

**Étude de l'effet de l'environnement de compétition et des
caractéristiques de cime sur la croissance de
l'érable à sucre et du bouleau jaune**

Rapport présenté par :

Éric Forget, ing. f., M. Sc.

Philippe Nolet, B. Sc., M. Sc

Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue



À

M. Paul Lachance
(Forêt Québec U.G. 72)

et

Produits Forestiers Turpin Inc.

Avril 2003

Remerciements

Nous tenons en premier lieu à souligner le travail diligent de Sébastien et Louis-Philippe Béland lors des travaux terrain, ainsi que la rigueur dont à fait preuve Srdjan Ostojic lors de la mesure des échantillons. Nous désirons aussi souligner l'apport à ce projet sous différentes formes des confrères de l'IQAFF: Frédéric Doyon, Daniel Bouffard, Régis Pouliot, François Lorenzetti, Pascale Sabbagh et Yves Jardon.

Nos remerciements s'adressent également au ministère des Ressources naturelles pour le financement de ce projet par le biais de son Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (PMVRMF) Volet I, ainsi qu'à Produits Forestiers Turpin pour leur appui au projet.

Résumé

Les indices de compétition intégrant le diamètre relatif ou la surface terrière relative de tiges décrits dans la littérature scientifique expliquent assez bien la croissance en peuplements équiennes. Cependant, peu d'information est présentement disponible sur l'utilité de ce type d'indices et sur d'autres paramètres potentiellement liés à la croissance dans le contexte des forêts feuillues inéquiennes québécoises. L'étude s'est déroulée en Outaouais dans la partie sud de la réserve Papineau-Labelle et visait la comparaison de différents indices pour leur relation avec la croissance en diamètre de tiges de bouleau jaune et d'érable à sucre. Un total de 120 arbres, 59 tiges d'érable à sucre et 61 tiges de bouleau jaune, ont été échantillonnés à l'intérieur de peuplements où prédominaient ces deux essences, tous situés sur des dépôts de till épais ou mince, et pour lesquels aucune perturbation anthropique n'avait été répertoriée depuis au moins 20 ans.

Parmi les variables testées, la mortalité en cime s'avère être le paramètre le plus fortement corrélé avec la croissance des tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune. Cette variable et la position de la cime (étage) auraient intérêt à être utilisées dans de futurs projets de modélisation de la croissance. Les résultats démontrent aucune corrélation significative entre la croissance des tiges et les classes de vigueur "vigoureux-faible" ainsi qu'avec les classes de qualité. Une diminution rapide de la croissance des tiges des deux essences a été remarquée dans les années suivant les perturbations anthropiques, à titre d'exemple le jardinage, constat qui justifierait l'utilisation de rotations plus courtes pour ce type de traitement.

Table des matières

REMERCIEMENTS	I
RÉSUMÉ	II
TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
INTRODUCTION	1
MÉTHODOLOGIE	3
LOCALISATION ET CARACTÉRISTIQUES DU SECTEUR D'ÉTUDE	3
HISTORIQUE ET CARACTÉRISTIQUES DES PEUPEMENTS ÉCHANTILLONNÉS	3
SÉLECTION DES TIGES-SUJETS	3
PRISE DE MESURES SUR LES TIGES-SUJETS	5
CALCULS DES CARACTÉRISTIQUES DE CIME DES TIGES-SUJETS	5
CALCUL DES INDICES DE COMPÉTITION	7
RÉCOLTE DES CAROTTES ET TRAVAUX DE LABORATOIRE	7
ANALYSES	9
RÉSULTATS	11
CROISSANCE DES TIGES-SUJETS	11
ANALYSES DE COVARIANCE	13
CARACTÉRISTIQUES DE TIGE ET DE CIME DES TIGES-SUJETS	20
INDICES DE COMPÉTITION	22
CONCLUSION	26
RÉFÉRENCES	28

Liste des figures

<i>Figure 1. Croissance en diamètre par périodes quinquennales pour le bouleau jaune et l'érable à sucre.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 2. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classes de cime.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 3. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classes de profondeur de sol.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 4. Croissance en diamètre (1997-2001) des tiges sujets d'érable à sucre en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 5. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune selon les classes de vigueur vigoureux et faible.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 6. Croissance en diamètre (1997-2001) des tiges-sujets d'érable à sucre en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 7. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classes de qualité.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 8. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classes d'écorce.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 9. Croissance en surface terrière (1997-2001) en fonction de la hauteur de la tige-sujet pour l'érable à sucre (a) et le bouleau jaune (b).....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 10. Croissance en surface terrière (1997-2001) en fonction du volume de cime de la tige-sujet pour l'érable à sucre (a) et le bouleau jaune (b).....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 11. Croissance en surface terrière (1997-2001) en fonction de la proportion de cime vivante de la tige-sujet pour l'érable à sucre (a) et le bouleau jaune (b).....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 12. Relations entre la croissance en diamètre et les 15 indices de compétition pour l'érable à sucre.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 13. Relations entre la croissance en diamètre et les 15 indices de compétition pour le bouleau jaune.....</i>	<i>25</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Désignation, densité/hauteur, âge et nombre de tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune échantillonné par peuplement.....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 2. Méthodes et outils utilisés pour quantifier ou qualifier les différentes caractéristiques des tiges-sujets.....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau 3. Formules de calcul et tiges considérées pour chacun des indices de compétition testés.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 4. Moyenne et écart-type de la croissance en diamètre (cm/5 ans) et en surface terrière (cm²/5 ans) par période quinquennale chez l'érable à sucre et le bouleau jaune.....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 5. Modèle d'analyse de covariance pour l'érable à sucre avec la croissance en diamètre comme variable dépendante.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 6. Modèle d'analyse de covariance pour le bouleau jaune avec la croissance en diamètre comme variable dépendante.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 7. Corrélations linéaires significatives entre les indices de compétition et la croissance en diamètre et en surface terrière pour l'érable à sucre et le bouleau jaune</i>	<i>22</i>

Introduction

Pendant plusieurs décennies, les peuplements de feuillus tolérants du sud du Québec ont été récoltés par coupes à diamètre limite et par coupes par bandes. C'est au début des années 1990, avec le stimulant des crédits offerts pour les coupes de jardinage que ces traitements, qui visaient souvent la récolte de belles tiges de fortes dimensions, ont été remplacés par la coupe de jardinage. Aujourd'hui au Québec, la récolte par jardinage est pratiquée sur la grande majorité des forêts de feuillus tolérants, soit près de 55 000 ha de forêts publiques annuellement (Brassard 2002).

