leclercq, 1980). Une production de feuillus de qualité, bien qu'associée à la fertilité du site, dépend essentiellement du mode de traitement adapté à l'essence, compte tenu de la position sociale de l'individu dans le peuplement et de la densité du matériel sur pied en regard des propriétés technologiques du bois (Leclercq, 1975; Stroempl, 1983). Une conduite des peuplements feuillus est justifiée par la valeur ajoutée des assortiments produits, car l'indice de qualité peut changer du simple au double ou même au triple entre les classes F-3 et «select» (Mendel et Peirsol, 1977).

La sylviculture et l'aménagement des feuillus en Estrie sont des activités récentes, souvent associées aux recherches effectuées à la forêt expérimentale de Dudswell (Roberge, 1975, 1987 et 1988). En général, les peuplements actuels, âgés de 50 à 60 ans, sont issus des coupes à blanc ou des coupes au diamètre limite des années 30. L'aménagement forestier se résumait alors à la récolte du bois, et les peuplements formés par le processus naturel étaient souvent d'une qualité technologique médiocre (Roberge, 1987). La différenciation sociale et la structure qualitative de ces peuplements étant déjà fixées, il ne reste au sylviculteur que peu de moyens pour améliorer la qualité du bois, sinon qu'à accélérer la production résiduelle par des traitements intenses avant la coupe finale.

L'aménagement de la forêt feuillue par des interventions intenses est une pratique qui a été instaurée au milieu du XIX^e siècle en Allemagne par Seebach pour les hêtraies dégradées (Assmann, 1961). Lors de l'intervention unique, ou répétée plus tard, on prélevait jusqu'à 60 % du volume total sur pied lors de l'éclaircie pour stimuler l'accroissement du peuplement résiduel et, en pratique, pour raccourcir la période de révolution. Les résultats de ce régime d'aménagement ne se sont pas toujours avérés positifs. L'analyse critique de certaines expériences a démontré qu'il y avait autant d'amélioration du rendement qualitatif que de pertes quantitatives «non justifiées» (Mahler, 1937 *in* Assmann, 1961; Assmann, 1943 *in*

Assmann, 1961). L'éclaircie de mise en lumière, qui s'avère appropriée pour l'aménagement des feuillus de faible qualité (Zimmerle, 1944 *in* Assmann, 1961; Assmann, 1950 *in* Assmann, 1961), doit être basée sur un choix judicieux des meilleurs arbres résiduels pour éviter les interventions schématiques; elle doit aussi être adaptée à l'état du peuplement pour ne pas dépasser le seuil critique du boisement.

Objectif de l'étude

Les travaux de recherche ont été entrepris à la forêt expérimentale de Saint-Zacharie afin de vérifier l'aménagement des érablières par des éclaircies intensives de mise en lumière. Le présent travail a pour objectif d'évaluer l'effet de ces éclaircies sur l'accroissement radial des principales essences d'érablières à hêtre et à bouleau jaune et d'érablières à frêne d'Amérique et à tilleul, à savoir : l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) (ERS), le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.) (HEG), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton) (BOJ), le frêne d'Amérique (*Fraxinus americana* L.) (FRA) et le tilleul d'Amérique (*Tilia americana* L.) (TIL).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Description du massif boisé

La présente étude a été effectuée dans trois parcelles expérimentales de 0,25 ha à la forêt de Saint-Zacharie, comté de Richmond, au Québec. Ce massif de 70 ha, propriété de la compagnie Domtar inc., est situé à 45°35' de latitude N., à 71°45' de longitude O. et à une altitude de 340 m (figure 1).

Selon la classification forestière de Rowe (1972), la forêt de Saint-Zacharie se trouve dans la région «L» des Grands-Lacs et du Saint-Laurent, dans la section «L-5» des Cantons-de-l'Est, et selon Thibault (1986), elle fait partie de la région écologique «2d» du sous-domaine d'érablière à bouleau jaune.

Selon le Service de l'environnement atmosphérique d'Environnement Canada, à l'aéroport de Sherbrooke, les conditions climatiques régionales sont caractérisées par une saison de croissance de 130 jours, par des précipitations annuelles de $949,9 \pm 126,2$ mm, la hauteur des pluies étant de $709,6 \pm 107,1$ mm et l'accumulation annuelle de neige de $253,2 \pm 69,1$ cm.

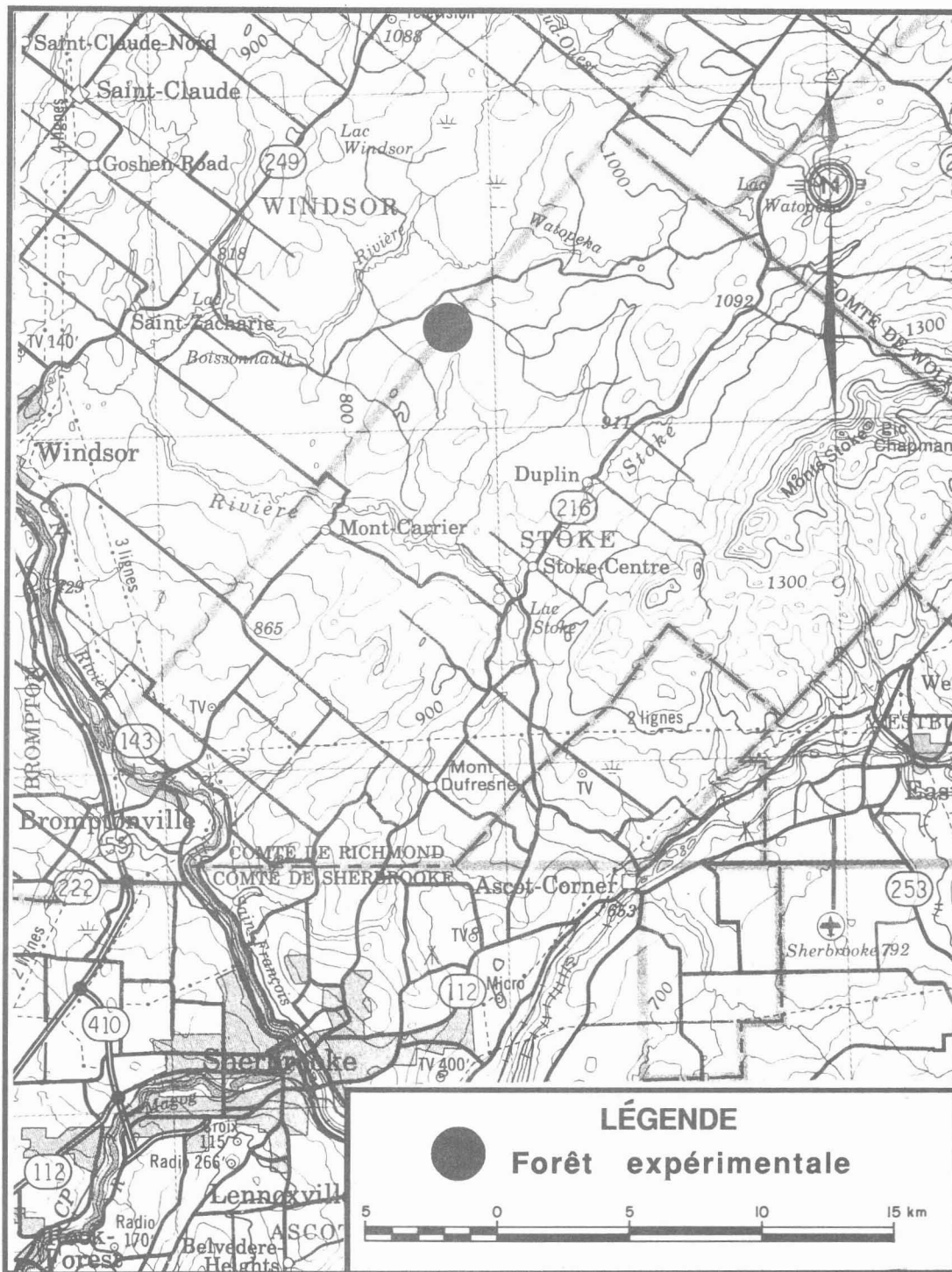


Figure 1. Localisation de la forêt expérimentale.

La température moyenne annuelle est de $5,9 \pm 0,5$ °C, tandis que le minimum moyen annuel est de $1,1 \pm 0,5$ °C et le maximum moyen annuel de $10,7 \pm 0,6$ °C.

