



**Institut Québécois d'Aménagement
de la Forêt Feuillue**

**ÉTUDE DE L'ÉCLAIRCIE PRÉCOMMERCIALE DANS LES JEUNES
PEUPELEMENTS DE FEUILLUS DURS**

Rapport produit et rédigé par :

Frédéric Doyon, ing.f., M.Sc.

Julie Goulet, B.Sc., M.Sc.

Philippe Nolet, B.Sc., M.Sc.

Anick Patry, ing.f., M.Sc.

Présenté à :

Produits Forestiers Turpin inc.

&

Ministère des Ressources naturelles (U.G. 072)

Avril 2000

Remerciements

Nous voulons en premier lieu remercier, Francis Bilodeau et Shawny Plante, étudiants en foresterie à l'Université Laval pour leur inestimable travail lors des analyses dendrochronologiques des disques en laboratoire. Nous tenons aussi à remercier Louis Ménard et son équipe du Ministère des Ressources naturelles à Buckingham pour le temps qu'ils nous ont accordé afin de trouver des sites adéquats pour cet étude. Toute notre gratitude va aussi à Srdjan Ostojic, Catherine Duhaime et Nabojša Gavrilovic pour leur travail impeccable sur le terrain lors de la prise des données. Nous témoignons aussi notre reconnaissance à Jean Bégin pour avoir permis à F. B. et S. P. d'utiliser les instruments de son laboratoire lors de l'analyse des disques. Ce projet a été rendu possible grâce au programme Volet I de mise en valeur des forêts du Ministère des Ressources Naturelles du Québec.

Étude de l'éclaircie précommerciale dans les jeunes peuplements de feuillus durs.

Frédéric Doyon¹, Julie Goulet¹, Philippe Nolet¹ et Annick Patry^{1,2}

¹IQAFF, 88, rue Principale, St-André-Avellin, Québec, J0V 1W0

²Faculté de Foresterie et de Géodésie, Pavillon Abitibi-Price, Université Laval, Ste-Foy, Québec, G1K 7P4

Résumé

L'éclaircie précommerciale dans les feuillus durs vise à accélérer la croissance du jeune peuplement vers une futaie régulière comportant un nombre suffisant de tiges de haute qualité en libérant une cohorte de tiges d'avenir de la compétition qui l'environnent. Ce traitement bien subventionné, autant sur terres publiques que privées, a souvent été mis en question dans la littérature en ce qui concerne son efficacité à atteindre les objectifs fixés. Dans cette étude, nous avons vérifié quels sont l'effet et la durée de l'éclaircie précommerciale par puits de lumière sur la croissance en diamètre et en hauteur ainsi que sur la qualité de la première bille de pied sur les peuplements composés de bouleau à papier, de bouleau jaune et d'érables à sucre. De plus, nous avons comparé l'effet de l'éclaircie sur des érables à sucre provenant de cépée et de graine. Pour ce faire, nous avons comparé les caractéristiques de tailles, de croissance, et de qualité entre les tiges éclaircies et celles non éclaircies dans 12 stations de la région de l'Outaouais. Les tiges éclaircies étaient de taille supérieure à celles non éclaircies. Cependant, cette différence était due à l'effet de sélection des tiges plutôt qu'à l'effet du traitement sur la croissance. L'augmentation de la croissance en diamètre occasionnée par l'éclaircie était remarquable chez les deux espèces de bouleaux, mais pratiquement nulle chez l'érable à sucre. Les tiges non éclaircies ont elles aussi bénéficié de l'effet du traitement. La croissance en hauteur n'a pas été affectée par l'éclaircie ni la probabilité qu'une tige ait une branche vivante dans sa première bille de pied. Cependant, cette probabilité était très différente entre les espèces ; seul l'érable à sucre avait une tendance à maintenir de plus grosses branches lorsque éclairci. Les individus d'érable à sucre provenant de cépée étaient de diamètre et de hauteur supérieurs aux individus provenant de graine, mais répondaient de façon similaire au traitement. À la lumière de ces résultats, des recommandations quant à la manière d'effectuer le traitement pour chaque espèce et aux conditions pertinentes à son application sont formulées.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Introduction	1
Méthodologie	4
Lieu d'étude	4
Choix des sites, sélection des tiges et mesures sur le terrain.....	4
Mesures en laboratoire.....	6
Préparation des données.....	8
Analyses.....	9
Résultats	11
Croissance en diamètre et durée de l'effet du traitement.....	11
Croissance en hauteur	25
Comparaison de la qualité des tiges.....	27
Discussion	29
Effets de l'éclaircie sur la croissance en diamètre et en hauteur et durée de l'effet du traitement	29
Différences de la réponse de la croissance en diamètre entre les espèces	30
La qualité des tiges.....	31
Conclusion et recommandations	33
Liste de références	35

Liste des tableaux

Tableau 1.	Âge actuel des peuplements sélectionnés pour cette étude et lors de l'application de l'éclaircie précommerciale.....	5
Tableau 2.	Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur le diamètre des tiges-sujets.....	11
Tableau 3.	Significativité de l'effet de l'espèce, du traitement, et de l'interaction entre l'espèce et le traitement sur le changement de la croissance avant/après l'éclaircie précommerciale, d'un à six ans.....	21
Tableau 4.	Nombre de tiges ayant un accroissement avant/après traitement plus grand ou égal à 100 % et accroissement maximal en diamètre par espèce et par période de comparaison.....	22
Tableau 5.	Significativité des relations des régressions linéaires entre les changements de diamètre avant/après traitement et le dhp, la croissance en hauteur, la position sociale, la densité, la surface terrière et les indices de compétition 1 et 2 pour les 6 périodes de comparaison.	24
Tableau 6.	Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur la hauteur des tiges-sujets.....	25
Tableau 7.	Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce et de l'éclaircie sur la position sociale en hauteur des tiges.....	27
Tableau 8.	Déviante exprimée par les variables de compétition dans un modèle de régression logistique qui tient compte <i>a priori</i> de l'effet de l'espèce.....	28

Liste des figures

Figure 1. Photos hémisphériques des trouées occasionnées par le prélèvement des tiges-sujets.....	7
Figure 2. Comparaison du diamètre à hauteur de poitrine en fonction de la situation et en fonction des espèces.....	13
Figure 3 : Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 1 et 2.....	14
Figure 4 : Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 3 et 4.....	15
Figure 5 : Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 5 et 6.....	16
Figure 6 : Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 7 et 8.....	17
Figure 7 : Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 9 et 10.....	18
Figure 8 : Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 11 et 12.....	19
Figure 9 : Changement de la croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les six périodes de comparaison.	20
Figure 10 : Comparaison entre les espèces du changement de croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les six périodes de comparaison.....	23
Figure 11 : Comparaison de la hauteur des tiges en fonction de la situation et en fonction des espèces.	26

Introduction

L'éclaircie précommerciale s'applique à de jeunes peuplements, soit de 5-15 ans (gaulis/bas-perchis) (Québec 1997) que l'on désire conduire vers la futaie régulière. Comme toutes éclaircies, le traitement d'éclaircie précommerciale vise à concentrer l'accroissement en volume du peuplement sur un plus petit nombre de tiges de qualité, uniformément espacées (Smith *et al.* 1997). En dégagant la tige sélectionnée des tiges de compétition qui l'environnent, l'éclaircie favorise ainsi sa croissance. Le traitement d'éclaircie précommerciale est privilégié dans la sylviculture des jeunes peuplements de feuillus durs du nord-est des États-Unis (Tubbs 1977). Actuellement, ce traitement est subventionné en forêt publique dans l'Outaouais à 805 \$/ha (Guy Lesage, comm. pers.).

Plusieurs études ont démontré que l'éclaircie précommerciale avait un effet positif sur la croissance en diamètre (Downs 1946 ; Erdmann *et al.* 1981 ; Robitaille *et al.* 1990). Cependant, la réponse à l'éclaircie est très variable et dépend de plusieurs facteurs ce qui a limité plusieurs auteurs à généraliser sur l'efficacité de ce traitement comme outil d'éducation des peuplements (Della-Bianca 1975). La réponse dépendra bien entendu de l'intensité du traitement (Erdman 1981; Miller 2000). Un trop faible dégagement des tiges ne permettra pas une réponse significative alors qu'une trop grande ouverture du couvert peut augmenter la mortalité des tiges (Roberge 1975) ou causer une perte de qualité par un accroissement de la production de branches chez certaines espèces (Erdmann *et al.* 1981 ; Robitaille *et al.* 1990). Ce dernier aspect est crucial pour les peuplements de feuillus durs puisque pour ces espèces, la qualité de la tige est tout aussi importante que la taille. Certains auteurs ont démontré que les effets de l'éclaircie varient selon la position sociale occupée par la tige sélectionnée dans le peuplement (Erdmann *et al.* 1981 ; Hilt et Dale 1982 ; Robitaille *et al.* 1990). Selon ces auteurs, les tiges dominantes ayant une couronne mieux développée sont plus aptes à répondre à l'éclaircie. La réponse au traitement d'éclaircie va dépendre aussi de la qualité de la station. La probabilité qu'un peuplement stagne au niveau de sa croissance en diamètre ou en hauteur est plus grande sur les sites pauvres (Smith *et al.* 1997). Si cette stagnation est le résultat d'une carence soit en eau ou en élément nutritif, une augmentation de

l'espacement entre les tiges aura très peu d'effet positif sur la croissance. L'effet d'une éclaircie ne sera pas le même non plus selon l'âge et la densité du peuplement traité. Finalement, les espèces vont aussi répondre différemment en croissance (diamètre, hauteur) et en qualité à l'éclaircie selon leur tolérance à l'ombre, leur physiologie et leur architecture (Leak et Solomon 1997 ; Zarnovican 1998 ; Miller 2000).

L'origine de la tige peut aussi être importante en ce qui concerne la réponse à l'éclaircie précommerciale. En général, on observe que les rejets de souches répondent bien au traitement (Johnson et Godman 1983 ; Lamson 1983 ; Stroempl 1983 ; Lamson 1988 ; Dwyer *et al.* 1993). Cependant, aucune de ces études n'a comparé, pour une espèce donnée, la réponse de tiges provenant de rejet de souche à celle de tiges provenant de graines. Actuellement, seuls les rejets de tilleul d'Amérique et de chêne rouge sont acceptés comme tiges d'avenir lors de l'application du traitement d'éclaircie précommerciale en Outaouais (Québec 1999). Or, il arrive souvent que des peuplements entiers d'érable à sucre se régénèrent par voie végétative après une coupe rase (Godman *et al.* 1990), rendant le traitement de ce peuplement, quoique souvent très dense, inadmissible en paiement de droits de coupe., rendant le traitement de ce peuplement, quoique souvent très dense, inadmissible en paiement de droits de coupe.

La durée de l'effet de l'éclaircie est aussi très variable, mais sera d'autant plus longue que l'intensité de l'éclaircie est importante (Smith *et al.* 1997). Leak et Smith (1997) ont démontré que les effets de l'éclaircie précommerciale sont importants à court terme, mais disparaissent rapidement. Della-Bianca (1975) ainsi que Labonté et Robley (1978) ont trouvé que la croissance en diamètre des individus dégagée était influencée pendant les six premières années, culminant 2 ans après traitement, pour cesser par la suite et retrouver des taux d'avant traitement.

