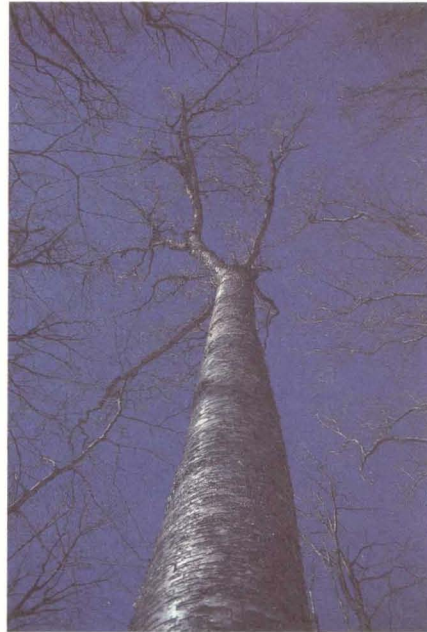
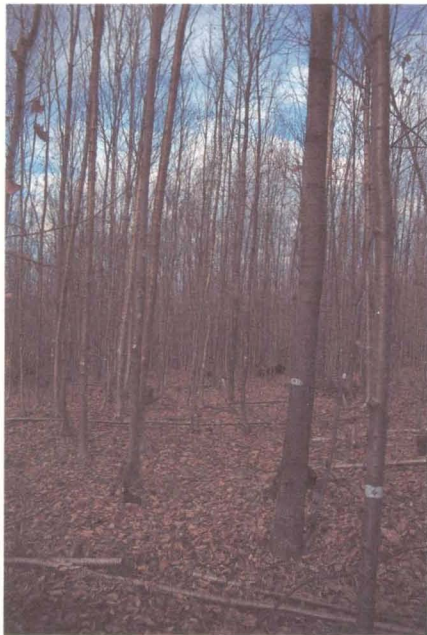




Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau jaune : Résultats après 10 ans

Richard Zarnovican



**Centre de foresterie des Laurentides
Rapport d'information LAU-X-123**



Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau jaune : Résultats après 10 ans

Richard Zarnovican

Rapport d'information LAU-X-123
1998

Ressources naturelles Canada
Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides
Sainte-Foy (Québec)

DONNÉES DE CATALOGAGE AVANT PUBLICATION (CANADA)

Zarnovican, Richard

Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau
jaune : résultats après 10 ans

(Rapport d'information; LAU-X-123)

Publ. aussi en anglais sous le titre : Precommercial thinning in a
young sugar maple-yellow birch stand.

Comprend un résumé en anglais.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-662-83234-5

No de cat. Fo46-18/123F

1. Éclaircie (Silviculture) -- Cantons-de-L'Est (Québec)
2. Bois durs -- Cantons de L'Est (Québec) -- Croissance.
3. Érable -- Cantons-de-L'Est (Québec) -- Croissance.
4. Bouleau jaune -- Cantons-de-L'Est (Québec) -- Croissance.

I. Centre de foresterie des Laurentides.

II. Titre.

III. Coll.: Rapport d'information (Centre de foresterie des
Laurentides); LAU-X-123.

SD396.5H3Z37 1998 634.953'0971 C98-980338-4

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada 1998

Numéro de catalogue Fo46-18/123F

ISBN 0-662-83234-5

ISSN 0835-1589

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

Ressources naturelles Canada

Service canadien des forêts

Centre de foresterie des Laurentides

1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800

Sainte-Foy (Québec)

Canada G1V 4C7

Site Web du CFL : <http://www.cfl.forestry.ca>

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

Micromédia Ltée

240, rue Catherine, bureau 305

Ottawa (Ontario) K2P 2G8

Tél. : (613) 237-4250

Ligne sans frais : 1-800-567-1914

Télééc. : (613) 237-4251

This publication is also available in English under the title "Precommercial thinning in a young sugar maple-yellow birch stand" (Catalog No. Fo46-18/123E).



TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	vii
ABSTRACT	vii
INTRODUCTION	1
OBJECTIFS DU TRAVAIL	1
DESCRIPTION DU SITE	1
DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	3
ANALYSE STATISTIQUE	3
Effet du traitement sylvicole sur la croissance radiale et apicale	3
Fructification et dépérissement du bouleau jaune	5
Climat et accroissement en volume du bouleau jaune	5
RÉSULTATS	5
Éclaircie précommerciale - nature et intensité	5
Dynamique de la strate dominante	7
Mortalité	8
Effet des éclaircies sur les arbres d'avenir du bouleau jaune	9
Accroissement en diamètre	9
Accroissement en hauteur	10
Éclaircies et croissance du peuplement principal	11
Accroissement en diamètre	11
Accroissement en hauteur	12
Production en volume total	14
Dépérissement du bouleau jaune	14
Relation temporelle entre l'accroissement en volume et le climat	15
CONCLUSIONS	16
REMERCIEMENTS	17
RÉFÉRENCES	17

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Modèle d'analyse de variance pour les bouleaux jaunes d'avenir	4
Tableau 2.	Modèle d'analyse de variance pour les trois essences	4
Tableau 3.	Distribution des tiges par classe sylvicole et affectation	6
Tableau 4.	Test de l'hypothèse d'égalité des éclaircies	9
Tableau 5.	Moyenne de l'accroissement annuel en diamètre	9
Tableau 6.	Uniformité de l'effet des éclaircies entre les deux périodes	10
Tableau 7.	Test de l'hypothèse d'égalité des traitements	10
Tableau 8.	Moyenne de l'accroissement annuel en hauteur	10
Tableau 9.	Test d'uniformité de l'effet d'éclaircie entre les deux périodes	11
Tableau 10.	Fréquences relatives des arbres sélectionnés	11
Tableau 11.	Accroissements en dhp du peuplement principal	12
Tableau 12.	Analyse de variance pour l'accroissement en dhp	12
Tableau 13.	Analyse de variance pour l'accroissement en hauteur	13
Tableau 14.	Accroissements en hauteur du peuplement principal	13
Tableau 15.	Test de l'hypothèse d'égalité des accroissements en volume	15

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Croissance en hauteur du bouleau jaune dans l'érablière à bouleau jaune	2
Figure 2.	Croissance en hauteur de l'érable à sucre dans l'érablière à bouleau jaune	2
Figure 3.	Croissance en hauteur du frêne d'Amérique dans l'érablière à bouleau jaune	2
Figure 4.	Dispositif et traitements sylvicoles	3
Figure 5.	Distribution des tiges dans la placette témoin	6
Figure 6.	Distribution des tiges dans la placette B	6
Figure 7.	Distribution des tiges dans la placette C	7
Figure 8.	Distribution des tiges dans la placette D	7
Figure 9.	Dynamique dans la strate dominante entre 1985 et 1995 pour le frêne d'Amérique	7
Figure 10.	Dynamique dans la strate dominante entre 1985 et 1995 pour l'érable à sucre	7

(LISTE DES FIGURES - Suite)

Figure 11.	Dynamique dans la strate dominante entre 1985 et 1995 chez le bouleau jaune	8
Figure 12.	Mortalité du bouleau jaune	8
Figure 13.	Mortalité de l'érable à sucre	8
Figure 14.	Mortalité du frêne d'Amérique	9
Figure 15.	Mortalité de bouleaux jaunes d'avenir	9
Figure 16.	Volume total avec écorce	14
Figure 17.	Accroissement en volume du bouleau jaune	15
Figure 18.	Différences entre l'accroissement en volume des bouleaux jaunes avec fruits et sans fruits	15
Figure 19.	Relation entre l'accroissement en volume du bouleau jaune, les précipitations et la température	16

Zarnovican, R. 1998. Precommercial thinning in a young sugar maple - yellow birch stand: results after 10 years. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., Laurentian For. Cent., Sainte-Foy, Que. Inf. Rep. LAU-X-123E.

ABSTRACT

A study on the tending of young hardwood stands was initiated in 1984, near Windsor in the Eastern Townships, under an agreement between Domtar Inc. and the Canadian Forest Service. Its purpose was to evaluate the effects of silvicultural treatments on the growth and yield of the main species in sugar maple - yellow birch stands.

This paper presents the results of the impact of precommercial thinning (light from above, moderate mixed and heavy from below) on diameter and terminal growth and on the development of the three main species in a seedling stand after ten years. The study seeks to provide users with information on the management of hardwoods as regular high forest.

Zarnovican, R. 1998. Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau jaune : Résultats après 10 ans. Ressour. nat. Can., Serv. can. for., Cent. for. Laurentides, Sainte-Foy, Qc. Rapp. inf. LAU-X-123.

RÉSUMÉ

À la suite d'une entente entre la compagnie Domtar inc. et le Service canadien des forêts, une étude sur la conduite de jeunes peuplements feuillus a été entreprise en 1984, près de Windsor en Estrie. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets des traitements sylvicoles sur la croissance et la production des principales essences de l'érablière à bouleau jaune.

Le travail présente les résultats de l'incidence des éclaircies précommerciales (faible par le haut, mixte modérée et forte par le bas) sur la croissance radiale et apicale et le développement des trois principales essences d'un gaulis après dix ans. Par ses résultats, l'étude vise à fournir aux utilisateurs des informations sur l'aménagement des feuillus par la méthode de la futaie régulière.