Le substrat géologique fait partie d'un assemblage volcano-sédimentaire fortement schistosé et intensément plissé de la formation Ascot, d'âge Cambro-Ordovicien inférieur (Dubois, 1973), et le dépôt meuble est un matériel morainique hétérogène du Pléistocène.

Le peuplement de la parcelle 1 est une futaie composée, selon le volume, d'érables à sucre (60 %), de bouleaux jaunes (21 %), de hêtres à grandes feuilles (9 %) et d'érables rouges (*Acer rubrum* L.) (ERR) (7 %). Les strates inférieures sont caractérisées par la constance de *Dryopteris spinulosa*, de *Lycopodium lucidulum* et par la présence sporadique d'*Acer pennsylvanicum*. La parcelle est située au pied d'une pente moyenne et régulière de 8 %, exposée au nord-est. Le sol est un podzol humo-ferrique orthique acide; il est faiblement saturé en bases et bien drainé. La granulométrie du sol est squelettique-loameuse et le contact lithique est généralement inférieur à 1 m.

La parcelle 2 est une futaie composée d'érables à sucre (73 %), de hêtres à grandes feuilles (17 %) et de bouleaux jaunes (9 %). Dans les strates inférieures, on trouve *Dryopteris spinulosa* et *Lycopodium lucidulum*. La parcelle est située en haut d'une pente régulière de 4 %, exposée au nord. Le sol de la parcelle est un podzol humo-ferrique orthique, modérément bien drainé, ayant une granulométrie squelettique-loameuse et un contact lithique généralement inférieur à 1 m. Compte tenu de la réaction, le sol est acide et faiblement saturé en bases.

La parcelle 3 est située au bas d'une pente moyenne et régulière de 2 %, exposée au nord-est. Le sol est un gleysol orthique mince, avec une texture loameuse et un drainage imparfait. Il s'agit d'un sol acide qui, selon le taux de saturation en bases pour l'horizon B, s'avère plus riche que les sols des parcelles précédentes. Le peuplement est une futaie composée d'érables à sucre (47 %), de frênes d'Amérique (39 %), de tilleuls d'Amérique (9 %) et de bouleaux jaunes (5 %). La composition de la strate herbacée est caractérisée par la constance de *Tiarella cordifolia*, de *Dryopteris phegopteris* et de *Dryopteris disjuncta*.

Protocole dendrométrique et sylvicole

En 1986, trois parcelles expérimentales de 50 m sur 50 m (0,25 ha) ont été installées dans le massif; leur emplacement a été choisi de façon aléatoire selon une grille de 70 m sur 70 m.

Dans chaque parcelle, le diamètre de tous les arbres vivants ayant un $dhp_{a.é.}$ plus grand que 7 cm a été mesuré au millimètre près; la hauteur des arbres a aussi été notée au demi mètre près. Tous ces arbres ont été numérotés. La qualité du bois de chaque arbre a été évaluée visuellement sur le terrain selon les trois critères utilisés pour caractériser le bois destiné au sciage (Petro et Calwert, 1976), soit les classes bonne, moyenne et mauvaise. Nous nous sommes inspirés de la classification de Stroempl (1983); ainsi la classe «bonne» a été attribuée lorsqu'il n'y avait pas de défauts visibles sur les 5 premiers mètres de la tige. La classe «moyenne» a été attribuée lorsqu'il n'y avait que des défauts légers et que la longueur de la bille de pied était d'au moins 3,5 m. Enfin, la classe «mauvaise» a été attribuée aux tiges présentant des défauts sévères ou ne répondant pas aux critères de sciage. Les arbres ont été cubés à partir du $dhp_{a.é.}$ et de la hauteur totale à l'aide des tarifs de Tremblay (1966), sauf pour le cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrh.) (CET) où l'on a eu recours au tarif d'Honer et collab. (1983).

Le traitement sylvicole visait en premier lieu l'individualisation des meilleurs sujets sans créer d'ouvertures excessives dans le peuplement et sans provoquer l'envahissement du parterre par la végétation indésirable. L'éclaircie a été martelée à l'automne 1986, et la coupe a été effectuée en 1987 par la compagnie Domtar inc.

La réaction du peuplement au traitement sylvicole a été évaluée à partir de l'accroissement radial des arbres résiduels par la comparaison temporelle. À cette fin, l'accroissement radial mesuré 4 ans avant l'éclaircie a été comparé à l'accroissement radial mesuré 4 ans après l'éclaircie. L'accroissement radial a été mesuré au printemps 1992 sur des carottes prélevées à la tarière de Pressler, à l'aide d'un compas électronique au 1/100 mm près.

La comparaison temporelle a été choisie, car il était difficile de constituer, dans une forêt non éduquée, des parcelles témoins ayant les mêmes dimensions et les mêmes conditions de peuplement. Cette méthode a aussi été retenue pour éviter l'effet de la structure altérée par la coupe (Marquis et Ernst, 1991), parce que la composition des parcelles n'était pas monospécifique et que la structure des parcelles (diamétrale et verticale) n'était pas parfaitement normale.

La période de comparaison a été déterminée d'après les résultats de Roberge (1987) et Stroempl (1983) pour des érablières de 52 ans et de 61 ans. Selon ces auteurs,

l'accroissement radial atteint son maximum 4 à 5 ans après la coupe pour l'érable à sucre et 3 ans après la coupe dans le cas du bouleau jaune et du tilleul d'Amérique.

Les résultats de l'analyse de tiges ont indiqué que l'âge moyen était de 52 ans en 1987, ce qui confirme donc que les parcelles tirent leur origine de la coupe de 1935. L'analyse de tiges a aussi révélé qu'au moment de l'éclaircie, les arbres dominants avaient déjà dépassé la phase de la pleine croissance, et l'effet d'éclaircie pourrait se traduire temporairement par un changement de la tendance en accroissement radial.

Analyse statistique

L'effet des éclaircies sur l'accroissement radial a été étudié à l'aide de l'analyse de variance, et les facteurs suivants ont été pris en compte : 1) éclaircie avec deux modalités (avant et après); 2) essence avec un nombre différent de modalités selon la parcelle et 3) arbre avec un nombre de modalités variant fortement selon l'essence et la parcelle.

Nous n'avons pas considéré la vigueur de l'arbre sous forme des classes de croissance équivalente (Horne et collab., 1986), en raison de l'absence de corrélations significatives entre la grosseur des arbres et la réaction à l'éclaircie (i_r après/ i_r avant).

Notons que les arbres étaient emboîtés dans les essences et qu'ils représentaient des blocs sur lesquels nous avons pris deux mesures (avant et après l'éclaircie). Nous avons donc travaillé avec un plan à blocs aléatoires complets. Enfin, la variable dépendante numérique correspondait à l'accroissement radial (mm. an^{-1}).

En présence d'interaction significative entre les facteurs éclaircie et essence, des analyses séparées ont été effectuées pour chacune des essences. Les différents tests statistiques ont été effectués à l'aide d'un logiciel de SAS Institute Inc. (1985) au seuil critique de 5 %.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

État des peuplements en 1986

L'inventaire de 1986 a permis de préciser la structure des peuplements étudiés. La distribution diamétrale des tiges dans la parcelle 1 (figure 2) n'est pas normale, mais elle n'est pas non plus en J inversé, distribution propre aux peuplements inéquiennes. La structure asymétrique à gauche est liée à la présence des deux essences tolérantes : l'érable à sucre et surtout le hêtre à grandes feuilles. Le bouleau jaune présente une distribution

normale, comme l'érable rouge, alors que l'intolérant cerisier tardif est confiné aux classes les plus grosses.

La structure verticale (figure 3) est caractérisée par une distribution asymétrique à droite et présente une nette concentration des tiges dans la strate supérieure. Celle-ci est dominée par l'érable à sucre et le bouleau jaune. Il s'agit d'une futaie régulière ayant une stratification relativement simple.

La parcelle 2 présente une distribution diamétrale (figure 4) semblable à celle de la parcelle 1; cependant, la position du hêtre et du bouleau jaune dans le peuplement est différente. Dans la parcelle 1, le hêtre est cantonné aux petits et moyens bois, alors que, dans la parcelle 2, il suit la distribution de l'érable à sucre dans toutes les classes de diamètres. Le bouleau jaune est confiné aux petits et moyens bois seulement dans la parcelle 2.

La distribution verticale (figure 5) de la parcelle 2 est mieux équilibrée (quasi normale), et la strate supérieure est formée essentiellement d'érable à sucre. Une faible présence du bouleau jaune dans la strate supérieure et sa concentration dans la strate moyenne pourrait résulter du retard dans la différenciation sociale.