Afin de clarifier l'efficacité de ce traitement vis-à-vis des objectifs de production de tige de haute qualité, nous avons étudié la réponse en croissance et en qualité des jeunes peuplements de feuillus durs à l'éclaircie précommerciale par puits de lumière.

Plus spécifiquement, nous avons :

1. Comparer le diamètre et la hauteur des tiges éclaircies avec celles des tiges non éclaircies pour l'érable à sucre, le bouleau à papier et le bouleau jaune ;
2. Comparer la croissance en diamètre et en hauteur des tiges éclaircies avec celles des tiges non éclaircies pour ces trois mêmes espèces ;
3. Déterminer la durée de l'effet du traitement ;
4. Comparer la qualité des tiges éclaircies avec celle des tiges non éclaircies pour ces mêmes espèces ;
5. Évaluer l'effet de la grosseur des puits de lumière ;
6. Comparer la réponse des tiges d'érable à sucre provenant soit de graines, soit de cépées ;

À la lumière des résultats obtenus, nous voulons formuler des recommandations quant à la manière d'effectuer le traitement d'éclaircie précommerciale dans les peuplements de feuillus durs et aux conditions pertinentes à son application.

Méthodologie

Lieu d'étude

Le territoire d'étude, la Réserve Papineau-Labelle, d'une superficie approximative de 162 750 ha, fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Ils chevauchent deux unités de paysage définies par (Robitaille et Saucier 1998), soit celles du Lac Poisson Blanc et du Lac Simon. Les deux unités sont caractérisées principalement, d'une part, par des tills minces (44 % et 43 %) et des affleurements rocheux (20 % et 13 %) et, d'autre part, par des dépôts fluvio-glaciaires (16 % et 18 %). La température annuelle moyenne varie de 2,5 à 5 °C, le nombre de degrés-jours de croissance varie de 2600 à 3000 °C et la longueur de la saison de croissance se situe autour de 180 jours. La végétation potentielle sur site mésique de milieu de pente est l'érablière à bouleau jaune ou l'érablière à tilleul. Les hauts de pente bien drainés sont colonisés par l'érablière à ostryer et les sommets par l'érablière à tilleul et hêtre. Les bas de pente sont plutôt occupés par la bétulaie jaune à sapin. Les sites xériques sont couverts par la végétation potentielle de la prucheraie à bouleau jaune et celle de la pinède à pin blanc et pin rouge (Robitaille et Saucier 1998).

Choix des sites, sélection des tiges et mesures sur le terrain

Les douze peuplements sélectionnés pour cette étude avaient entre 18 et 23 ans et avaient tous été traités par éclaircie précommerciale par le passé il y a de 5 à 12 ans (Tableau 1). L'approche préconisée dans cette région, il y a environ 10 ans était celle du puits de lumière selon laquelle une couronne de lumière de 0,75 m de largeur était pratiquée au pourtour de la cime d'un certain nombre de tiges sélectionnées pour avoir environ 1100 tiges/ha, systématiquement espacées. Les normes de dégagement pour les sites ayant été traité il y a 5-6 ans étaient de 0,3 à un m autour de la cime des tiges sélectionnées (environ 640 tiges/ha) (Figure 1). Tous ces peuplements se trouvaient sur des tills épais à régime hydrique mésique, généralement en pente douce. Ils étaient

composés de feuillus durs et devaient posséder un nombre suffisant de tiges éclaircies et non éclaircies en érable à sucre, bouleau jaune et bouleau à papier.

Pour les stations 1 à 4, 10 tiges-sujets de bouleau jaune et 10 tiges-sujets de bouleau à papier étaient sélectionnées pour être mesurées. De ces 10 tiges, 5 étaient éclaircies et 5 non éclaircies. Les souches au sol des tiges coupées indiquaient quelles tiges avaient été éclaircies de celles non éclaircies ainsi que les caractéristiques de la couronne des individus. Une couronne symétrique indiquait une tige éclaircie et une couronne peu développée ou asymétrique indiquait une tige non éclaircie. De cet échantillon de 10 tiges, un sous-échantillon était récolté à raison de 2 tiges-sujets par espèce pour les analyses en laboratoire. Pour l'érable à sucre, 20 tiges-sujets étaient sélectionnées dont 10 tiges issues de graines et 10 tiges issues de rejets de souche. Deux tiges-sujets d'érable à sucre issues de graines et 2 tiges-sujets issues de rejets étaient utilisées pour les analyses en laboratoire. Le même nombre d'individus a été récolté pour les stations 5 à 12, mais les rejets d'érable à sucre n'ont pas été étudiés pour ces stations. Un total de 400 tiges-sujets a été mesuré.

Tableau 1. Âge actuel des peuplements sélectionnés pour cette étude et lors de l'application de l'éclaircie précommerciale.

Numéro de la station	Âge du peuplement	Âge du peuplement lorsque traité
1	21	5
2	18	5
3	21	6
4	18	6
5	19	12
6	20	12
7	23	11
8	19	12
9	19	12
10	19	11
11	19	11
12	19	11

Le diamètre à hauteur de poitrine et les diamètres minimum et maximum de la cime ont été mesurés pour chacune des tiges-sujets. Un décompte du nombre de branches totales (mortes et vivantes) dans le premier 2,44 m a été fait.

Un dénombrement de toutes les tiges comprises dans un rayon équivalent à 2,5 fois le rayon moyen de la cime de la tige-sujet a été fait dans le but d'évaluer la compétition exercée par la végétation arborée. Le choix de 2,5 fois le rayon moyen de la cime est basé sur l'étude sur les indices de compétition de (Hix et Lorimer 1990) qui démontre qu'à un rayon d'évaluation inférieur à ce nombre, la croissance devient moins corrélée avec l'indice de compétition. Les tiges de compétition dénombrées devaient être d'une hauteur égale ou supérieure au 2/3 de la hauteur de la tige-sujet. Le diamètre à hauteur de poitrine et la distance par rapport à la tige-sujet ont été pris en note.

Pour le sous-échantillon des tiges-sujets récoltées par station, la hauteur réelle de l'arbre et la croissance en hauteur des 5 dernières années ont été mesurées. Une galette a été récoltée à 1,3 m pour chacune des tiges-sujets.

Mesures en laboratoire

Les galettes étaient placées dans un four à 65 °C pendant 24 heures. Un sablage à grains grossiers (80) était d'abord effectué, suivi de sablages à grains plus fins (120 et 200) pour préparer la surface de lecture. Sur chaque galette, quatre rayons de lectures étaient utilisés pour l'analyse des cernes. Un premier axe était d'abord déterminé couvrant le plus grand diamètre de la galette puis un second axe, perpendiculaire au premier, était tracé par la suite. En présence de déformations, le second axe était tracé de façon à éviter la déformation ou, selon le cas, deux rayons indépendants étaient tracés. Les axes étaient tracés et identifiés à l'aide d'un crayon mine sur chacune des galettes. Les cernes caractéristiques d'accroissement et de suppression de croissance furent utilisés pour valider la séquence chronologique par datation croisée (Stokes et Smiley 1968). Après concordance des séquences chronologiques, la largeur des cernes de croissance fut mesurée aux 0,01 mm à l'aide du logiciel de dendrochronologie WinDendro. Les largeurs de cernes correspondant à des déformations étaient notées.

a)



b)



Figure 1. Photos hémisphériques des trouées occasionnées par le prélèvement des tiges-sujets. Le puits de lumière des tiges éclaircies (a) fait que la trouée est plus grande que celle pour les tiges n'ayant pas été éclaircies (b).

Préparation des données

Afin d'évaluer l'environnement de compétition autour des tiges-sujets, nous avons calculé deux indices de compétition. Un premier indice de compétition (IC_1) prend en considération le rapport des diamètres de la tige-sujet et des tiges de compétition pondéré par la distance entre les deux tiges (Hix et Lorimer 1990) :

$$IC_1 = \frac{\sum_{i=1}^n dhp_i / dhp_s}{\sum_{i=1}^n dist_{is} / rayon}$$

- où IC_1 = indice de compétition 1
 dhp = diamètre hauteur poitrine
 i = tige compétition i
 s = tige-sujet
 n = nombre de tiges compétition à l'intérieur du rayon de compétition
 $dist_{is}$ = distance entre la tige-sujet et la tige compétition i
 $rayon$ = rayon de compétition, soit 2,5*diamètre de la cime de la tige-sujet

Un deuxième indice de compétition (IC_2) a aussi été calculé. Celui-ci est une représentation du puits de lumière puisqu'il ne considère que les premières tiges de compétition rencontrées dans chaque quadrant autour de la tige-sujet :

$$IC_2 = \frac{\sum_{i=1}^4 dhp_i}{\sum_{i=1}^4 dist_{is}}$$

- où IC_2 = indice de compétition 2
 dhp = diamètre hauteur poitrine
 i = tige compétition i la plus près dans chacun des quatre quadrants
 s = tige-sujet
 $dist_{is}$ = distance entre la tige-sujet et la tige compétition i

Pour une année de croissance donnée, la moyenne de la largeur des cerne sur les 4 axes fut attribuée. Les largeurs de cerne correspondant à des déformations furent

éliminées lors de cette étape. Le changement de croissance (delta) entre les années précédant et suivant l'intervention d'éclaircie fut calculé pour des périodes de temps d'un à cinq ans. Le changement de croissance pour une période de comparaison donnée se calcule par la différence entre les moyennes de la croissance après et avant traitement divisée par la croissance moyenne avant traitement pour la période de comparaison. Cela se traduit mathématiquement par la formule suivante :

$$\Delta_n = \frac{\sum_{i=1}^n LC_{t+i} - \sum_{i=1}^n LC_{t-i}}{\sum_{i=1}^n LC_{t-i}} \%$$

où

- Δ = changement de croissance
- LC = largeur du cerne (mm)
- t = année où a eu lieu le traitement
- n = période de comparaison avant/après traitement (1 à 5)

Un indice pour indiquer la position sociale de la tige dans le peuplement a été calculé. Cet indice est simplement la différence entre la hauteur de la tige et la hauteur moyenne de l'ensemble des tiges-sujets d'une station. Pour ce qui est de la croissance en hauteur, nous avons utilisé la moyenne des longueurs internodales sur les cinq dernières années dans les analyses.

Analyses

Pour vérifier la généralisation de la réponse au traitement à l'échelle de la station, des signes plus ou moins ont été indiqués sur les courbes de croissance en diamètre de chacune des espèces. Un signe plus (+) indique une augmentation de la croissance en diamètre généralisée à l'échelle de la station et un signe moins (-) indique une réduction de la croissance. Les courbes ont été effectuées par espèces, car il y avait un nombre variable et trop faible d'individus récoltés éclaircis et non éclaircis par stations.