INTRODUCTION

En Estrie, les peuplements feuillus sont issus des coupes à diamètre limite des années 30 et sont, en général, formés par le processus naturel (Roberge, 1975 et 1988). L'aménagement forestier se résumait alors à la récolte du bois et les peuplements ainsi formés étaient souvent d'une qualité technologique médiocre (Roberge, 1987). Cette situation a motivé la mise sur pied, au début des années 80, d'un projet de recherche sur l'éclaircie précommerciale de jeunes feuillus. Ce projet fut réalisé par le Service canadien des forêts en collaboration avec la compagnie Domtar inc.

Dans le contexte de l'éducation de jeunes feuillus, l'éclaircie précommerciale est considérée comme une intervention privilégiée (Tubbs, 1977; Erdmann et collab., 1981; Hannah, 1985; Lamson et Smith, 1987; Robitaille et collab., 1990). En effet, par la mise à distance des arbres, l'éclaircie précommerciale permet de régulariser le processus de croissance et, par son effet de sélection que certains considèrent essentiel (Leibundgut, 1966; Tubbs, 1977; Sonderman et Brisbin, 1978; Sonderman, 1979; Schütz, 1990;), elle permet de concentrer la production sur les individus aux meilleures potentialités de croissance et de qualités. Cette opération culturale est justifiée économiquement par la valeur ajoutée des assortiments produits (McCauley et Marquis, 1972; Mendel et Peirsol, 1977). Si l'effet du dégagement sur la croissance radiale des feuillus est considéré généralement comme étant bénéfique (Erdmann et collab., 1981; Robitaille et collab., 1990; Marquis et Ernst, 1991), les opinions quant à l'intensité et à la nature de cette intervention sont loin d'être unanimes.

Par exemple, pour un gaulis de bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), certains auteurs américains (Erdmann et collab., 1981) proposent de dégager les tiges dans un rayon de 3,7 m, alors qu'au Québec, Robitaille et collab. (1990) suggèrent que ce rayon ne dépasse pas 1,5 m.

La divergence d'opinions existe également lorsqu'on parle de l'effet d'éclaircie sur la croissance en hauteur et sur la qualité des assortiments produits (Kelty et collab., 1987; Voorhis, 1990; von Althen et collab., 1994). La conduite des feuillus est une problématique complexe (Assmann, 1961; Voorhis, 1990; Zarnovican et Laberge, 1994), car l'effet d'éclaircie n'est pas le même pour toutes les essences dans un peuplement mélangé, ce qui est aussi le cas de l'érablière à bouleau jaune (Thibault, 1986).

OBJECTIFS DU TRAVAIL

Le projet de recherche sur l'éclaircie précommerciale s'inscrit dans le cadre de l'aménagement des feuillus par la futaie régulière et il vise à préciser la conduite de jeunes peuplements au stade de gaulis. Son objectif est d'évaluer les effets de l'éclaircie précommerciale (sa nature et son intensité) sur le développement des principales essences de l'érablière à bouleau jaune, soit le bouleau jaune, l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et le frêne d'Amérique (*Fraxinus americana* L.). Le présent travail porte sur la période située entre 1985 et 1995 et il vise à étudier :

- 1 - la dynamique sociale de la strate dominante;
- 2 - la mortalité des arbres d'avenir;
- 3 - la croissance radiale et apicale; et enfin,
- 4 - l'effet du climat sur la croissance du bouleau.

DESCRIPTION DU SITE

Le massif boisé est situé près de Saint-Zacharie (45°35' de latitude nord, 71°45' de longitude ouest et une altitude de 340 m) dans le comté de Richmond, Québec. C'est une bétulaie jaune typique au stade

de gaulis, issue d'une régénération naturelle après une coupe à blanc. Il fait partie du domaine de l'érablière à bouleau jaune (Thibault, 1986). Le climat régional est modéré, subhumide et continental (Proulx et collab., 1987). La saison de végétation est de 130 jours. Les sols du massif sont des podzols bien drainés sur un matériel morainique hétérogène.

En 1985, le peuplement est formé de trois essences, le bouleau jaune (73 %), l'érable à sucre (19 %) et le frêne d'Amérique (7 %) et il a alors 14 ans. La densité est de 10 025 tiges à hectare, avec un dhp moyen de 3,9 cm, une hauteur moyenne de 7,5 m, une surface terrière de 14,3 m²/ha et un volume total de 66,5 m³/ha.

Les distributions diamétrale et apicale du peuplement sont régulières et normales (Ouellet et Zarnovican, 1988). D'après la croissance en hauteur dominante des trois essences (figures 1, 2 et 3), l'indice de site du gaulis est comparable à celui de l'érablière à bouleau jaune.

Sur le plan sylvicole les trois essences sont distinctes. Le développement annuel chez l'érable et le frêne est complété très tôt, alors qu'il se prolonge tard en été chez le bouleau jaune. On considère que l'érable et le frêne ont une forme de croissance déterminée, alors que le bouleau jaune présente une forme indéterminée (Bicknell, 1982).

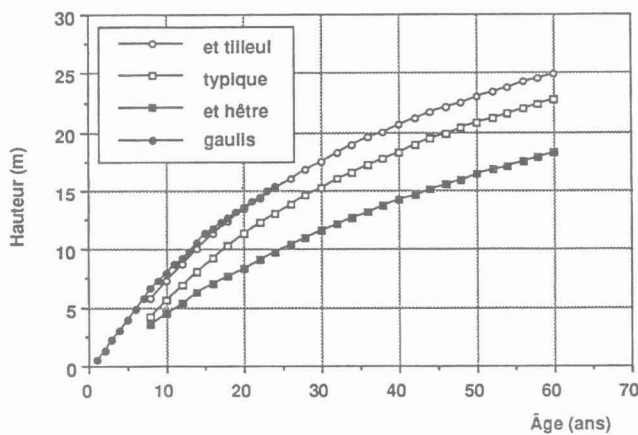


Figure 1. Croissance en hauteur du bouleau jaune dans l'érablière à bouleau jaune.

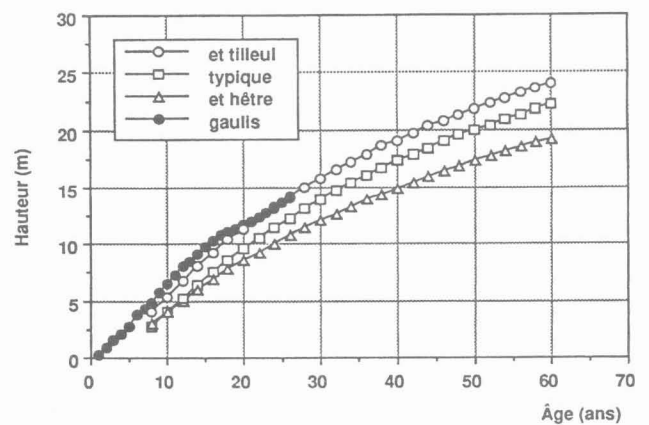


Figure 2. Croissance en hauteur de l'érable à sucre dans l'érablière à bouleau jaune.

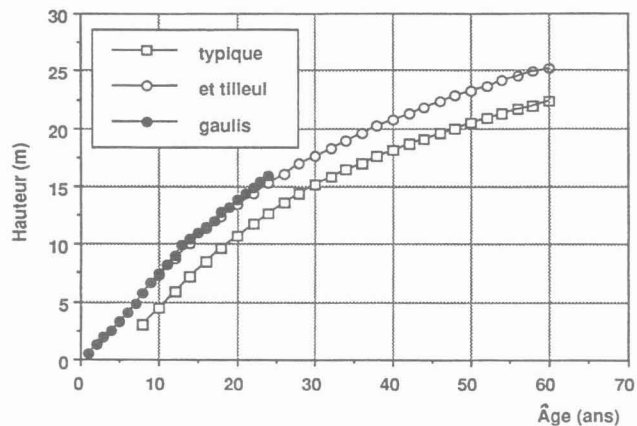


Figure 3. Croissance en hauteur du frêne d'Amérique dans l'érablière à bouleau jaune.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

En tenant compte de la structure du peuplement, le dispositif expérimental de l'éclaircie précommerciale a été installé dans la parcelle 21 (Ouellet et Zarnovican, 1988). Il est formé de quatre placettes (A,B,C et D) de 20 m par 20 m, séparées par des bandes de 5 m (figure 4). Au cours de l'été 1985, les arbres vivants des quatre placettes ont été numérotés, localisés selon les coordonnées orthogonales et mesurés en hauteur et en dhp.

Leur rôle cultural (arbre d'avenir, utile ou nuisible) a été établi par l'analyse sylvicole et la classification de l'IUFRO (Ouellet et Zarnovican, 1988). En plus de témoin sans intervention, trois éclaircies ont été appliquées : une éclaircie par le haut, inspirée des éclaircies danoise et française (Vyskot et collab., 1978) développées pour l'éducation des feuillus, où l'intervention est opérée seulement, si nécessaire, au profit des arbres d'avenir; une éclaircie mixte, inspirée de l'éclaircie qualitative de Schädelin (Schütz, 1981), où l'intervention est opérée autant au profit des arbres d'avenir, qu'au profit des arbres utiles, afin de constituer une réserve suffisante de meilleurs candidats; et enfin, une éclaircie forte, inspirée de la norme provinciale alors en vigueur, où l'intervention vise un espacement régulier de 2 m et un peuplement résiduel de 2 500 tiges à l'hectare.

Ces interventions ont été réalisées sur la base d'une sélection positive en assignant aux placettes par un tirage aléatoire une des quatre interventions. Le traitement sans intervention fut assigné à la placette A, l'éclaircie par le haut à la placette B, l'éclaircie mixte à la placette C et, enfin, l'éclaircie forte à l'espacement régulier à la placette D.