La parcelle 3 présente une structure plus complexe que les parcelles précédentes. La structure diamétrale (figure 6) est nettement asymétrique à gauche et elle s'apparente aux structures des peuplements inéquiennes (J inversé). On reconnaît une imbrication des essences selon la séquence suivante : bouleau jaune, érable à sucre, frêne d'Amérique et tilleul d'Amérique. Il faut souligner le confinement du bouleau jaune aux faibles diamètres seulement.

La structure verticale (figure 7) permet de distinguer deux étages : l'étage des dominés, composé de bouleau jaune et d'érable à sucre, et l'étage supérieur des dominants, formé de frêne d'Amérique, d'érable à sucre et de tilleul d'Amérique. Cette observation laisse supposer que le peuplement de la parcelle 3 a subi une forte différenciation sociale, où le frêne d'Amérique et le tilleul d'Amérique ont imposé un modèle hiérarchique propre grâce à leur croissance apicale soutenue et où seul l'érable à sucre a profité des ouvertures créées.

Malgré l'humidité du site, le bouleau jaune n'a pas réussi à s'imposer dans la lutte pour le soleil; il est donc voué à la disparition dans la dynamique de la structure verticale.

L'inventaire des parcelles de 1986 indique (tableau 1) qu'en comparaison avec le guide de Roach (1977) et les tables de Plonski (1981), les parcelles sont bien stockées et productives;

on observe des accroissements annuels moyens en volume à 51 ans de $4,74 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour la parcelle 1, de 4,22 pour la parcelle 2 et de $5,29 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour la parcelle 3.

Tableau 1. Caractéristiques des parcelles avant et après l'éclaircie

| Parcelle | n | dhp _{a.é.} (cm) | h (m) | g (m ²) | v _{a.é.} (m ³) | D.R. (%) |
|-------------------|-----|-----------------------------|----------|------------------------|--|-------------|
| <u>Parcelle 1</u> | | | | | | |
| Initial | 258 | 18,5 | 18,9 | 6,971 | 60,44 | 110 |
| Coupe | 95 | 20,2 | 19,6 | 3,035 | 26,52 | |
| Résiduel | 163 | 17,5 | 18,6 | 3,936 | 33,92 | |
| <u>Parcelle 2</u> | | | | | | |
| Initial | 232 | 19,1 | 18,3 | 6,631 | 53,90 | 104 |
| Coupe | 103 | 20,3 | 17,8 | 3,324 | 27,00 | |
| Résiduel | 129 | 18,1 | 17,7 | 3,307 | 26,90 | |
| <u>Parcelle 3</u> | | | | | | |
| Initial | 271 | 18,7 | 18,5 | 7,442 | 67,43 | 95 |
| Coupe | 72 | 20,9 | 19,2 | 2,463 | 23,28 | |
| Résiduel | 199 | 17,9 | 18,2 | 4,983 | 44,15 | |

Note : n = nombre de tiges; dhp_{a.é.} = diamètre à hauteur de poitrine avec écorce; h = hauteur; g = surface terrière; v_{a.é.} = volume avec écorce; D.R. = densité relative ou «stocking» établi d'après Roach (1977).

Cependant, l'étude de la qualité du volume sur pied (tableau 2) a révélé une très forte proportion de bois de mauvaise qualité, destiné surtout pour la pâte, alors que le volume du bois pour le sciage de bonne qualité était faible.

Tableau 2. Distribution du volume par classe de qualité

| Parcelle | Classe de qualité (%) | | |
|----------|-----------------------|---------|----------|
| | bonne | moyenne | mauvaise |
| 1 | 7,8 | 44,8 | 47,4 |
| 2 | 8,7 | 54,4 | 36,9 |
| 3 | 10,7 | 58,6 | 30,7 |

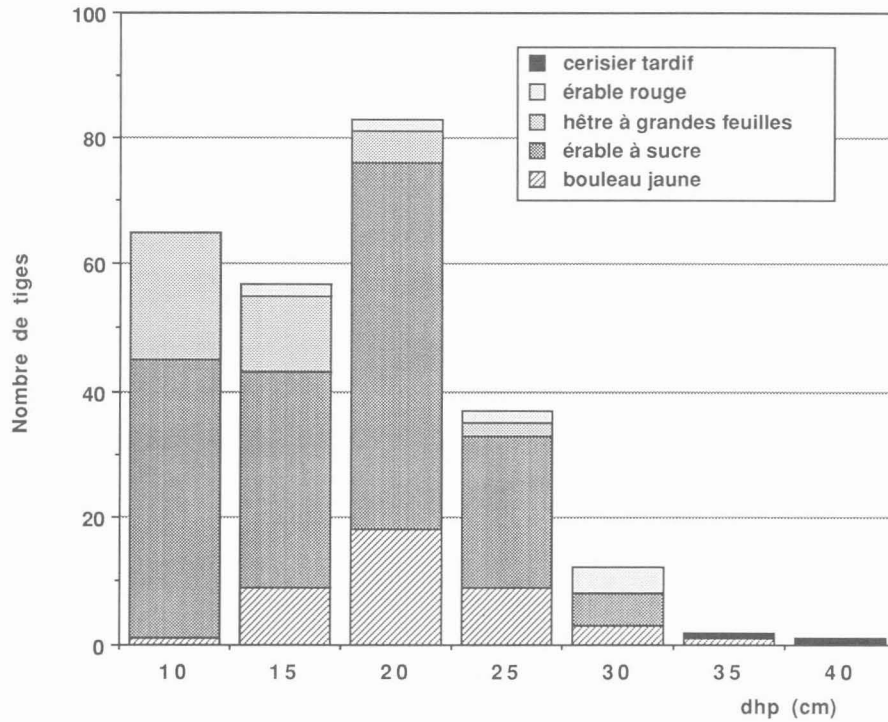


Figure 2. Distribution diamétrale de la parcelle 1 en 1986.

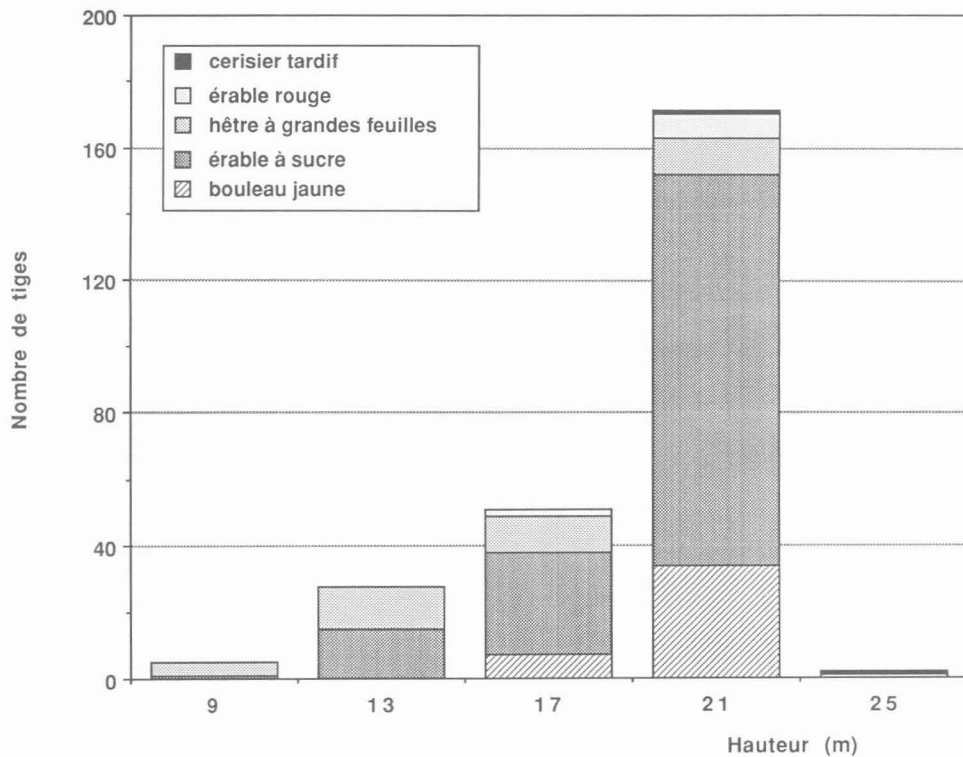


Figure 3. Distribution verticale de la parcelle 1 en 1986.