Les caractéristiques de croissance et de qualité ont été comparées entre les espèces tout en contrôlant la variabilité induite par la différence entre les stations. Les

caractéristiques testées étaient : le diamètre, la hauteur, la croissance moyenne en hauteur sur les cinq dernières années et le changement de croissance en diamètre avant/après traitement pour les six périodes de comparaison. Le modèle statistique utilisé pour ces analyses est celui des blocs aléatoires avec la somme des carrés de types III. (Falissard 1996), la station étant le facteur aléatoire. Le modèle se traduit donc sous la forme d'équation suivante :

$$\text{Caractéristique testée} = \text{Espèce} + \text{Traitement} + \text{Espèce} * \text{Traitement} + (\text{Station})$$

Dans le cas où un effet était significatif, le test *HSD* de Tukey était utilisé pour les comparaisons multiples de moyennes (Scherrer 1984).

Pour tester si le changement de croissance avant/après traitement était différent de zéro, un test *Z* (Scherrer 1984) a été utilisé. Afin de vérifier quelles sont les conditions environnant une tige qui font qu'elle répond ou non au traitement, les changements de croissance ont été mis en relation avec les indices de compétition, la surface terrière et la densité calculée à l'intérieur de l'espace de compétition ($2,5 * \text{rayon de la cime}$) dans une analyse de régression linéaire.

Finalement, un test du χ^2 a été utilisé pour vérifier si la présence de branche vivante dans le premier 2,44 m de la tige était dépendante de l'espèce et du fait qu'une tige soit éclaircie ou non. Par la suite, les relations entre la présence de branches et les conditions de compétition qui environnent la tige ont été testées. Pour ce faire, la présence/absence de branche a été mise en relation dans une régression logistique avec la surface terrière, les indices de compétition, la densité et la position sociale en hauteur de la tige, après avoir inséré l'effet de l'espèce en premier dans la régression. La surface des branches vivantes a été analysée à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis selon l'espèce, la station et le traitement. Un test de corrélation de Spearman a été utilisé pour vérifier si les conditions de compétition influençaient la surface des branches au bourrelet.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SPSS 8.0 pour Windows (SPSS Inc. 1997) et dans tous les tests utilisés, nous avons fixé le seuil statistique à $\alpha=0,05$.

Résultats

Croissance en diamètre et durée de l'effet du traitement

Le diamètre varie en fonction de l'espèce ($P < 0,001$) et de l'éclaircie ($P < 0,001$). L'analyse des données démontre que la différence de diamètre entre les espèces ne varie pas avec l'éclaircie puisque le terme d'interaction entre l'espèce et l'éclaircie n'est pas significatif (Tableau 2). Les tiges éclaircies possèdent un diamètre significativement plus gros que celles non éclaircies (Figure 2a). Le bouleau à papier a le diamètre le plus élevé, suivi par le bouleau jaune et par l'érable à sucre pour toutes les situations (Figure 2b). Le contrôle de l'effet station s'est avéré nécessaire puisqu'il est significatif dans le modèle (Tableau 2, $P < 0,001$).

Tableau 2. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur le diamètre des tiges-sujets.

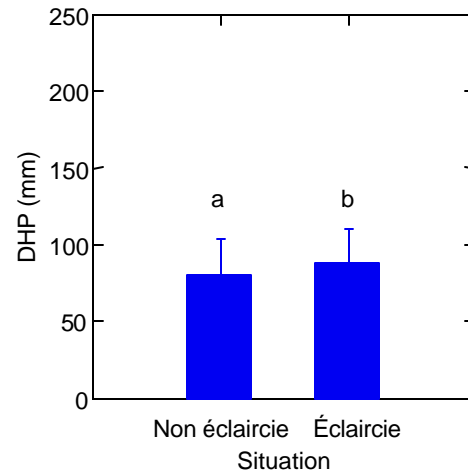
<i>Facteur dépendant</i>	<i>Facteur indépendant</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>(df)</i>	<i>P</i>
Diamètre	Espèce	36753	119,7	(2)	<0,001
	Éclaircie	14524	47,31	(1)	<0,001
	Station	2491,4	8,115	(11)	<0,001
	Espèce*Éclaircie	225,88	0,736	(2)	0,480

Les érables à sucre provenant de cèpée n'ont pas un diamètre plus important que ceux provenant de graine ($P = 0,176$; $df = 1$; $F = 1,868$). De plus, le traitement des érables n'est pas un facteur affectant la relation entre le dhp et l'origine ($P = 0,558$; $df = 1$; $F = 0,347$). Le dhp des tiges d'érables à sucre éclaircies est plus grand ($80,0 \pm 2,0$ mm) que celui des tiges non éclaircies ($69,5 \pm 2,1$ mm ; $P < 0,001$; $df = 1$; $F = 15,73$).

En général, pour la plupart des stations (sauf les stations 8 et 11) les tiges d'érable à sucre étaient pré-établies de 1 à 4 années avant les tiges de bouleau jaune et de bouleau

à papier (Figures 3 à 8). À partir de l'observation des graphiques des courbes de croissance en diamètre, on peut détecter un changement de croissance positif avant et après traitement pour les trois espèces seulement pour la station 6 (figure 5). Le bouleau jaune est l'espèce qui répond le mieux en croissance l'année suivant l'éclaircie (10 stations sur 12). Il est suivi par le bouleau à papier (9 stations sur 12) et par l'érable à sucre (3 stations sur 12) (figures 3 à 8). L'éclaircie favorise la croissance du bouleau à papier qui se distingue des deux autres espèces pour les stations 2 et 4 à 12. L'érable à sucre est l'espèce ayant la croissance la plus faible (stations 4 à 9 et 11, 12; figures 4 à 8).

a)



b)

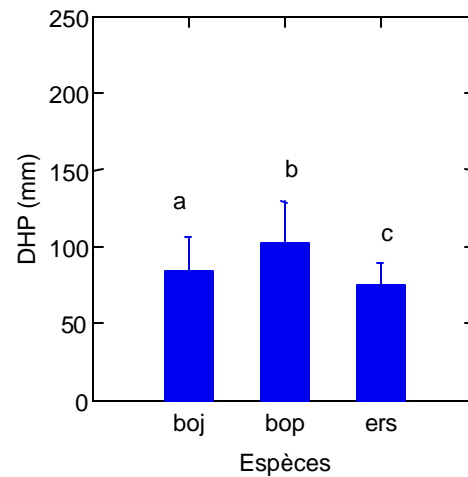


Figure 2. Comparaison du diamètre à hauteur de poitrine en fonction de la situation (a) et en fonction des espèces (b). Les lettres indiquent une différence significative du diamètre. Les barres verticales représentent l'écart type autour de la moyenne. Les statistiques de l'ANOVA sont présentées dans le tableau 2. Boj = bouleau jaune, Bop = bouleau à papier et Ers = érable à sucre.

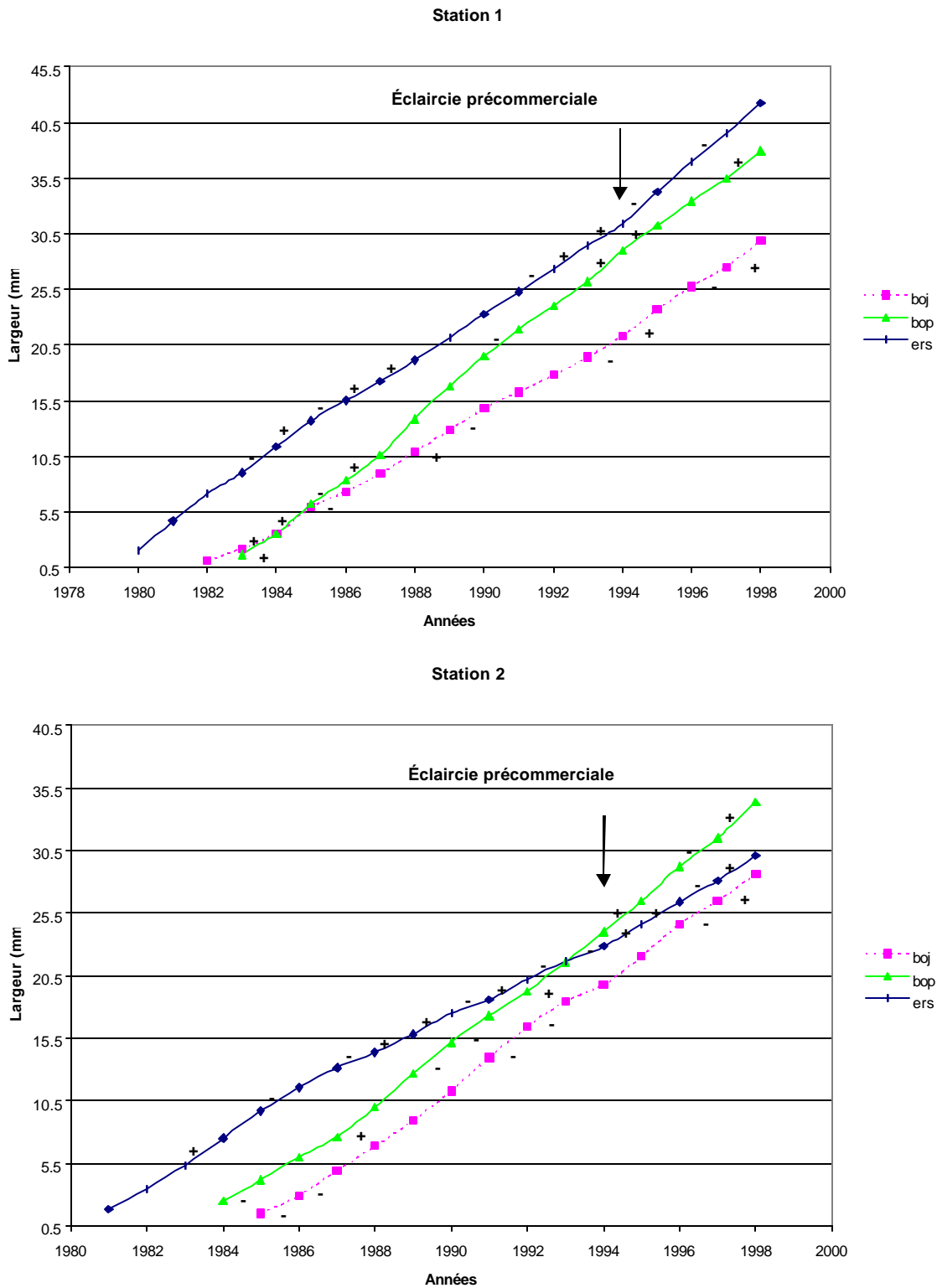


Figure 3. Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 1 et 2. Les flèches indiquent l'année du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - indiquent une croissance positive ou négative généralisée des tiges selon l'intervalle. Pour la station 1, les signes sous la droite rose sont pour le boj et les signes sont au-dessus de la droite verte pour le bop.