En plus de permettre la régénération des peuplements en gaules et perches et le maintien d'un couvert d'éducation, le traitement de jardinage vise l'augmentation de la croissance des tiges résiduelles. En effet, plusieurs études réalisées au cours des dernières décennies ont démontré qu'un gain en croissance radiale pouvait être obtenu du prélèvement d'une partie des tiges d'un peuplement forestier (Ellis 1978; Crow et al. 1981; Signer et Lorimer 1997). Quoique la diminution de la densité d'un peuplement aura généralement un effet positif sur la croissance des tiges résiduelles, un martelage judicieux pourrait faire en sorte que le volume et la valeur des bois sur pied augmentent plus rapidement après coupe. Pour maximiser la croissance, les arbres les plus vigoureux ou potentiellement vigoureux devront être favorisés en concentrant le prélèvement parmi les individus les plus faibles et ceux qui ont de moins bonnes chances de survie jusqu'à la prochaine rotation. On qualifie une tige de vigoureuse si elle possède une cime et un feuillage bien développés qui ne comportent aucune grosse branche morte ou dépérissante, à l'exception de celles dépourvues de trace de pourriture situées dans la partie inférieure de la cime. Au Québec, les directives de martelage et les normes du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) relativement au martelage des tiges sont basées sur une classification en deux classes de vigueur : vigoureux (classes 1 et 2) et faible (classes 3 et 4) (Québec, 1999). Par ailleurs, il est important de mentionner que ce système ne considère pas les caractéristiques de la cime, autrement que par le pourcentage de défoliation, ni la position de la cime par rapport à la canopée (position hiérarchique). Le système de classification de la vigueur des

tiges au Québec ne semble donc pas très fortement lié à la croissance des arbres ni à leur vigueur.

Depuis plusieurs décennies, les chercheurs tentent de mieux définir la relation qui existe entre la croissance radiale des arbres et leurs caractéristiques de cime et d'environnement de compétition. Un bon nombre d'indices de compétition de différentes complexités ont été développés et testés par différents auteurs. Cependant, une proportion importante de ces études a été réalisée sur des conifères, principalement les espèces de pins. Quelques auteurs américains ont testé des indices sur les essences feuillues en peuplements équiennes (Lorimer 1983; Hix et Lorimer 1990; Holmes et Reed 1991; Winsauer et Mattson 1992) alors que des modèles de croissance ont été développés en Europe pour le hêtre (Lejeune 1996). Enfin, les études réalisées sur des peuplements inéquiennes en Amérique du Nord sont pratiquement absentes. Il est donc urgent de se donner les outils nécessaires pour permettre l'évaluation et la comparaison des effets de différents régimes d'éclaircie par coupes de jardinage dans le contexte de composition et de structure des peuplements de feuillus tolérants du sud du Québec afin d'assurer une croissance optimale des tiges composant le peuplement.

La présente étude vise donc à:

- comparer les caractéristiques de cime pour leur relation avec la croissance;
- vérifier la relation entre les indices incorporant les diamètres relatifs et les distances entre les tiges-sujets et les tiges-compétition dans les peuplements inéquiennes du Québec;
- étudier la relation mortalité en cime – croissance en diamètre pour l'érable à sucre et le bouleau jaune;
- vérifier l'efficacité du système québécois de classification des tiges pour sa justesse à estimer la croissance des arbres.

Méthodologie

Localisation et caractéristiques du secteur d'étude

L'étude s'est déroulée en Outaouais dans la partie sud de la réserve Papineau-Labelle (feuillet 31G14 NO et 31G14 SO). Cette région est constituée de collines et de hautes collines aux versants en pente modérée à forte sur un substrat rocheux composé de roches cristallines métamorphiques (Robitaille et Saucier 1998). Selon Gosselin et al. (1999), le secteur d'étude fait partie du sous-domaine de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest.

Historique et caractéristiques des peuplements échantillonnés

Les peuplements choisis pour l'échantillonnage possèdent les caractéristiques suivantes : 1) dominance d'érable à sucre ou de bouleau jaune; 2) absence de perturbation anthropique depuis au moins 20 ans; et 3) localisation sur dépôt de till épais ou mince. Les cartes écoforestières du 3^{ème} inventaire décennal du MRN ont été utilisées afin de cibler les peuplements potentiels. Les caractéristiques énumérées ci haut ont fait l'objet d'une validation terrain avant le début de l'échantillonnage. Aussi, afin de s'assurer que les arbres sélectionnés sont représentatifs de ce type d'érablière dans la région, l'échantillonnage a été réalisé dans 13 peuplements (Tableau 1).

Sélection des tiges-sujets

Pour le présent dispositif expérimental, 120 tiges-sujets ont été échantillonnées : 59 érables à sucre et 61 bouleaux jaunes. Pour chaque essence, l'échantillonnage a été équitablement réparti entre les dépôts de till épais (plus d'un mètre) et ceux de till mince (50-75 cm). La sélection des tiges a été réalisée de manière à échantillonner une vaste gamme de valeurs de diamètre à hauteur de poitrine (DHP), de mortalité en cime et des différentes classes de cime. Aussi, afin d'éviter de sur-échantillonner les tiges avec les caractéristiques les plus fréquemment retrouvées en forêt (à titre d'exemple les tiges dominantes de fort DHP avec peu de mortalité en cime), l'étendue des variables DHP, classe de cime et mortalité en cime ont été divisées en classes et les combinaisons des caractéristiques des tiges à échantillonner ont été choisies aléatoirement avant l'échantillonnage.

Tableau 1. Désignation, densité/hauteur, âge et nombre de tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune échantillonné par peuplement

Site	Désignation	Densité/ hauteur	Âge	Dépôt	Nb de tiges	
					ERS	BOJ
I	ErPe	B2	50	1aR ¹	10	6
II	FtR	B2	Vin	1a ²	7	6
III	ErFt	D1	90-30	1aR	11	9
IV	ErFt	A4	50	R ³	6	6
V	ErR	B2	Vin	1a	1	4
VI	ErFt	B2	Jin	1a	3	7
VII	ErFt	B2	Jin	1a	0	3
VIII	ErBj	B2	Vin	1aR	4	3
IX	ErPe	B2	50	1aR	8	6
X	ErR	B2	Vin	1a	1	7
XI	FtR	B2	Jin	1aR	1	2
XII	ErPe	B2	50	1aR	7	0
XIII	RFt	B2	Vin	1aR	0	2

¹1a : dépôt glaciaire sans morphologie particulière, d'épaisseur supérieure à 1 m.

²1aR : dépôt glaciaire sans morphologie particulière, d'épaisseur très mince à absent.

³R : dépôt mince à absent.

Classes utilisées

Les valeurs de DHP sont divisées entre quatre classes :

- classe 1 : 24 cm à 28 cm;
- classe 2 : 30 cm à 34 cm;
- classe 3 : 36 cm à 40 cm;
- classe 4 : 42 cm à 50 cm.

Les classes de cime correspondent quant à elle aux étages utilisées par la Direction des inventaires forestiers (MRN 2001):

- dominant;
- codominant;

- intermédiaire;
- opprimé.