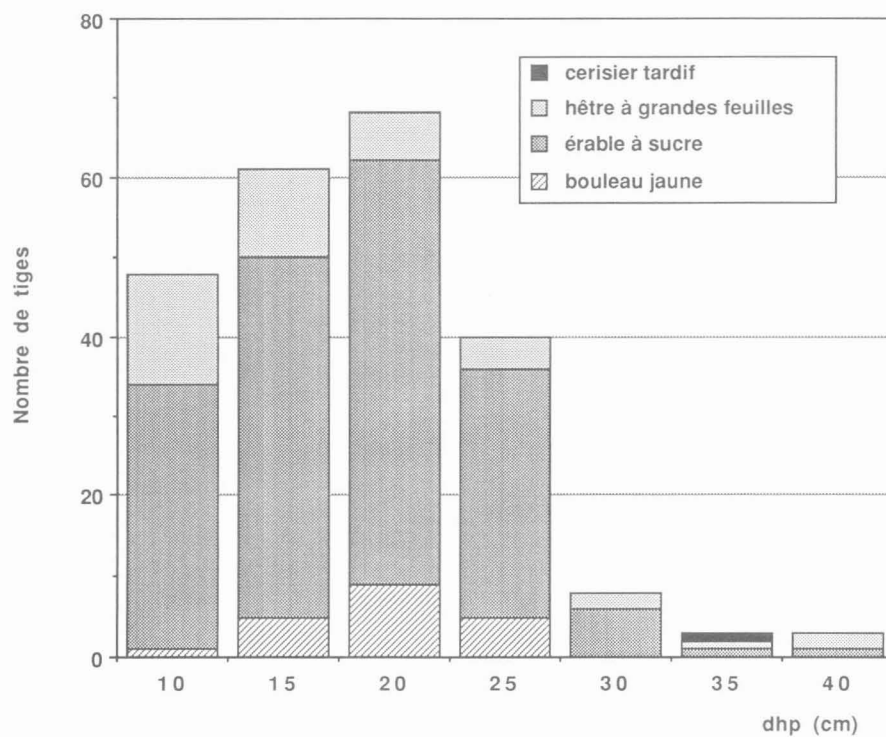


Figure 4. Distribution diamétrale de la parcelle 2 en 1986.

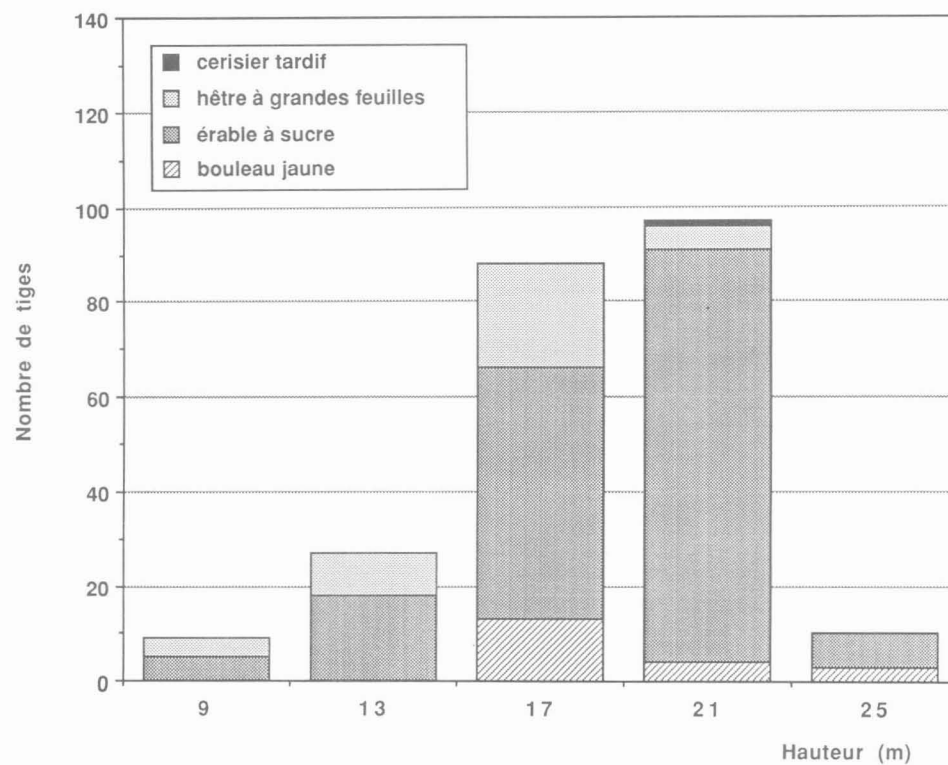


Figure 5. Distribution verticale de la parcelle 2 en 1986.

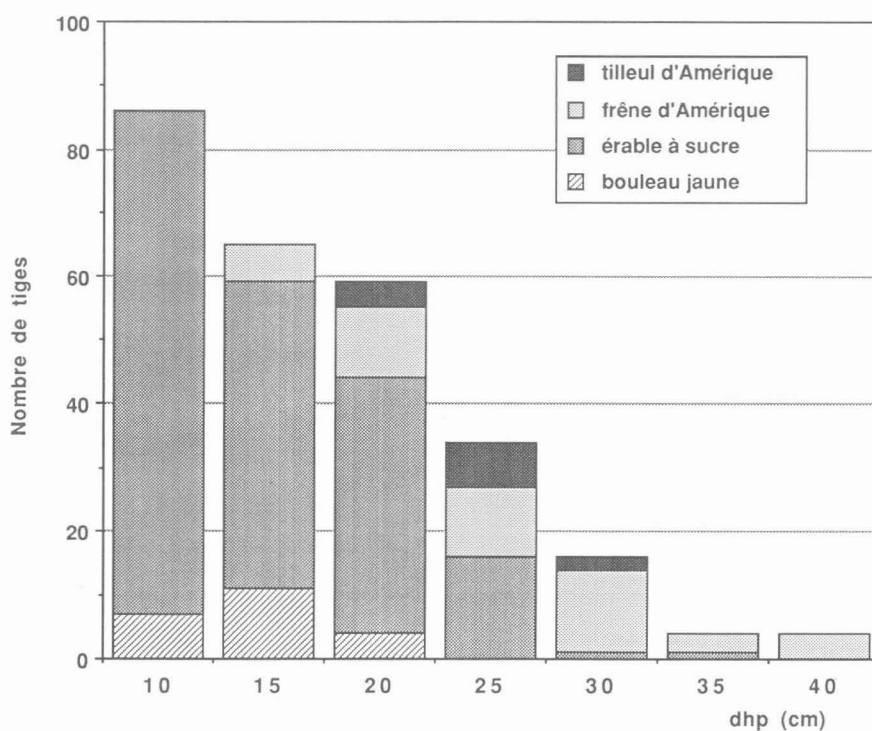


Figure 6. Distribution diamétrale de la parcelle 3 en 1986.

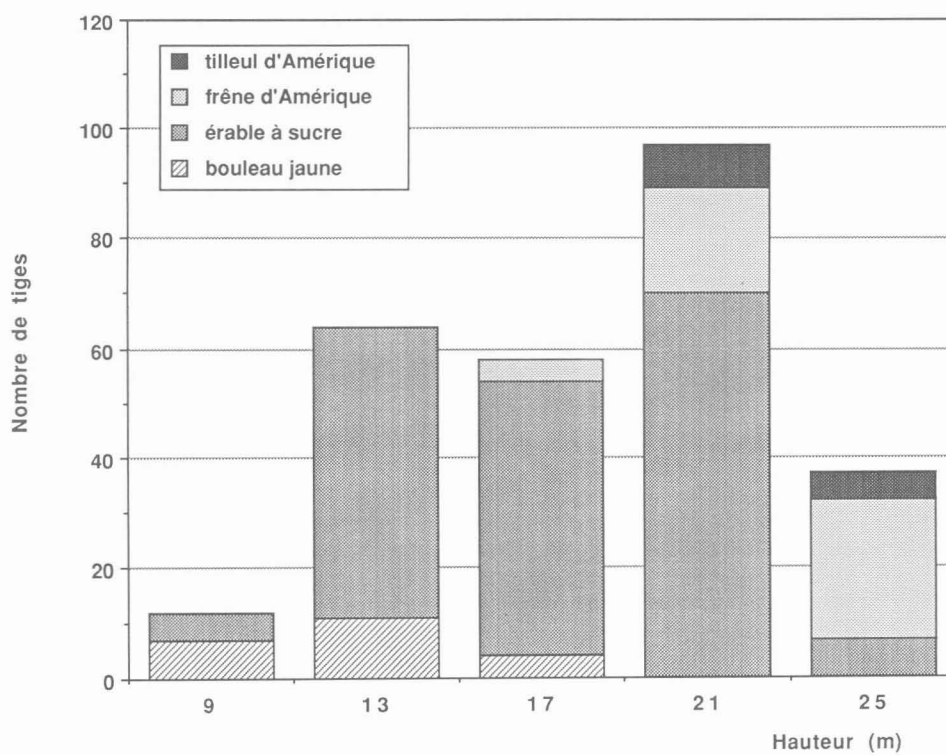


Figure 7. Distribution verticale de la parcelle 3 en 1986.