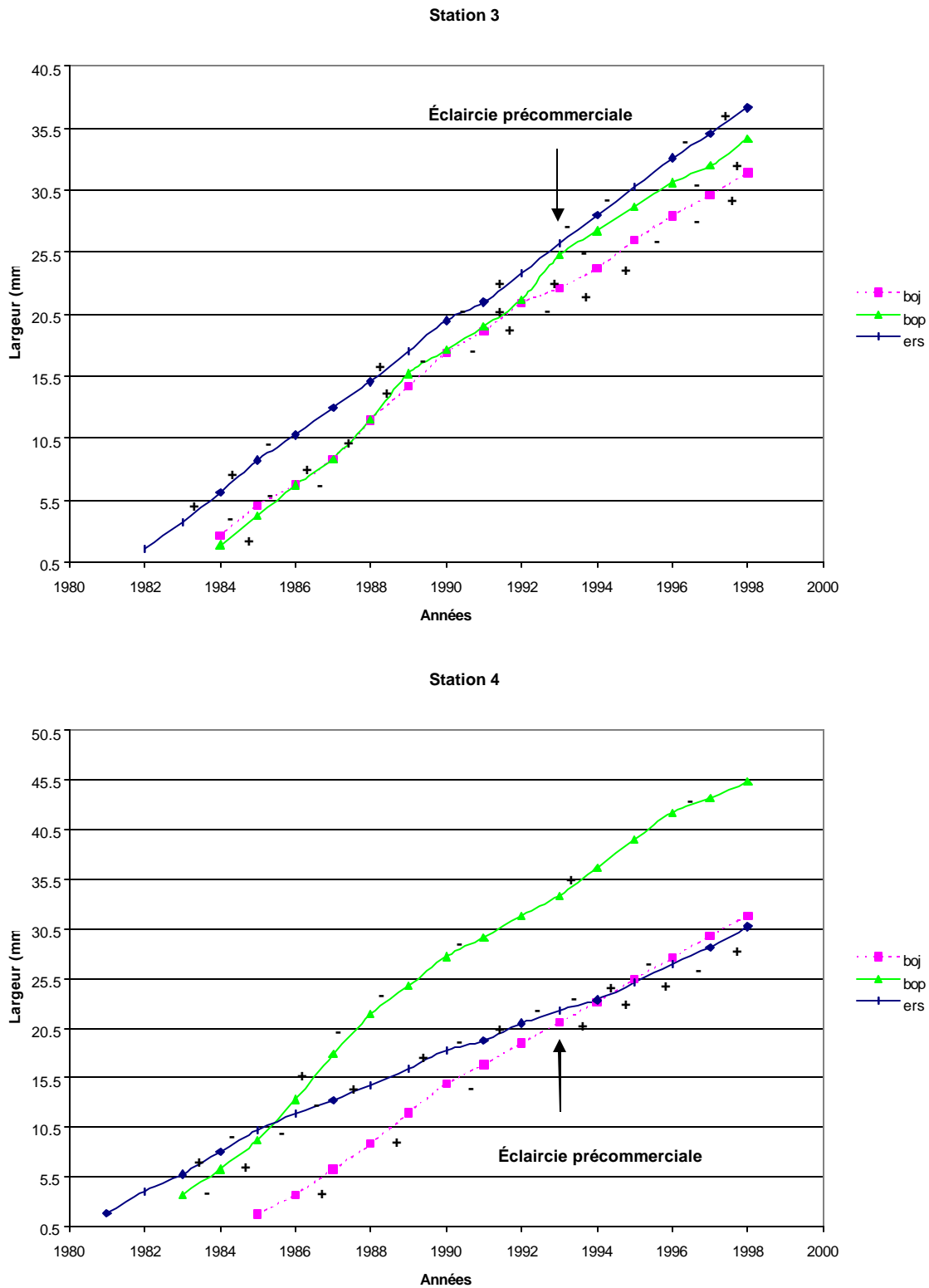


Figure 4. Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 3 et 4. Les flèches indiquent l'année du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - indiquent une croissance positive ou négative généralisée des tiges selon l'intervalle.

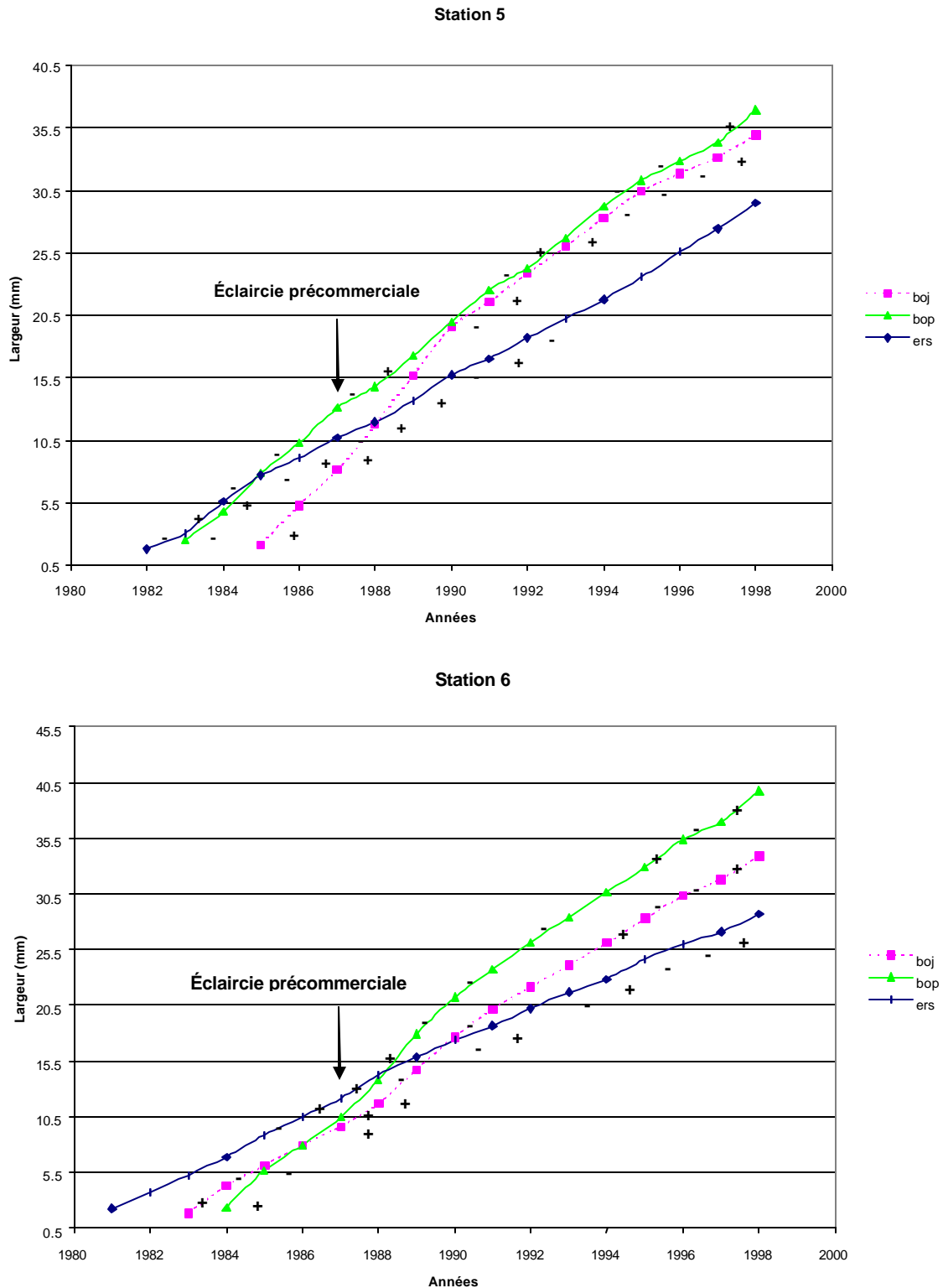


Figure 5. Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 5 et 6. Les flèches indiquent l'année du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - indiquent une croissance positive ou négative généralisée des tiges selon l'intervalle.

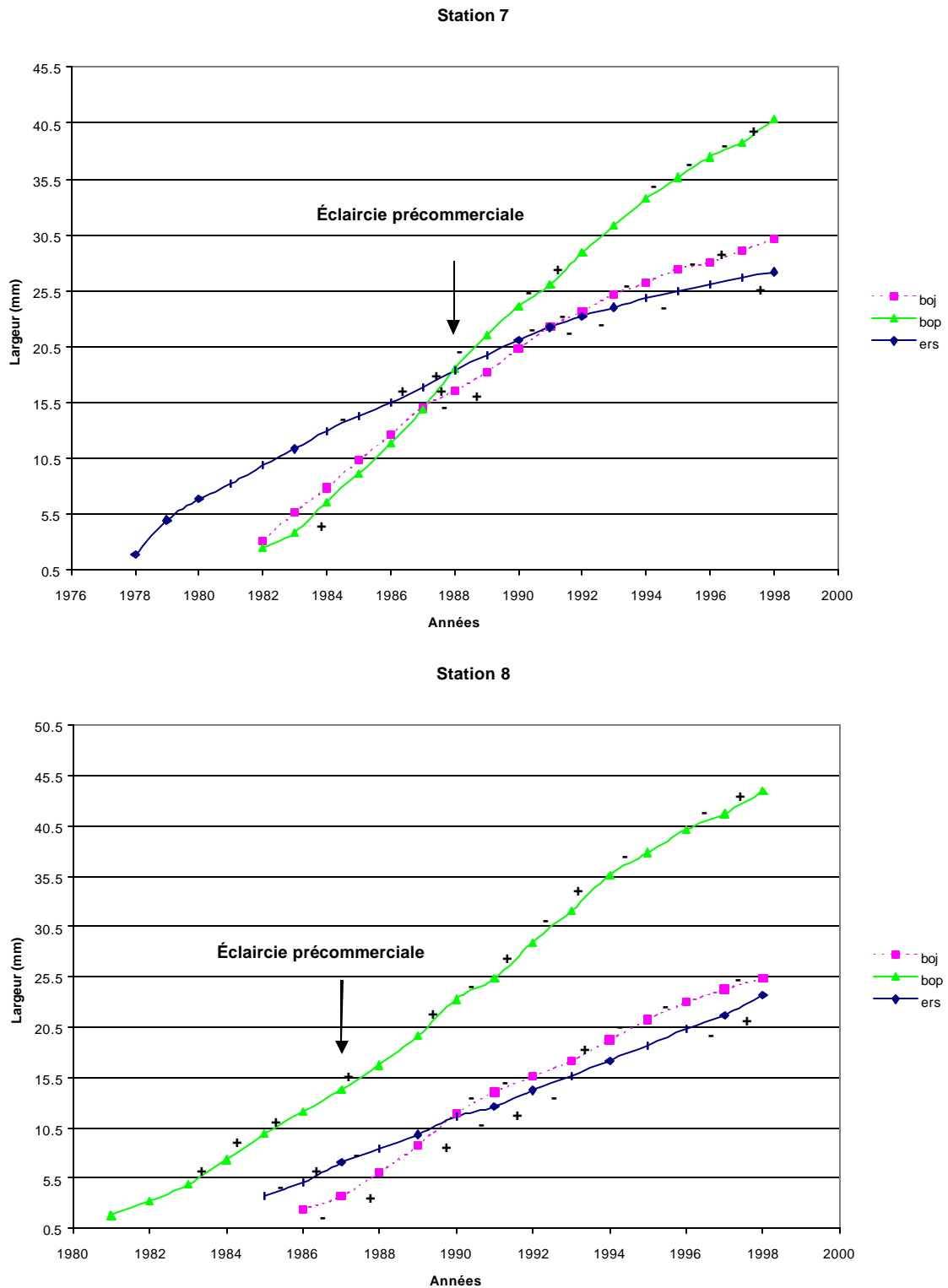


Figure 6. Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 7 et 8. Les flèches indiquent l'année du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - indiquent une croissance positive ou négative généralisée des tiges selon l'intervalle.