La mortalité en cime a été évaluée visuellement et correspond au pourcentage du volume de cime manquant à cause de dépérissement par rapport au volume total de la cime de l'arbre. Les trois classes de mortalité en cime utilisées sont les suivantes :

- faible : mortalité de 0 à 15 %;
- moyenne : mortalité en cime de 16 à 30 %;
- forte : mortalité en cime de 31 à 45 %.

Afin de s'assurer d'un échantillonnage représentatif des sites de la région et une indépendance entre les tiges, une limite de six tiges échantillonnées par essence et par peuplement a été établie et une distance minimale de 20 mètres entre les tiges devait être respectée. Puisque l'étude ne vise pas l'analyse de l'effet des autres défauts comme les chancres ou les fentes, seulement des tiges exemptes d'anomalies majeures visibles ont été retenues.

Prise de mesures sur les tiges-sujets

Une fois l'arbre identifié avec les caractéristiques voulues, les données présentées au tableau 2 étaient consignées. La vigueur de chaque arbre-sujet a été évaluée visuellement au moyen des caractéristiques de l'écorce d'après le tableau 3.2 et les figures 3.9 à 3.11 du guide de martelage de l'Ontario (OMNR 2001). Selon ce guide, l'écorce lisse indique généralement une bonne croissance.

Calculs des caractéristiques de cime des tiges-sujets

Superficie de la cime

$$SC = \bar{\delta} * (L1*L2+L2*L3+L3*L4+L4*L1) / 4,$$

où L1 à L4 représentent les longueurs des quatre rayons de cime.

Volume de la cime

$$VC = 4/3 * \delta * (L1+L3) * (L2+L4) * Hc$$

où Hc correspond à la hauteur de la cime.

Proportion vivante de cime

$$PCV = Hc / H$$

où H représente la hauteur de l'arbre.

Tableau 2. Méthodes et outils utilisés pour quantifier ou qualifier les différentes caractéristiques des tiges-sujets

Caractéristiques de la tige-sujet	Méthode / outil
Essence	Érable à sucre ou bouleau jaune
Épaisseur du sol	À l'aide d'une sonde pédologique jusqu'à une profondeur de 1 mètre
Diamètre à hauteur de poitrine	Pied de biche
Classes de cime de la tige-sujet	Dominant, codominant, intermédiaire ou opprimé
Longueur des 4 rayons de cime	Mesure du rayon de cime le plus long et de ceux à 90, 180 et 270 degrés de celui-ci
Hauteur de l'arbre	Clinomètre
Hauteur de la cime vivante	Clinomètre
Mortalité en cime	Évaluation visuelle exprimée en pourcentage
Vigueur de l'écorce	Ontario MRN (OMNR 2000)
Classe de qualité de la tige	Classes du MRN (Québec 1999)
Classe de vigueur de la tige	Classes du MRN (Majcen et al. 1990)
Photographie de l'écorce	Appareil numérique

Calcul des indices de compétition

L'évaluation du niveau de compétition exercé autour des tiges-sujets a été réalisée en deux temps. En premier lieu, un inventaire à l'aide d'un prisme facteur quatre a été réalisé afin d'identifier les tiges-compétition (tiges susceptibles d'affecter la croissance de la tige-sujet). Dans un second temps, l'essence, le dhp, la distance à la tige-sujet et le coefficient de hauteur relative (chr) de la tige-compétition par rapport à la tige sujet ont été consignés pour chacune des tiges-compétition. Les tiges-compétition devaient avoir un dhp minimal de 9,1 cm. L'utilisation d'un prisme pour sélectionner les tiges-compétition est plus rapide que l'emploi de parcelles à rayon fixe ou à rayon proportionnel à la grosseur moyenne des cimes du peuplement, tout en étant aussi efficace dans des peuplements d'essences tolérantes (Hegyí 1991 cité dans Lorimer 1983).

Les tiges-compétition ont été classées selon qu'elles étaient 1) d'une hauteur inférieure, 2) de la même hauteur, ou 3) d'une hauteur supérieure à la tige-sujet. Les différences de hauteur étaient estimées visuellement. Ainsi, les tiges ayant une différence de hauteur de moins de deux mètres ont été considérées comme ayant la même hauteur.

Plusieurs indices de compétition ont été testés afin de vérifier lequel possède la meilleure corrélation avec la croissance (Tableau 3). Les différences les plus importantes entre ceux-ci sont : a) la présence ou non du terme de distance entre la tige-sujet et les tiges-compétition; 2) l'utilisation du diamètre ou de la surface terrière des tiges-sujets et des tiges-compétition; et 3) le choix des tiges-compétition considérées dans l'indice en fonction de leur classe de position de cime.

Récolte des carottes et travaux de laboratoire

Quatre carottes ont été prélevées à 1,30 mètre de hauteur sur chaque tige-sujet selon les points cardinaux. Le numéro de la tige-sujet et son orientation furent inscrits sur chaque échantillon.

Tableau 3. Formules de calcul et tiges considérées pour chacun des indices de compétition testés

Indices	Tiges-compétition considérées	Formules de calcul
IC1	toutes	$NB_{sup} + NB_{ég} + NB_{inf}$
IC2	toutes	$1 * NB_{inf} + 2 * NB_{ég} + 3 * NB_{sup}$
IC3	toutes	ERS : $1 * NB_{ég} + 10 * NB_{sup}$ BOJ : $2 * NB_{inf} + 1,5 * NB_{ég} + 4 * NB_{sup}$
IC4	toutes	$\bar{O} ((DHP_c) / (DHP_s) / (DIST_{cs}))$
IC5	do-co	$\bar{O} ((DHP_c) / (DHP_s) / (DIST_{cs}))$
IC6	toutes	$\bar{O} ((DHP_c)^2 / (DHP_s)^2 / (DIST_{cs})^2)$
IC7	do-co	$\bar{O} ((DHP_c)^2 / (DHP_s)^2 / (DIST_{cs})^2)$
IC8	toutes	$\bar{O} ((DHP_c)^2 / (DHP_s)^2 / (DIST_{cs}))$
IC9	do-co	$\bar{O} ((DHP_c)^2 / (DHP_s)^2 / (DIST_{cs}))$
IC10	do-co	$\bar{O} ((DHP_c) / (DHP_s))$
IC11	do-co	$(DHP_s) / \bar{O} ((DHP_c)^2) / NB_t$
IC12	toutes	$\bar{O} ((ST_c) / (DIST_{cs}))$
IC13	do-co	$\bar{O} ((ST_c) / (DIST_{cs}))$
IC14	do-co	$\bar{O} ((ST_c) / (ST_s) / (DIST_{cs}))$
IC15	toutes	$\bar{O} ((ST_c) / (ST_s) / (DIST_{cs}))$

NB_{sup} : nombre de tiges-compétition de hauteur supérieure à la tige-sujet.

$NB_{ég}$: nombre de tiges-compétition de hauteur égale à la tige-sujet.

