



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

**Étude de la réponse en croissance et en qualité des feuillus nobles à  
l'éclaircie précommerciale par puits de lumière**

Rapport produit et rédigé par :

Frédéric Doyon, ing. f., M. Sc.

Julie Goulet, M. Sc.

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

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

Présenté à :

Jacques Cardinal

Ministère des Ressources naturelles,

U.G. 063 (Sud de Montréal)

**Mars 2000**

## **Remerciements**

Nous voulons en premier lieu remercier les propriétaires, MM. Gaston Arnois, Paul Bienvenue, Normand Bernier, Raymond Désourdy, Jean-René Marc-Aurèle, Richard Vallée, Donald Jonhston, Mme Sandra Burchell-Monahan et la Société de Développement Bromont Inc., qui nous ont permis de conduire cette étude sur leur propriété. Notre gratitude va aussi M. Luc Dumouchel (Agence Forestière de la Montérégie) et aux conseillers forestiers, MM. Christopher Chapman (Gestion Forestière du Haut-Yamaska), Justin Manasc (For-Éco sylviculture Inc.) et Claude Chabot (Chabot, Pomerleau et Associés), qui ont accepté de donner de leur temps pour nous aider à trouver des sites adéquats pour cet étude. Un travail impeccable a été accompli par Srdjan Ostojic et Nabojisa Gavrilovic sur le terrain lors de la prise des données, ainsi que Josée Deslandes pour les analyses en laboratoire et nous tenons à leur témoigner toute notre reconnaissance. Nous remercions aussi Christian Messier pour nous avoir permis d'utiliser les instruments de son laboratoire lors de l'analyse des sections transversales. Ce rapport a été révisé sous l'oeil attentif de Jinny Allaire et nous lui en remercions.

---

## Étude de la réponse en croissance et en qualité des feuillus nobles à l'éclaircie précommerciale par puits de lumière

Frédéric Doyon<sup>1</sup>, Julie Goulet<sup>1</sup>, Philippe Nolet<sup>1</sup> et Annick Patry<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>IQAFF, 88, rue Principale, St-André-Avellin, Québec, J0V 1W0

<sup>2</sup>Faculté 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 vérifiés quel est l'effet de l'éclaircie précommerciale par puits de lumière, et sa durée, sur la croissance en diamètre et en hauteur, ainsi que sur la qualité de la première bille de pied, sur les jeunes érables à sucre, frênes d'Amérique et cerisiers tardifs. 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 la Montérégie. Les tiges éclaircies étaient de taille supérieure à celles non-éclaircies. Cependant, cette différence était dû à l'effet de sélection des tiges plutôt qu'à l'effet du traitement sur la croissance. En effet, l'augmentation de croissance en diamètre occasionnée par l'éclaircie était plutôt faible, soit de 20%, et était significative seulement chez l'érable à sucre. La durée de l'effet de l'éclaircie a été à peu près de cinq ans chez les tiges éclaircies. Les tiges non éclaircies ont elles aussi bénéficié de l'effet, à durée moindre, cependant. 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. Une analyse économique sommaire questionne la rentabilité de ce traitement tel qu'il a été appliqué dans la Montérégie, compte tenu des résultats obtenus. Des recommandations quant à la manière d'effectuer le traitement, aux conditions pertinentes à son application, et à la réduction des coûts sont formulées.

---

## Tables des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>i</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>ii</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Méthodologie .....</b>	<b>3</b>
Lieu d'étude .....	3
Choix des sites, sélection des tiges et mesures sur le terrain .....	3
Mesures en laboratoire.....	5
Préparation des données .....	9
<b>Analyses .....</b>	<b>10</b>
<b>Résultats : .....</b>	<b>12</b>
Croissance en diamètre et durée de l'effet du traitement .....	12
Croissance en hauteur .....	25
Comparaison de la qualité des tiges.....	29
<b>Discussion .....</b>	<b>31</b>
Effets de l'éclaircie sur la croissance en diamètre et en hauteur .....	31
Différences de la réponse de la croissance en diamètre entre les espèces .....	33
La qualité des tiges .....	34
Considérations économiques .....	34
<b>Conclusion et recommandations.....</b>	<b>35</b>
<b>Références citées.....</b>	<b>37</b>

---

## Liste des tableaux

Tableau 1. Âge actuel des peuplements sélectionnés pour cette étude et lors de l'application de l'éclaircie précommerciale. ....	4
Tableau 2. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur le logarithme naturel du diamètre des tiges sujets. ....	12
Tableau 3. 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. ....	21
Tableau 4. 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, de un à cinq ans. ....	23
Tableau 5. Significativité des relations de régression linéaire entre le changement de croissance en diamètre avant/après traitement et le diamètre, la croissance en hauteur, la position sociale, la surface terrière, la densité, l'indice de compétition 1 et l'indice de compétition 2, pour les cinq périodes de comparaisons. ....	25
Tableau 6. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur la hauteur des tiges. ....	26
Tableau 7. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie sur la position sociale en hauteur des tiges. ....	27
Tableau 8. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur la croissance moyenne en hauteur des cinq dernières années. ....	27
Tableau 9. Déviance 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. ....	29
Tableau 10. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur la surface totale des sections d'aire des branches vivantes au bourrelet des tiges. ....	30

## Liste des figures

- 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).....6
- Figure 2. Section transversale d'un frêne récoltée pour analyse dendrochronologique. Chaque numéro représente un des quatre axes de mesures. Les petites barres indiquent l'année (1994) à laquelle la tige a été éclaircie.....7
- Figure 3. Chronologie des cernes de croissance en diamètre pour les quatre axes de mesure. L'année 1994 est l'année pendant laquelle la tige a été éclaircie. ....8
- Figure 4. Chronologie de la largeur moyenne des cernes de croissance en diamètre sur les quatre axes de mesure. L'année 1994 est l'année pendant laquelle la tige a été éclaircie. ....8
- Figure 5. Comparaison du diamètre à hauteur de poitrine en fonction des espèces (a) et en fonction de l'éclaircie (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. Cet=cerisier tardif, ers=érable à sucre, fra=frêne d'Amérique. ....13
- Figure 6. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 1 et 2. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. Pour la station 2, les signes au-dessus des deux courbes représentent les tiges éclaircies et les signes sous les deux courbes, les tiges non éclaircies.....14
- Figure 7. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 3 et 4. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. ....15
- Figure 8. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 5 et 6. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. ....16
- Figure 9. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 7 et 8. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. Pour la station 7, les signes sous les courbes sont associés aux tiges éclaircies et les signes au-dessus des courbes aux tiges non éclaircies. ....17
- Figure 10. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 9 et 10. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. ....18
- Figure 11. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 11 et 12. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. ....19
- Figure 12. Changement de la croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les cinq périodes de comparaison. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ( $\alpha=5\%$ ). ....20

- 
- Figure 13. Droite de régression mettant en relation la moyenne du changement de croissance trois ans avant/après traitement pour l'ensemble des tiges d'une station avec la moyenne de la surface terrière environnant ces tiges. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ( $\alpha=5\%$ ) dans la station correspondante.....22
- Figure 14. Comparaison entre les espèces du changement de la croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les cinq périodes de comparaison. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ( $\alpha=5\%$ ).....24
- Figure 15. Droites de régression mettant en relation le changement de croissance en diamètre avant/après traitement évalué sur une période de 5 ans pour l'érable à sucre, le frêne d'Amérique et le cerisier tardif. ....26
- Figure 16. Comparaison de la hauteur des tiges en fonction des espèces et en fonction de l'éclaircie. Les lettres indiquent une différence significative de la hauteur. Les barres verticales représentent l'écart type autour de la moyenne. ....28

## 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. En dégageant la tige sélectionnée des tiges de compétition qui l'environnent, l'éclaircie favorise ainsi sa croissance (Smith *et al.* 1997). Actuellement, le traitement d'éclaircie précommerciale est une pratique courante dans les jeunes peuplements de feuillus durs du sud-ouest du Québec. Ce traitement privilégiée dans la sylviculture des feuillus (Tubbs 1977), est subventionné autant en forêt publique qu'en forêt privée. Par exemple, l'aide offert par le programme d'aide de mise en valeur des forêt privée pour la réalisation des travaux d'éclaircie précommerciale pour la région de la Montérégie est de 740\$/ha.

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 conclure sur l'efficacité de ce traitement comme outil d'éducation des peuplements (Della-Bianca 1975). 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). Il est reconnu que les tiges dominantes ayant une couronne mieux développée seront plus aptes à répondre à l'effet d'éclaircie (Reukema 1961). 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 des tiges aura très peu d'impact. La réponse dépendra aussi de l'intensité du traitement (Erdman 1981; Miller 2000). Un trop faible dégageant 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 ; Miller 2000). 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. 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).

La durée de l'effet de l'éclaircie est très variable. Cependant, elle est d'autant plus que 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 cerisier tardif et le frêne d'Amérique ;
2. Comparer la croissance en diamètre et en hauteur des tiges éclaircies avec celles des tiges non-éclaircies pour ces trois même 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. Évaluer la rentabilité économique du traitement;

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, aux conditions pertinentes à son application, et à la réduction des coûts lors de son utilisation.

## **Méthodologie**

### Lieu d'étude

Cette étude a été conduite dans le paysage régional de Sherbrooke, située dans le domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul (Robitaille et Saucier 1998). Cette région est caractérisée par un relief vallonneux faiblement accidenté, d'une élévation moyenne de 266 m (Robitaille et Saucier 1998). Le till épais, composé principalement de roches métamorphiques et sédimentaires, est le dépôt le plus dominant et il est généralement associé à un régime hydrique mésique (Robitaille et Saucier 1998). Le climat bénéficie d'une longue saison de croissance (180-190 jours) et de précipitation annuelle moyenne de 1000 à 1100 mm (Robitaille et Saucier 1998). La forêt occupe la majeure partie de la région (71 %) et est majoritairement du domaine privé.

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

Les douze peuplements sélectionnés pour cette étude avaient entre 60 et 14 ans et avaient tous été traités par éclaircie précommerciale par le passé voilà 3 à 19 ans (Tableau 1). L'approche préconisée par l'agence de mise en valeur de cette région est celle du puits de lumière selon laquelle une couronne de lumière de 0,3 à 1,5 m de largeur est pratiquée au pourtour de la cime d'un certain nombre de tiges sélectionnées (variant entre 400 et 625 tiges/ha), systématiquement espacées (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, frêne d'Amérique et cerisier tardif. Dans chacun des peuplements choisis, 30 tiges sujets étaient sélectionnées pour être mesurées, soit 10 tiges sujets par espèce. De ces 10 tiges sujets, cinq avaient été éclaircies alors que les cinq autres ne l'avaient pas été (remplissage). Les souches au sol des tiges coupées indiquaient quelles tiges avaient été éclaircies.

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 aussi 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 rayon est basée 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, l'espèce et la distance par rapport à la tige sujet ont été pris en note.

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	26	5
2	19	5
3	32	7
4	25	6
5	48	19
6	60	7
7	37	7
8	38	7
9	14	3
10	34	3
11	19	3
12	40	3

De l'échantillon de 30 tiges sujets, un sous-échantillon était récolté, à raison de quatre tiges sujets par espèce, soit deux éclaircies et deux non-éclaircies, pour les analyses en laboratoire. Parce que certaines espèces étaient sous-représentées dans certaines stations, un total de 355 tiges sujets au lieu de 360 ont été mesurées et 141 au lieu de 144 ont été récoltées. Pour le sous-échantillon des 12 tiges sujets récoltées par

station, la hauteur réelle de l'arbre et la croissance en hauteur des 5 dernières années ont été mesurées. Une section transversale a été récoltée à 1,3 m et identifiée quant à la station et la tige sujet.