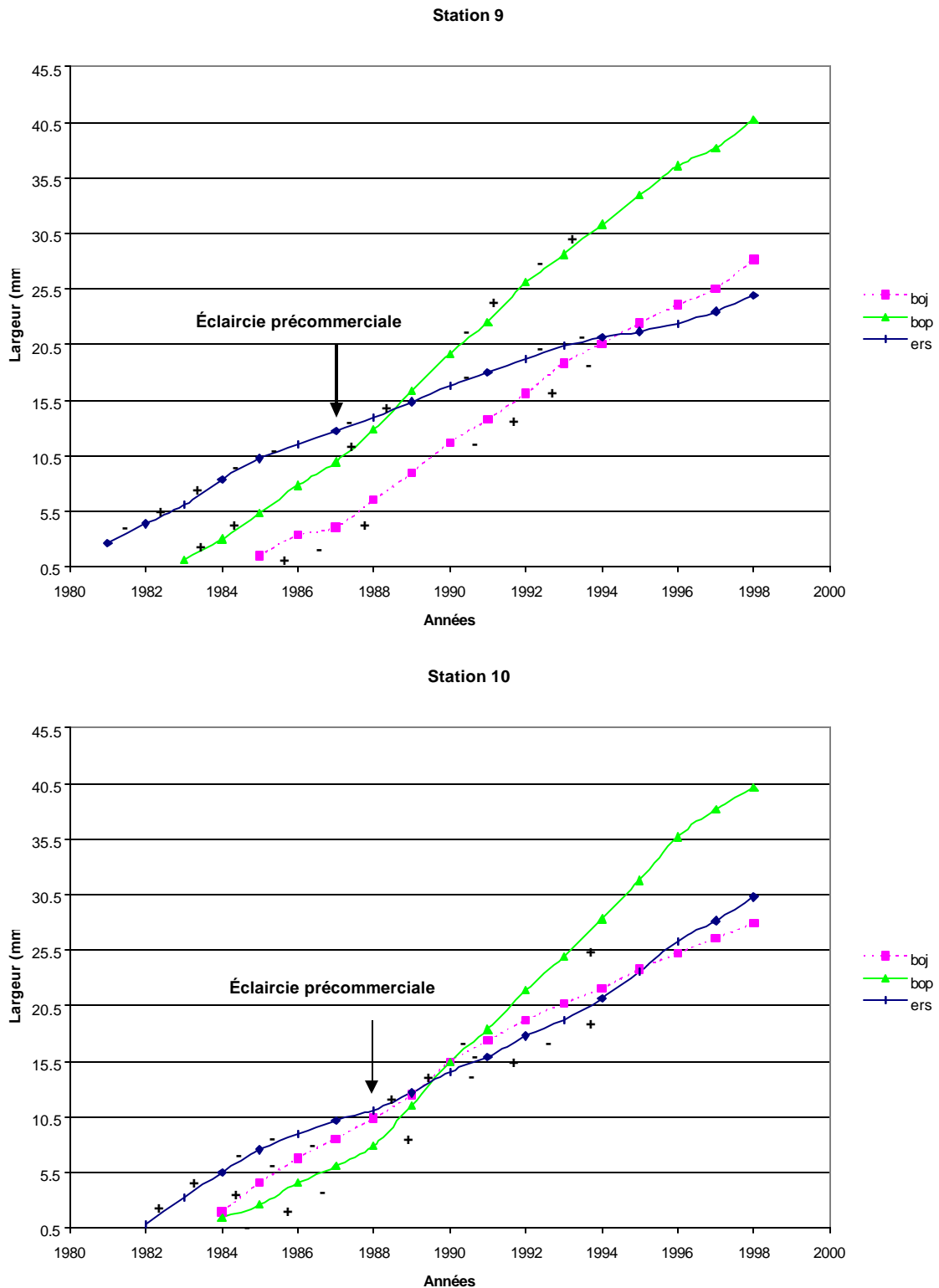


Figure 7. Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 9 et 10. Les flèches indiquent l'année du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - indiquent une croissance positive ou négative généralisée des tiges selon l'intervalle.

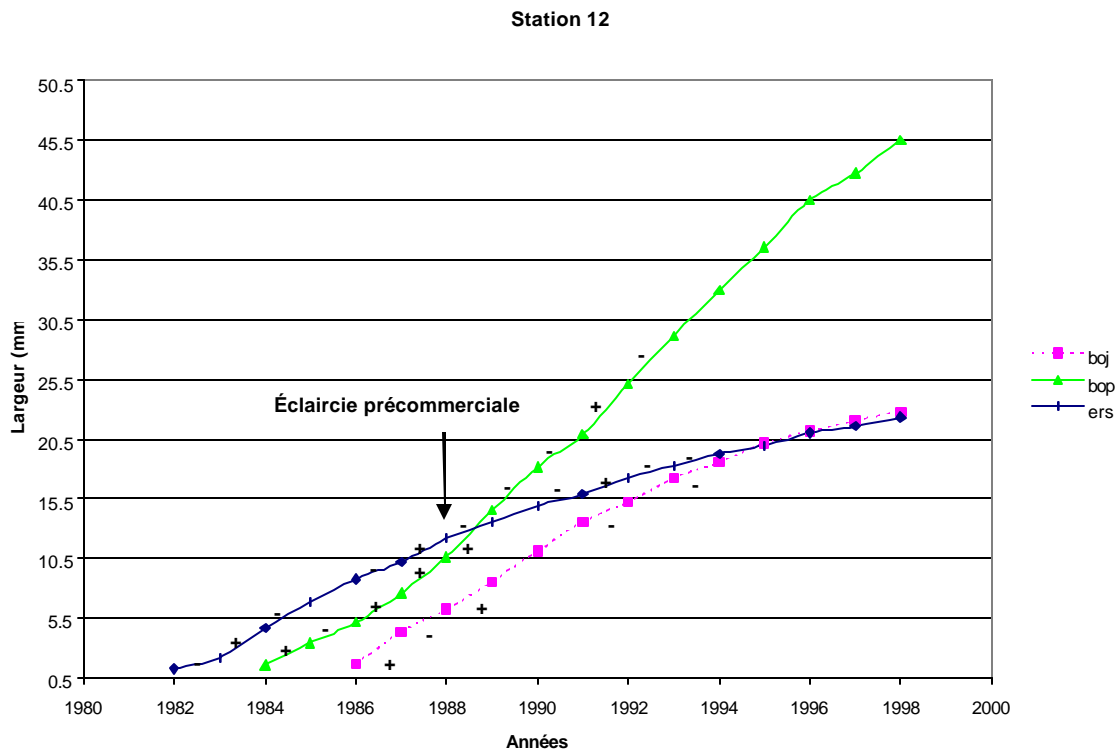
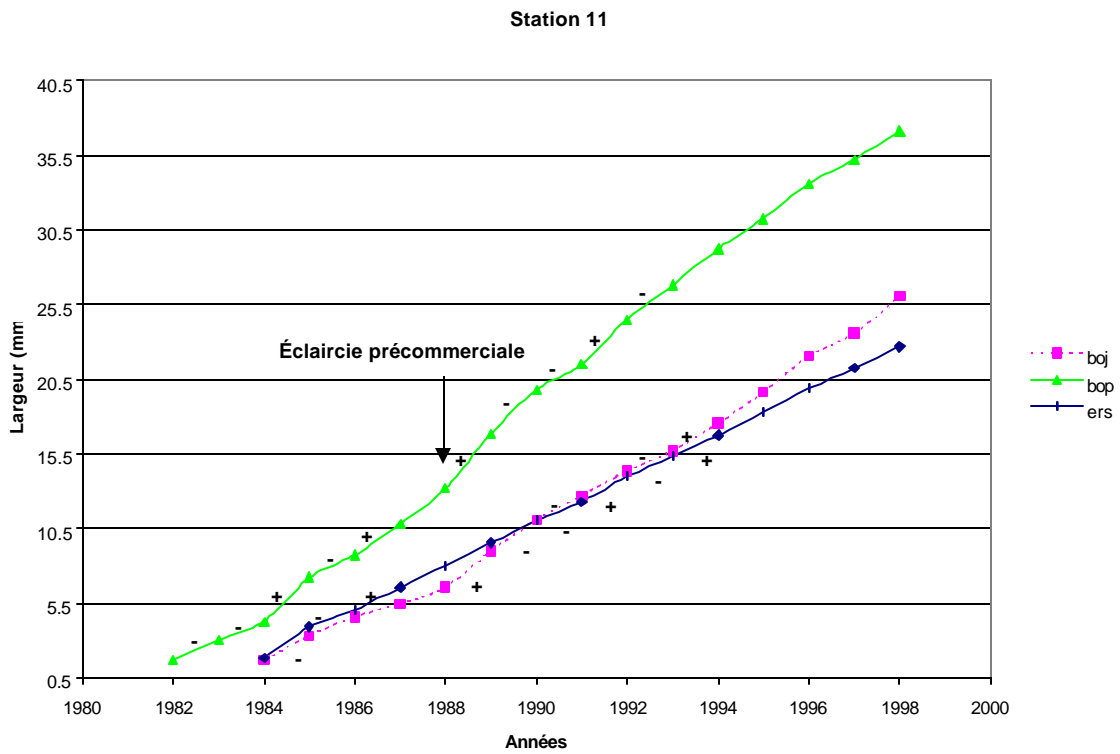


Figure 8. Croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune, d'érable à sucre et de bouleau à papier pour les stations 11 et 12. Les flèches indiquent l'année du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - indiquent une croissance positive ou négative généralisée des tiges selon l'intervalle.