NB_{inf} : nombre de tiges-compétition de hauteur inférieure à la tige-sujet.

NB_t : nombre total de tiges-compétition.

DHP_c : diamètre à hauteur de poitrine d'une tige-compétition.

DHP_s : diamètre à hauteur de poitrine d'une tige-sujet.

$DIST_{cs}$: distance entre la tige-sujet et la tige-compétition.

ST_c : surface terrière d'une tige-compétition.

ST_s : surface terrière de la tige-sujet.

Préparation des échantillons

Dans un premier temps, les carottes récoltées sur chaque arbre échantillonné ont été séchées à l'air puis sablées avec du papier abrasif de 400 grains/po². Dans un second temps, le début et la fin des trois dernières périodes de cinq ans de croissance ont été identifiés à partir du cerne de l'été 2001 à l'aide d'un microscope Wild M7A.

Mesures

Une image numérique de chaque carotte a été prise pour être par la suite introduite dans ArcView 3.2. Après calibrage de l'échelle de l'image, les distances de croissance (largeur) des cernes correspondant aux périodes 2001-1997, 1996-1992 et 1991-1987 ont pu être mesurées au dixième de millimètre à l'aide de ce logiciel. Des fentes ayant apparues lors du séchage, elles ont été mesurées et leur largeur soustraite de la largeur du cerne. L'échantillonnage ayant eu lieu au cours de l'été 2002, le cerne de croissance de l'année en cours a été ignoré.

Analyses

Afin de comparer la croissance en diamètre des tiges pour les trois périodes étudiées (1997-2001, 1992-1996, 1987-1991), une analyse de variance à mesures répétées a été réalisée. Par la suite, une comparaison de moyennes a été effectuée à l'aide du test de Turkey-Kramer pour chacune des deux essences.

Après avoir testé l'absence d'interaction significative entre les covariables (DHP de la tige-sujet, pourcentage de mortalité en cime) et les éléments principaux (épaisseur du sol – mince ou épais; position de la cime – dominante, codominante, intermédiaire et opprimée; vigueur – vigoureux ou faible) avec la croissance en diamètre comme variable dépendante, un modèle d'analyse de covariance a été testé. Puisque la covariable dhp n'était pas significative ($p > 0,05$), elle a été exclue du modèle. Des modèles séparés pour l'érable à sucre et le bouleau jaune ont été développés.

Afin de vérifier s'il existe des différences de croissance entre les quatre classes de qualité ou entre les classes d'écorce, une analyse de variance (ANOVA) a été calculée pour

chacune de ces variables de manière indépendante, suivie du test de comparaison de Turkey-Kramer pour les variables significatives.

Pour la période 1997-2001, les relations entre la croissance en surface terrière des tiges-sujets et 1) les caractéristiques de cime et de tige de la tige-sujet ainsi que 2) les différents indices de compétition (voir Tableau 3) ont été testées à l'aide de la régression linéaire.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel NCSS (Hintze 1999).

Résultats

Croissance des tiges-sujets

Le taux moyen de croissance en diamètre pour le bouleau jaune (0,58 cm/5 ans) est inférieur à celui de l'érable à sucre (0,72 cm/5 ans) pour chacune des périodes analysées (Tableau 4). En faisant la moyenne de croissance en surface terrière pour les 15 dernières années pour les deux essences confondues, on obtient une croissance annuelle de 1,40 %. Par comparaison, Majcen (1997) rapporte pour des peuplements témoins de hêtre et d'érables de 25,2 m²/ha au lac Simon des accroissements annuels bruts de 0,41 m²/ha, soit un accroissement annuel de 1,6 %. Pour le bouleau jaune, les taux de croissance rapportés par Ward et Steven (1997) dans leur sommaire varient de 0,2 à 4,9 cm / 5 ans alors qu'au Québec, pour cette essence, Zarnovican et Laberge (1994) ont obtenu des taux de croissance variant entre 0,8 et 1,7 cm / 5 ans dans des peuplements éclaircis. Nos résultats de croissance pour le bouleau jaune sont donc généralement inférieurs à ceux retrouvés dans la littérature. Cette différence s'explique en partie par le fait que l'échantillonnage ait été réalisé 1) autant sur des tiges des strates opprimées, intermédiaires, co-dominantes que dominantes 2) dans des peuplements inéquiennes situés 3) au sud du Québec et 4) n'ayant pas été perturbés depuis 20 ans. La croissance relativement faible du bouleau jaune sur les sites échantillonnés dans le cadre de cette étude (till mince et épais en milieu de pente) suggère qu'une attention particulière doit être portée afin de favoriser cette essence davantage sur les sites les plus riches.

Tableau 4. Moyenne et écart-type de la croissance en diamètre (cm/5 ans) et en surface terrière (cm²/5 ans) par période quinquennale chez l'érable à sucre et le bouleau jaune

Essences	Croissance	Périodes			Moyenne
		1997-2001	1992-1996	1987-1991	
Érable à sucre	DHP	0,64 ± 0,04	0,73 ± 0,04	0,80 ± 0,04	0,72
Bouleau jaune	DHP	0,45 ± 0,04	0,59 ± 0,04	0,72 ± 0,05	0,58
Érable à sucre	ST ¹	68,28 ± 4,56	74,57 ± 4,71	78,98 ± 4,99	73,94
Bouleau jaune	ST	47,15 ± 3,65	59,38 ± 4,14	68,71 ± 4,85	58,41

¹S.T. : surface terrière.

Le taux de croissance moyen par période quinquennale va en diminuant de la période la plus ancienne à la plus récente, autant pour l'érable à sucre que pour le bouleau jaune (Tableau 4). Des différences significatives entre les périodes ont été obtenues pour ces deux essences (Figure 1). Cette observation s'explique par le fait que les peuplements échantillonnés ont subi des perturbations anthropiques importantes avant 1982 et que la canopée du peuplement s'est refermée progressivement depuis. Pour le bouleau jaune, une diminution de la croissance de 37 % a été observée pendant les 10 ans séparant les périodes quinquennales 1987-1991 et 1997-2001. En comparaison, une diminution de 20 % a été calculée pour l'érable à sucre. Cette différence peut être attribuée à la tolérance à l'ombre moindre du bouleau jaune. Ces résultats démontrent un changement relativement rapide du niveau de compétition après coupes de jardinage et suggèrent que des rotations plus courtes puissent maximiser la croissance, spécialement celle des essences moins tolérantes à l'ombre.