### Mesures en laboratoire

Les sections transversales ont été préparées selon les standards de la dendrochronologie (Schweingruber 1988). Elles 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.

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).

En présence de déformations, le second axe était tracé de façon à éviter la déformation ou, selon le cas, deux rayons indépendants étaient tracés (figure 2). 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) (figure 3). Après concordance des séquence chronologiques, la largeur des cernes de croissance fut mesurée aux 0,01 mm à l'aide d'un micromètre Henson. Les largeurs de cernes correspondant à des déformations étaient notées.

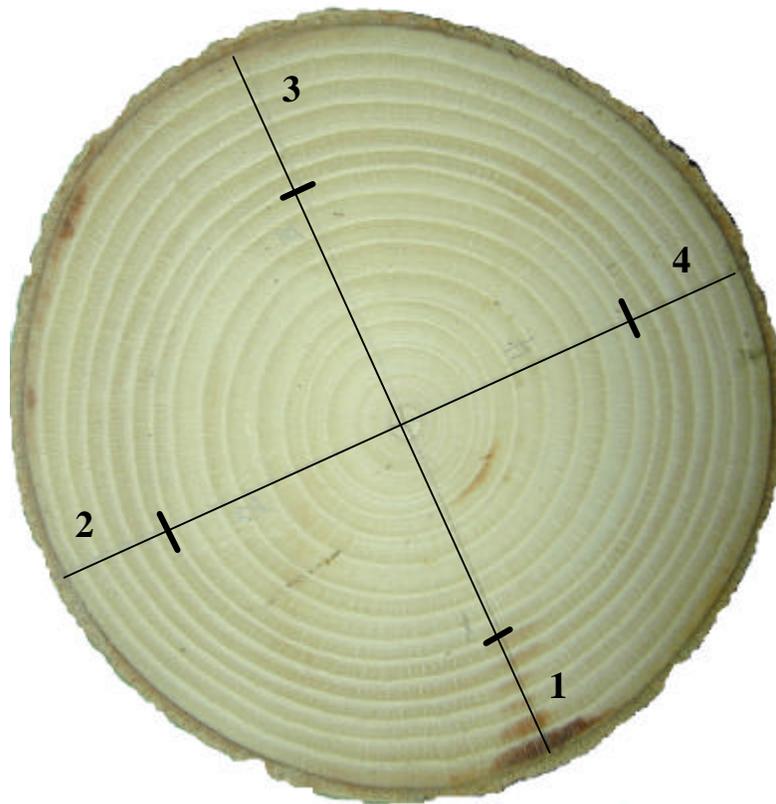


Figure 2. Section transversale d'un frêne récoltée pour analyse dendrochronologique. Chaque numéro représente un des quatre axes de mesures. Les petites barres indiquent l'année (1994) à laquelle la tige a été éclaircie.

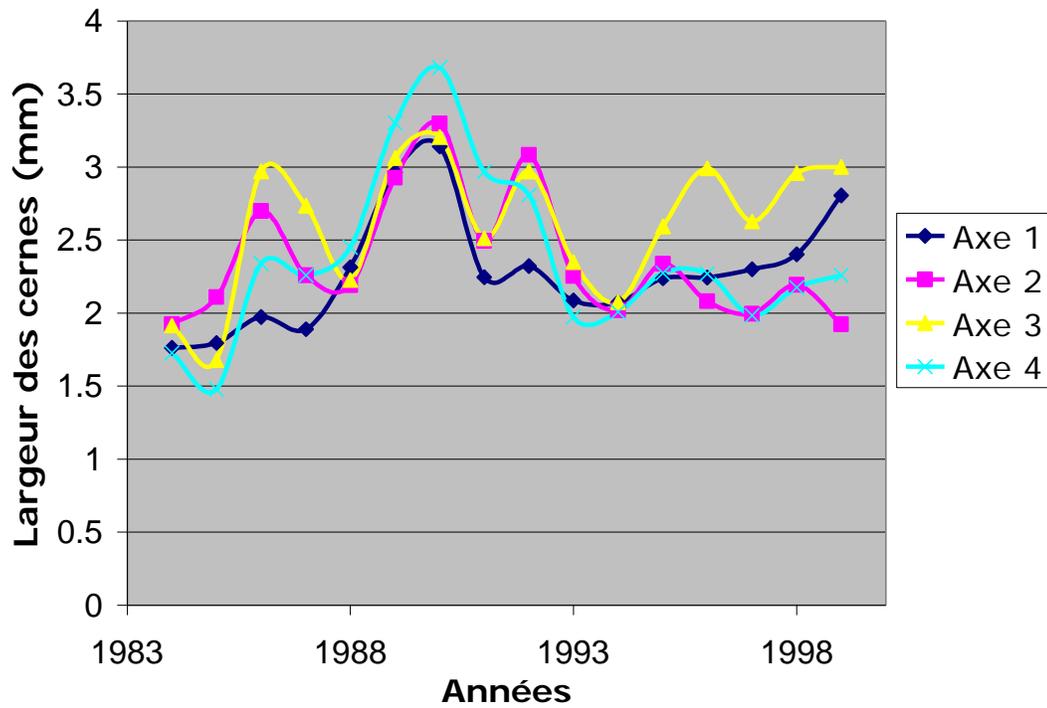


Figure 3. Chronologie des cernes de croissance en diamètre pour les quatre axes de mesure. L'année 1994 est l'année pendant laquelle la tige a été éclaircie.

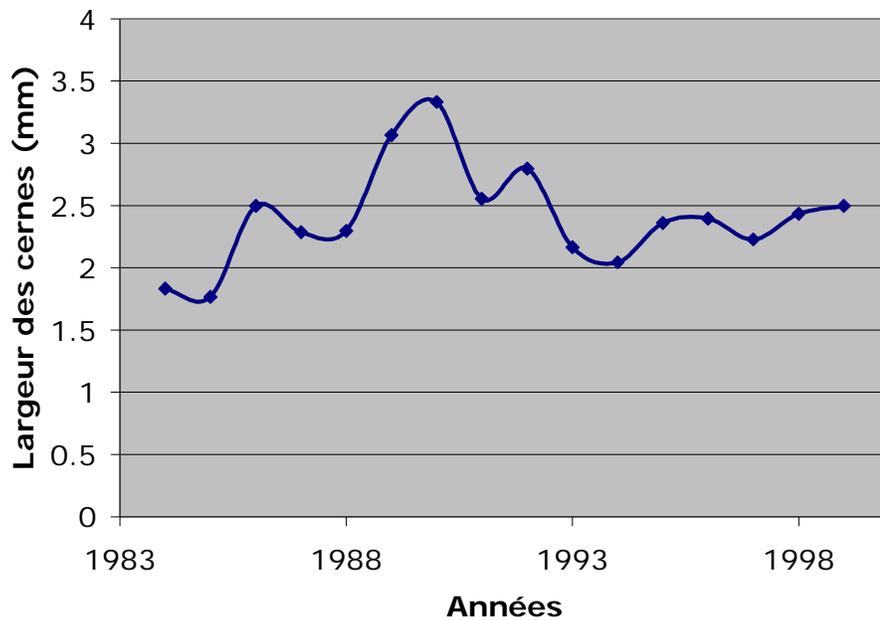


Figure 4. Chronologie de la largeur moyenne des cernes de croissance en diamètre sur les quatre axes de mesure. L'année 1994 est l'année pendant laquelle la tige a été éclaircie.

### 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 pondérée 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  $2,5 \times$  rayon de la cime de la tige sujet

Un deuxième indice de compétition ( $IC_2$ ) a aussi été calculé. Celui-ci se veut être une représentation plus juste du puits de lumière puisqu'il ne considère que les premières tiges 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  $i$  le plus près dans chacun des quatre quadrants
  - $s$  = tige sujet
  - $dis_{is}$  = distance entre la tige-sujet et la tige compétition  $i$

Pour une année de croissance donnée, la moyenne de la largeur des cernes sur les 4 axes fut attribuée (figure 4). Les largeurs de cerne correspondant à des déformations furent éliminées lors de cette étape. Le changement (delta) de croissance entre les années

précédant et suivant l'intervention d'éclaircie fut calculé pour des périodes de temps de 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 divisé 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

- $\Delta$  = 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 aussi 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. En ce qui concerne 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, nous avons fait appel à l'indice de la tendance de l'intervalle (Schweingruber 1988). Cet indice indique la proportion de tiges sujets, pour un intervalle de deux années consécutives donné, qui expérimente une augmentation de croissance. Ainsi, si l'indice était de 75 % et plus, nous avons une tendance généralisée à l'augmentation de la croissance. Au contraire, si l'indice était de 25 % et moins, nous avons une tendance généralisée à la réduction de la croissance. Cet indice a été calculé séparément pour les tiges éclaircies et non éclaircies afin de distinguer une différence dans le patron de concordance de réponse.

Les caractéristiques de croissance et de qualité ont été comparées entre les espèces et entre les tiges sujets éclaircies et non éclaircies tout en contrôlant la variabilité induite par la différence entre les stations. Les caractéristiques testées étaient le diamètre,

---

la hauteur, la surface des sections d'aire des branches vivantes au bourrelet, la croissance moyenne en hauteur sur les cinq dernières années, et le changement de croissance en diamètre avant/après traitement pour les cinq périodes de comparaison. Le diamètre a été transformé en logarithme naturel pour respecter la normalité et l'homoscédasticité des résidus. 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, nous avons utilisé un test *Z* (Scherrer 1984). Finalement, afin de vérifier quelles sont les conditions environnant une tige qui font qu'elle réponde ou non au traitement, nous avons mis en relation le changement de croissance avec les deux indices de compétition, la surface terrière et la densité calculée à l'intérieur de l'espace de compétition dans une analyse de régression linéaire.

Finalement, nous avons vérifié si la présence de branches vivantes dans le premier 2,44 m de la tige (première bille) était dépendante de l'espèce et du fait qu'une tige soit éclaircie ou non à l'aide du test du  $\chi^2$ . Nous avons par la suite testé la relation entre la présence de branche et les conditions de compétition qui environne la tige. Pour ce faire, nous avons mis en relation dans une régression logistique la présence/absence de branche avec la surface terrière, les deux indices de compétition, la densité et la position sociale en hauteur de la tige, après avoir inséré l'effet de l'espèce en premier.

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 d'une situation à l'autre puisque le terme d'interaction entre l'espèce et la situation n'est pas significatif (tableau 2). Le cerisier tardif a le diamètre le plus élevé, suivi par le frêne d'Amérique et par l'érable à sucre, tiges éclaircies ou pas (figure 5a). Les tiges éclaircies possèdent un diamètre significativement plus gros que celles non éclaircies (figure 5b). Le contrôle de l'effet station s'est avéré requis 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 logarithme naturel du diamètre des tiges sujets.