Les mesures sur le dhp et la hauteur de tous les arbres ont été recueillies en automne de 1985, 1990 et de 1995. Les diamètres ont été mesurés, au même endroit sur l'arbre, à l'aide du compas forestier au millimètre près, alors que les hauteurs ont été mesurées à l'aide d'une perche télescopique au centimètre près.

ANALYSE STATISTIQUE

Effet du traitement sylvicole sur la croissance radiale et apicale

Les effets des traitements sylvicoles sur la croissance ont été évalués à l'aide de l'analyse de variance à mesures répétées. Compte tenu de l'instabilité de la hiérarchie sociale dans le temps, nous avons considéré dans un premier temps la comparaison des accroissements en diamètre et en hauteur entre les deux périodes 1986-1990 et 1991-1995 pour les arbres d'avenir du bouleau jaune (tableau 1).

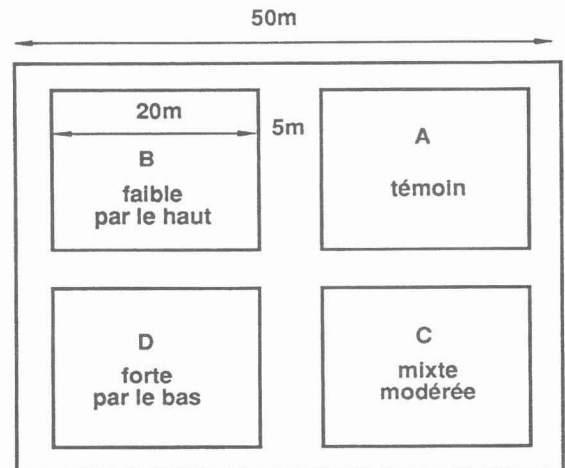


Figure 4. Dispositif et traitements sylvicoles.

Tableau 1. Modèle d'analyse de variance pour les bouleaux jaunes d'avenir.

Source de variation	Degrés de liberté
Éclaircie (E)	3
Placette (P) (E) (Erreur 1)	0
Arbres (A) (P E) (Erreur 2)	111
Période (T)	1
T x E	3
T x P (E) (Erreur 3)	0
T x A (P E) (Erreur 4)	111

L'analyse de variance utilise le facteur «Éclaircie» avec quatre modalités (témoin, faible par le haut, mixte modérée et forte par le bas) et le facteur «Période» avec deux modalités (1986-1990 et 1991-1995). Les variables dépendantes numériques sont les accroissements en dhp et en hauteur.

Dans un deuxième temps, à cause du nombre inégal des mesures pour les trois principales essences, nous avons étudié l'effet d'éclaircie sur les arbres dont le rapport hauteur sur dhp était supérieur à la moyenne de la parcelle. Dans cette analyse, trois facteurs ont été considérés, «Éclaircie», «Essence» et «Période» (tableau 2). Le facteur «Éclaircie» a quatre modalités (témoin, faible par le haut, mixte modérée et forte par le bas), alors que le facteur «Essence» a trois modalités (bouleau jaune, érable à sucre et frêne d'Amérique) et le facteur «Période» a deux modalités (1986-1990 et 1991-1995).

Tableau 2. Modèle d'analyse de variance pour les trois essences.

Source de variation	Degrés de liberté
Éclaircie (E)	3
Placette (P) (E) (Erreur 1)	0
Essence (S)	2
E x S	6
P x S (E) (Erreur 2)	0
Arbre (A) (S P E) (Erreur 3)	253
Période (T)	1
T x E	3
T x P (E) (Erreur 4)	0
T x S	2
T x E x S	6
T x S x P (E) (Erreur 5)	0
T x A (S P E) (Erreur 6)	253

Les variables dépendantes numériques sont l'accroissement en diamètre et l'accroissement en hauteur. Par ailleurs, comme il y a une seule placette par traitement sylvicole, nous supposons que sa variabilité est nulle et que la placette est confondue avec le traitement sylvicole.

La normalité de la distribution des résidus ($N[0, \sigma^2]$) a été testée à l'aide du test de Shapiro-Wilk, ce qui implique que les accroissements en diamètre (i_d) et en hauteur (i_h) sont aussi distribués normalement

($N[\mu_{ij}, \sigma^2]$), où μ_{ij} est la moyenne des accroissements au temps j dans la placette i et σ^2 est une variance commune à toutes les éclaircies. L'homogénéité de la variance a été testée à l'aide du test de Bartlett. Pour trouver une transformation optimale des données, la méthode de Box et Cox (Draper et Smith, 1981) a été utilisée. Enfin, le seuil critique de 5 % a été utilisé.

Fructification et dépérissement du bouleau jaune

Pour vérifier l'hypothèse que la fructification de 1995 indiquait une perte de croissance et un dépérissement progressif, sept couples de bouleaux jaunes ont été sélectionnés à proximité des placettes éclaircies. Chaque couple était formé d'un bouleau jaune ayant une fructification et d'un bouleau sans fructification. Les tiges pairées étaient voisines, de même taille et appartenaient à la même classe sociale. Grâce à l'analyse de tiges, 14 séries temporelles de l'accroissement en volume ont été établies pour la période de 1983 à 1995.

En soustrayant la série de l'arbre avec les fruits (iv_{af}) de la série de l'arbre sans fruits (iv_{sf}), une nouvelle série ($dif_{as} = iv_{af} - iv_{sf}$) de différences des accroissements a été obtenue. L'effet du temps sur ces différences (dif_{as}) a été testé à l'aide d'une analyse de variance à mesures répétées. Si les accroissements en volume (iv_{sf} et iv_{af}) sont égaux, leurs différences devraient être égales également et, de ce fait, la présence des fruits n'indiquerait pas de dépérissement. Dans le cas contraire, on peut considérer que la présence des fruits est un signe de dépérissement.

Climat et accroissement en volume du bouleau jaune

Pour déterminer la fonction de réponse du bouleau jaune au climat, cinq séries temporelles des accroissements en volume des arbres dominants sans fruits ont été établies pour les années 80 à 95 en utilisant la méthode «Stepwise». Chaque série a été lissée par la méthode «Lowess» (SYSTAT inc., 1992) et indicée en divisant l'accroissement en volume observé par l'accroissement en volume estimé.

La série indicée représente des résidus stationnaires de l'accroissement en volume. À partir de cinq séries indicées, une série moyenne a été établie en vue de mesurer la relation avec le climat dans une fonction de réponse. Quant aux données climatiques, les séries mensuelles et standardisées des températures et des précipitations de la station Saint-Camille (#702 - FR30, 12 km au nord-est du massif) ont été utilisées.

RÉSULTATS

Éclaircie précommerciale - nature et intensité

La classification de l'IUFRO a servi à évaluer le potentiel des arbres dans chaque placette et à leur assigner une classe sylvicole, à savoir arbre d'avenir, arbre utile ou arbre indésirable. Le résultat de l'analyse (tableau 3) permet d'apprécier l'importance de différentes classes sylvicoles selon la placette et l'affectation. Dans la placette A (figure 5), aucune intervention n'a été réalisée et elle sert de témoin. Dans la placette B (figure 6), une faible éclaircie a été réalisée, le rapport g_c/g_t (la surface terrière enlevée sur la surface terrière totale) étant égal à 11,2 %. Il s'agit d'une éclaircie par le haut avec le rapport dhp_c/dhp_t (dhp des tiges coupées sur dhp des toutes les tiges) égal à 1,21.

Tableau 3. Distribution des tiges par classe sylvicole et affectation.

Placette	Affectation	Tiges		
		d'avenir	utiles	indésirables
A - Témoin	à garder	51	235	69
	à couper	0	0	0
	total	51	235	69
B - Par le haut - faible	à garder	61	362	4
	à couper	0	4	37
	total	61	366	41
C - Mixte modérée	à garder	60	202	0
	à couper	0	10	108
	total	60	212	108
D - Par le bas - forte	à garder	45	51	0
	à couper	0	257	48
	total	45	308	48

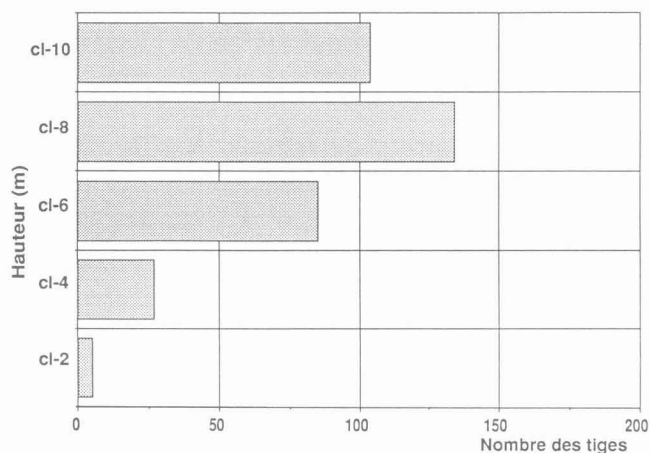


Figure 5. Distribution des tiges dans la placette témoin.