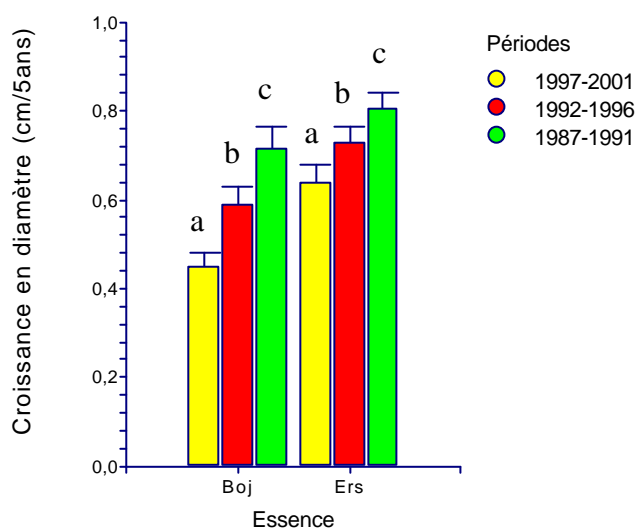


Figure 1. Croissance en diamètre par période quinquennale pour l'érable à sucre et le bouleau jaune.

Analyses de covariance

Des modèles d'analyse de covariance significatifs ont été développés pour l'érable à sucre et le bouleau jaune. Par ailleurs, ces modèles ont été calculés sans inclure les interactions entre les variables et les covariables puisqu'aucune de celles-ci s'est avérée significative pour les deux essences étudiées.

Érable à sucre

Pour l'érable à sucre, les variables position de cime, profondeur du site et mortalité en cime se sont révélées fortement significatives ($p < 0,05$) dans le modèle d'analyse de covariance, démontrant ainsi une influence certaine sur la croissance en diamètre des tiges (Tableau 5). C'est la variable position de cime qui explique le mieux la variabilité de la croissance ($R^2=0,17$), suivi de la variable mortalité en cime ($R^2=0,11$) et de la profondeur du sol ($R^2=0,07$). Les analyses révèlent que les variables vigueur et dhp de la tige-sujet ne sont pas corrélées avec la croissance ($p > 0,05$).

Tableau 5. Modèle d'analyse de covariance pour l'érable à sucre avec la croissance en diamètre comme variable dépendante

Modèle	DL	R ²	Moy. des carrés	F	Pr>F	Puissance
Ordonnée à l'origine	1		24,19			
Modèle	6	0,4169	0,3496	6,196	0,0001	0,9970
Mortalité en cime	1	0,1129	0,5679	10,064	0,0025	0,8756
Position de cime	3	0,1685	0,2826	5,010	0,0040	0,8946
Vigueur	1	0,0019	0,0097	0,172	0,6797	0,0692
Profondeur de site	1	0,0718	0,3613	6,403	0,0145	0,6997
Erreur	52	0,5831	0,0564			
Total corrigé	58	1,0000	0,0867			

L'analyse de la croissance par classe de position de cime révèle des différences significatives ($p < 0,05$) pour l'érable à sucre entre les tiges classées dominantes et celles intermédiaires, ainsi qu'entre les dominantes et les opprimées (Figure 2).

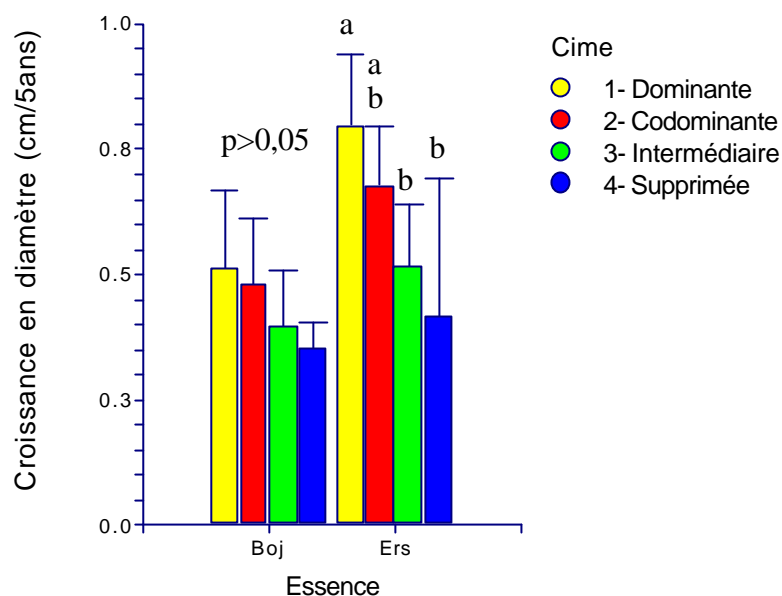


Figure 2. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classe de cime. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p=0,05$) entre les classes.

Cette relation entre la position de la cime des tiges et leur croissance en diamètre était attendue puisque déjà documentée par plusieurs auteurs pour des peuplements feuillus (Smith 1962; Marquis 1991). Pour la variable épaisseur du sol, les résultats démontrent une différence significative entre la croissance des érables situés sur sols minces (0,56 cm/5 ans) et ceux situés sur sols épais (0,73 cm / 5 ans) (Figure 3). Pour ce qui est du niveau du pourcentage de mortalité en cime, les résultats des analyses montrent une diminution de la croissance radiale avec une augmentation du pourcentage de mortalité en cime chez l'érable à sucre pour la période 1997-2001. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Renaud et Mofette (1991) qui montraient une réduction de la croissance des érables défoliés de plus de 25%. Ouimet et Fortin (1992) ont aussi noté une diminution linéaire de la croissance avec l'augmentation du dépérissement. Aucune relation significative entre la croissance en diamètre et le DHP des tiges-sujets n'a été obtenue pour les diamètres étudiés (24-50 cm) (Figure 4). Ce résultat indique que le dhp des tiges n'est pas corrélé avec la croissance en diamètre lorsque l'on compare des tiges ayant la même

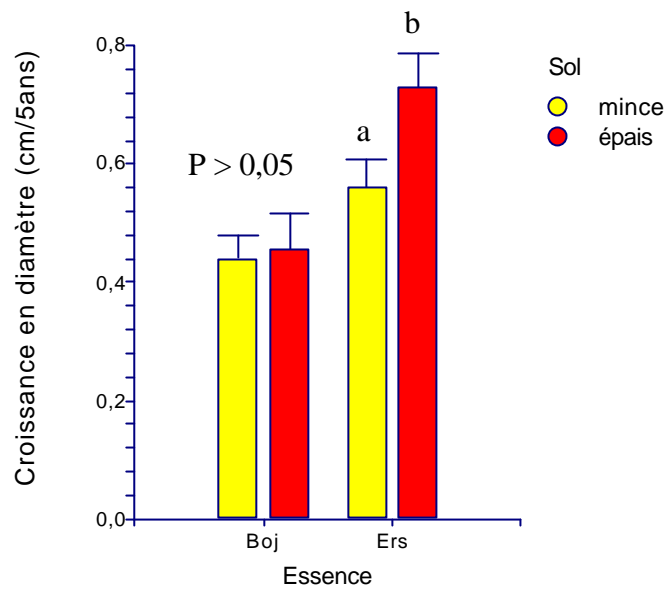


Figure 3. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classe de profondeur de sol. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p=0,05$) entre les classes.