<i>Facteur dépendant</i>	<i>Facteur indépendant</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>(df)</i>	<i>P</i>
Log diamètre	Espèce	4,852	135,9	(2)	<0,001
	Éclaircie	2,483	69,55	(1)	<0,001
	Station	0,454	12,72	(11)	<0,001
	Espèce*Éclaircie	0,054	1,510	(2)	0,222

En général, la différence de diamètre entre les tiges éclaircies et celles non éclaircies existait avant le traitement (figures 6 à 11). Dans trois stations (9, 11 et 12, figure 10 et 11), les tiges éclaircies étaient même pré-établies plusieurs années avant les tiges non éclaircies. À l'observation des graphiques des courbes de croissance en diamètre, on semble pouvoir détecter un changement de croissance avant et après traitement différent entre les tiges éclaircies et les tiges non éclaircies pour les stations 2, 3 et 10. Aucun changement de croissance, autant pour les tiges éclaircies et celles non éclaircies, n'est visuellement observable après traitement pour les stations 1, 4, 7, 9 et 12.

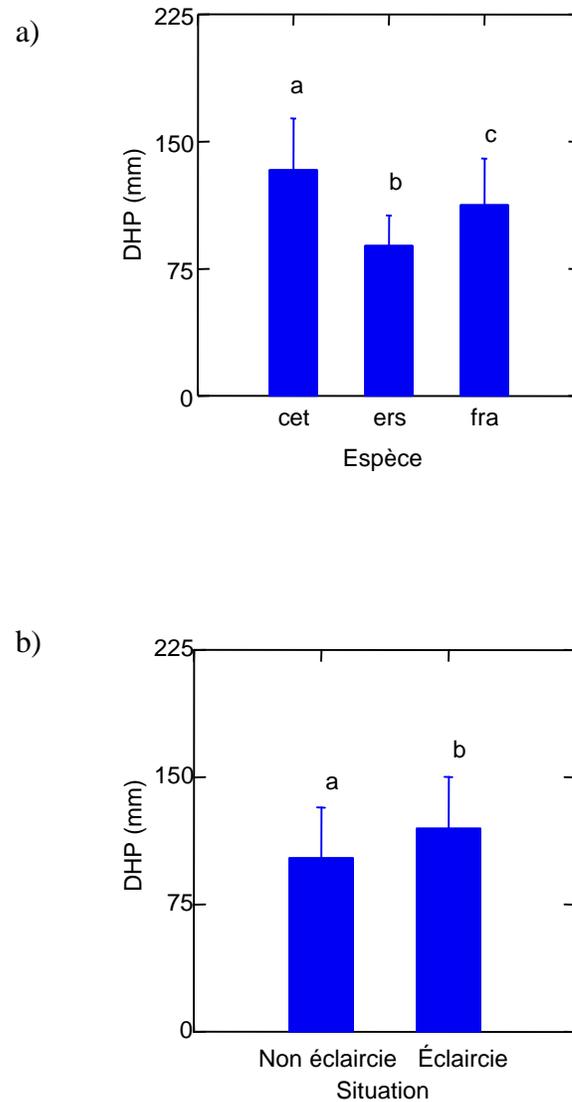


Figure 5. Comparaison du diamètre à hauteur de poitrine en fonction des espèces (a) et en fonction de l'éclaircie (b). Les lettres indiquent une différence significative du diamètre. Les barres verticales représentent l'écart type autour de la moyenne. Les statistiques de l'ANOVA sont présentées dans le tableau 2. Cet=cerisier tardif, ers=érable à sucre, fra=frêne d'Amérique.

Cependant, plusieurs stations ont démontré une réponse généralisée à l'augmentation de croissance, tel qu'exprimé par l'indice de la tendance de l'intervalle, pour les tiges éclaircies soit un ou deux ans après traitement (stations, 1, 3, 4, 5, 7, 9, 10 et 12, figures 6 à 11).

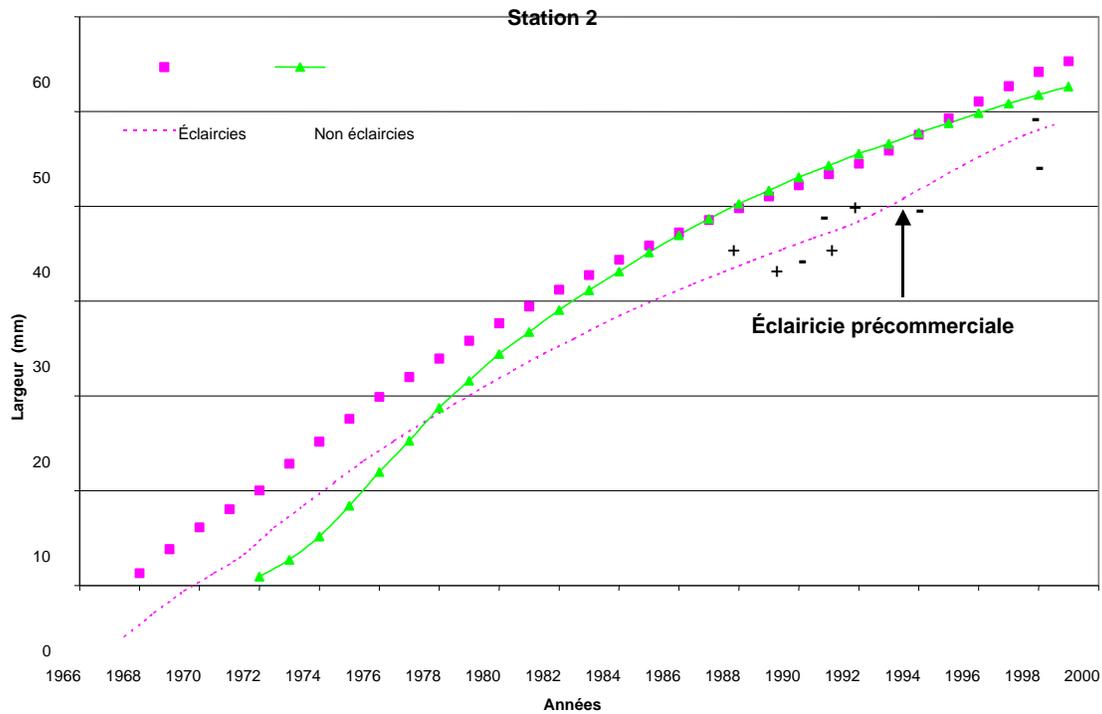
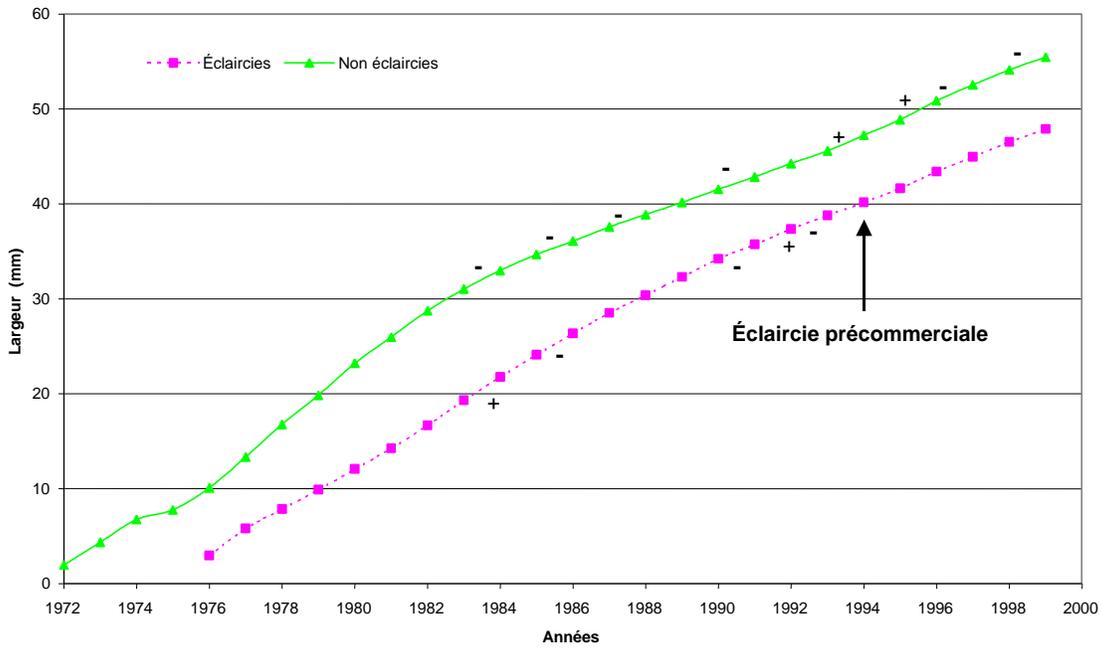


Figure 6. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 1 et 2. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. Pour la station 2, les signes au-dessus des deux courbes représentent les tiges éclaircies et les signes sous les deux courbes, les tiges non éclaircies.

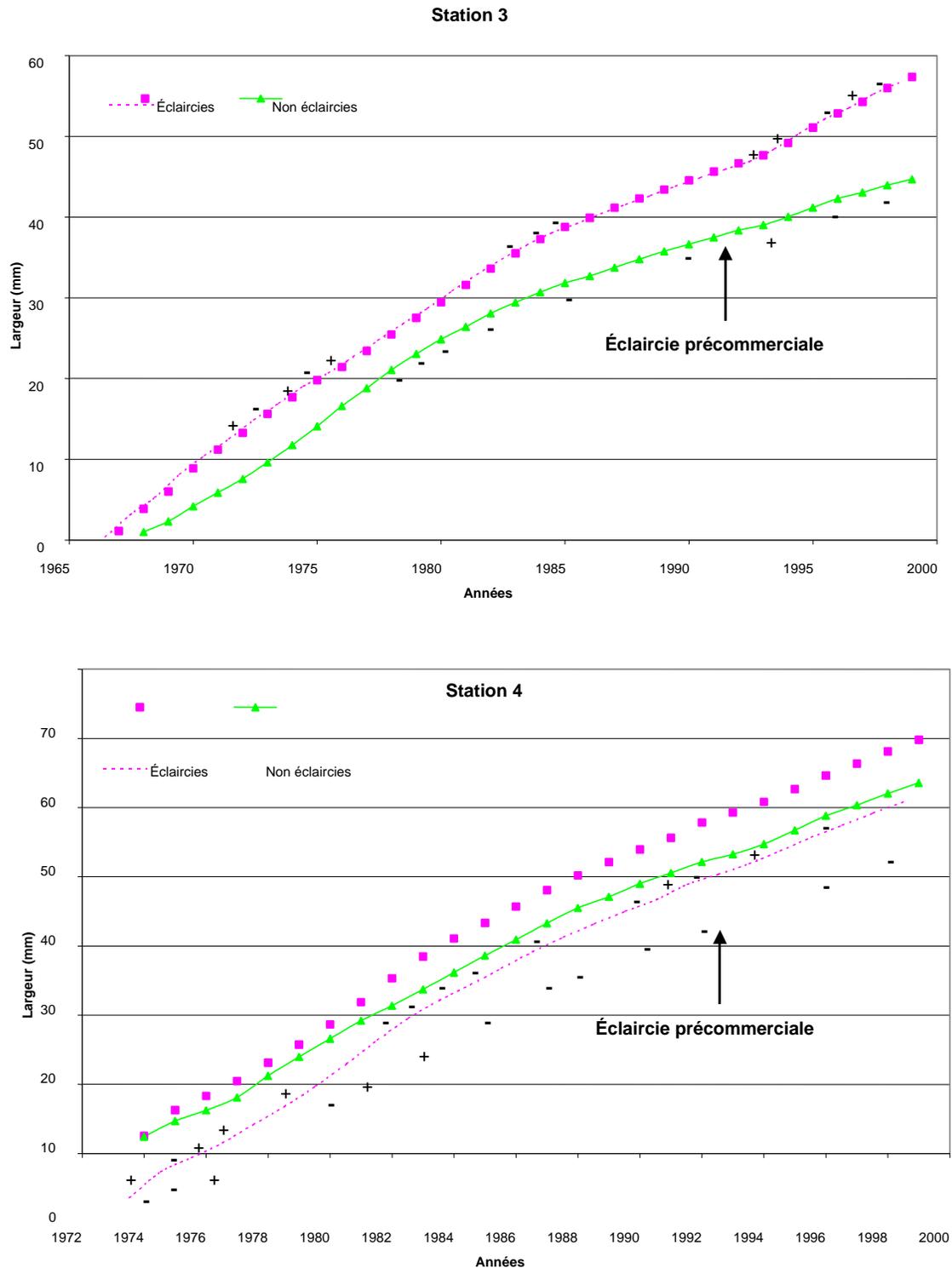


Figure 7. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 3 et 4. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges.