L'inventaire qualitatif des parcelles met en lumière la nécessité d'adopter un programme d'aménagement approprié pour les feuillus, afin d'augmenter la valeur des assortiments et de rentabiliser la production forestière, car l'évolution naturelle n'est pas garante d'une production de qualité.

Nature et intensité des éclaircies

Compte tenu de la qualité du bois sur pied, une éclaircie intense a été effectuée dans les trois parcelles par l'individualisation des meilleurs sujets sans créer d'ouvertures excessives. Dans la parcelle 1, selon le volume coupé (tableau 1) l'intensité d'éclaircie était de 44 %. L'intervention par le haut a été concentrée autour de la classe de 20 cm (figure 8), car elle a surtout touché les arbres de la strate supérieure (figure 9).

Dans la parcelle 2, l'intensité d'intervention (tableau 1) correspondait à 50 % du volume, et l'éclaircie a surtout éliminé les sujets des classes de 15 cm et de 20 cm (figure 10). C'était une intervention combinée (figure 11), car elle a touché non seulement les arbres de la strate dominante, mais aussi et surtout ceux de la strate moyenne.

Enfin, dans la parcelle trois, l'intensité de l'intervention sélective (tableau 1) correspondait à 35 % du volume; la coupe a été effectuée dans toutes les classes de grosseur (figure 12) et a touché les arbres de toutes les strates (figure 13).

État des peuplements en 1992

Au printemps de 1992, l'inventaire des trois parcelles a été effectué par la mesure des diamètres à hauteur de poitrine, des hauteurs totales et des accroissements radiaux. Cet inventaire (tableau 3) a permis de constater que le taux de mortalité des tiges était moins élevé dans les parcelles 1 et 2 et plus important dans la parcelle 3.

Pour la période de 1987 à 1992, la différence entre les deux inventaires révèle que, dans la parcelle 1, le taux d'accroissement annuel était de 4,2 % en surface terrière et de 5,2 % en volume. La comparaison des inventaires pour la parcelle 2 indique un taux annuel de 4,3 % d'accroissement en surface terrière et de 7,2 % en volume. Enfin, la comparaison des inventaires pour la troisième parcelle donne un taux d'accroissement annuel de 1,6 % en surface terrière et de 2,3 % en volume. Il faut souligner l'augmentation de la densité relative des parcelles, lorsque comparée avec la charte de Roach, par rapport à la densité résiduelle de 1987.

Tableau 3. Inventaire des parcelles au printemps 1992

| Parcelle | n | dhp _{a.é.} (cm) | h (m) | g (m ²) | v _{a.é.} (m ³) | D.R. (%) |
|---|-----|-----------------------------|----------|------------------------|--|-------------|
| <u>Parcelle 1</u> | | | | | | |
| Inventaire | 150 | 19,8 | 18,8 | 4,597 | 40,95 | 23 |
| Mortalité | 13 | 11,8 | 16,3 | 0,141 | 1,14 | |
| Différence entre 1987 et 1992, tiges vivantes | | | | 0,661 | 7,03 | |
| <u>Parcelle 2</u> | | | | | | |
| Inventaire | 112 | 21,0 | 19,9 | 6,631 | 34,02 | 6 |
| Mortalité | 17 | 10,5 | 13,8 | 0,147 | 1,02 | |
| Différence entre 1987 et 1992, tiges vivantes | | | | 0,568 | 7,12 | |
| <u>Parcelle 3</u> | | | | | | |
| Inventaire | 162 | 20,4 | 19,5 | 5,302 | 49,22 | 40 |
| Mortalité | 37 | 11,8 | 15,3 | 0,408 | 3,02 | |
| Différence entre 1987 et 1992, tiges vivantes | | | | 0,319 | 5,07 | |

Note : les variables sont définies au tableau 1.

Effet des éclaircies sur l'accroissement radial

Pour évaluer l'effet de l'éclaircie sur la croissance radiale, tous les arbres vivants ont été sondés au printemps 1992 (sauf un érable à sucre dans la parcelle 1, en raison d'une blessure) à l'aide de la tarière de Pressler. L'accroissement radial a été mesuré sur des carottes extraites pour la période de 4 ans avant l'éclaircie et pour la période de 4 ans après l'éclaircie, pour un total de 423 mesures (tableau 4).

Certaines essences, comme le cerisier tardif et l'érable rouge, n'ont pas été incluses dans l'analyse statistique en raison du très faible nombre de mesures.

Tableau 4. Nombre d'arbres sondés par essence et par parcelle

| Parcelle | ERS | HEG | BOJ | FRA | TIL | ERR | CET | Total |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1 | 103 | 27 | 15 | 0 | 0 | 3 | 1 | 149 |
| 2 | 95 | 12 | 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 112 |
| 3 | 114 | 0 | 12 | 26 | 8 | 2 | 0 | 162 |
| Total | 312 | 39 | 31 | 26 | 8 | 5 | 2 | 423 |

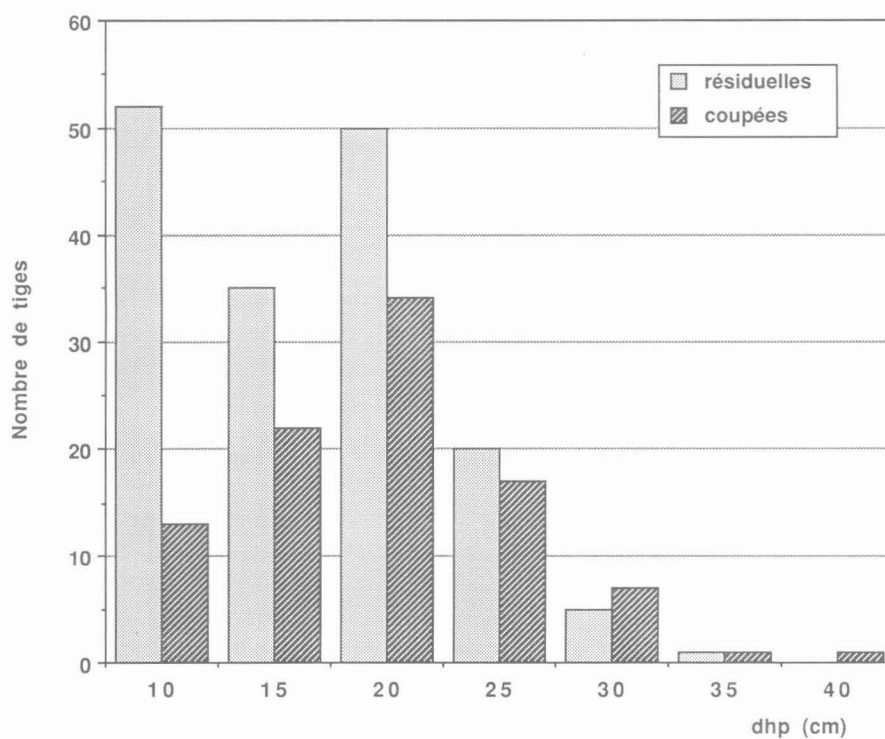


Figure 8. Distribution diamétrale de la parcelle 1 après la coupe.