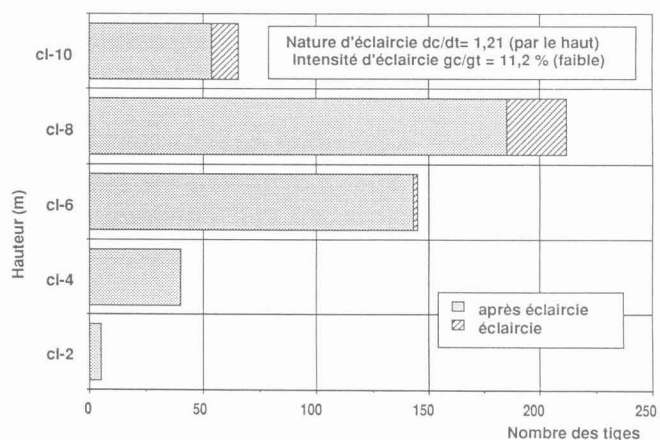


Figure 6. Distribution des tiges dans la placette B.

Dans la placette C (figure 7), une éclaircie modérée a été réalisée (le rapport g_c/g_t égal à 25,5 %) dans l'ensemble des strates (le rapport dhp_c/dhp_t égal à 0,9), d'où l'adjectif mixte. Enfin, dans la placette D (figure 8), une éclaircie forte a été réalisée (le rapport g_c/g_t égal à 58,7 %), en éliminant les effectifs des strates inférieures (le rapport dhp_c/dhp_t égal à 0,63). Il convient de rappeler que cette intervention visait un espacement régulier de 2 m et une densité résiduelle de 2 500 tiges à l'hectare.

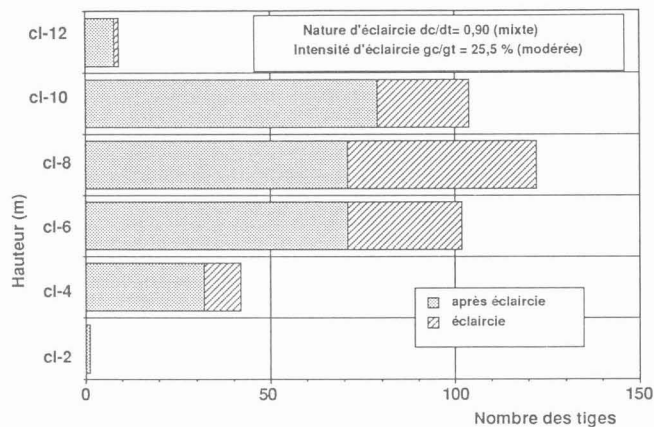


Figure 7. Distribution des tiges dans la placette C.

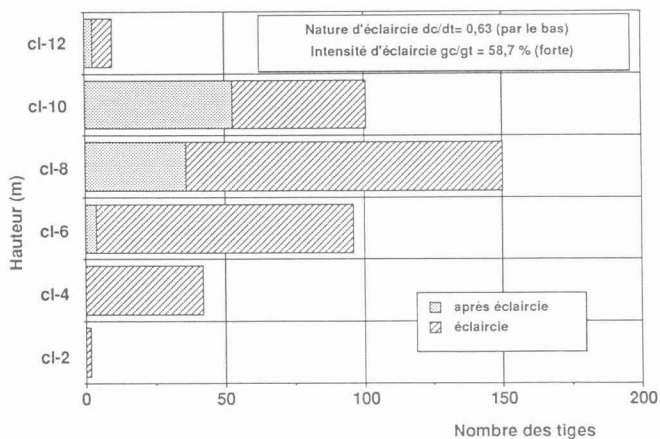


Figure 8. Distribution des tiges dans la placette D.

Dynamique de la strate dominante

Avec l'âge, les besoins des arbres pour l'espace augmentent au fur et à mesure qu'ils se développent et leur nombre, à cause de la mortalité, diminue. Si la dynamique des strates inférieures est assez bien connue, celle de la strate dominante, à cause de la complexité du phénomène en peuplement mélangé, l'est moins. La connaissance de cette dynamique permet d'évaluer la capacité des essences à résister et à absorber les perturbations, aussi bien endogènes qu'exogènes, ce que van Miegroet (1984) appelle la faculté de résilience.

Les changements observés dans la strate dominante entre 1985 et 1995 selon la placette et l'essence (figures 9, 10 et 11) indiquent qu'il y a très peu d'ascensions sociales et que le maintien ou la perte du rang social dépend fortement de l'essence et du traitement appliqué. On observe quelques ascensions sociales (placettes témoin et éclaircie forte par le bas) et un maintien du rang social élevé seulement chez le frêne (figure 9), alors que chez l'érable (figure 10), le maintien du rang social élevé varie selon l'intensité du traitement. Enfin, chez le bouleau jaune (figure 11), on constate une perte massive du rang social supérieur et une forte mortalité. Les chutes sociales et la forte mortalité du bouleau jaune soulèvent des questions sur sa résilience, sa stabilité écologique et sa capacité d'adaptation aux conditions du site et au traitement.

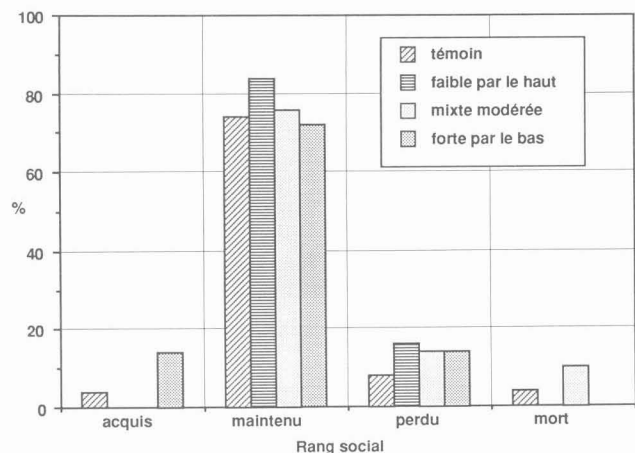


Figure 9. Dynamique dans la strate dominante entre 1985 et 1995 pour le frêne d'Amérique.

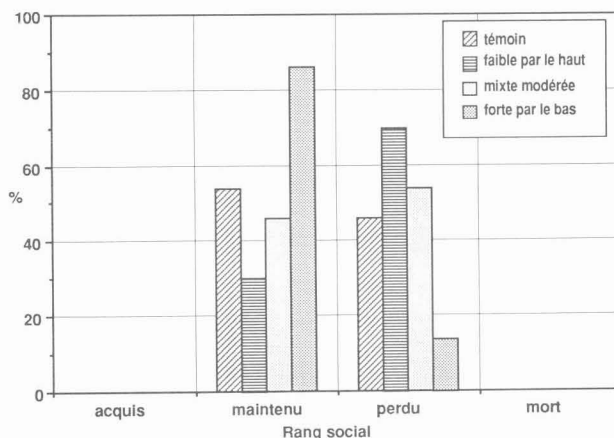


Figure 10. Dynamique dans la strate dominante entre 1985 et 1995 pour l'érable à sucre.

Figure 11. Dynamique dans la strate dominante entre 1985 et 1995 chez le bouleau jaune.

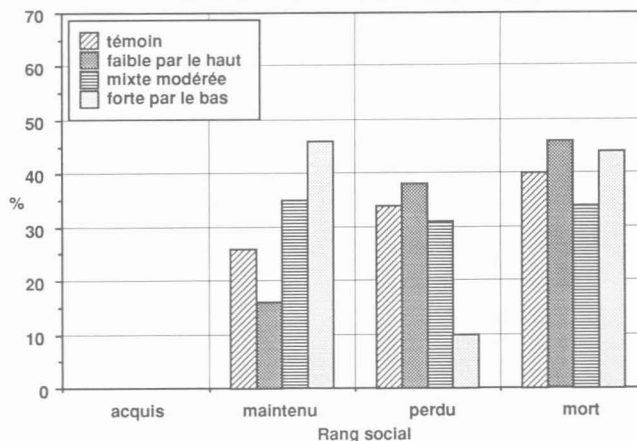


Figure 11. Dynamique dans la strate dominante entre 1985 et 1995 chez le bouleau jaune.

Mortalité

À la suite de l'éclaircie par le haut et de l'éclaircie mixte, la mortalité du bouleau jaune (figure 12) est élevée avec une tendance à la baisse. Elle est faible dans la placette témoin avec une baisse au cours de la deuxième période. Enfin, dans la placette éclaircie par le bas, la mortalité est faible au début et élevée pendant la deuxième période.

Dans le cas de l'érable à sucre (figure 13), on constate une baisse de la mortalité entre la première et la seconde période. Pour la première période, la mortalité est élevée dans la placette avec l'éclaircie mixte, elle est moins importante dans la placette éclaircie par le haut et elle est faible dans les placettes témoin et éclaircie par le bas. On observe la même tendance à la baisse entre les deux périodes pour le frêne (figure 14).

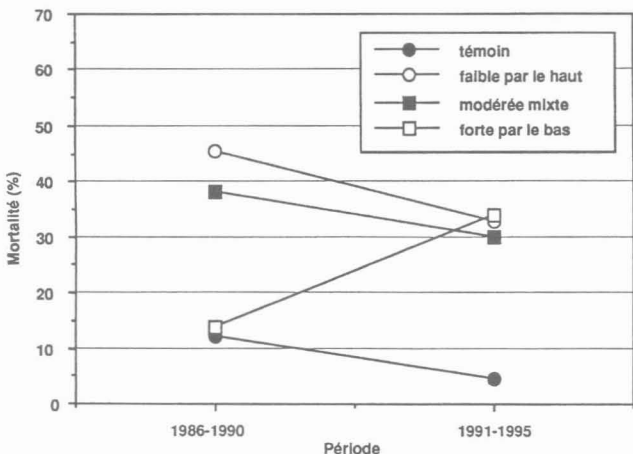


Figure 12. Mortalité du bouleau jaune (toutes les tiges).