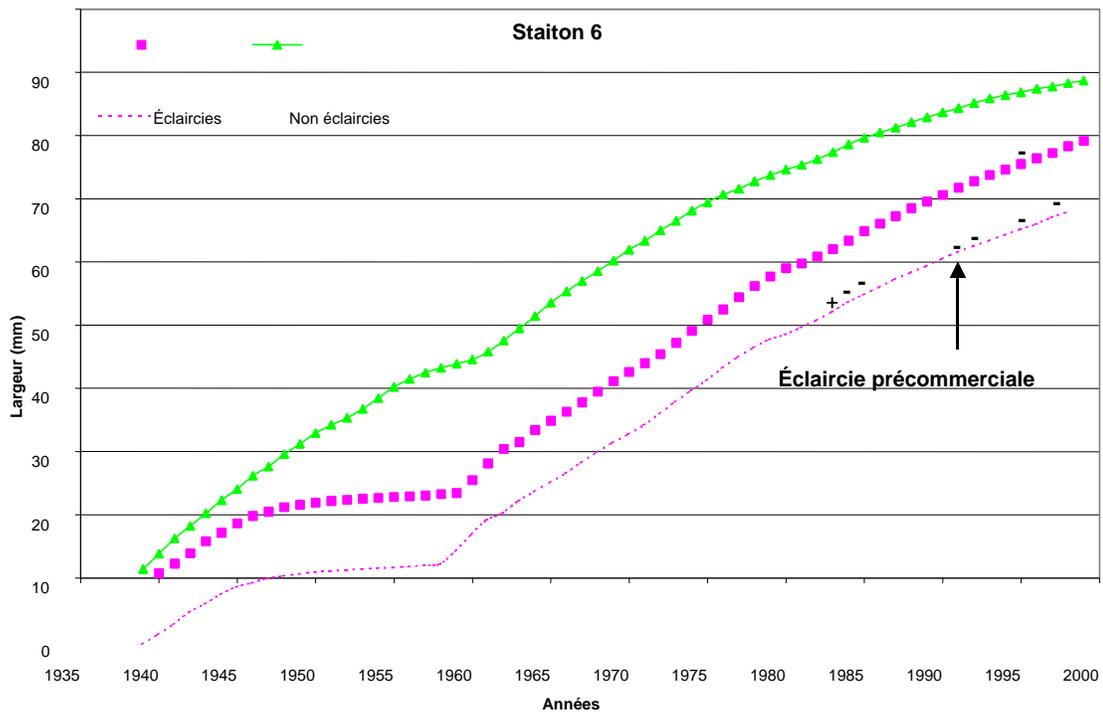
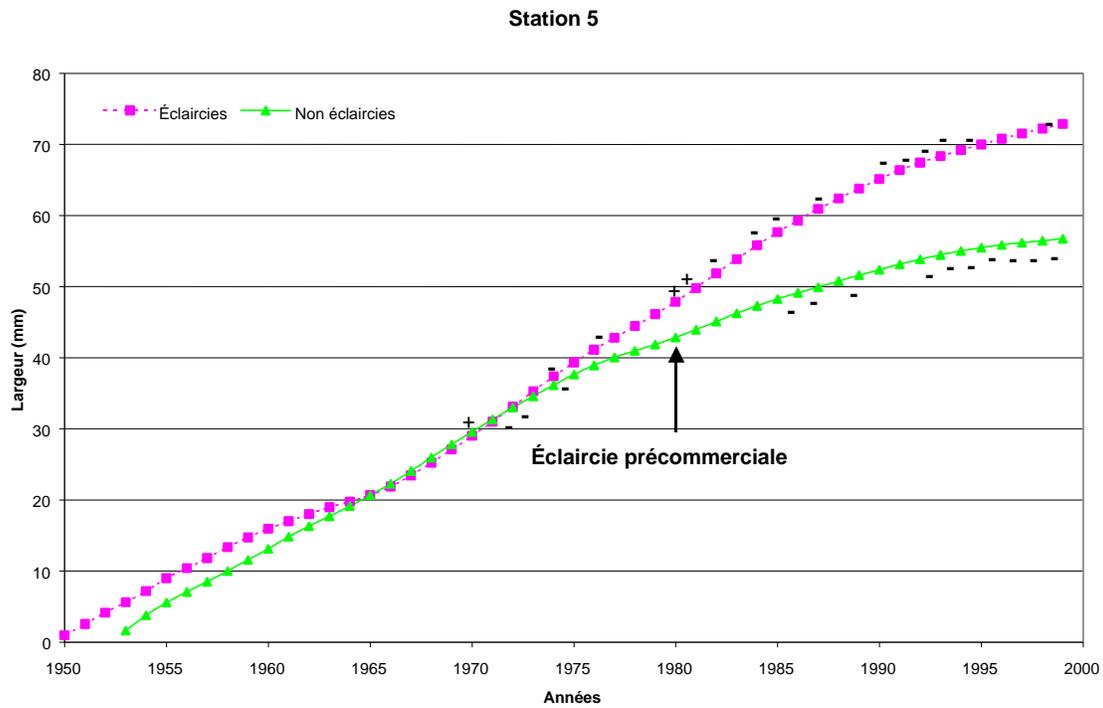


Figure 8. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 5 et 6. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges.

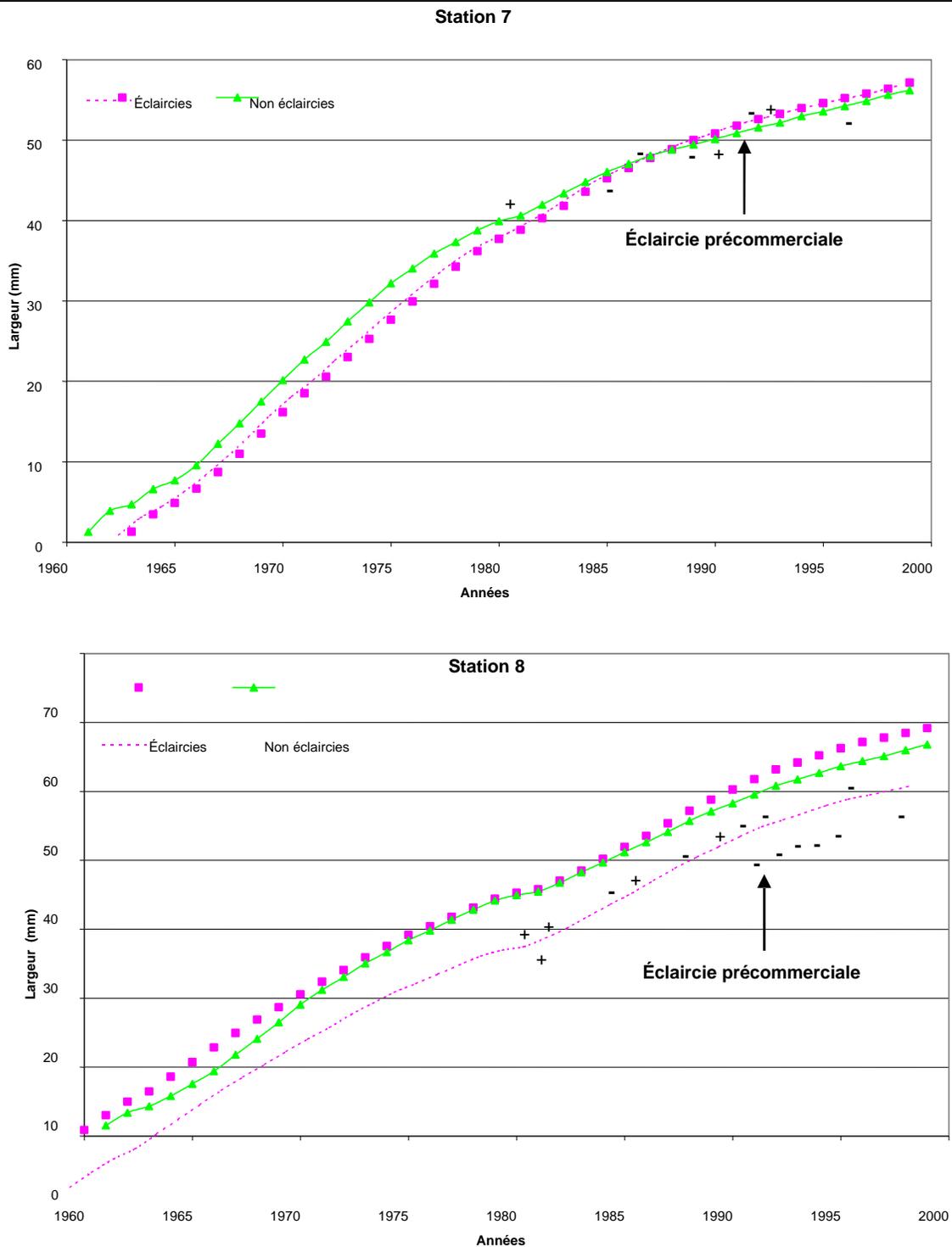


Figure 9. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 7 et 8. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges. Pour la station 7, les signes sous les courbes sont associés aux tiges éclaircies et les signes au-dessus des courbes aux tiges non éclaircies.