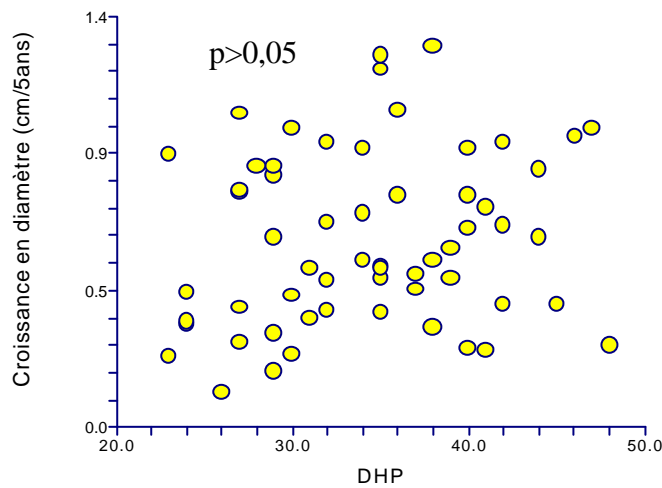


Figure 4. Croissance en diamètre (1997-2001) des tiges-sujets d'érable à sucre en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine.

position sociale. En effet, l'échantillonnage réalisé dans le cadre de cette étude incluait un nombre de tiges par classe de diamètre également réparti entre les classes de cime. La relation dhp-croissance mentionnée dans plusieurs études est en réalité due à l'effet de corrélation entre le dhp et la position sociale des tiges, spécialement pour les peuplements inéquiennes (Lorimer 1983; Marquis 1969).

La variable vigueur, composée des classes "vigoureux" et "faible", s'est avérée non significative bien que la croissance observée dans la classe "vigoureux" (0,73 cm/5 ans) soit plus élevée que celle notée chez les tiges classées faibles (0,60 cm/5 ans) (Figure 5). À ce sujet, il est important de noter que l'échantillonnage de tiges-sujets ne fut pas balancé chez l'érable à sucre par rapport aux classes de vigueur, le nombre d'arbres échantillonnés dans chacune des classes étant de 17, 2, 22 et 18. Par ailleurs, l'échantillonnage visant les tiges sans défauts apparents autres qu'un dépérissement de la cime fait en sorte que les tiges de vigueur 3 pourraient ne pas être représentatives des arbres de cette classe de vigueur.

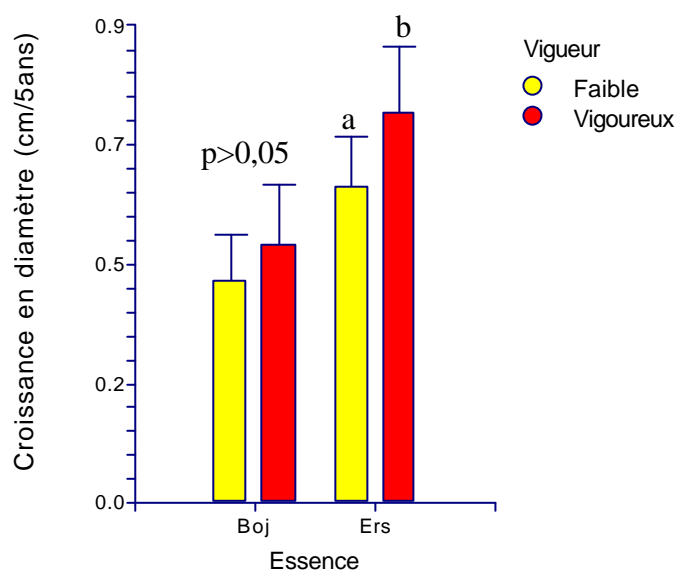


Figure 5. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune selon les classes de vigueur "vigoureux" et "faible". Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p=0,05$) entre les classes.

Bouleau jaune

Pour le bouleau jaune, seule la variable mortalité en cime s'est révélée significative ($p < 0,05$) dans le modèle d'analyse de covariance (Tableau 6). Ce paramètre explique environ 9 % de la variabilité de la croissance. Le résultat de l'analyse montre que les variables profondeur de site, position de la cime, dhp et vigueur ne sont pas corrélées avec la croissance en diamètre ($p > 0,05$).

Tableau 6. Modèle d'analyse de covariance pour le bouleau jaune avec la croissance en diamètre comme variable dépendante

Modèle	DL	R ²	Moy. des carrés	F	Pr>F	Puissance
Ordonnée à l'origine	1		12,23			
Modèle	6	0,1360	0,1017	1,417	0,0252	6,5054
Mortalité en cime	1	0,0880	0,3949	5,501	0,0227	0,6344
Position de cime	3	0,0480	0,0718	1,001	0,3996	0,2575
Vigueur	1	0,0169	0,0756	1,053	0,3093	0,1721
Profondeur de site	1	0,0003	0,0015	0,021	0,8848	0,5230
Erreur	54	0,0640	0,0718			
Total corrigé	60	1,0000	0,0748			

Tout comme pour l'érable à sucre, l'analyse montre chez le bouleau jaune une diminution de la croissance radiale avec une augmentation du pourcentage de mortalité en cime pour la période 1997-2001. La relation est cependant légèrement moins forte que pour l'érable à sucre.

Contrairement aux résultats obtenus pour l'érable à sucre, le position de cime n'a pas d'effet significatif sur la croissance des tiges de bouleau jaune bien qu'une tendance soit visible. En effet, la croissance des tiges tend à diminuer avec une position de cime plus basse, passant de 0,51 à 0,35 cm / 5ans (Figure 2). Le fait que la position de cime du bouleau jaune ne discrimine pas pour sa croissance est assez surprenant. Il est possible que les conditions de site soit un facteur plus limitant pour la croissance du bouleau jaune dans ces peuplements que la luminosité, ce qui expliquerait également la croissance

relativement faible de cette espèce obtenue sur ces sites. Pour la variable épaisseur du sol, et encore une fois par opposition à l'érable à sucre, les résultats pour le bouleau jaune révèlent aucune différence de croissance entre les sols minces (0,56 cm/5 ans) et épais (0,56 cm/5 ans), les valeurs de croissance moyenne étant très semblables (Figure 3).

Tout comme pour l'érable à sucre, aucune relation significative entre le DHP des tiges-sujets ou encore la vigueur de celles-ci n'a été obtenue avec la croissance en diamètre du bouleau jaune (Figures 5 et 6). La variable vigueur, composée des classes "vigoureux" et "faible", s'est avérée non significative, bien que la croissance de la classe "vigoureux" (0,49 cm/5 ans) soit plus élevée que celle des tiges classées faibles (0,42 cm/5 ans) (Figure 5). Il est intéressant de noter que pour le bouleau jaune, les quelques tiges de plus forts diamètres semblent avoir une croissance moindre qui pourrait indiquer un seuil au-delà duquel la croissance des arbres commence à diminuer (Figure 6). Cependant, le faible nombre de tiges au-delà de 40 cm de diamètre empêche de tirer des conclusions à savoir s'il s'agit d'une baisse de croissance à partir de ce diamètre.