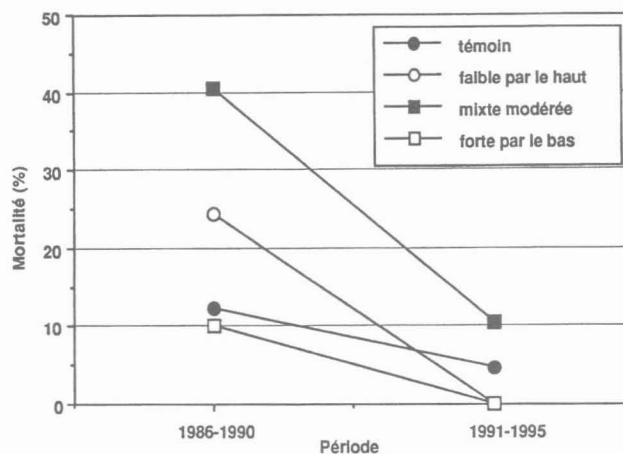


Figure 13. Mortalité de l'érable à sucre.

Pour la période 1986-1990, la mortalité est modérée dans la parcelle témoin et dans la parcelle avec l'éclaircie mixte, alors qu'elle est faible pour les deux autres parcelles. Au cours de la période 1991-1995, la mortalité du frêne est très faible avec l'éclaircie mixte, alors qu'elle est nulle ailleurs. Cependant,

lorsqu'on examine la mortalité des arbres d'avenir du bouleau jaune (figure 15), on constate une tendance à la hausse pour l'ensemble des placettes, avec un maximum pour la placette fortement éclaircie par le bas. Cette dernière observation met en doute le bien-fondé d'une éclaircie forte (Schober, 1987) pour stabiliser la mortalité des arbres d'avenir. Les taux de mortalité du bouleau jaune du gaulis sont beaucoup plus importants que les taux observés par Teck et Hilt (1990) pour la région du nord-est des États-Unis.

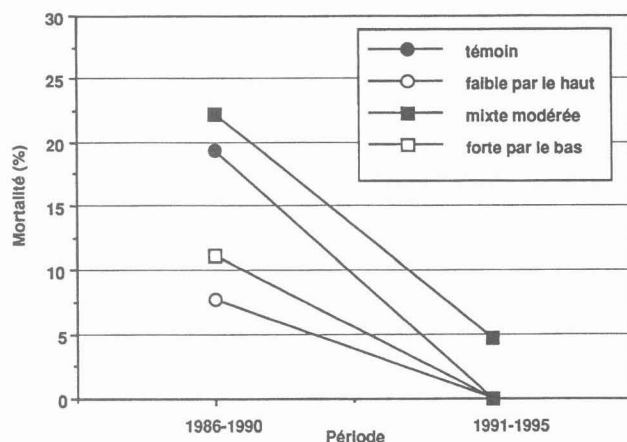


Figure 14. Mortalité du frêne d'Amérique.

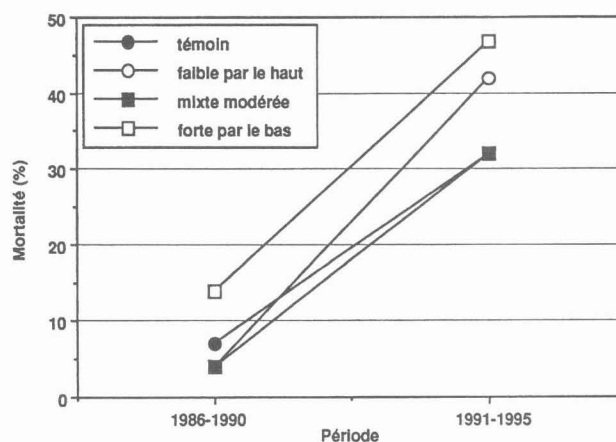


Figure 15. Mortalité de bouleaux jaunes d'avenir.

Effet des éclaircies sur les arbres d'avenir du bouleau jaune

Accroissement en diamètre

L'analyse de variance ayant été réalisée sur les accroissements périodiques moyens de cinq ans brutes, le test de Shapiro-Wilk a conclu à la normalité de résidus pour les deux périodes et le test de Bartlett à l'homogénéité des variances. L'analyse de variance (tableau 4) suggère un effet significatif de l'éclaircie précommerciale sur l'accroissement en diamètre (tableau 5). Cependant, cet effet n'est pas uniforme pour les deux périodes (tableau 6), car l'interaction (Période*Éclaircie) est significative.

Tableau 4. Test de l'hypothèse d'égalité des éclaircies.

Source	DL	SC	CM	Valeur de F	Prob>F
Éclaircie (E)	3	1,576	0,525	11,397	0,000
Erreur (2)	111	5,115	0,046		
Total	114	6,691			

DL = degrés de liberté, SC = somme des carrés, CM = carré moyen, Prob>F = probabilité d'obtenir une statistique plus grande sous H_0 .

Tableau 5. Moyenne de l'accroissement annuel en diamètre (cm.an⁻¹).

Éclaircie-placette	n	Période 1986-1990	Période 1991-1995
Témoin	30	<u>0,322 a</u>	<u>0,271 a</u>
Faible par le haut	30	<u>0,352 a</u>	<u>0,321 a</u>
Mixte modérée	34	0,438 b	0,302 a
Forte par le bas	21	<u>0,562 c</u>	<u>0,514 b</u>

Selon le test de comparaison multiple de Tukey (P=0,05), les moyennes soulignées ne sont pas significativement différentes entre les périodes et les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes entre les éclaircies/placettes.

Les accroissements en diamètre sont généralement plus faibles pendant la deuxième période (1991-1995) que pendant la première (1986-1990) et cette différence est plus marquée pour l'éclaircie mixte modérée que pour les autres (tableau 4). C'est l'éclaircie forte par le bas qui a donné le meilleur rendement autant pour la première que pour la deuxième période.

Tableau 6. Uniformité de l'effet des éclaircies entre les deux périodes.

Source	DL	SC	CM	Valeur de F	Prob>F
Période (T)	1	0,244	0,244	27,990	0,000
Éclaircie*Période	3	0,106	0,035	4,041	0,009
Erreur (4)	111	0,968	0,009		
Total	115	1,318			

L'éclaircie mixte modérée a un effet significatif uniquement au cours de la première période tandis que l'effet de l'éclaircie faible par le haut n'est pas significatif ni pour la première période ni pour la deuxième. La baisse significative de la croissance radiale au cours de la deuxième période pourrait indiquer aussi bien la fin d'effet du traitement que l'effet d'autres facteurs, par exemple du climat.

Accroissement en hauteur

Le test de Bartlett conclut à l'homogénéité des variances et le test de Shapiro-Wilk conclut à la normalité des résidus pour les deux périodes. L'analyse de variance (tableau 7) suggère que l'éclaircie a un effet significatif sur l'accroissement en hauteur des arbres d'avenir du bouleau jaune (tableau 8).

Tableau 7. Test de l'hypothèse d'égalité des traitements.

Source	DL	SC	CM	Valeur de F	Prob>F
Éclaircie (E)	3	0,470	0,157	6,093	0,001
Erreur (2)	111	2,855	0,026		
Total	114	3,325			

Tableau 8. Moyenne de l'accroissement annuel en hauteur (m.an⁻¹).

Éclaircie-placette	n	Période 1986-1990	Période 1991-1995
Témoin	30	0,325 a	0,217 a
Faible par le haut	30	0,319 a	0,214 a
Mixte modérée	34	<u>0,334 a</u>	<u>0,374 b</u>
Forte par le bas	21	<u>0,408 a</u>	<u>0,325 ab</u>

Selon le test de comparaison multiple de Tukey (P=0,05), les moyennes soulignées ne sont pas significativement différentes entre les périodes et les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes entre les éclaircies/placettes.

Cependant, il y a une différence significative entre les accroissements des deux périodes (tableau 9). Le terme d'interaction (Éclaircie*Période) bien que non significatif est près du seuil critique, sans doute à cause de l'évolution de l'accroissement en hauteur dans la placette avec l'éclaircie modérée mixte.

Tableau 9. Test d'uniformité de l'effet d'éclaircie entre les deux périodes.

Source	NDL	SC	CM	Valeur de F	Prob>F
Période (T)	1	0,227	0,227	7,244	0,008
Éclaircie*Période	3	0,240	0,080	2,555	0,059
Erreur (4)	111	3,478	0,031		
Total	115	3,945			

Au cours de la première période, le test de Tukey (tableau 8) suggère que les accroissements en hauteur sont semblables, alors que pour la deuxième le même test suggère des différences significatives entre la placette avec l'éclaircie modérée mixte et les placettes témoin et éclaircie faible par le haut.

La tendance des accroissements en hauteur entre les deux périodes est à la baisse dans les placettes témoin, éclaircie faible par le haut et éclaircie forte par le bas, alors qu'elle est à la hausse pour l'éclaircie mixte modérée. Cependant, seule la baisse dans le témoin et dans la placette avec éclaircie faible par le haut est significative. Cette baisse significative de la croissance en hauteur au cours de la deuxième période soulève à nouveau la question sur l'effet d'autres facteurs.