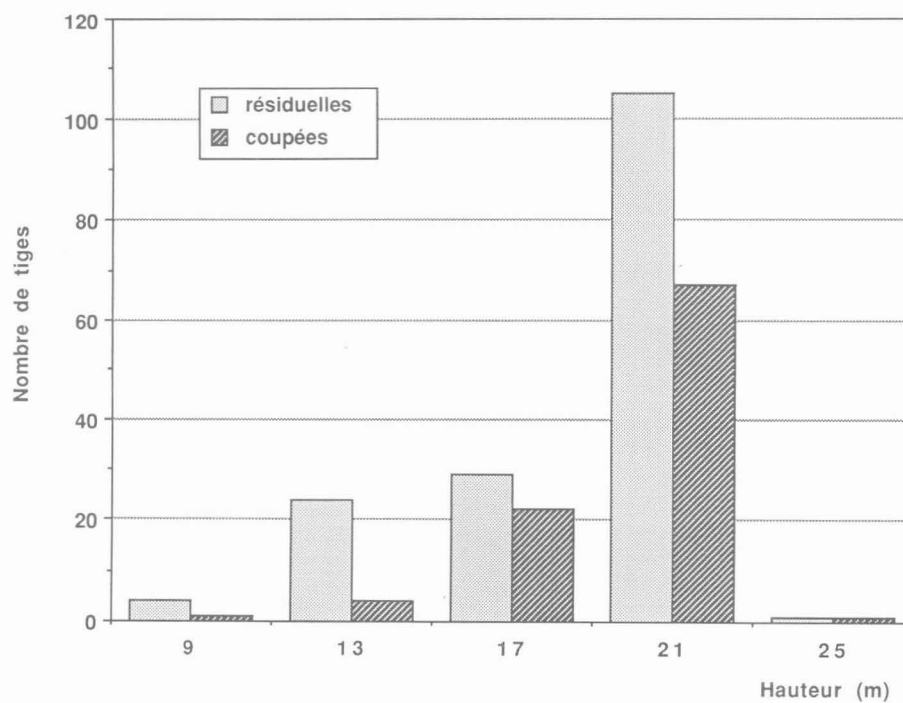


Figure 9. Distribution verticale de la parcelle 1 après la coupe.

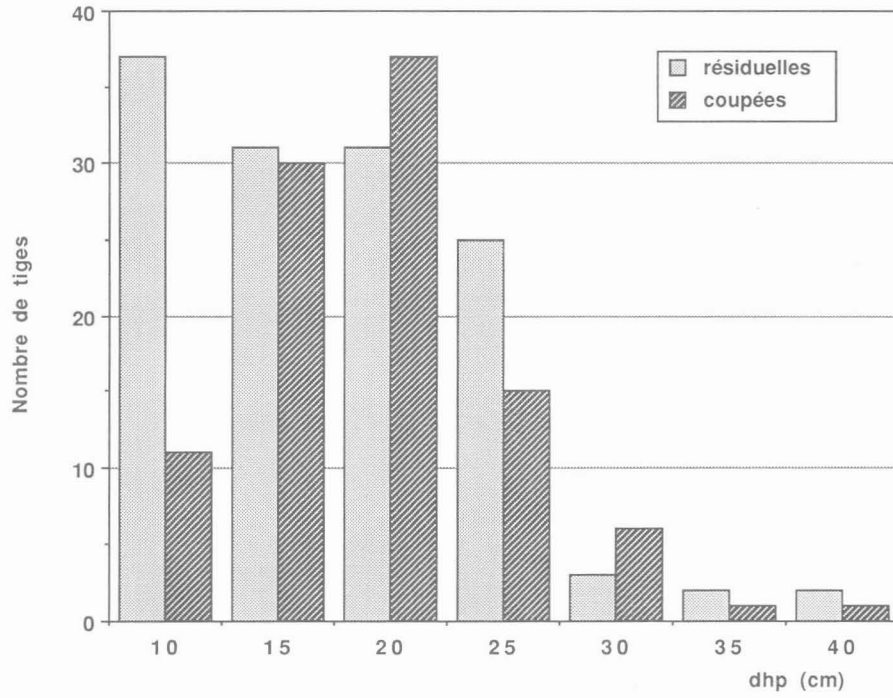


Figure 10. Distribution diamétrale de la parcelle 2 après la coupe.

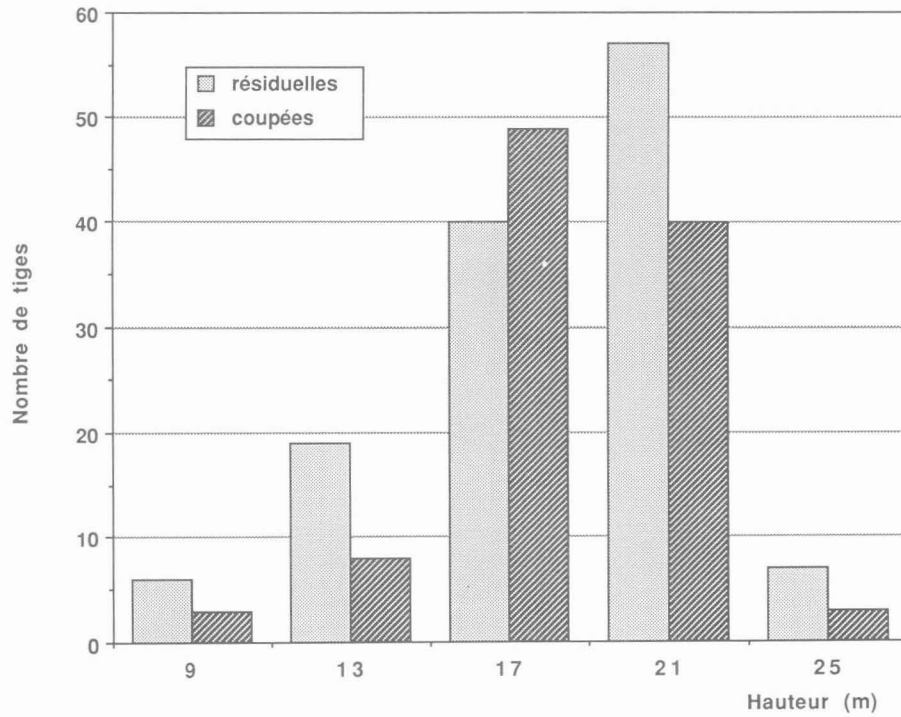


Figure 11. Distribution verticale de la parcelle 2 après la coupe.

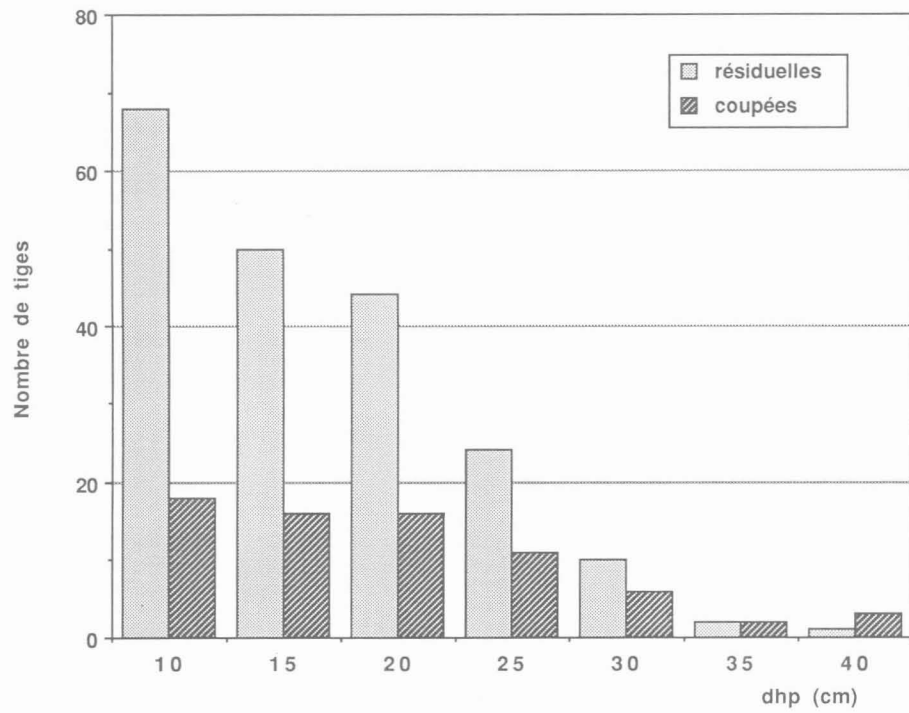


Figure 12. Distribution diamétrale de la parcelle 3 après la coupe.