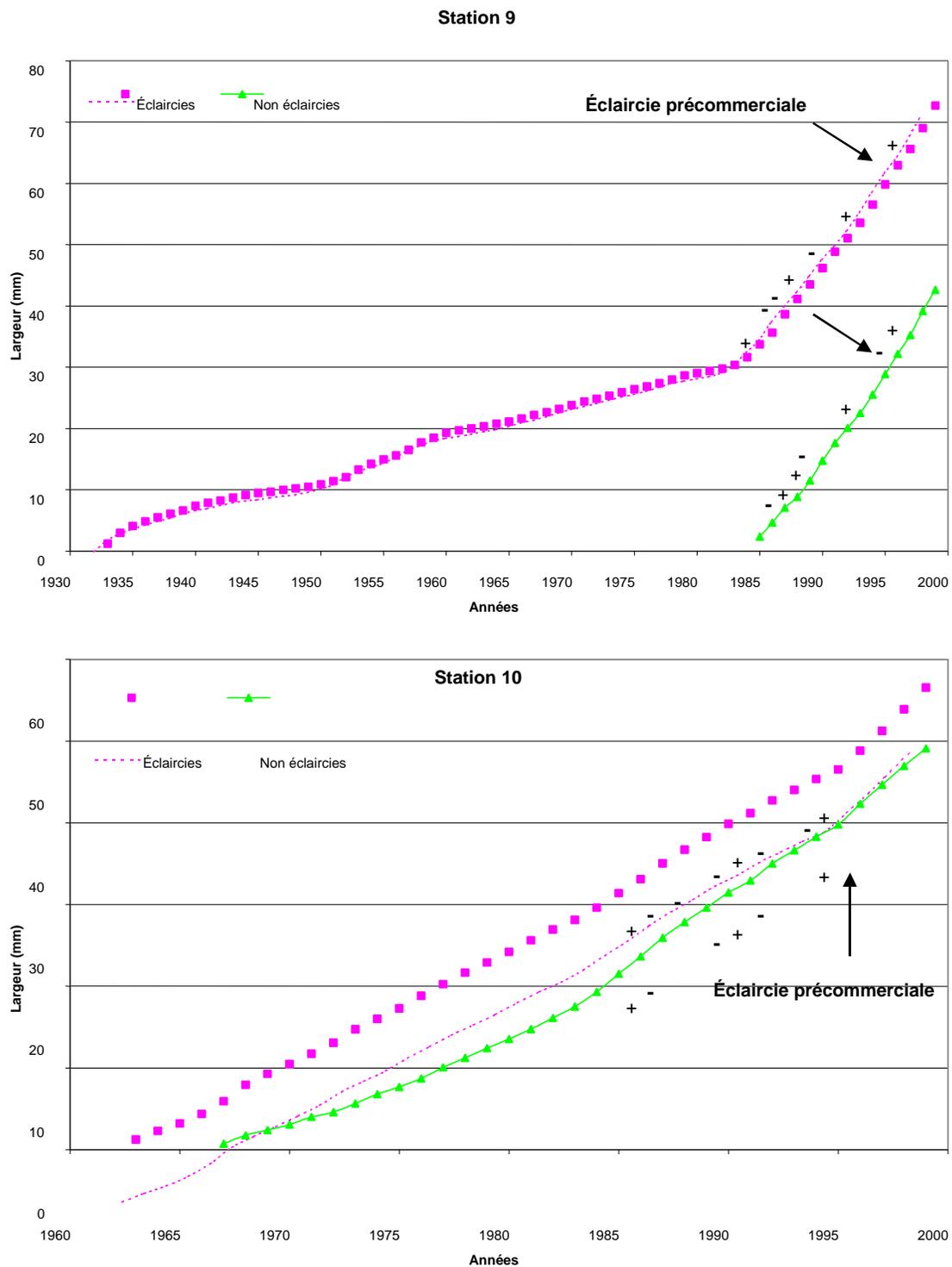


Figure 10. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 9 et 10. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges.

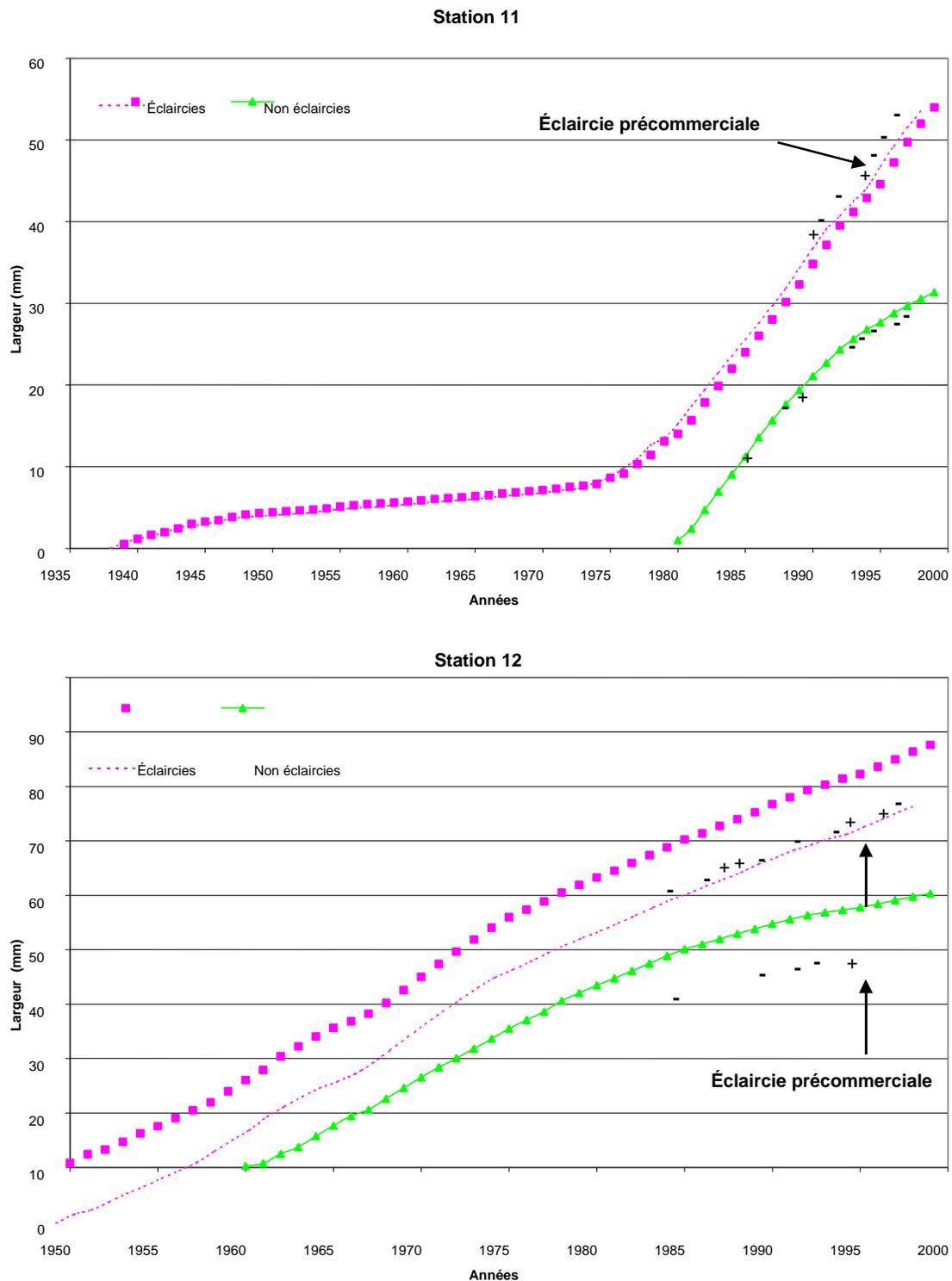


Figure 11. Croissance en diamètre des tiges éclaircies et non éclaircies pour les stations 11 et 12. Les flèches indiquent les années du traitement d'éclaircie précommerciale. Les signes + et - représentent la tendance des intervalles de croissance impliquant 75 % des tiges.

L'analyse des deltas de croissance en diamètre nous permet de confirmer ces observations. De façon générale, le traitement d'éclaircie précommerciale permet un accroissement en diamètre pour l'ensemble des tiges, qu'elles soient éclaircies ou non, de l'ordre d'environ 20 % pour les trois premières périodes de comparaison (figure 12). Ainsi, si on prend la meilleure période de comparaison, on passe d'une largeur moyenne de 1,36 mm à 1,66 mm. Ce pourcentage décroît rapidement par la suite et l'effet du traitement devient presque non significatif (différence de croissance pas différent de 0%,  $\alpha=5\%$ ) lorsqu'on compare les cernes de croissance 5 ans avant et après traitement.

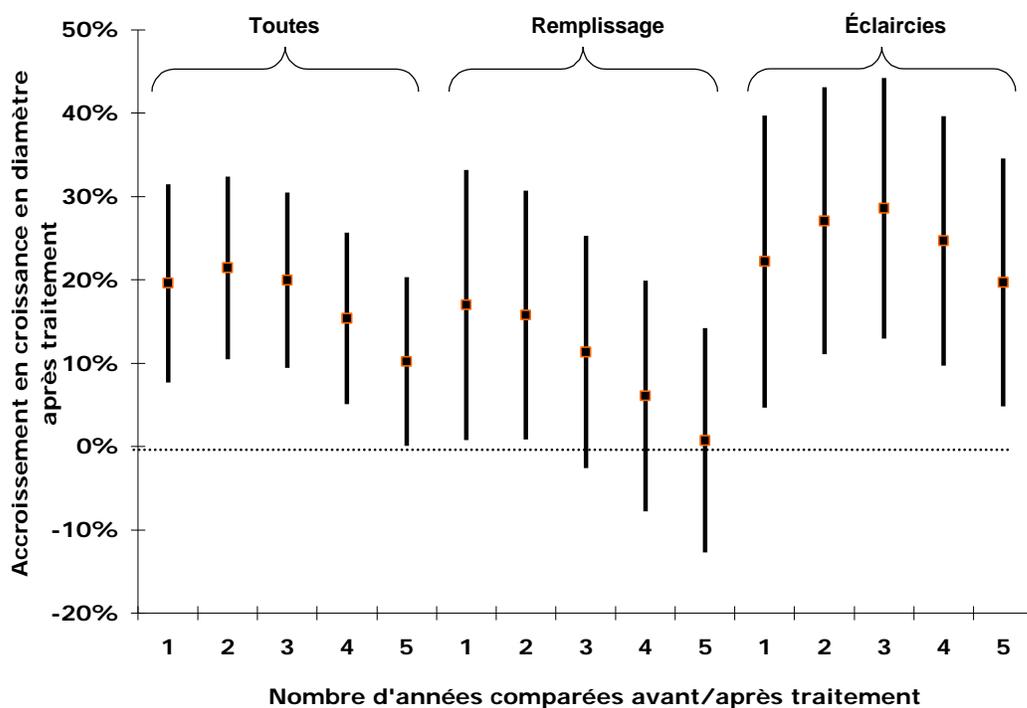


Figure 12. Changement de la croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les cinq périodes de comparaison. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ( $\alpha=5\%$ ).

Le nombre de tige ayant un accroissement supérieur ou égal à 100 % est différent d'une espèce à l'autre (tableau 3). Pour le cerisier et le frêne, on trouve respectivement environ 4 et 2 tiges avec un accroissement supérieur ou égal à 100 % pour les cinq périodes de comparaison. Pour l'érable à sucre, celui-ci passe de 11 à 5 tiges. Pour le

frêne et l'érable, les tiges ayant un accroissement en diamètre supérieur à 100 % sont surtout celles éclaircies, alors pour le cerisier cette distinction n'est pas importante. L'accroissement maximal observé diminue lorsqu'on augmente la période de comparaison et se situe autour de 250 à 300 % pour la période de comparaison sur 1 an et environ de 150 % à 250 % pour la période de comparaison sur 5 ans.