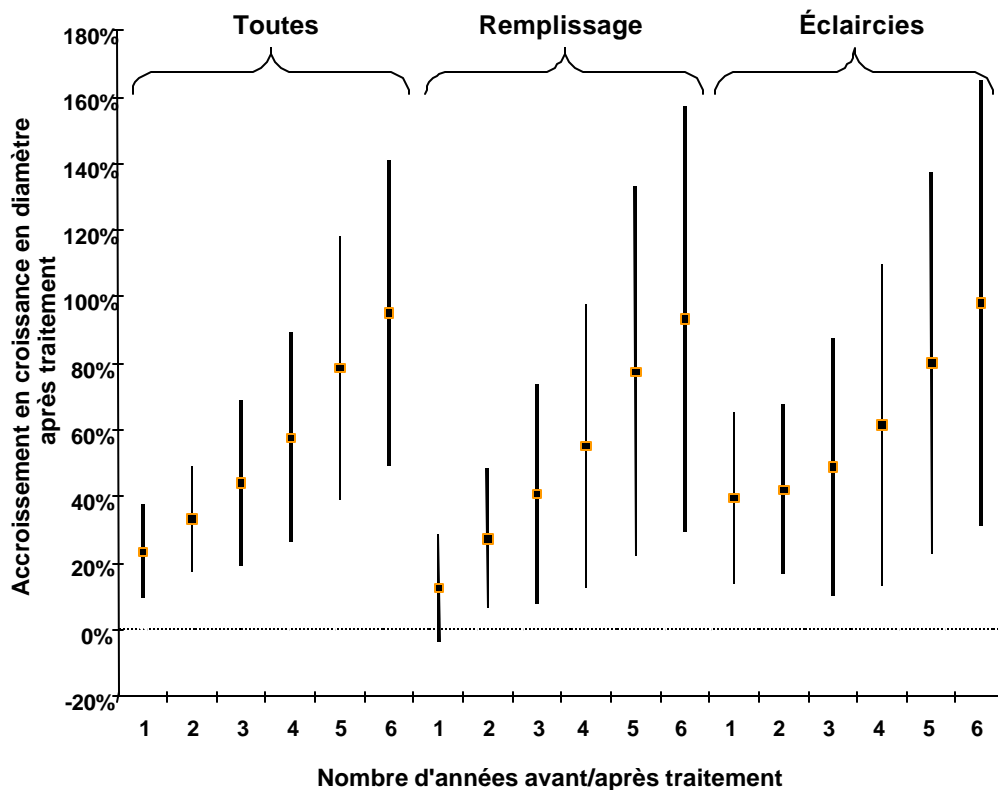


Figure 9. Changement de la croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les six périodes de comparaison. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ($\alpha=5\%$).

L'analyse des deltas de croissance nous révèle que l'éclaircie permet un accroissement de l'ensemble des tiges de 23 à 95 % (figure 9). Après avoir contrôlé l'effet de la station, le changement de croissance avant/après traitement diffère entre les tiges éclaircies et non éclaircies pour les périodes de comparaison de un et deux ans seulement (Tableau 3). En effet, pour ces périodes, les tiges éclaircies ont une augmentation de croissance plus marquée que les tiges non éclaircies (40 et 42 % pour les tiges éclaircies et 13 et 27 % pour les tiges non éclaircies) (figure 9).

Une différence de croissance avant/après traitement entre les espèces est observable pour les années deux à six (Tableau 3). On observe une augmentation de la

croissance en diamètre très faible chez l'érable à sucre par rapport au deux autres espèces (Figure 10). L'érable à sucre n'a pas répondu de façon significative au traitement d'éclaircie pour les cinq premières périodes de comparaison (accroissement de la croissance non différent de 0 %; Figure 10). Le bouleau à papier et le bouleau jaune voient leur croissance augmenter de 32 à 150 % pour les six périodes de comparaison (Figure 10).

Tableau 3. Significativité de l'effet de l'espèce, du traitement, et de l'interaction entre l'espèce et le traitement sur le changement de la croissance avant/après l'éclaircie précommerciale, d'un à six ans.

Effet	Degrés de liberté	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6 ans
Constante	1	0,010	<0,001	0,004	0,006	0,006	0,006
Traitement	1	0,003	0,032	0,195	0,205	0,258	0,236
Espèce	2	0,146	0,021	0,032	0,024	0,026	0,022
Station	11	0,018	0,322	0,095	0,025	0,009	0,003
Espèce* Traitement	2	0,759	0,533	0,684	0,790	0,843	0,746

Le nombre de tiges ayant un accroissement égal ou supérieur à 100 % varie d'une espèce à l'autre et selon la période de comparaison (Tableau 4). Il augmente de 0 à 5 tiges pour le bouleau à papier et de 1 à 6 tiges sur le nombre total de tiges analysées pour le bouleau jaune, de la période de comparaison 1 an à 6 ans. Le nombre de tiges varie entre 0 et 1 pour l'érable à sucre. Pour le bouleau à papier et le bouleau jaune, les tiges ayant un accroissement égal ou supérieur à 100 % proviennent autant des tiges éclaircies que des tiges non éclaircies et dans les deux cas, le nombre de tiges augmente avec la période de comparaison. Le pourcentage d'accroissement maximal augmente avec la période de comparaison pour les deux espèces de bouleaux (Tableau 4).

Tableau 4. Nombre de tiges ayant un accroissement avant/après traitement plus grand ou égal à 100 % et accroissement maximal en diamètre par espèce et par période de comparaison. R=remplissage, É=éclaircie.

Période de comparaison	Érable à sucre			Bouleau à papier			Bouleau jaune		
	R	É	Accroissement maximum	R	É	Accroissement maximum	R	É	Accroissement maximum
1 an	1	1	144 %	0	2	184 %	2	1	304 %
2 ans	0	0		3	1	218 %	2	2	308 %
3 ans	1	0	129 %	4	2	511 %	3	2	590 %
4 ans	1	0	117 %	4	3	684 %	5	3	723 %
5 ans	0	0		5	3	967 %	6	3	852 %
6 ans	0	1	141 %	5	3	1203 %	6	4	979 %
Nb. tiges	32			24			25		

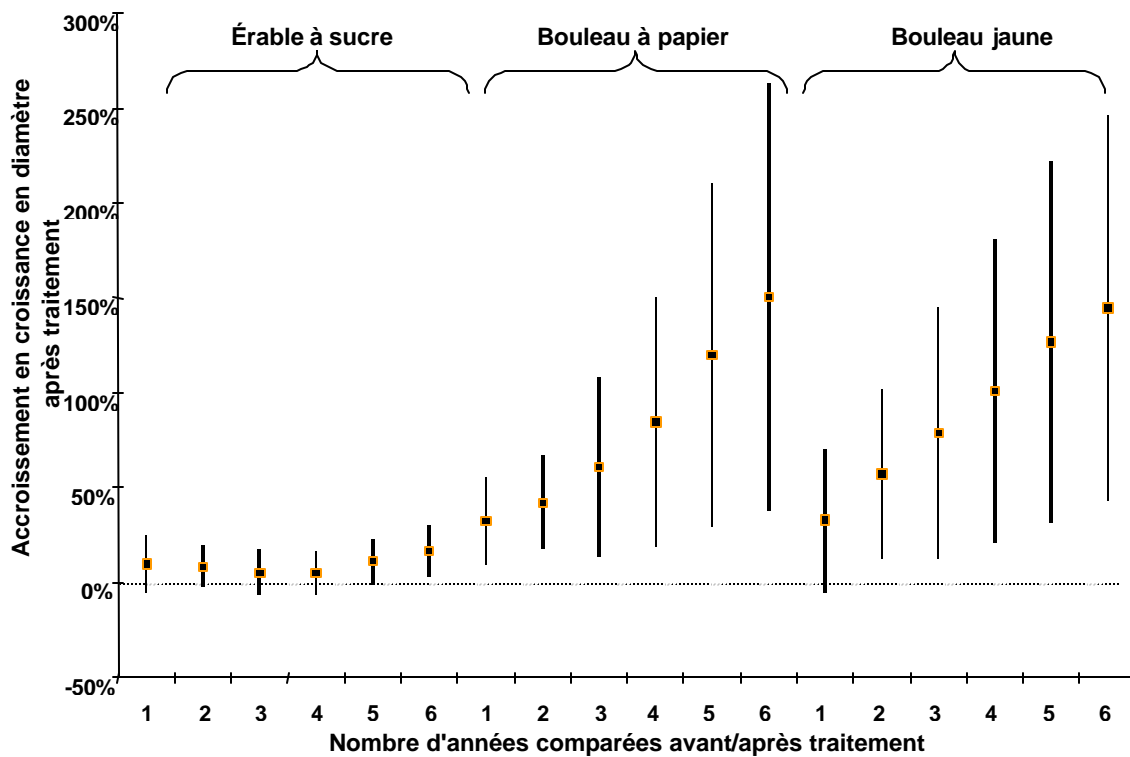


Figure 10. Comparaison entre les espèces du changement de croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les six périodes de comparaison. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ($\alpha = 0,05$).

La position sociale en hauteur est un facteur qui influence le changement de la croissance en diamètre chez le bouleau jaune pour les périodes de comparaison deux à six (Tableau 5). Pour cette espèce, plus la position sociale augmente par rapport au peuplement, plus le changement de la croissance en diamètre augmente positivement. Pour l'érable à sucre, le changement de croissance en diamètre est fonction du diamètre de la tige. Plus le diamètre de la tige augmente, plus cette espèce répond positivement au traitement (Tableau 5). La densité, la surface terrière, la croissance moyenne en hauteur ainsi que les indices de compétition ne sont pas reliés à la réponse de croissance en diamètre chez aucune des espèces pour les six périodes de comparaison. De plus, aucune de ces variables ne semble influencer le changement de croissance en diamètre chez le bouleau à papier (Tableau 5).

Tableau 5. Significativité des relations des régressions linéaires entre les changements de diamètre avant/après traitement et le dhp, la croissance en hauteur, la position sociale, la densité, la surface terrière et les indices de compétition 1 et 2 pour les 6 périodes de comparaison.

Variables	Delta 1			Delta 2			Delta 3			Delta 4			Delta 5			Delta 6		
	Boj	Bop	Ers	Boj	Bop	Ers	Boj	Bop	Ers	Boj	Bop	Ers	Boj	Bop	Ers	Boj	Bop	Ers
Espèces																		
Dhp						**			**			**						
Croiss. Hauteur																		
Position sociale				**			**			**			**			**		
Densité																		
Surface terrière																		
IC1																		
IC2																		

Croissance en hauteur

Tableau 6. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur la hauteur des tiges-sujets.

<i>Facteur dépendant</i>	<i>Facteur indépendant</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>(df)</i>	<i>P</i>
Hauteur	Espèce	4598	24,46	(2)	<0,001
	Éclaircie	1625	10,41	(1)	<0,001
	Station	2928	18,76	(11)	<0,001
	Espèce*Éclaircie	374,7	2,401	(2)	0,092

Les tiges éclaircies sont plus hautes que les tiges non éclaircies ($P < 0.001$, Tableau 5, Figure 11a) et cette différence est proportionnellement comparable entre les trois espèces puisque l'interaction entre l'effet de l'espèce et celui de l'éclaircie est non significative ($P = 0.092$, Tableau 6). La hauteur des tiges diffère entre les espèces ($P < 0.001$, Tableau 6) et est plus grande chez le bouleau à papier que chez les deux autres espèces (Figure 11b). Les érables provenant de cépée sont significativement plus grands que ceux provenant de graine ($10,93 \pm 0,19$ m et $10,17 \pm 0,19$ m respectivement ; $P = 0,007$; $df = 1$ et $F = 7,571$) et le traitement n'a pas d'effet sur la hauteur des tiges ($P = 0,081$; $df = 1$; $F = 3,127$). L'effet de l'éclaircie n'influence pas la relation entre la provenance des érables et leur hauteur ($P = 0,103$; $df = 1$; $F = 2,722$ pour le terme d'interaction entre l'origine et le traitement).