Éclaircies et croissance du peuplement principal

Pour comparer l'effet des traitements sylvicoles sur la croissance des trois principales essences (bouleau jaune, érable à sucre et frêne d'Amérique), tous les arbres dont le rapport hauteur sur dhp était supérieur à la moyenne de 1985 ont été sélectionnés. Ce collectif d'arbres peut être assumé au peuplement principal (Assmann, 1961; Horne et collab., 1986; Abetz, 1993).

Tableau 10. Fréquences relatives des arbres sélectionnés (%).

Placette	Érable à sucre	Bouleau jaune	Frêne d'Amérique	Total
Témoin	3,1	27,2	5	35,3
Faible par le haut	2,5	22	5	29,5
Mixte modérée	3,1	12,2	5	20,3
Forte par le bas	3,8	9,2	1,9	14,9
Total	12,5	70,6	16,9	100,0

La sélection de ces tiges était nécessaire, car le nombre d'arbres d'avenir était inégal par essence et par placette (tableau 10). La répartition relative des 186 tiges de bouleau jaune, 33 tiges d'érable à sucre et de 46 tiges de frêne d'Amérique selon le traitement sylvicole est au tableau 10.

Accroissement en diamètre

Les données sur l'accroissement périodique moyen des trois essences selon la placette et la période sont au tableau 11. Le test de Shapiro-Wilk rejette l'hypothèse de normalité des résidus pour la deuxième période. Cependant, l'analyse sur les données transformées donne les mêmes résultats que l'analyse des données brutes, ce qui fait que c'est l'analyse sur les données brutes qui a été retenue.

L'analyse de variance (tableau 12) indique que l'éclaircie a un effet significatif sur l'accroissement en dhp. Cependant, la comparaison multiple indique que la croissance radiale est semblable pour l'éclaircie forte par le bas et l'éclaircie mixte, mais significativement plus grande que celle observée dans le témoin et à la suite de l'éclaircie faible par le haut.

Tableau 11. Accroissements en dhp du peuplement principal (cm, an⁻¹).

Placette traitement	Bouleau jaune		Frêne d'Amérique		Érable à sucre	
	1986-1990	1991-1995	1986-1990	1991-1995	1986-1990	1991-1995
Témoin	0,290 a	0,227 a	0,560 a	0,669 a	<u>0,315 a</u>	<u>0,358 a</u>
Faible par le haut	0,299 a	0,255 ab	0,479 a	0,639 a	<u>0,249 a</u>	<u>0,266 a</u>
Mixte modérée	0,449 b	0,339 b	0,648 a	0,795 a	<u>0,375 a</u>	<u>0,335 a</u>
Forte par le bas	<u>0,538 b</u>	<u>0,483 c</u>	0,436 a	0,672 a	<u>0,440 a</u>	<u>0,516 a</u>

Les moyennes soulignées ne sont pas significativement différentes entre les périodes et les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes entre les éclaircies/placettes.

Ces deux dernières moyennes sont également semblables. Le terme d'interaction (Éclaircie*Essence) indique que la réaction des essences au traitement est semblable.

Tableau 12. Analyse de variance pour l'accroissement en dhp.

Source	DL	SC	CM	Valeur de F	Prob>F
Éclaircie	3	1,043	0,348	5,487	0,001
Essence	2	4,046	2,023	31,944	0,000
Éclaircie*Essence	6	0,735	0,122	1,934	0,076
Erreur (3)	253	16,023	0,063		
Période	1	0,112	0,112	12,709	0,000
Éclaircie*Période	3	0,061	0,020	2,334	0,075
Essence*Période	2	0,846	0,423	48,155	0,000
Éclaircie*Essence*Période	6	0,042	0,007	0,800	0,571
Erreur (6)	253	2,222	0,009		
Total	265	3,283			

Les essences ont une croissance radiale significativement différente entre elles et dans le temps (Essence*Période). En considérant également, l'effet significatif du facteur «Période» avec une baisse de l'accroissement au cours de la deuxième période, il est important de connaître la réaction individuelle des essences. L'étude de l'effet de l'éclaircie sur la croissance radiale indique qu'il était significatif dans le cas du bouleau jaune seulement.

La baisse de la croissance radiale (tableau 11) pour le bouleau au cours de la deuxième période (statistiquement significative dans les placettes témoin, éclaircie par le haut et à la suite de l'éclaircie mixte) suggère que l'effet positif du dégagement se limite à la première période seulement.

L'éclaircie n'a eu aucun effet sur la croissance radiale du frêne d'Amérique ($p = 0,134$), pas plus que sur celle de l'érable à sucre ($p = 0,141$). Cependant, l'accroissement en diamètre du frêne augmente d'une manière significative dans le temps, alors que celui de l'érable à sucre reste stable (tableau 11). Parmi les essences, c'est l'accroissement en diamètre du frêne qui a été le plus élevé au cours de deux périodes.

Accroissement en hauteur

Les résultats de l'analyse de variance pour l'accroissement apical (tableau 13) sont sensiblement les mêmes que pour l'accroissement radial, avec l'effet significatif du traitement sylvicole.

Tableau 13. Analyse de variance pour l'accroissement en hauteur.

Source	DL	SC	CM	Valeur de F	Prob>F
Éclaircie	3	0,411	0,137	4,098	0,008
Essence	2	1,981	0,991	29,246	0,000
Éclaircie*Essence	6	0,322	0,054	1,583	0,152
Erreur (3)	253	8,570	0,034		
Période	1	0,010	0,010	0,386	0,535
Éclaircie*Période	3	0,104	0,035	1,307	0,273
Essence*Période	2	0,452	0,226	8,533	0,000
Éclaircie*Essence*Période	6	0,287	0,048	1,811	0,097
Erreur (6)	253	6,694	0,026		
Total	265	7,547			

La comparaison des moyennes entre les traitements donne une croissance apicale semblable entre les placettes témoin, éclaircie par le haut et éclaircie par le bas. Les deux premiers traitements (tableau 14) donnent des accroissements en hauteur différents de l'éclaircie mixte, alors que cette dernière présente un accroissement en hauteur semblable à celui de l'éclaircie forte par le bas. L'interaction (Éclaircie*Essence) n'est pas significative.

Tableau 14. Accroissements en hauteur du peuplement principal (m.an⁻¹).

Placette traitement	Bouleau jaune		Frêne d'Amérique		Érable à sucre	
	1986-1990	1991-1995	1986-1990	1991-1995	1986-1990	1991-1995
Témoin	0,292 a	0,176 a	<u>0,416 a</u>	<u>0,440 a</u>	<u>0,315 a</u>	<u>0,358 a</u>
Faible par le haut	0,290 a	0,172 a	<u>0,487 a</u>	<u>0,483 a</u>	<u>0,249 a</u>	<u>0,266 a</u>
Mixte modérée	<u>0,335 a</u>	<u>0,353 ab</u>	0,432 a	0,639 b	<u>0,375 a</u>	<u>0,335 a</u>
Forte par le bas	<u>0,404 b</u>	<u>0,305 b</u>	<u>0,460 a</u>	<u>0,402 a</u>	<u>0,440 a</u>	<u>0,516 a</u>

Les moyennes soulignées ne sont pas significativement différentes entre les périodes et les moyennes et les moyennes avec les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes entre les éclaircies/placettes.

La croissance apicale des essences est différente entre elles et dans le temps (tableaux 13 et 14). L'analyse de variance pour chaque essence indique un effet significatif de l'éclaircie sur la croissance apicale du bouleau jaune ($p = 0,000$) et sur le frêne ($p = 0,009$), alors qu'il n'y a pas d'effet sur l'érable à sucre ($p = 0,067$). On observe également que la croissance apicale des trois essences évolue différemment dans le temps. La meilleure croissance apicale a été observée chez le frêne.

L'accroissement en hauteur du bouleau jaune diminue d'une manière significative entre les deux périodes dans les placettes témoin, éclaircie par le haut, alors que cette diminution n'est pas significative dans la placette éclaircie par le bas. Enfin, dans la placette avec éclaircie mixte on observe, bien que non significative, une tendance à la hausse. L'effet significatif de l'éclaircie sur la croissance apicale du frêne provient de l'accroissement observé au cours de la deuxième période après l'éclaircie mixte. Finalement, les moyennes de l'accroissement en hauteur de l'érable à sucre sont semblables par traitement sylvicole et dans le temps.

Ces résultats soulèvent la question de l'efficacité de l'éclaircie précommerciale dans les peuplements mélangés. Comme on peut le constater, un traitement peut stimuler la croissance d'une essence, alors

qu'il peut être parfaitement inefficace pour une autre. Le défi pour le forestier consiste à trouver un compromis quant à la nature, l'intensité du traitement et l'âge de l'application.

Production en volume total

Après l'éclaircie de 1985, le volume total par placette correspond au volume résiduel sur pied. Le meilleur rendement est observé (figure 16) dans la placette témoin et le plus faible dans la placette éclaircie fortement par le bas. Entre les deux, on trouve la placette éclaircie faiblement par la haut et la placette avec éclaircie mixte modérée. Cette position des placettes reflète l'intensité d'intervention, telle qu'exprimée par le volume du bois coupé.

On constate, avec le temps, que l'écart entre la placette témoin et celle éclaircie fortement par le bas est constant, alors qu'il diminue pour l'éclaircie mixte modérée et augmente pour l'éclaircie faible par le haut. Cette comparaison indique que la perte en volume par la coupe n'est pas nécessairement compensée par le gain en volume des arbres éclaircis.