Tableau 3. 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	Cerisier tardif			Érable à sucre			Frêne d'Amérique		
	R	É	Accroissement maximum	R	É	Accroissement maximum	R	É	Accroissement maximum
1 an	2	2	303 %	6	5	278 %	0	2	263 %
2 ans	2	1	252 %	4	5	229 %	0	3	243 %
3 ans	2	2	208 %	3	5	235 %	0	3	216 %
4 ans	2	2	177 %	2	4	250 %	0	2	185 %
5 ans	2	2	157 %	1	4	254 %	0	2	162 %
Nb. tiges	45			48			48		

L'accroissement en diamètre n'est pas observé de façon généralisée sur l'ensemble des stations (figure 13), comme on l'avait observé sur les graphiques des courbes de croissance en diamètre (figure 6 à 11). Par exemple, parmi les 12 stations, seulement quatre voient leur croissance augmenter significativement pour la période de comparaison de trois ans (stations 3, 9, 10 et 12, figure 13). Cette différence de réponse entre les stations semble pouvoir s'expliquer par la surface terrière résiduelle telle qu'actuellement observée. En effet, la réponse moyenne des tiges d'un site au traitement est dépendante de la surface terrière de l'ensemble des tiges environnant celles-ci et décroît avec l'augmentation de la surface terrière ( $P=0,017$ ,  $R^2=45$  %, figure 13). Selon

ce modèle de régression linéaire, le traitement d'éclaircie précommerciale cesse d'avoir un effet positif à partir environ de 20 m<sup>2</sup>/ha.

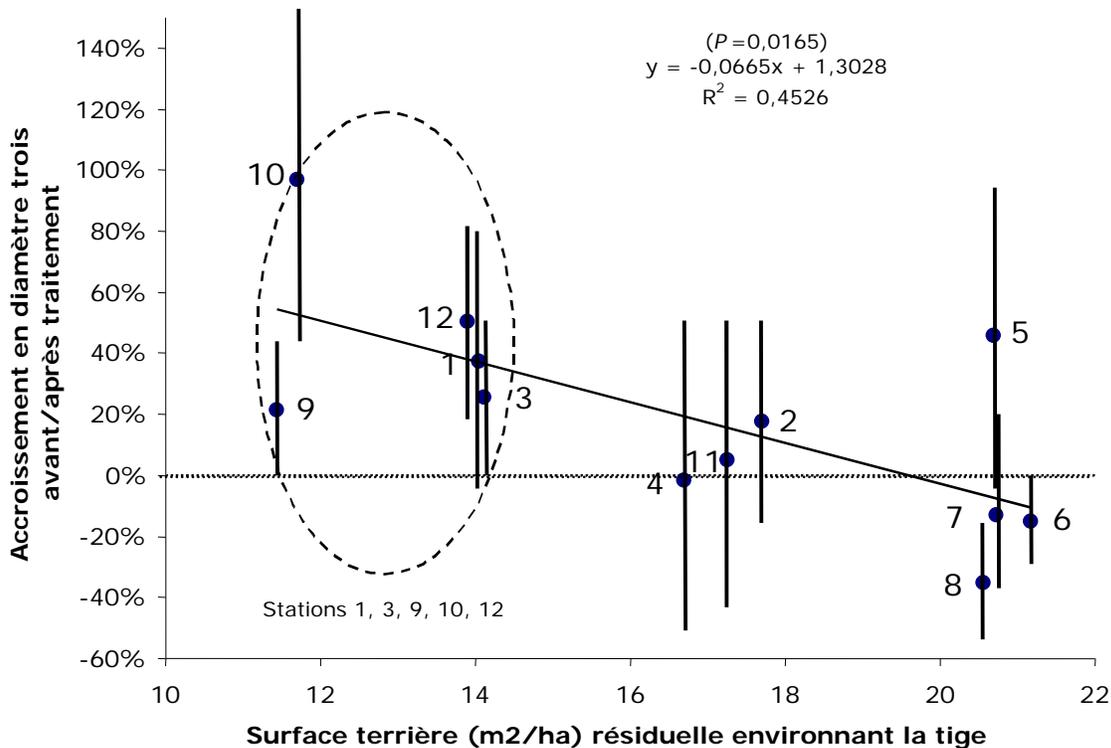


Figure 13. Droite de régression mettant en relation la moyenne du changement de croissance trois ans avant/après traitement pour l'ensemble des tiges d'une station avec la moyenne de la surface terrière environnant ces tiges. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ( $\alpha=5\%$ ) dans la station correspondante.

Après avoir contrôlé l'effet de la station, le changement de croissance avant/après traitement diffère entre les tiges dégagées et non dégagées seulement pour les périodes de comparaison faite sur quatre et cinq années (tableau 4). En effet, pour ces deux périodes de comparaison, les tiges dégagées ont une augmentation de croissance beaucoup plus marquée que les tiges non dégagées (figure 12). Les tiges dégagées ont bénéficié de l'effet de l'éclaircie durant au moins les cinq premières années après le traitement puisque pour les cinq périodes de comparaison, l'accroissement en diamètre est significativement supérieur à 0 %. Cette augmentation de croissance a culminé trois ans

après le traitement pour atteindre une moyenne de 28,6 %. En effet, pour cette période de comparaison, la largeur moyenne des cernes passe de 1,48 mm à 1,90 mm. En supposant que la décroissance de l'effet observée à partir de trois ans après traitement se maintienne pour la prochaine année, l'effet de l'éclaircie précommerciale cesserait d'être significatif aussi pour les tiges dégagées durant la sixième année après traitement. Quant aux tiges de remplissage, elles ont aussi bénéficié d'une augmentation de croissance significative, mais seulement pour les périodes de comparaison 1 an et 2 ans.

Tableau 4. 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, de un à cinq ans. (Voir annexe 1 pour les analyses statistiques complètes.)

Effet	Degrés de liberté	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans
Constante	1	0,15	0,08	0,09	0,15	0,35
Traitement	1	0,55	0,24	0,06	<b>0,05</b>	<b>0,04</b>
Espèce	2	0,10	<b>0,04</b>	0,07	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>
Station	11	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>
Espèce* Traitement	2	0,45	0,79	0,98	0,95	0,84

Une différence dans le changement de croissance entre les espèces est aussi distinguée par notre modèle statistique pour les périodes de comparaison s'échelonnant sur deux, quatre, et cinq ans (tableau 4). Durant ces trois périodes de comparaison, le changement de croissance en diamètre est plus élevé chez l'érable à sucre que chez les deux autres espèces. En effet, seul l'érable à sucre a répondu de façon significative à l'éclaircie précommerciale, et cela, pour les cinq périodes de comparaison (figure 14).

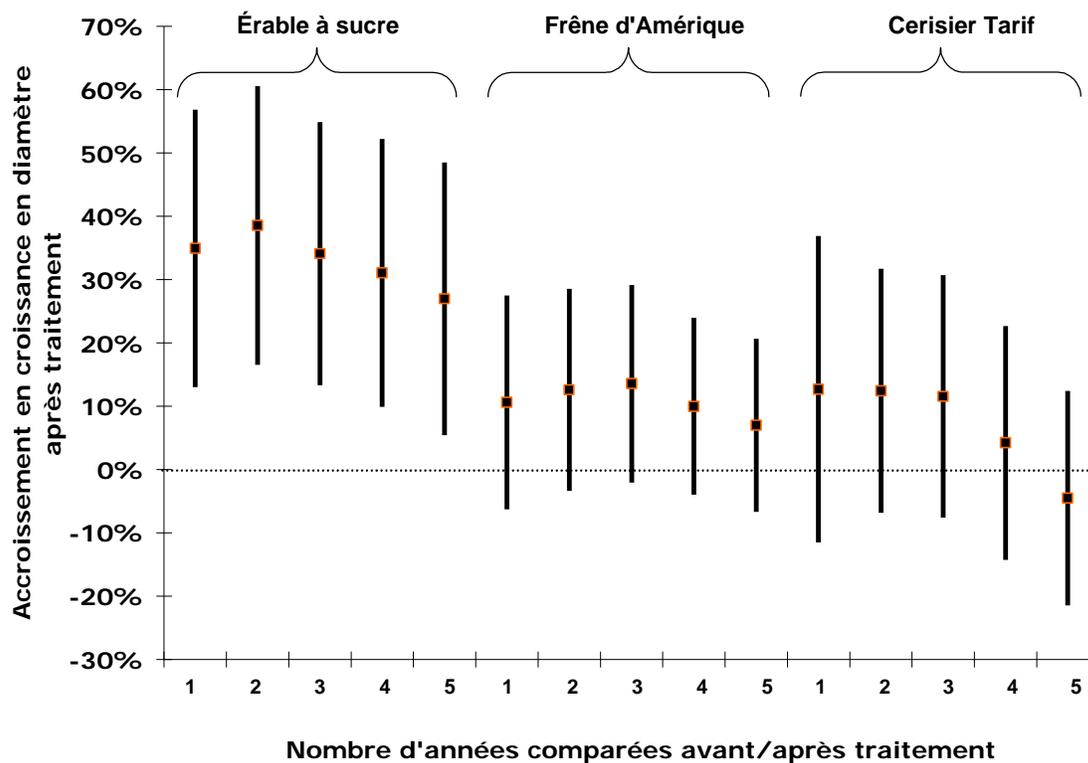


Figure 14. Comparaison entre les espèces du changement de la croissance en diamètre avant/après le traitement d'éclaircie précommerciale pour les cinq périodes de comparaison. Les barres au-dessus de la ligne 0 % indiquent une augmentation significative de la croissance ( $\alpha=5\%$ ).

Parmi les variables potentiellement liées au changement de croissance en diamètre, seule la surface terrière est significative pour les trois espèces (tableau 5). Ainsi, on observe une réduction du changement de croissance en diamètre avec une augmentation de la surface terrière environnant la tige sujet (figure 15). On s'aperçoit que l'érable à sucre répond toujours au traitement d'éclaircie précommerciale malgré des surfaces terrières aussi élevées que 27 m<sup>2</sup>/ha, alors que pour le frêne d'Amérique et le cerisier tardif, ce seuil est bien plus bas, soit 20 m<sup>2</sup>/ha et 13 m<sup>2</sup>/ha respectivement.

Tableau 5. Significativité des relations de régression linéaire entre le changement de croissance en diamètre avant/après traitement et le diamètre, la croissance en hauteur, la position sociale, la surface terrière, la densité, l'indice de compétition 1 et l'indice de compétition 2, pour les cinq périodes de comparaisons.

Période de comparaison (ans)	Dhp					Croissance hauteur					Position sociale					Surface terrière					Densité					Indice 1					Indice 2					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Cerisier tardif																*	*	*																		
Érable à sucre						*	*	*	*							*	*	*																		
Frêne d'Amérique	**	*	*	*	*											*	*									**	*	*	*	*						

La densité et la position sociale en hauteur ne sont pas reliées aux deltas de croissance en diamètre pour aucune des espèces. Des deux indices de compétition utilisés pour cette étude, seul l'indice 1 est significativement lié au changement de croissance en diamètre, et cela, pour une seule espèce, soit le frêne d'Amérique (tableau 5). Cependant, contrairement à ce qui est attendu, la relation avec l'indice pour cette espèce indique une augmentation de la croissance avant/après traitement avec une augmentation de la compétition (voir annexe 2). On observe aussi que le changement de croissance en diamètre n'est pas indépendant du diamètre pour cette espèce. En effet, plus les tiges de frêne d'Amérique sont petites, plus cette espèce répond positivement au traitement.

### Croissance en hauteur

La hauteur des tiges diffère entre les espèces ( $P < 0,001$ , tableau 6) et est plus grande chez le cerisier tardif et le frêne d'Amérique que chez l'érable à sucre (figure 16a). Les tiges éclaircies sont plus hautes que les tiges non éclaircies ( $P < 0,001$ , tableau 5, figure 16b) 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 ( $P = 0,208$ , tableau 6).