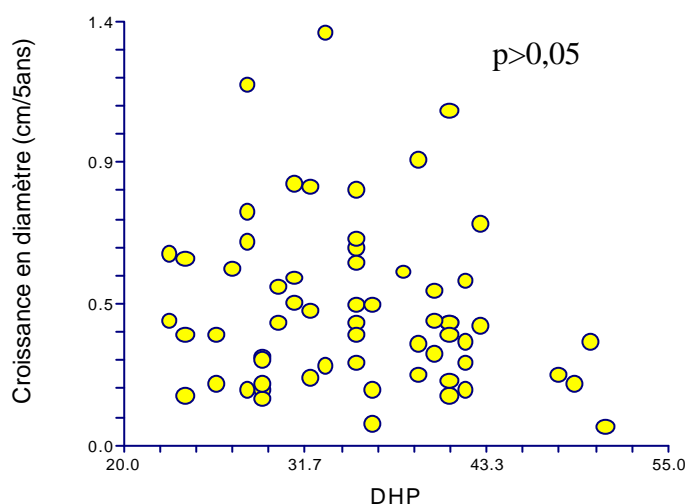


Figure 6. Croissance en diamètre (1997-2001) des tiges-sujets d'érable à sucre en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine.

Classes de qualité de tige et de vigueur d'écorce

Les résultats des analyses de variance montrent qu'il n'y a pas de relation significative entre les différentes classes de qualité de tige que ce soit pour l'érable à sucre ou le bouleau jaune, quoique des écarts existent entre les croissances moyennes. Il ressort de cette analyse que les tiges classées qualité D (0,55 cm / 5 ans) pour l'érable à sucre ont tendance à avoir une croissance inférieure aux tiges de qualité B (0,69 cm / 5 ans) et C (0,69 cm / 5 ans), alors que pour le bouleau jaune la moins bonne croissance est associée aux tiges classées A (Figure 7). Ces résultats ne sont pas surprenants puisque cette classification qui tient compte principalement des défauts observés dans les cinq premiers mètres à partir du sol est basée sur le diamètre des arbres.

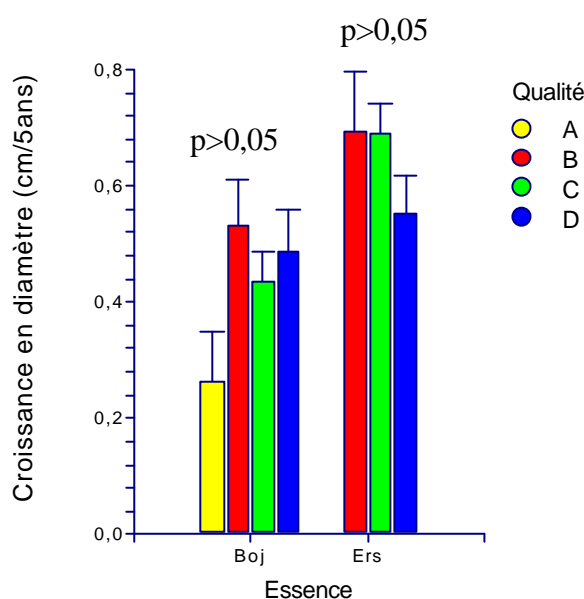


Figure 7. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classe de qualité.

Une différence significative entre les classes d'écorce a été identifiée pour le bouleau jaune (Figure 8). Pour les tiges avec l'écorce classée "forte", la croissance moyenne obtenue est de 0,56 cm / 5 ans alors qu'elle est de 0,38 cm / 5 ans pour la classe "faible". Il est donc

possible, pour des travailleurs forestiers avec peu d'expérience d'évaluation de la vigueur par l'écorce, de discriminer la croissance des tiges de bouleau jaune sur la base de ce critère. Il semble cependant que ce paramètre soit beaucoup moins fiable pour l'érable à sucre puisque la même analyse s'est avérée non significative.

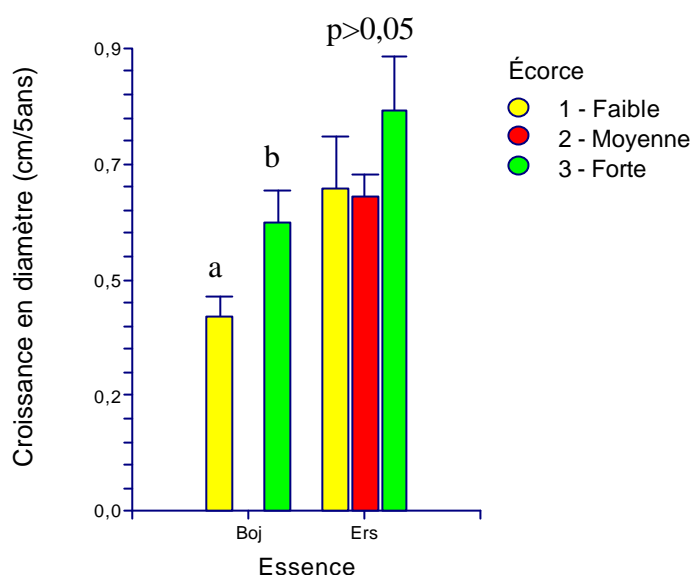


Figure 8. Croissance en diamètre de l'érable à sucre et du bouleau jaune par classe d'écorce. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p=0,05$) entre les classes.

Caractéristiques de tige et de cime des tiges-sujets

Les résultats de l'analyse de régression démontrent une relation significative entre la hauteur des tiges-sujet et la croissance en surface terrière chez l'érable à sucre ($p=0,01$; $R^2=0,10$) (Figure 9). Cette relation n'est toutefois pas significative chez le bouleau jaune ($p>0,05$). En ce qui concerne la variable volume de cime, la relation est également significative uniquement pour l'érable à sucre ($p=0,001$; $R^2=0,17$) (Figure 10). Quant à la relation entre la croissance et la proportion de cime vivante, elle est significative que pour le bouleau jaune ($p=0,0188$; $R^2=0,09$) (Figure 11).