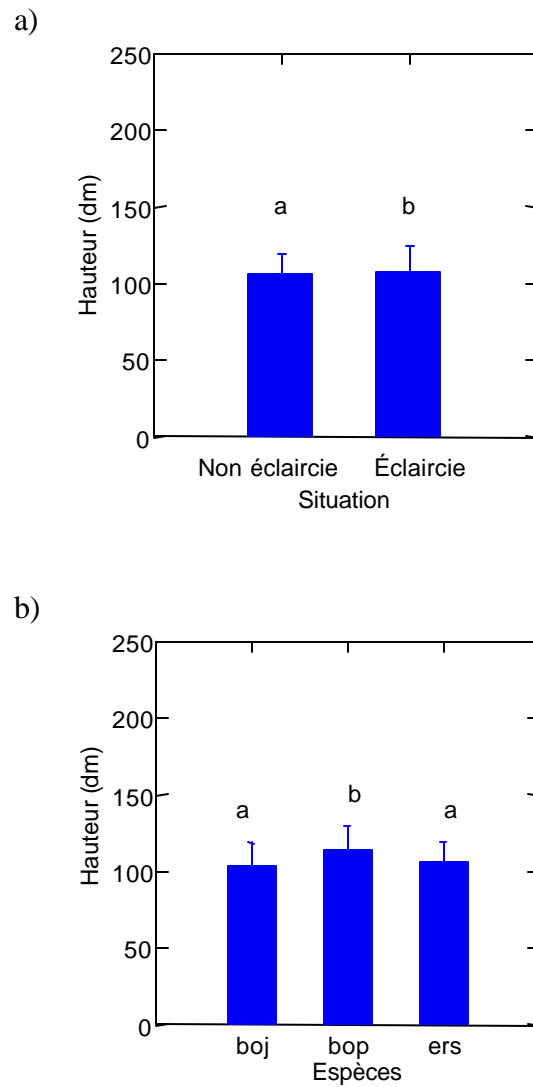


Figure 11. Comparaison de la hauteur des tiges en fonction de la situation (a) et en fonction des espèces (b). Les lettres indiquent une différence significative de la hauteur. Les barres verticales représentent l'écart type autour de la moyenne. Les statistiques de l'ANOVA sont présentées dans le tableau 6. Boj = bouleau jaune, Bop = bouleau à papier et Ers = érable à sucre.

Le modèle impliquant la croissance moyenne en hauteur des cinq dernières années n'est pas significatif ($P = 0,212$ pour l'espèce, $P = 0,989$ pour la situation et $P = 0,449$ pour la station). Les tiges avaient une croissance moyenne en hauteur de $15,2 \pm 3,04$ cm pour les 5 dernières années.

Le même patron a été détecté concernant la position sociale en hauteur des tiges (tableau 7). Les tiges de bouleau à papier étaient en moyenne $0,76$ m ($\pm 1,44$ m) plus haute que la hauteur moyenne du peuplement alors que celles du bouleau jaune et de l'érable à sucre ($- 0,28 \pm 1,21$ et $- 0,36 \pm 1,21$ m respectivement) se situaient sous la hauteur moyenne du peuplement. Les tiges éclaircies dominaient le peuplement de $0,22$ m ($\pm 1,45$ m) alors que les tiges non éclaircies étaient plus petites que la hauteur moyenne du peuplement de $- 0,23$ ($\pm 1,19$ m). Le traitement n'a pas affecté la position sociale en hauteur des érables selon leur provenance ($P = 0,142$). Par contre, les érables provenant de cépée occupent une position sociale plus importante par rapport au peuplement comparativement aux individus provenant de graine ($0,24 \pm 1,24$ m et $- 0,52 \pm 1,33$ m).

Tableau 7. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce et de l'éclaircie sur la position sociale en hauteur des tiges.

<i>Facteur dépendant</i>	<i>Facteur indépendant</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>(df)</i>	<i>P</i>
Position sociale en hauteur	Espèce	4540,7	29,87	(2)	<0,001
	Éclaircie	1607,8	10,58	(1)	<0,001
	Espèce* Éclaircie	368,8	2,426	(2)	0,090

Comparaison de la qualité des tiges

La présence de branches vivantes n'est pas indépendante de l'espèce ($\chi^2=97.460$; $df=2$; $P<0,001$). Les trois espèces sont significativement différentes l'une de l'autre. En effet, on observe une branche vivante chez 46 % des tiges d'érable à sucre alors que cette

probabilité n'est que de 6% pour le bouleau jaune et de 0,9% pour le bouleau à papier. Cependant, la présence de branches vivantes est indépendante du fait qu'une tige ait été éclaircie ou non ($\chi^2=0,086$; $df=1$; $P=0,770$). Parmi les variables qui expriment les conditions de compétition autour d'une tige, la densité et la position sociale de la tige par rapport au peuplement expliquent une variance additionnelle à ce qui est déjà expliqué par l'effet de l'espèce (Tableau 8). Le signe du coefficient étant négatif, ceci indique alors que la probabilité qu'une tige ait une branche vivante diminue avec l'augmentation de la densité qui environne la tige et diminue avec l'augmentation de la position sociale de la tige dans le peuplement. Le nombre de branches vivantes est indépendant de l'origine des érables à sucre et du traitement ($P = 0,196$; $df = 1$; $F = 1,702$ pour l'origine et $P = 0,585$; $df = 1$; $F = 0,301$ pour le traitement) mais varie en fonction de la station ($P < 0,001$; $df = 3$; $F = 8,301$).

La surface des branches vivantes au bourrelet diffère selon les espèces ($P < 0.001$; $df = 2$; $\chi^2 = 78,562$) et selon la station ($P < 0.001$; $df = 11$; $\chi^2 = 35,812$) mais n'est pas influencée par le traitement d'éclaircie ($P = 0.268$; $df = 1$; $\chi^2 = 1.228$). La surface diminue avec l'augmentation de la densité du peuplement ($r_{\text{spearman}} = -0,145$, $P = 0,004$) et diminue avec l'augmentation de la position sociale de la tige dans le peuplement ($r_{\text{spearman}} = -0,185$, $P < 0,001$).

Tableau 8. Déviance exprimée par les variables de compétition dans un modèle de régression logistique qui tient compte *a priori* de l'effet de l'espèce.

<i>Variables</i>	<i>Déviance</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Signe du coefficient du paramètre</i>
IC1	0,1328	0,72	
IC2	0,0397	0,84	
Surface terrière	2,3668	0,12	
Densité	14,1914	0,00	-
Position sociale en hauteur	6.4592*	0,01	-

* les valeurs de déviance et de probabilité de la position sociale en hauteur proviennent du modèle de régression logistique après insertion de l'effet de l'espèce et de la densité.

Discussion

Effets de l'éclaircie sur la croissance en diamètre et en hauteur et durée de l'effet du traitement

L'éclaircie précommerciale a eu, de façon générale, un effet significatif et remarquable sur l'accroissement en diamètre de l'ensemble des tiges. Nous attribuons cette forte réponse au fait que les peuplements étudiés ici étaient très peu hiérarchisés tel qu'il a été démontré par nos résultats sur la position sociale en hauteur. Comme Smith *et al.* (1997) mentionnent, le traitement d'éclaircie devient plus intéressant à utiliser dans les situations où les tiges ont toutes le même potentiel de croissance et se trouvent dans un même étage rivalisant avec les autres. Dans ce cas, l'éclaircie précommerciale favorise la différenciation de croissance entre les tiges de façon à éviter la stagnation du peuplement tel que souvent vue chez les espèces à croissance rapide (Smith *et al.* 1997).

Nos résultats démontrent que l'éclaircie favorise la croissance en diamètre de l'ensemble des tiges du peuplement. En effet, plusieurs tiges de remplissage se trouvent souvent assez à proximité de l'ouverture pour bénéficier de la lumière nouvellement disponible après traitement. Ce résultat est intéressant puisqu'il démontre que ces tiges peuvent devenir une alternative intéressante pour la formation du peuplement futur advenant la mort de la tige éclaircie, mais limite la distinction entre les tiges éclaircies et non éclaircies (après deux ans dans la présente étude).

Plusieurs études ont démontré que les effets de l'éclaircie sur la croissance en diamètre se faisaient sentir seulement dans les 5-6 premières années après le traitement (Della-Bianca 1975 ; Labonte et Robley 1978 ; Erdmann *et al.* 1981 ; Lamson 1988 ; Zarnovican 1998). Contrairement à ces études, les taux de croissance en diamètre rencontrés ont augmentés de la première à la sixième année après traitement. De plus, selon les résultats sur le nombre de tiges présentant un pourcentage de croissance supérieur à 100 %, l'effet semble vouloir se poursuivre dans le temps mais nous ne pouvons pas conclure sur cette affirmation.

Bien que nos résultats indiquent que les tiges éclaircies aient un diamètre et une hauteur supérieurs aux tiges non éclaircies, ceux-ci démontrent aussi que cette différence est majoritairement attribuable à l'effet de la sélection des tiges d'avenir lors de l'application du traitement plutôt qu'à l'effet d'accroissement suite à l'application du traitement. En effet, les sylviculteurs chargés d'appliquer le traitement sur le terrain devaient choisir les tiges d'avenir les plus vigoureuses, soit celles ayant le plus de chance de composer le futur peuplement. Il est donc primordial de distinguer ces deux effets lorsqu'on désire discuter de l'efficacité du traitement sur l'amélioration globale (taille et qualité des tiges) du peuplement.

Malgré une hauteur plus élevée pour les tiges éclaircies, la croissance en hauteur de ces tiges n'était pas différente de celles non éclaircies. Le fait que la croissance en diamètre soit plus importante que la croissance en hauteur a déjà été observé par plusieurs auteurs (Downs 1946 ; Hilt et Dale 1982 ; Lamson 1983 ; Lamson 1988 ; Robitaille *et al.* 1990 ; Zarnovican 1998). Selon Robitaille *et al.* (1990), la croissance en hauteur n'est pas stimulée par le traitement parce que le dégagement serait généralement trop faible autour de l'arbre éclairci (surtout dans le cas des puits de lumière) et ne réduirait pas de façon assez importante la densité pour en affecter la croissance en hauteur. Ce constat est aussi vrai lorsqu'on compare les érables issus de graine et ceux issus de rejets. Lamson (1983 et 1988) a aussi trouvé que la croissance en hauteur des rejets de souche n'était pas affectée par l'éclaircie.

Différences de la réponse de la croissance en diamètre entre les espèces

Des trois espèces étudiées, les deux espèces de bouleaux ont bien répondu à l'éclaircie précommerciale alors que l'érable à sucre n'a pas répondu du tout. Comme Voorhis (1990) le mentionne, la réponse du bouleau à papier à l'éclaircie semble indépendante de l'intensité de l'éclaircie. Étant une espèce à croissance rapide, compétitive et capable de tirer profit de l'augmentation de la disponibilité de la lumière pour augmenter sa croissance en diamètre, un simple dégagement léger semble requis pour favoriser une réponse (Voorhis, 1990). En ce qui concerne le bouleau jaune, Robitaille *et al.* (1990) ont démontré que la position sociale en hauteur était reliée avec le

gain d'accroissement en diamètre chez le bouleau jaune. Il convient donc de dégager les individus les plus vigoureux afin de s'assurer d'un maximum de réponse.