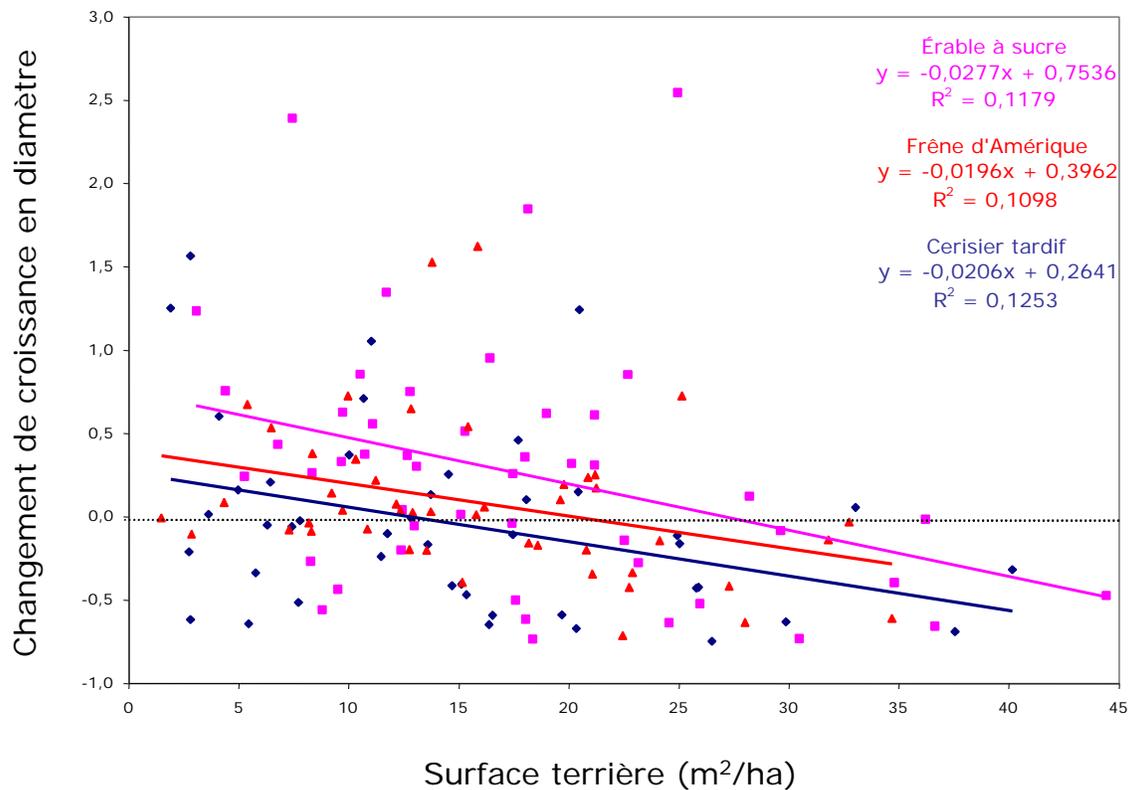


Figure 15. Droites de régression mettant en relation le changement de croissance en diamètre avant/après traitement évalué sur une période de 5 ans pour l'érable à sucre, le frêne d'Amérique et le cerisier tardif.

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

<i>Facteur dépendant</i>	<i>Facteur indépendant</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>(df)</i>	<i>P</i>
Hauteur	Espèce	4,852	54,19	(2)	<0,001
	Éclaircie	2,483	24,23	(1)	<0,001
	Station	0,454	19,52	(11)	<0,001
	Espèce* Éclaircie	0,054	1,577	(2)	0,208

Le même patron a été détecté concernant la position sociale en hauteur des tiges (tableau 7). Les tiges d'érable à sucre étaient en moyenne 1,57 m ( $\pm 0,36$  m) plus petite que la hauteur moyenne du peuplement alors celles du cerisier tardif ( $0,65 \pm 0,37$  m) et

du frêne d'Amérique ( $0,94 \pm 0,36$  m) se situaient au-dessus de la hauteur moyenne du peuplement. Les tiges éclaircies dominaient le peuplement de  $0,54$  m ( $\pm 0,29$  m) alors que les tiges non éclaircies étaient plus petites que la hauteur moyenne du peuplement de  $0,53$  ( $\pm 0,30$  m).

Tableau 7. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, 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	22513,447	55,956	(2)	<0,001
	Éclaircie	10095,983	25,093	(1)	<0,001
	Espèce*Éclaircie	653,021	1,623	(2)	0,199

L'éclaircie n'a cependant pas affecté la croissance moyenne en hauteur des cinq dernières années ( $P=0,464$ , tableau 8). La croissance moyenne en hauteur varie selon les espèces ( $P<0,001$ ), mais l'interaction entre l'espèce et l'éclaircie n'est pas significative ( $P=0,281$ ).

Tableau 8. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur la croissance moyenne en hauteur des cinq dernières années.

<i>Facteur dépendant</i>	<i>Facteur indépendant</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>(df)</i>	<i>P</i>
Croissance moyenne en hauteur	Espèce	4,852	54,19	(2)	<0,001
	Éclaircie	2,483	24,23	(1)	0,464
	Station	0,454	19,52	(11)	0,005
	Espèce*Éclaircie	0,054	1,577	(2)	0,281

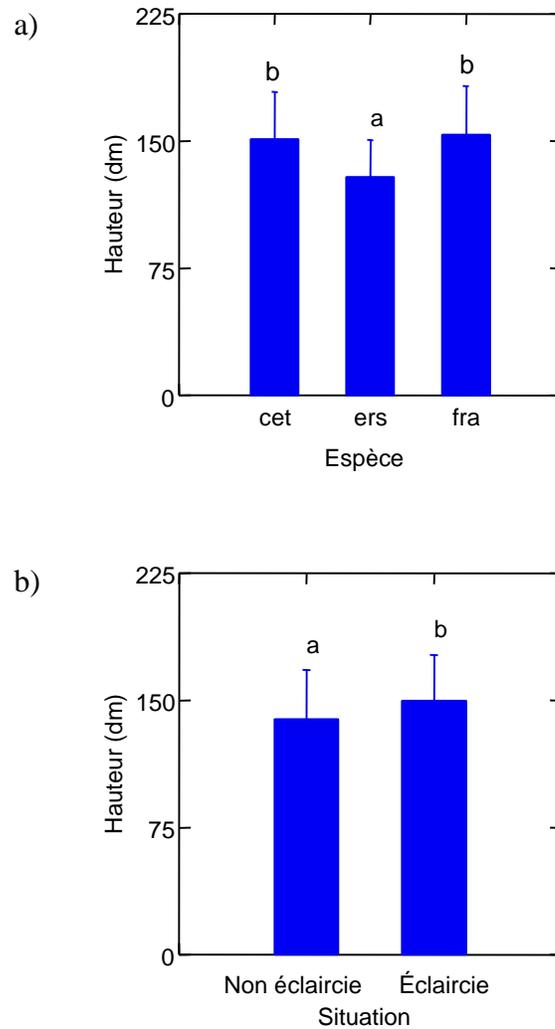


Figure 16. Comparaison de la hauteur des tiges en fonction des espèces et en fonction de l'éclaircie. Les lettres indiquent une différence significative de la hauteur. Les barres verticales représentent l'écart type autour de la moyenne. Les statistiques de l'ANOVA sont présentées dans le tableau 6. Cet=cerisier tardif, ers=érable à sucre, fra=frêne d'Amérique.

### Comparaison de la qualité des tiges

La présence de branches vivantes n'est pas indépendante de l'espèce ( $\chi^2=112,25$  ;  $df=2$  ;  $P<0,001$ ). En effet, on observe une branche vivante chez 50 % des tiges d'érable à sucre alors que cette probabilité n'est que de 4 % pour le cerisier tardif et de 2 % pour le frêne d'Amérique. Cependant, la présence de branches vivantes est indépendante du fait qu'une tige ait été éclaircie ou non ( $\chi^2=1,48$  ;  $df=1$  ;  $P=0,223$ ). Parmi les variables qui expriment les conditions de compétition autour d'une tige, seule la surface terrière explique une variance additionnelle à ce qui est déjà expliqué par l'effet de l'espèce (tableau 9). Cependant, le signe du coefficient étant positif, ceci indique alors que la probabilité qu'une tige ait une branche vivante augmente avec l'augmentation de la surface terrière qui environne la tige.

Tableau 9. 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 additionnelle expliquée</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Signe du coefficient du paramètre</i>
IC1	0,6830	0,41	
IC2	1,3992	0,24	
Surface terrière	5,8259	0,02	+
Densité	0,2746	0,60	
Position sociale en hauteur	1,3037	0,25	

Quant à la surface totale des sections d'aire au bourrelet des branches vivantes, elle ne varie pas selon l'espèce ( $P=0,139$ , tableau 10) ni selon l'éclaircie quoique la tendance soit près d'être significative ( $P=0,064$ ). En effet, on trouve en moyenne 36,6 mm<sup>2</sup> de surface totale des sections d'aire de branches vivantes dans le premier 2,44 m d'une tige non éclaircie alors pour une tige éclaircie, cette surface est 4 fois moindre, soit 7,9 mm<sup>2</sup>. L'interaction entre l'effet de l'espèce et de l'éclaircie n'est pas significative (tableau 10,  $P=0,470$ ).

Tableau 10. Résumé de l'ANOVA testant l'effet de l'espèce, de l'éclaircie et de la station sur la surface totale des sections d'aire des branches vivantes au bourrelet des tiges.

<i>Facteur dépendant</i>	<i>Facteur indépendant</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>(df)</i>	<i>P</i>
Surface totale des sections d'aire des branches vivantes au bourrelet	Espèce	41738	1,984	(2)	0,139
	Éclaircie	72871	3,463	(1)	0,064
	Station	58878	2,560	(11)	0,004
	Espèce*Éclaircie	15923	0,757	(2)	0,470

## Discussion

### Effets de l'éclaircie sur la croissance en diamètre et en hauteur

Bien que nos résultats démontrent 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.

L'éclaircie précommerciale a eu, de façon générale, un effet significatif sur l'accroissement en diamètre, non seulement sur les tiges éclaircies mais aussi sur celles qui ne l'étaient pas, quoique moins important. 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.

Cependant, l'augmentation de la croissance en diamètre observée dans cette étude pour l'ensemble des tiges, bien que significatif, est assez faible. Le meilleur accroissement moyen que nous ayons obtenu pour une période de comparaison donnée est un maigre 28,6 % (figure 12). Il est souvent espéré qu'après un tel traitement on puisse doubler la croissance d'une tige éclaircie. Or seulement un faible pourcentage des tiges obtient ce résultat (tableau 2). Ces résultats peuvent surprendre mais d'autres études ont obtenus des résultats similaires. Leak et Smith (1997) ont eux aussi reporté des changements plutôt mineurs, autant en terme de structure que de composition, 30 ans après avoir dégagé un peuplement de feuillus durs de 25 ans. Une analyse de tige détaillée a permis de démontrer que certaines espèces n'avaient pas réagi à l'éclaircie

---

malgré une intensité d'éclaircie de près de 50 % de surface terrière (soit de 22 m<sup>2</sup> à 12 m<sup>2</sup>) (Leak et Solomon 1997). Dans le même ordre d'idée, Hilt et Dale (1982) n'ont pas observé de différence en croissance annuelle en diamètre entre les 125 tiges éclaircies et les 125 plus belles tiges d'un acre de peuplement de contrôle adjacent.