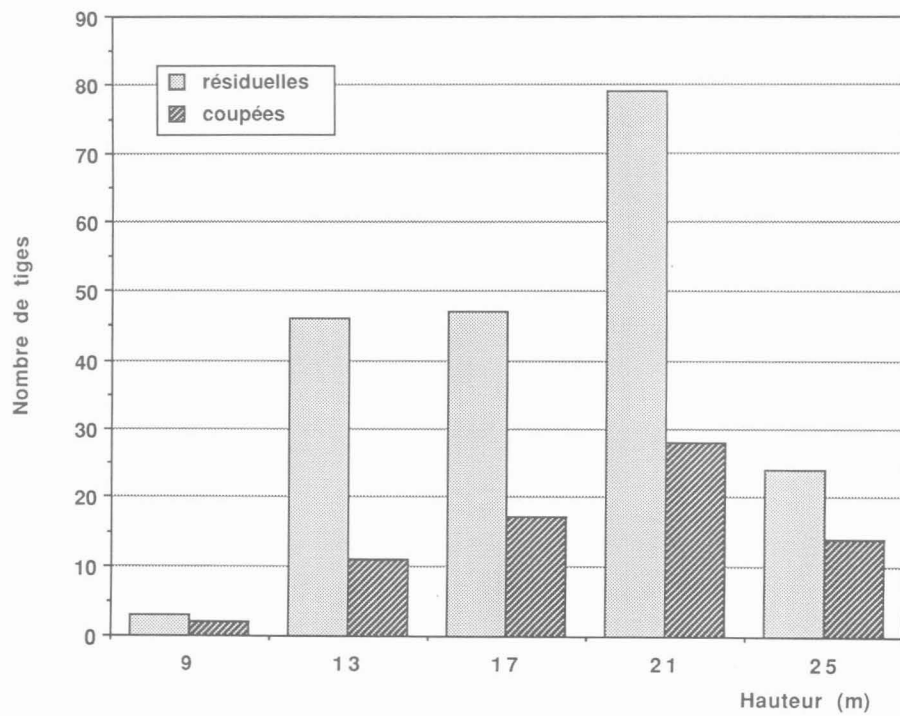


Figure 13. Distribution verticale de la parcelle 3 après la coupe.

Parcelle 1 - éclaircie par le haut

Dans la parcelle 1, l'analyse de variance indique l'absence d'interaction significative entre les facteurs éclaircie et essence, ce qui veut dire que l'effet d'éclaircie par le haut est le même pour toutes les essences étudiées dans cette parcelle. Le test sur le facteur éclaircie permet de conclure que l'augmentation de $0,239 \text{ mm.an}^{-1}$ de l'accroissement radial après l'éclaircie est significative ($p = 0,0001$).

La figure 14 illustre bien l'absence d'interaction entre les facteurs éclaircie et essence pour la parcelle 1. La réaction de l'érable à sucre, du hêtre à grandes feuilles et du bouleau jaune à l'éclaircie par le haut est une augmentation de la croissance radiale de $0,257 \text{ mm.an}^{-1}$, $0,190 \text{ mm.an}^{-1}$ et $0,205 \text{ mm.an}^{-1}$ respectivement.

Parcelle 2 - éclaircie combinée

Pour la parcelle 2, l'analyse de variance permet de conclure à une interaction significative ($p = 0,026$) entre les facteurs éclaircie et essence. Ce résultat indique que les essences réagissent différemment à l'éclaircie combinée (figure 14) et il justifie le recours à un traitement statistique distinct pour chaque essence. Étant donné que le facteur éclaircie n'a que deux modalités (avant et après l'éclaircie) qui sont mesurées sur les mêmes arbres, le traitement statistique approprié est le test «*t*» païré.

L'éclaircie combinée de la parcelle 2 n'entraîne aucune réaction significative de l'accroissement radial pour les trois essences étudiées (érable à sucre, bouleau jaune et hêtre à grandes feuilles). La diminution observée de $-0,312 \text{ mm.an}^{-1}$ pour le bouleau jaune, bien qu'importante en amplitude, demeure statistiquement non significative ($p = 0,24$) en raison du petit nombre de tiges (4). Dans le cas de l'érable à sucre, l'augmentation observée de l'accroissement radial est pratiquement négligeable et statistiquement non significative ($0,060 \text{ mm.an}^{-1}$, $p = 0,074$). Finalement, l'éclaircie combinée a entraîné une augmentation de l'accroissement radial de $0,206 \text{ mm.an}^{-1}$ pour le hêtre à grandes feuilles; le petit nombre de tiges (12) ne permet cependant pas de conclure que cette augmentation est statistiquement significative ($p = 0,055$) au seuil de 5 %.

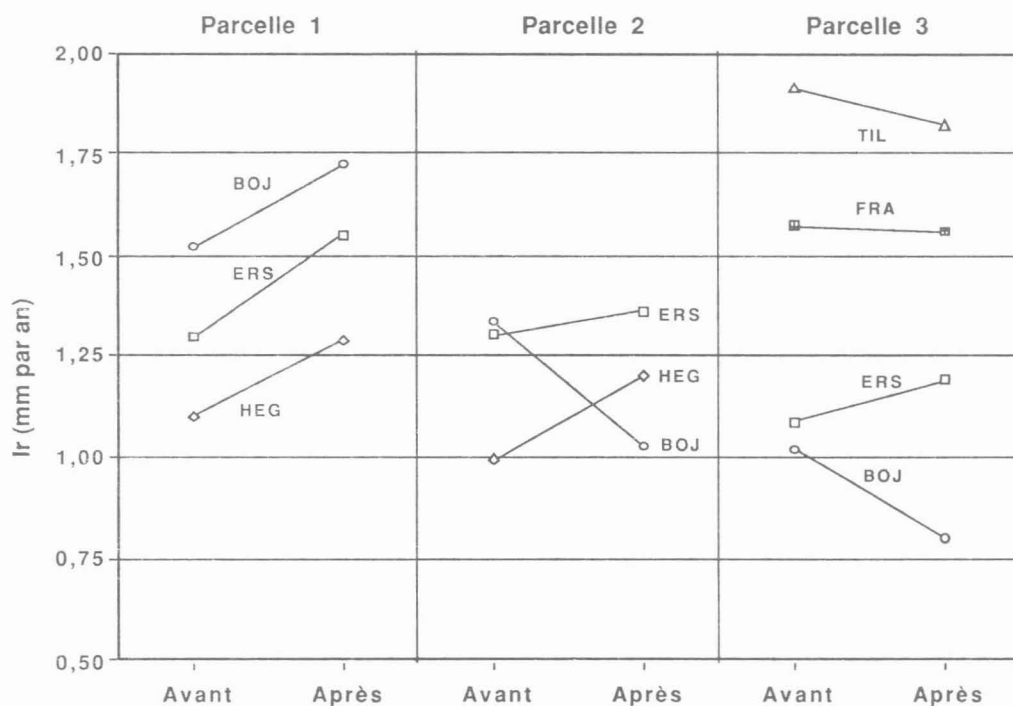


Figure 14. Accroissement radial (i_r) avant et après l'éclaircie, selon la parcelle et l'essence.

Parcelle 3 - éclaircie sélective

L'analyse de variance permet de conclure à une interaction significative ($p = 0,043$) entre les facteurs éclaircie et essence. Ce résultat indique que les essences réagissent de façon différente à l'éclaircie sélective (figure 14), ce qui justifie le recours à un traitement statistique distinct pour chaque essence.

À la suite de l'éclaircie sélective, les tests « t » pairés permettent de déceler une diminution significative ($p = 0,017$) de l'accroissement radial du bouleau jaune avec une baisse de $0,218 \text{ mm.an}^{-1}$ et à une augmentation significative de $0,102 \text{ mm.an}^{-1}$ ($p = 0,009$) de l'accroissement radial pour l'érable à sucre.

Pour le frêne d'Amérique et le tilleul d'Amérique, les tests « t » pairés permettent de constater que le traitement n'est pas significatif; on note en effet des baisses négligeables de l'accroissement radial de $0,013 \text{ mm.an}^{-1}$ ($p = 0,89$) et de $0,092 \text{ mm.an}^{-1}$ ($p = 0,55$) respectivement.

Effet des éclaircies - sommaire

L'étude de la réaction des essences à l'éclaircie (tableau 5) permet de faire ressortir certains points importants.

Tableau 5. Sommaire des éclaircies par essence et par parcelle

| Parcelle | Essence | Nombre de tiges | q | diff. (mm/an) |
|----------|---------|-----------------|------|---------------|
| 1 | BOJ | 15 | 1,16 | 0,205 |
| 1 | ERS | 103 | 1,25 | 0,257 |
| 1 | HEG | 27 | 1,23 | 0,190 |
| 1 | toutes | 145 | 1,24 | 0,239 |
| 2 | BOJ | 4 | 0,85 | -0,311 |
| 2 | ERS | 95 | 1,07 | 0,060 |
| 2 | HEG | 12 | 1,27 | 0,206 |
| 2 | toutes | 111 | 1,09 | 0,062 |
| 3 | BOJ | 12 | 0,80 | -0,218 |
| 3 | ERS | 114 | 1,11 | 0,102 |
| 3 | FRA | 26 | 0,99 | -0,013 |
| 3 | TIL | 8 | 1,00 | -0,092 |
| 3 | toutes | 160 | 1,07 | 0,050 |

Note : $q = i_r$ après le traitement / i_r avant le traitement;
diff. = i_r après le traitement - i_r avant le traitement.