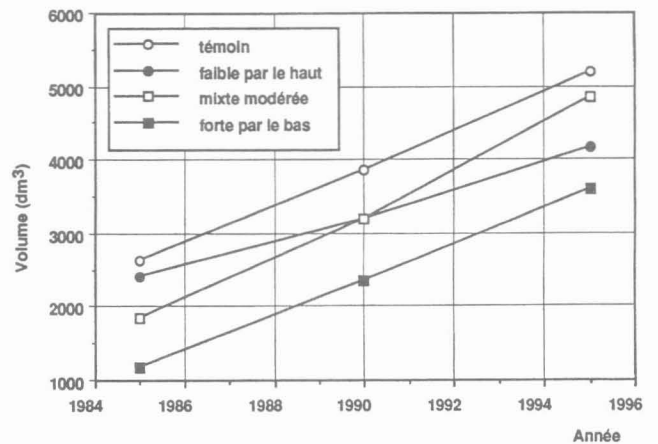


Figure 16. Volume total avec écorce.

La compensation se fait au niveau de la tige moyenne. Par exemple, lorsqu'on examine le dhp moyen de tiges d'avenir en 1995, on observe que, si le dhp moyen de la placette témoin est de 100 %, le dhp moyen de la placette éclaircie par le haut est de 103 %, celui de l'éclaircie mixte de 107 % et celui de la placette éclaircie fortement par le bas de 125 %.

Dépérissement du bouleau jaune

En plus d'une importante mortalité, il était possible d'observer au cours de la deuxième période une fructification plus ou moins abondante sur les bouleaux jaunes. Dans le passé, la présence de ces deux phénomènes a été associée au dépérissement du bouleau jaune (Gross et Harnden, 1968; Kessler, 1969; Gross, 1972). Le phénomène du dépérissement semble être cyclique dans l'est du Canada, car il était décrit et signalé à plusieurs reprises depuis les années 30 (Pomerleau, 1953; Wall, 1983).

Associée à la présence des maladies cryptogamiques et virales (Hansbrough, 1953), ou à l'effet climatique (Clark et Hare, 1953; Jones et collab., 1993), les causes du dépérissement sont encore mal connues (Wall, 1983). Le dépérissement est caractérisé par l'apparition progressive de certains symptômes sur le tronc (affaissement du cambium en méplat, décoloration, lésions, exsudat muqueux et chancres) et dans la cime (flétrissure des feuilles, dessèchement des cimes et chancres). Pour vérifier l'hypothèse que la fructification indiquerait une perte de croissance et un dépérissement progressif, l'égalité de différences entre l'accroissement en volume avec les fruits et l'accroissement en volume sans fruits (figures 17 et 18) dans le temps a été testée par l'analyse de variance à mesures répétées (tableau 15).

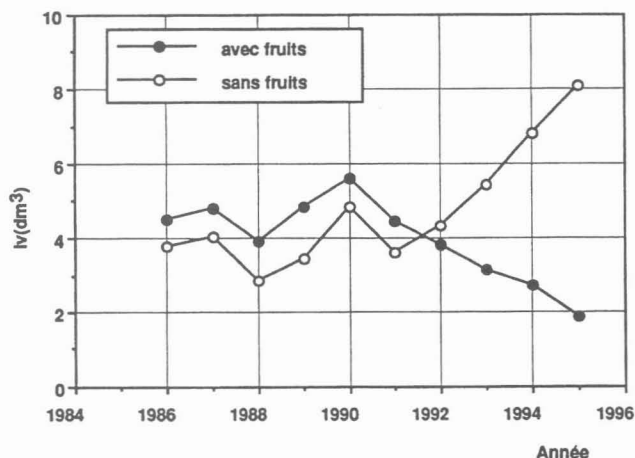


Figure 17. Accroissement en volume du bouleau jaune.

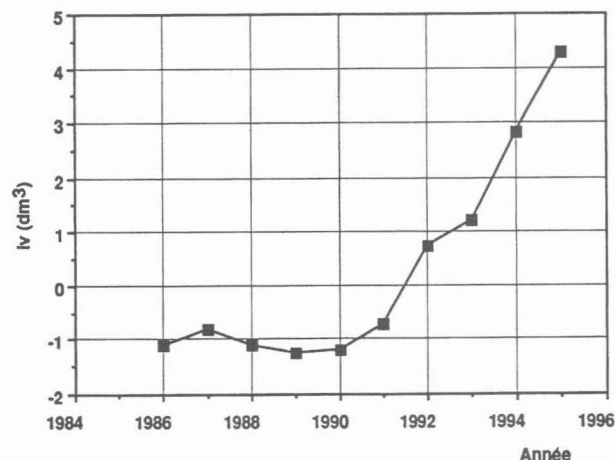


Figure 18. Différences entre l'accroissement en volume des bouleaux jaunes avec fruits et sans fruits.

Tableau 15. Test de l'hypothèse d'égalité des accroissements en volume.

Source	DL	SC	CM	Valeur de F	Prob>F
Temps	4	147,320	36,810	7,162	0,001
Erreur	24	5,139			
Temps linéaire	1	111,330	111,330	8,320	0,028
Erreur	6	80,265	13,378		
Temps quadratique	1	35,834	35,830	9,479	0,022
Erreur	6	22,682	3,780		
Temps cubique	1	0,013	0,013	0,005	0,946
Erreur	6	14,955	2,492		

Entre 1986 et 1991 (figure 18), les différences entre les accroissements en volume des arbres avec fruits et sans fruits, bien que négatives, sont égales, ce qui suggère que les arbres avec fruits étaient plus productifs. Or, ces différences deviennent positives et augmentent de façon significative depuis 1992.

L'étude de l'effet du temps sur l'égalité de ces différences (tableau 15) indique qu'elles ne sont pas égales dans le temps. D'après les tests sur les contrastes polynomiaux (tableau 15), les composantes linéaire et quadratique de l'effet du temps sont significatives, alors que la composante cubique ne l'est pas.

En effet, l'évolution des arbres avec et sans fruits est semblable entre 1986 et 1991, alors que, depuis 1992, l'accroissement en volume des arbres avec les fruits baisse continuellement. Ces résultats suggèrent que la présence des fruits est un signe de dépérissement du bouleau jaune.

Relation temporelle entre l'accroissement en volume et le climat

Parmi les facteurs externes qui gouvernent le développement des arbres, le climat est sans doute le plus important. Autant l'allocation en carbone que l'activité hormonale de l'arbre sont en dernier lieu tributaires des conditions climatiques (Kozłowski et collab., 1991). Dans cette perspective, il est possible que le dépérissement et la mortalité massive du bouleau jaune entre 1991 et 1995 résultent du climat.

Bien que Holdaway (1987) considère le bouleau jaune comme peu sensible aux variations climatiques, Roberge (1988) constate que l'effet bénéfique de l'éclaircie sur le bouleau jaune à Dudswell a été masqué par le dépérissement et la mortalité élevée entre 1969 et 1984. Lavallée et Bard (1971) concluent qu'un taux d'humidité élevé favorise la propagation des maladies, le développement de la coloration et la pourriture du tronc de bouleau jaune.

Pour connaître la réponse du bouleau jaune au climat régional, les relations entre l'accroissement en volume de bouleau jaune et les données mensuelles sur la température et les précipitations ont été analysées par la méthode pas à pas «Stepwise». Les résultats indiquent que le climat de la période de croissance (mai, juin et juillet) joue un rôle important dans le développement du bouleau jaune (figure 19). La température moyenne pour cette période explique 75 % des variations de l'accroissement en volume entre 1983 et 1992, alors que les précipitations en expliquent seulement 40 %.

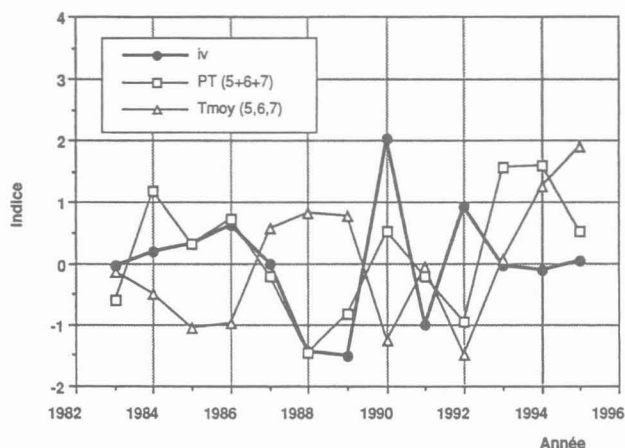


Figure 19. Relation entre l'accroissement en volume (iv) du bouleau jaune, les précipitations (PT) et la température moyenne (T).

La comparaison des températures moyennes et des précipitations (mai, juin et juillet) entre les périodes 1986-1990 et 1991-1995, par un test de *t* apparié, conclut que le climat est demeuré, en moyenne, stable au cours des deux périodes. Ceci n'implique pas cependant que les fluctuations annuelles du climat soient les mêmes au cours des deux périodes.

Ces deux facteurs climatiques sont cycliques (figure 19) et l'accroissement en volume dépend de la phase de ces deux variables. Lorsque ces variables sont déphasées, on peut observer deux situations. Dans une première, le bouleau subit l'effet de la déficience en eau, comme c'est le cas en 1988 et 1989 et l'accroissement en volume est alors sous la normale. Dans une deuxième situation, lorsque les températures sont fraîches et les précipitations sont supérieures à la normale, comme ce fut le cas en 1990, l'accroissement en volume est supérieur à la normale. Après 1992, les deux facteurs climatiques sont en phase, la hauteur des pluies et la température passent au dessus de la normale et on observe alors une baisse de l'accroissement et le dépérissement du bouleau jaune.