La durée de l'effet du traitement fut aussi plutôt éphémère (2 ans pour les tiges dans le remplissage et 5 ans pour les tiges éclaircies). Ce résultat est en accord avec plusieurs autres études qui ont trouvé 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).

Bien que nous ayons observé 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 aussi déjà été observée par d'autres (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 stimulé 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. Nous croyons plutôt que la croissance en hauteur n'est généralement pas limitée puisque les tiges sélectionnées sont généralement dans l'étage des dominants.

En effet, nos résultats nous enseignent que les tiges éclaircies occupent une place dominante dans le peuplement. Ainsi, on se serait attendu à ce que la position sociale en hauteur soit reliée avec le gain d'accroissement en diamètre mais ce ne fut pas le cas pour aucune période de comparaison (tableau 5). Comme Hilt et Dale (1982), nous suggérons que dans les peuplements de feuillus durs, compte tenu du différentiel de croissance entre les espèces et même entre les individus d'une même espèce, la hiérarchie sociale en hauteur s'établit très tôt dans le peuplement, permettant aux tiges dominantes de ne pas être affectées de façon importante par la compétition. Puisque ces mêmes tiges sont celles

qui sont dégagées à cause de leur taille et leur position sociale dans le peuplement, l'effet de l'éclaircie est limité. Smith *et al.* (1997) rappelle en effet que l'éclaircie devient plus intéressante à être utilisée 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 vu chez les espèces à croissance rapide (Smith *et al.* 1997). En effet, Robitaille *et al.* (1990) ont observé des gains en croissance en diamètre plus faibles chez les dominants que chez les codominants et intermédiaires dans des dégagements par puits de lumière moyen (1 m autour de la couronne) et fort (1,5 m autour de la couronne).

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

L'érable à sucre est l'espèce qui a le mieux répondu à l'éclaircie précommerciale. Ellis (1979) a étudié la réponse des trois mêmes espèces à l'éclaircie commerciale et a observé exactement le même patron. De notre étude, et de plusieurs autres comparant différentes espèces (Downs 1946; Roberge 1975; Ellis 1979; Lamson 1988; Leak et Smith 1997; Leak et Solomon 1997), il s'en dégage que les espèces tolérantes à l'ombre répondent plus promptement à un dégagement que les espèces intolérantes. L'érable à sucre, qui tolère mieux la compétition que les autres espèces, possède une plasticité morphologique qui lui permettrait de s'adapter rapidement aux nouvelles conditions de lumière créées par l'éclaircie. Cette spécificité quant à la réponse au dégagement soudain du pourtour de la couronne d'une tige peut s'expliquer par des raisons d'architecture (Horn 1971) et de caractéristiques écophysiologicals, plus particulièrement celles ayant trait à la lumière, propres à chacune des espèces (Bazzaz 1979 ; Canham 1988). En effet, 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 auront une activité photosynthétique supérieure à celles qui sont intolérantes et vice et versa (Pacala *et al.* 1994). Il s'en suit que les espèces tolérantes à l'ombre auront une plus grande capacité d'adaptation à une faible augmentation de la disponibilité en lumière que les espèces moins tolérantes (Canham 1988). Ceci résulte en un compromis entre la production

accélérée et les caractéristiques écologiques qui assurent le maintien de l'espèce dans le peuplement au cours de la succession (Doyon *et al.* 1998). C'est pourquoi on observe, pour l'érable à sucre, une réponse à l'effet d'éclaircie malgré des conditions de compétition après traitement beaucoup plus élevées que pour les deux autres espèces (figure 15). De plus, le fait que les individus d'érable à sucre étaient en situation de compétition plus intense que ceux des deux autres espèces dû à leur position sociale dans le peuplement a certainement eu pour effet de rendre plus importante cette différence de réponse.

### La qualité des tiges

Plusieurs auteurs ont mentionné que l'éclaircie ralentit l'élégage naturel (Erdmann *et al.* 1981 ; Della-Bianca 1983 ; Lamson 1983 ; Robitaille *et al.* 1990). Dans notre cas, l'éclaircie précommerciale n'a pas eu pour effet d'augmenter la présence de branches vivantes dans la première bille (2,44 m) pour les trois espèces étudiées. Cependant, on observe une tendance forte tout près d'être significative signalant que les tiges éclaircies posséderaient une surface totale des sections d'aire des branches vivantes au bourrelet plus importante. Le maintien de branches plus grosses est un défaut majeure pour la qualité des tiges. Ce dernier résultat s'applique surtout à l'érable à sucre puisque les deux espèces intolérantes à l'ombre (cerisier et frêne) n'avaient pratiquement aucune branches vivantes dans la première bille. Le cerisier tardif n'a pas tendance à produire des branches adventives suite à l'ouverture du couvert (Lamson 1983).

### Considérations économiques

Il est primordial d'évaluer les bénéfices par rapport au coût d'un tel traitement étant donné les différences entre les peuplements feuillus et les coûts engendrés. Ainsi, en supposant que seulement les tiges éclaircies composeront le futur peuplement, l'éclaircie précommerciale aura permis d'accroître le diamètre des tiges de 4,72 mm de plus à la fin de la rotation pour les espèces étudiées ici. Ceci correspond approximativement à un gain équivalent de 1,6 an de croissance normale sur la rotation. Ainsi, en retenant un taux d'opportunité aussi bas que 1 %, en supposant que le peuplement serait récoltable à 130 ans tel que préconisé dans le Manuel d'Aménagement Forestier (Québec 1997) et qu'il

soit traité à 15 ans, le traitement subventionné à 750\$/ha exigerait un gain en volume équivalant à la valeur de 2355\$/ha comparativement à ce qu'il serait possible de retirer d'un peuplement non-éclairci juste pour rentabiliser le traitement. En supposant une valeur de 45\$/m<sup>3</sup> (qualité 1 et 2, Jacques Cardinal, comm. pers.) du bois vendu, le traitement devrait donc occasionner à lui seul au moins 52 m<sup>3</sup>/ha (2355\$/ha ÷ 45\$/m<sup>3</sup>) de plus que les 175 m<sup>3</sup>/ha prévus à la coupe finale (Québec 1997). Il est évident qu'avec les résultats que nous avons obtenus, on est loin de pouvoir escompter un tel accroissement en volume occasionné par notre traitement. Dwyer *et al.* (1993) ainsi que Groninger *et al.* (1998) ont démontré que l'éclaircie précommerciale était un traitement sylvicole difficilement rentable malgré des augmentations de croissance intéressantes compte tenu de la dépense que représente le traitement une fois futurisé. Il faut cependant mentionner que l'éclaircie précommerciale peut engendrer un avantage économique souvent oublié, soit la réduction des coûts futures des récoltes subséquentes par l'élimination de la végétation qui interfère avec les travaux (Hoffman 1987).

### **Conclusion et recommandations**

Dans cette étude, nous avons comparé la croissance (diamètre et hauteur) et la qualité des tiges de cerisier tardif, de frêne d'Amérique et d'érable à sucre dans des jeunes peuplements de feuillus durs suite à une éclaircie précommerciale. L'utilisation d'une couronne de dégagement de 1 m a produit des augmentations de croissance plutôt réduite, occasionnant une réponse significative seulement pour l'érable à sucre. Compte tenu des montants impliqués dans le programme d'aide de mise en valeur de forêt privée (700 à 800\$/ha) dans ce type de traitement, nous faisons les suggestions suivantes pour soit réduire les coûts associés au traitement, soit augmenter la réponse des tiges éclaircies :

- 1) Pour les essences peu tolérantes et intolérantes, ce traitement doit être utilisé seulement 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. Il est inutile d'éclaircir des tiges qui se sont déjà démarquées socialement dans le peuplement.

---

Une comparaison de la hauteur des tiges d'avenir et des tiges indésirables (*sensu* (Ouellet et Zarnovican 1988)) par essence permettrait de faire le diagnostic nécessaire en ce sens.

- 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. La réponse à l'éclaircie n'étant pas la même pour chacune des espèces, une approche adaptée à chacune des essences est fortement suggérée. Cependant, cela reste un défi de taille pour le forestier (Zarnovican 1998). Il est clair que pour obtenir une réponse des essences peu tolérantes et intolérantes à l'éclaircie précommerciale, le puits de lumière doit être plus grand que ce qu'il a été utilisé dans cette étude (0,3-1 m). Nos résultats suggèrent une ouverture qui permettrait de réduire la surface terrière des tiges de compétition environnant la tige éclaircie à près de 10 m<sup>2</sup>/ha, ce qui exigerait un puits de lumière d'environ 1,5 à 1,75 m. Une telle augmentation de la couronne de dégagement autour de la tige éclaircie ne mettra pas en péril la qualité de la bille de pied.
- 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 que 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) Dans le cas où la différenciation en hauteur s'est déjà réalisée pour les essences peu tolérantes et intolérantes, nous suggérons d'éclaircir seulement les tiges d'essences tolérantes mais de comptabiliser quand même les tiges d'avenir en essences intolérantes et peu tolérantes. Ceci permettrait de réduire les coûts d'opération tout en maintenant une cohorte d'avenir adéquate.

---

**Références citées**

- Bazzaz, F. A. 1979. The physiological ecology of plant succession. *Annual Review of Ecology and Systematics* **10**: 351-371.
- Canham, C. D. 1988. Growth and canopy architecture of shade-tolerant trees: response to canopy gaps. *Ecology* **69**(3): 786-795.
- 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.
- Downs, A. A. 1946. Response to release of sugar maple, white oak and yellow-poplar. *Journal of Forestry* **44**: 22-27.
- Doyon, F., A. Bouchard et D. Gagnon. 1998. Tree productivity and successional status in Québec northern hardwoods. *Ecoscience* **5**(2): 222-231.
- 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.
- Ellis, R. C. 1979. Response of crop trees of sugar maple, white ash, and black cherry to release and fertilization. *Canadian Journal of Forest Research* **9**: 179-188.
- 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.
- Gouvernement du Québec. 1997. Manuel d'aménagement forestier. Ministère des ressources naturelles. 122p.

- 
- Groninger, J. W., H. D. Stein, S. M. Zedaker et D. Wm. Smith. 1998. Growth response and cost comparisons for precommercial thinning methods of Appalachian oak stump sprouts. *Southern Journal of Applied Forestry* 22(1):19-23.
- 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.
- Hoffman, B. F. 1987. Precommercial thinning. It is less costly to cut and pile unmerchandable trees before thinning merchantable ones. *Journal of Forestry* 85: 16-18.
- Horn, H. S. 1971. *The Adaptive geometry of trees*. Princeton, New Jersey, Princeton University Press. .
- 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.

- 
- Leak, W. B. et M. L. Smith. 1997. Long-term species and structural changes after cleaning young even-aged northern hardwoods in New Hampshire. *Forest Ecology and Management* **95**: 11-20.
- 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.
- Ouellet, D. et R. Zarnovican. 1988. Cultural treatment of young yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) stands: tree classification and stand structure. *Canadian Journal of Forest Research* **18**: 11581-1586.
- 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.
- Reukema, D. L. 1961. Response of individual Douglas-firs to release. Oregon, Pacific Northwest Forest Research Experimental Station: 5.
- 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. Boucherville, QC. 850p.
- Schütz, Jean-Philippe. 1990. Sylviculture 1 : Principes d'éducation des forêts. Collection gérer l'environnement, Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Schweingruber, F. H. 1988. Tree rings. Basics and applications of dendrochronology. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. .

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. .

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.