Ainsi, pour le bouleau jaune, l'éclaircie par le haut de la parcelle 1 est à l'origine d'une augmentation significative de 16 % de la croissance radiale, alors que, dans les parcelles 2 et 3, l'éclaircie combinée et l'éclaircie sélective ont entraîné des diminutions de l'accroissement radial de 15 % et de 20 % respectivement. Il faut cependant rappeler que la diminution associée à l'éclaircie combinée n'est pas statistiquement significative.

Cela démontre que le bouleau jaune n'a pas la capacité de progresser dans une hiérarchie sociale fixée et de réagir au traitement d'individualisation (Marquis et Ernst, 1991). En effet, la seule réaction positive de cette essence dans la position dominante de la parcelle 1 le prouve clairement.

La réaction de l'érable à sucre s'avère positive dans l'ensemble, on observe des augmentations de la croissance radiale de 25 % à l'éclaircie par le haut, de 7 % à l'éclaircie combinée et de 11 % à l'éclaircie sélective. Les résultats quant à l'accroissement radial de l'érable à sucre confirment ceux obtenus par Roberge (1975) à la forêt de Dudswell.

L'intervention intense par le haut dans la parcelle 1 et l'intervention sélective dans la parcelle 3 ont réussi à stimuler la croissance radiale de façon significative, alors que l'intervention intense combinée dans la parcelle 2 n'a pas produit l'effet escompté.

Le hêtre à grandes feuilles présente une réaction positive autant à l'éclaircie par le haut qu'à l'éclaircie combinée; l'augmentation de la croissance radiale est de 23 % dans la parcelle 1 et de 27 % dans la parcelle 2. Bien que cette augmentation ne soit pas significative au seuil de 5 % ($p = 0,055$) pour l'éclaircie combinée, ces résultats confirment la nature tolérante à l'ombre et la grande plasticité au type d'intervention du hêtre comparativement à l'érable à sucre et au bouleau jaune.

Enfin, l'absence de réaction à l'éclaircie sélective du tilleul d'Amérique et du frêne d'Amérique laisse supposer que, d'une part, il n'y avait pas d'expansion de cime chez ces essences de lumière dans la strate dominante pour stimuler la croissance radiale (Stroempl, 1983) et que, d'autre part, l'individualisation de ces essences doit être suffisamment précoce et répétée pour atteindre l'effet désiré (Marquis et Ernst, 1991).

Finalement, quoique l'effet d'éclaircies soit relativement facile à évaluer dans la parcelle 1 en raison d'une hiérarchie de peuplement simple, l'exercice devient beaucoup plus difficile dans les parcelles 2 et 3 en raison des structures hiérarchiques complexes.

CONCLUSION

Les éclaircies par le haut, combinée et sélective ont été effectuées dans les trois parcelles expérimentales avec une intensité d'intervention de 44, 50 et 35 % selon le volume coupé.

L'étude de l'effet d'éclaircie a permis de démontrer que le hêtre à grandes feuilles et l'érable à sucre ont connu une augmentation de l'accroissement radial dans toutes les parcelles où ils étaient présents.

L'analyse de variance a cependant démontré que ces augmentations n'étaient pas toujours statistiquement significatives. Pour le hêtre à grandes feuilles, l'éclaircie par le haut a été à l'origine d'une augmentation significative de l'accroissement radial. L'éclaircie combinée a amené une augmentation de l'accroissement radial plus importante que l'éclaircie par le haut, mais non significative au plan statistique. Ce résultat est sans doute attribuable au plus petit nombre de tiges dans la parcelle 2. En ce qui concerne l'érable à sucre, il a

réagi significativement aux éclaircies par le haut et sélective, alors que l'augmentation plus faible à la suite de l'éclaircie combinée n'était pas significative.

La réaction du bouleau jaune aux traitements a été mitigée, alors que l'analyse de variance a permis de détecter une augmentation significative à la suite de l'éclaircie par le haut et une diminution significative à la suite de l'éclaircie sélective.

Enfin, dans le cas du frêne et du tilleul, on ne note aucun changement en accroissement radial à la suite de l'éclaircie sélective.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier MM. Claude Allain, Jean-B. Breton, Denis Ouellet et M^{me} Paule de Margerie pour leur aide technique ainsi que M^{me} Michèle Bernier-Cardou, MM. Michel Boudoux et Marius Pineau pour leurs commentaires et leurs critiques constructives du manuscrit.

OUVRAGES CONSULTÉS

- Assmann, E. 1961. *Waldetragskunde*. BLV Munchen.
- De Saint-Vaultry, M. 1969. L'individualisation précoce des arbres d'avenir. *Rev. for. fr.* 2: 83-100.
- Dubois, J.M.M. 1973. Caractéristiques naturelles des Cantons de l'Est. *Dép. géogr., Univ. Sherbrooke, Sherbrooke, Qc. Rapp. du C.R.A.R.*, 130 p.
- Honer, T.G.; Ker, M.F.; Alemdag, I.S. 1983. Metric timber tables for the commercial tree species of central and eastern Canada. *Environ. Can., Can. For. Serv., Maritimes For. Res. Cent. Fredericton, N.B. Inf. Rep. M-X-140*.
- Horne, R.; Robinson, G.; Gwalter, J. 1986. Response increment : A method to analyze thinning response in even-aged forests. *For. Sci.* 32: 243-253.
- Leclercq, A. 1975. La qualité du bois de frêne. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 10 : 497-526.
- Leclercq, A. 1980. Les relations entre la sylviculture du hêtre et les propriétés physiques et mécaniques de son bois. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 15: 121-148.

- Marquis, D.A.; Ernst, R.L. 1991. The effects of stand structure after thinning on the growth of an Allegheny hardwood stand. *For. Sci.* 37: 1182-1200.
- Mendel, J.J.; Peirsol, M. K. 1977. Quality index tables for some eastern hardwood species based on lumber prices from 1970 to 1974. US Dept. Agric., For. Serv., Northeastern For. Exp. Sta., Upper Darby, PA. Res. Pap. NE-370.
- Petro, F.J.; Calwert, W.W. 1976. La classification des billes de bois franc destinées au sciage. *Pêches et Environ. Can., Serv. can. for., Ottawa, Ont.* Rapp. tech. for. 6F.
- Plonski, W. 1981. Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario. For. Resour. Group, Ont. Minist. Nat. Resour.
- Roach, B.A. 1977. A stocking guide for Allegheny hardwoods and its use in controlling intermediate cuttings. US Dept. Agric., For. Serv., Northeastern For. Exp. Sta., Upper Darby, PA. Res. Pap. NE-373.
- Roberge, M.R. 1975. Effect of thinning on the production of high-quality wood in a Quebec northern hardwood stand. *Can. J. For. Res.* 5: 139-145.
- Roberge, M. 1987. Aménagement d'une bétulaie jaune à érables par la coupe par groupes : résultats de 15 ans. *Serv. can. for., Cent. for. Laurentides, Sainte-Foy, Qc.* Rapp. inf. LAU-X-72.
- Roberge, M. 1988. Vingt ans d'aménagement par groupes d'une bétulaie jaune à érables. *Serv. can. for., Cent. for. Laurentides, Sainte-Foy, Qc.* Rapp. inf. LAU-X-81B.
- Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. *Environ. Can., Can. For. Serv., Ottawa, Ont.* Publ. No. 1300.
- SAS Institute Inc. 1985. SAS/STAT guide for personal computers, version 6 edition. SAS Institute Inc., Cary, N.C.
- Stroempl, G. 1983. Growth response of basswood and sugar maple to an intermediate cutting. *Ont. Minist. Nat. Resour., Maple, Ont.* For. Res. Rep. No. 107.
- Thibault, M. 1986. Les régions écologiques du Québec méridional (deuxième approximation). Carte synthèse, *Minist. Énerg. Resour. Qc, Serv. rech. et Serv. cartographie, Québec, Qc.*
- Tremblay, P.-H. 1966. Tarifs de cubage généraux. *Minist. Terres For. Qc, Québec, Qc.*