Par contre, l'érable à sucre, n'a pas répondu au changement de son environnement de compétition occasionné par l'éclaircie précommerciale. Il est reconnu que les espèces diffèrent quant à la réponse de leur activité photosynthétique suite à une augmentation de l'intensité lumineuse. De façon générale, à basse intensité lumineuse, les espèces tolérantes à l'ombre, tel l'érable à sucre, ont une activité photosynthétique supérieure à celles qui sont intolérantes et atteignent une stagnation de leur activité photosynthétique plus rapidement avec une augmentation de la disponibilité en lumière (Pacala *et al.* 1994). Tel que mentionné précédemment, les peuplements étudiés ne semblaient pas avoir atteint un stade où la hiérarchie des tiges en hauteur était établie puisque les tiges étudiées avaient sensiblement la même hauteur. Les tiges d'érable à sucre n'étant pas vraiment supprimé dans ces peuplements, on peut supposer qu'elles étaient déjà en situation de lumière ne permettant pas un gain sensible de croissance suite à l'augmentation de l'intensité lumineuse.

Les rejets d'érable à sucre présentent un diamètre plus grand et une hauteur plus importante que les individus provenant de graine, mais ne réagissent pas de façon différente au traitement que les individus provenant de graine. Ainsi, l'avantage compétitif d'un rejet qui puisse profiter du système racinaire de la tige mère lors de l'établissement du peuplement ne semble plus avoir eu d'effet au temps que l'éclaircie précommerciale a eu lieu.

La qualité des tiges

Plusieurs auteurs ont mentionné que l'éclaircie ralentissait l'élagage naturel (Erdmann *et al.* 1981 ; Della-Bianca 1983 ; Lamson 1983 ; Robitaille *et al.* 1990). Dans la présente étude, l'éclaircie précommerciale n'a pas eu pour effet d'augmenter la présence de branches vivantes dans la première bille pour les trois espèces étudiées. En ce qui concerne le bouleau à papier, nos résultats indiquent que cette espèce n'a pas tendance à produire plus de branches dû à l'éclaircie précommerciale. Par contre, Voorhis

(1990) signalait qu'un dégagement plus sévère (2,4 m) aurait tendance à diminuer la qualité de la tige.

Contrairement à Robitaille *et al.* (1990), nos résultats n'indiquent pas que le dégagement ait causé une réduction de l'élagage naturel chez le bouleau jaune, car à peine 9 % des individus présentaient des branches vivantes dans la première bille de tige. Nous pensons donc qu'un traitement d'éclaircie de 1,5 m de rayon autour de la tige, tel qu'il ait actuellement pratiqué, ne défavorise pas l'élagage naturel chez cette espèce. Par contre, un dégagement plus grand (jusqu'à 2,5 m) tel que suggéré par Erdmann *et al.* (1981), diminuerait trop la densité du peuplement et favoriserait l'augmentation de la présence de branche et de leur surface au bourrelet.

Concernant l'érable à sucre, nos résultats démontrent que la diminution de la densité et de la position sociale des individus dans le peuplement favoriserait la présence de branches vivantes et l'augmentation de leur surface au bourrelet. Il faut donc être prudent avec l'ouverture du couvert pour cette espèce, et cela autant pour les tiges issus de graine que celles issus de rejet puisque l'origine des érables à sucre n'influence pas non plus la qualité de la bille de pied.

Conclusion et recommandations

Dans cette étude, nous avons comparé la croissance (diamètre et hauteur) et la qualité des tiges de bouleau à papier, de bouleau jaune et d'érable à sucre dans de jeunes peuplements de feuillus durs comme suite à un traitement d'éclaircie précommerciale ainsi que les effets du traitement en fonction de l'origine des érables à sucre. L'éclaircie précommerciale est un traitement profitable pour les jeunes peuplements de feuillus durs à certaines conditions que notre étude a permis de déceler. Compte tenu des résultats obtenus, nous faisons les recommandations suivantes :

- 1) Pour les essences peu tolérantes et intolérantes, ce traitement doit être utilisé dans le cas où la compétition est intense, c'est-à-dire à de fortes densités, et que la différenciation en hauteur des tiges ne s'est pas encore réalisée. Une étude effectuée par nous dans une autre région du Québec a montré que pour les essences intolérantes et peu tolérantes, lorsque les tiges sont déjà bien dominantes dans un peuplement différencié en hauteur, l'éclaircie ne procure aucun avantage de croissance (Doyon *et al.* 2000)
- 2) Comme (Voorhis 1990) le mentionne, une éclaircie précommerciale avec un dégagement uniforme pour un peuplement composé d'essences ayant des tolérances à l'ombre variable produit rarement une réponse optimale pour toutes les espèces. Une approche adaptée à chacune des essences est fortement suggérée cependant, cela reste un défi de taille pour le forestier (Zarnovican 1998). Nous suggérons d'augmenter le rayon de dégagement des espèces intolérantes et peu tolérantes à 1,5 m pour assurer la distinction sociale des tiges et favoriser la croissance en diamètre sur une plus grande période. Pour l'érable à sucre, nous suggérons de maintenir le rayon à 1 m afin d'éviter la formation de branches.
- 3) Puisque l'objectif du traitement est de donner l'avantage compétitif aux tiges d'avenir sans en compromettre la qualité future, il est important de maintenir les tiges d'éducation autour de la tige dégagée. Pour ce faire, nous proposons, tel qu'il a été prescrit par la méthode européenne de dégagement (Schütz 1991), de libérer

seulement les tiges qui compétitionnent la moitié supérieure de la cime des tiges d'avenir afin de maintenir la pression latérale sur la cime.

- 4) Comme les érables à sucre provenant de rejet sont de diamètre et de hauteur supérieurs et qu'ils n'ont pas tendance à produire plus de branches que les érables provenant de graine, nous recommandons le dégagement des individus provenant de rejet autant que ceux provenant de graine. Les tiges provenant de rejet constituent une valeur sûre sur laquelle le sylviculteur peut miser lors de la sélection des tiges d'avenir dans le peuplement.

Liste des références

- Della-Bianca, L. 1975. An intensive cleaning of mixed hardwood saplings-10-year results from the southern appalachians. *Journal of Forestry* 73: 25-28.
- Della-Bianca, L. 1983. Effect of intensive cleaning on natural pruning of cove hardwoods in the southern appalachians. *Forest Science* 29(1): 27-32.
- Doyon, F., J. Goulet, P. Nolet, A. Patry. 2000. Étude de la réponse en croissance et en qualité des feuillus nobles à l'éclaircie précommerciale par puits de lumière. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. Rapport Volet II remis au Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Unité de Gestion Sud de Montréal (063). 47p.
- Downs, A. A. 1946. Response to release of sugar maple, white oak and yellow-poplar. *Journal of Forestry* 44: 22-27.
- Dwyer, J.P., D.C. Dey et W.B. Kurtz. 1993. Profitability of precommercial thinning oak stump sprouts. *Northern Journal of Applied Forestry*. 10(4): 179-183.
- Erdmann, G. G., R. M. Peterson, Jr. et R. M. Godman. 1981. Cleaning yellow birch seedling stands to increase survival, growth, and crown development. *Canadian Journal of Forest Research* 11(1): 62-68.
- Falissard, B. 1996. Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie. Paris, Masson. 314p.
- Godman, R., H. W. Yawney et C. H. Tubbs. 1990. Sugar Maple. *In* Burns, R. M., et B. H. Honkala, coords. tech. *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agriculture Handbook 654 U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Washington, DC.
- Hilt, D. E. et M. E. Dale. 1982. Effects of repeated precommercial thinnings in central hardwood sapling stands. *Southern Journal of Applied Forestry* 6(1): 53-58.
- Hix, D. M. et C. G. Lorimer. 1990. Growth-competition relationships in young hardwood stands on two contrasting sites in southwestern Wisconsin (USA). *Forest Science* 36(4): 1032-1049.
- Johnson, P. S. et R. M. Godman. 1983. Precommercial thinning of oak, basswood, and red maple sprout clumps. *Silviculture of established stands in North Central forests*. Proceedings of the 1st Society of American Forester Regio V., Bethesda, MD, Society of American Foresters 1124-1129.
- Labonte, G. A. et W. N. Robley. 1978. Cleaning and weeding of paper birch- a 24 year case history. *Journal of Forestry* 76: 223-225.

- Lamson, N. I. 1983. Precommercial thinning increases diameter growth of appalachian hardwood stump sprouts. *Southern Journal of Applied Forestry*: 93-97.
- Lamson, N. I. 1988. Precommercial thinning and pruning of Appalachian hardwood stump sprouts-10 year results. *Southern Journal of Applied Forestry* 12: 23-27.
- Leak, W.B. et M.L. Smith. 1997. Long-term species and structural changes after cleaning young even-aged northern hardwoods in New Hampshire, USA. *Forest Ecology and Management* 95(1):11-20.
- Leak, W.B. et D.S. Solomon. 1997. Longterm growth of crop trees after release in northern hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry* 14(3):147-151.
- Miller, G. W. 2000. Effect of crown growing space on the development of young hardwood crop trees. *Northern Journal of Applied Forestry* 17(1):25-35.
- Pacala, S. W., C. D. Canham, J. A. Silander et R. K. Kobe. 1994. Sapling growth as a function of resources in a north temperate forest. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 2172-2183.
- Québec. 1999. Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiements de droits. Exercice 1999-2000. Québec, QC, Ministère des Ressources naturelles. Forêt Québec. Direction de l'assistance technique, Division des traitements sylvicoles: 67.
- Québec, 1997. Manuel d'aménagement forestier. Ministère des Ressources Naturelles. 122p.
- 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.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Ste-Foy, Qc., Canada, Les Publications du Québec. 213p.
- Robitaille, L., G. Sheedy et Y. Richard. 1990. Effets de l'éclaircie précommerciale et de la fertilisation sur un gaulis de 10 ans à dominance de bouleau jaune. *The Forestry Chronicle*: 487-493.
- Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Les Éditions Gaëtan Morin. Boucherville, QC. 850p.
- Schütz, J.-P. Sylviculture 1: Principes d'éducation des forêts. Collection gérer l'environnement, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Smith, D. M., B. C. Larson, M. J. Kelty et P. M. S. Ashton. 1997. The practice of silviculture: Applied forest ecology. New York, John Wiley & Sons, Inc. 537p.
- SPSS_Inc. 1997. SPSS 8.0 for Windows.

- Stokes, M. A. et T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. Chicago, IL.
- Stroempl, G. 1983. Thinning clumps of northern hardwood stump sprouts to produce high quality timber. Maple, Ontario, Canadian Ministry of Natural Resource: 29.
- Tubbs, C. H. 1977. Manager's handbook for northern hardwoods in the North Central States, USDA Forest Service: 29.
- Voorhis, N. 1990. Precommercial crop-tree thinning in a mixed northern hardwood stand, USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
- Zarnovican, R. 1998. Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau jaune: Résultats après 10 ans. Ste-Foy (Québec), Ressources naturelles Canada, Service Canadien des Forêts: 19.