Bien que cette relation paraisse évidente, on ne peut tirer de conclusion définitive car, au cours de la période étudiée, ces variables climatiques ont été parfaitement déphasées uniquement en 1988 et 1990. Pour pouvoir vérifier cette relation, on a besoin de séries plus longues pouvant permettre une bonne estimation des cycles dominants de ces séries. Il pourrait alors être possible de prévoir les années où les accroissements seront les plus grands.

CONCLUSIONS

La distribution diamétrale et verticale du peuplement étant régulière et normale, il est possible d'aménager ces peuplements en futaies régulières. La qualité stationnelle du gaulis est comparable à la qualité de l'érablière à bouleau jaune et tilleul. L'éclaircie forte par le bas a un effet positif et soutenu sur la croissance radiale du bouleau jaune et sur la dimension moyenne des tiges. L'éclaircie mixte modérée a un effet positif sur la croissance en hauteur du bouleau jaune. L'éclaircie modérée mixte apparaît comme le meilleur compromis pour l'éducation du bouleau jaune.

Compte tenu du climat régional, le bouleau jaune présente un risque élevé pour l'aménagement et sa proportion dans la composition devrait diminuer. Une plus grande attention devrait être portée à la formation des mélanges au stade de fourrés, en augmentant la proportion du frêne, du cerisier tardif et de l'érable et en diminuant la proportion du bouleau jaune. Le climat de mai, juin et juillet semble jouer un rôle très important dans le développement du bouleau jaune. Une étude plus exhaustive des relations entre le climat et le rendement de bouleau jaune est nécessaire. Pour cela, il faudra établir dans plusieurs régions écologiques des séries plus longues.

REMERCIEMENTS

Je remercie MM. Claude Allain, Jean-B. Breton, Adrien Forgues, Joseph Seres pour la prise des données, Renaud Langis pour l'analyse des données et Benoît Arsenault pour la révision du texte. Je remercie enfin MM. Guy Lessard, CERFO, et Pierre Ricard, pour les critiques constructives du manuscrit.

RÉFÉRENCES

- Abetz, P. 1993.** L'arbre d'avenir et son traitement sylvicole en Allemagne. *Rev. For. Fr.* XLV(5):551-560.
- Assmann, E. 1961.** *Waldetragskunde.* BLV Munchen, 490 p.
- Bicknell, S. H. 1982.** Development of canopy stratification during early succession in northern hardwoods. *For. Ecol. Manage.* 4:41-51.
- Clark, J.; Hare, K. 1953.** Climate and the dieback of birch. *Can. Dep. Agric. Rep. Symp. Birch Dieback* 2:109-113.
- Draper, N.; Smith, H. 1981.** *Applied regression analysis,* 2nd edition, J. Wiley & Sons, New York, 709 p.
- Erdmann, G.G.; Peterson, R.M.; Godman, R.M. 1981.** Cleaning yellow birch seedling stands to increase survival, growth, and crown development. *Can. J. For. Res.* 11:62-68.
- Gross, H. L. 1972.** Crown deterioration and reduced growth associated with excessive seed production by birch. *Can. J. Bot.* 50:2431-2437.
- Gross, H.L.; Harnden, A.A. 1968.** Dieback and abnormal growth of yellow birch induced by heavy fruiting. *Can. Dep. For. Rural Dev. For. Branch, Inf. Rep. O-X-79.*
- Hannah, P.R. 1985.** Response of yellow birch and sugar maple to release and fertilizer. *North. J. Appl. For.* 2:108-110.
- Hansbrough, J.R. 1953.** The significance of the fungi and viruses associated with birch dieback. *Can. Dep. Agric. Rep. Symp. Birch Dieback* 2:128-135.
- Holdaway, M.R. 1987.** The relationship between tree diameter growth and climate in the Lake States. *USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-120,* pp. 490-497.
- Horne, R.; Robinson, G.; Gwalter, J. 1986.** Response increment: A method to analyze thinning response in even-aged forests. *For. Sci.* 32(1):243-253.
- Jones, E.A.; Reed, D.D.; Mroz, G.D.; Liechty, H.O.; Cattelino, P.J. 1993.** Climate stress as a precursor to forest decline: paper birch in northern Michigan, 1985-1990. *Can. J. For. Res.* 23:229-233.
- Kelty, M.J.; Gould, E.M.; Twery, M.J. 1987.** Effects of understory removal in hardwood stands. *North. J. Appl. For.* 4:162-164.
- Kessler, K.J. 1969.** Top-dying of yellow birch associated with seed production. *Plant Dis. Rep.* 53:694-697.
- Kozlowski, T.T.; Kramer, P.J.; Pallardy, S.G. 1991.** *The physiological ecology of woody plants.* Academic Press, New York, 657 p.
- Lamson, N.I.; Smith, H.C. 1987.** Precommercial treatments of 15- to 40-year-old northern hardwood stands. Pages 160-175 *in* R.D. Nyland, ed. *Managing Northern Hardwoods.* *Silv. Symp. Proc.* 23-25 June 1986. Syracuse, N.Y. Soc. Am. For. Publ. No. 87-03.

- Lavallée, A.; Bard, A. 1971.** Succession des micro-organismes à la suite de blessures artificielles au tronc chez le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.) et l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.). Can. J. For. Res. 1:113-120.
- Leibundgut, H. 1966.** Die Waldpflege. Haupt, Bern & Stuttgart, 192 p.
- 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.
- McCauley, O.D.; Marquis, D.A. 1972.** Investment in precommercial thinning of northern hardwoods. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-245. 13 p.
- Mendel, J.J.; Peirsol, M.K. 1977.** Quality index tables for some eastern hardwood species based on lumber prices from 1970 to 1974. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-370, 10 p.
- Ouellet, D.; Zarnovican, R. 1988.** Cultural treatment of young yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) stands: tree classification and stand structure. Can. J. For. Res. 18:1581-1586.
- Pomerlau, R. 1953.** The relation between environmental conditions and the dying of birches and other hardwood trees. Can. Dep. Agric. Rep. Symp. Birch Dieback 2:114-117.
- Proulx, H.; Jacques, G.; Lamothe, A.M.; Litynski, J. 1987.** Climatologie du Québec méridional. Minist. Environ. Québec, Dir. météorologie, Québec, M.P. 65,198 p.
- 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.R. 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. Rap. inf. LAU-X-72. 21 p.
- Roberge, M.R. 1988.** Effects of thinning, patch clearcutting, site preparation, and planting on development of yellow birch in Quebec. North. J. Appl. For. 5:248-251.
- Robitaille, L.; Sheedy, G.; Richard, Y. 1990.** Effets de l'éclaircie précommerciale et de la fertilisation sur un gaulis de 10 ans à dominance de bouleau jaune. For. Chron. 66:487-493.
- Schober, R. 1987.** Durchforstung nach Zahlen? Allgemeine Forst- und Jagdzeitung. 158(10):174-183.
- Schütz, J.Ph. 1981.** L'éclaircie sélective de Schâdelin, évolution et pratique actuelle. Rev. For. Fr. XXXIII-no sp., 7-18.
- Schütz, J.Ph. 1990.** Sylviculture 1 : Principes d'éducation des forêts. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 243 p.
- Sonderman, D.L. 1979.** Guide to the measurement of tree characteristics important to the quality classification system for young hardwood trees. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-54. 12 p.
- Sonderman, D.L.; Brisbin, R.L. 1978.** A quality classification system for young hardwood trees - the first step in predicting future products. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-419. 7 p.
- SYSTAT Inc. 1992.** Statistics, Version 5.2. SYSTAT, Inc., Evanston, IL. 724 p.
- Teck, R.M.; Hilt, D.E. 1990.** Individual-tree probability of survival model for the Northeastern United States. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-642. 10 p.
- Thibault, M. 1986.** Les régions écologiques du Québec méridional (deuxième approximation). Carte synthèse, Minist. Énerg. Ressour. Québec, Serv. rech. et Serv. cartographie, Québec.
- Tubbs, C.H. 1977.** Manager's handbook for northern hardwoods in the North Central States. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NC-39. 29 p.
- Van Miegroet, M. 1984.** Concepts of forest stability and forest management. Silva Gandavensis 50:39-64.
- Von Althen, F.W.; Wood, J.E.; Mitchell, E.G.; Hoback, K. 1994.** Effects of different intensities of yellow birch and sugar maple crop tree release. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv. - Ontario Region, Sault Ste. Marie, Ont. NODA/NFP Tech. Rep. TR-4.12 p.
- Voorhis, N.G. 1990.** Precommercial crop-tree thinning in a mixed northern hardwood stand. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-640. 4 p.
- Vyskot, M.; Jurca, J.; Korpel, S.; Reh, J. 1978.** Sylviculture. Statni Zemedelske Nakladatelstvi, Prague, 448 p.

Wall, R.E. 1983. Mortalité du bouleau jaune au stade juvénile. *Revue de recherches du SCF* 3(4):31-32.

Zarnovican, R.; Laberge, C. 1994. Réaction des principales essences feuillues à l'éclaircie de mise en lumière dans une érablière à bouleau jaune en Estrie. *Ressour. nat. Canada, Serv. can. for., Cent. for. Laurentides, Sainte-Foy, Qc. Rapp. inf. LAU-X-109.*