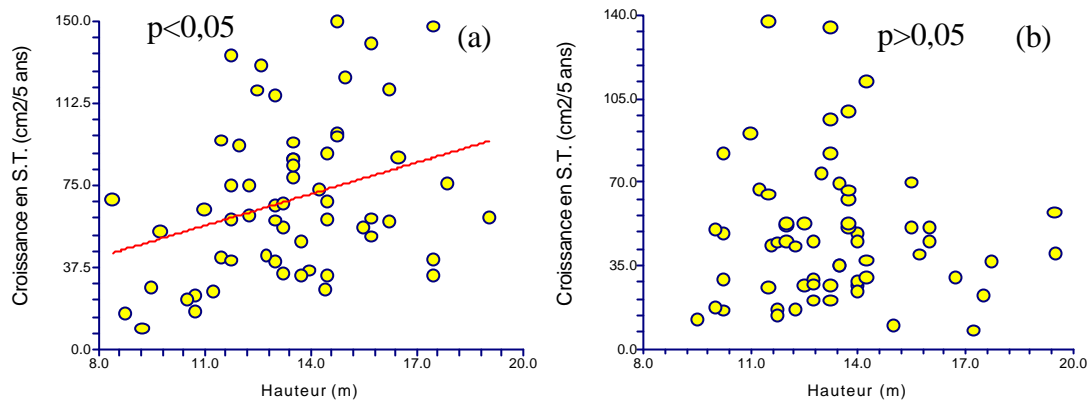


Figure 9. Croissance en surface terrière (1997-2001) en fonction de la hauteur de la tige-sujet pour l'érable à sucre (a) et le bouleau jaune (b).

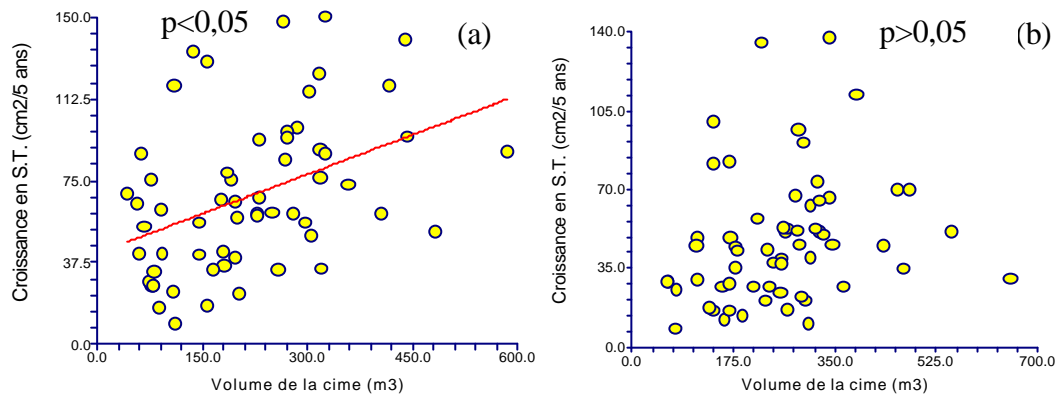


Figure 10. Croissance en surface terrière (1997-2001) en fonction du volume de cime de la tige-sujet pour l'érable à sucre (a) et le bouleau jaune (b).

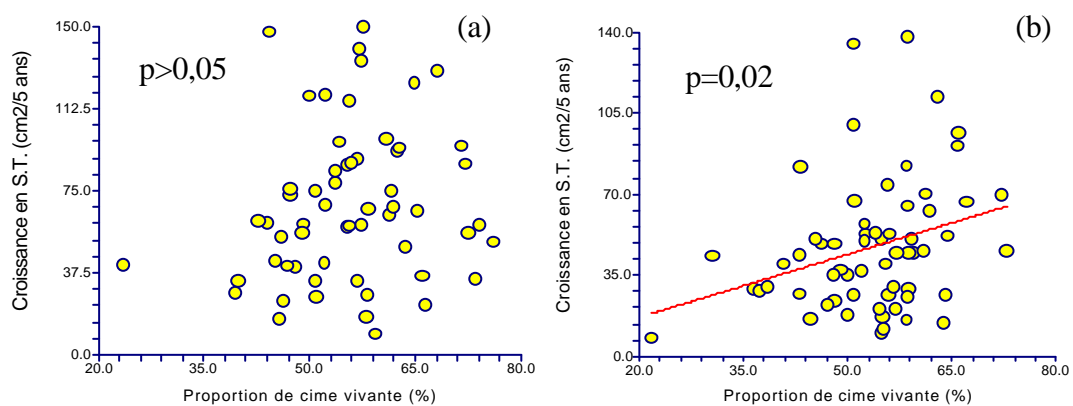


Figure 11. Croissance en surface terrière (1997-2001) en fonction de la proportion de cime vivante de la tige-sujet pour l'érable à sucre (a) et le bouleau jaune (b).

Indices de compétition

De manière générale, les coefficients de corrélation obtenus en utilisant la croissance en surface terrière étaient meilleurs que ceux observés avec la croissance en diamètre. Par ailleurs, un plus grand nombre d'indices ont été trouvés significatifs chez l'érable à sucre comparativement avec le bouleau jaune (Tableau 7). Les meilleurs coefficients de corrélation obtenus sont de l'ordre de 0.34 pour l'érable à sucre et de 0.21 pour le bouleau jaune, résultats inférieurs aux corrélations obtenues par plusieurs auteurs en forêt de feuillus intolérants équiennes (Holmes et Reed, 1991). Lorimer (1983) a testé différents indices de compétition dans des peuplements équiennes d'érable à sucre et de bouleau jaune en utilisant un rayon de recherche correspondant à 3,5 fois la largeur moyenne des

Tableau 7. Corrélations linéaires significatives entre les indices de compétition et la croissance en diamètre et en surface terrière pour l'érable à sucre et le bouleau jaune

	Érable à sucre		Bouleau jaune	
	Diamètre	S.T.	Diamètre	S.T.
IC1	---	---	0,096	0,157
IC2	0,147	0,168	0,144	0,207
IC3	0,181	0,194	0,151	0,214
IC4	0,075	0,156	---	0,075
IC5	0,220	0,317	---	---
IC6	---	---	---	---
IC7	0,174	0,231	---	---
IC8	0,185	0,303	---	---
IC9	0,237	0,346	---	---
IC10	0,197	0,264	0,092	0,170
IC11	---	---	---	---
IC12	0,162	0,123	---	---
IC13	0,249	0,228	0,109	---
IC14	0,237	0,346	---	---
IC15	0,185	0,300	---	---

cimes du peuplement échantillonné. Il a obtenu des coefficients de corrélation légèrement supérieurs mais qui varient fortement d'un site à l'autre. Les coefficients de corrélation des indices calculés à partir des tiges-compétition dominantes ou codominantes ont été presque sans exception supérieurs à ceux incluant l'ensemble des tiges-compétition répertoriées lors de l'inventaire au prisme. Le meilleur indice pour l'érable à sucre est le IC14 qui utilise la surface terrière des tiges-compétition et des tiges-sujets ainsi que la distance entre ces deux tiges. Pour le bouleau jaune, le meilleur indice est le IC3 qui consiste en la somme du nombre de tiges-compétition pondérée en fonction de la position de la cime de celles-ci par rapport à la position de la cime de la tige-sujet. L'utilisation de régressions non linéaires permettrait d'améliorer légèrement certains des coefficients de corrélation (voir Figures 12 et 13).

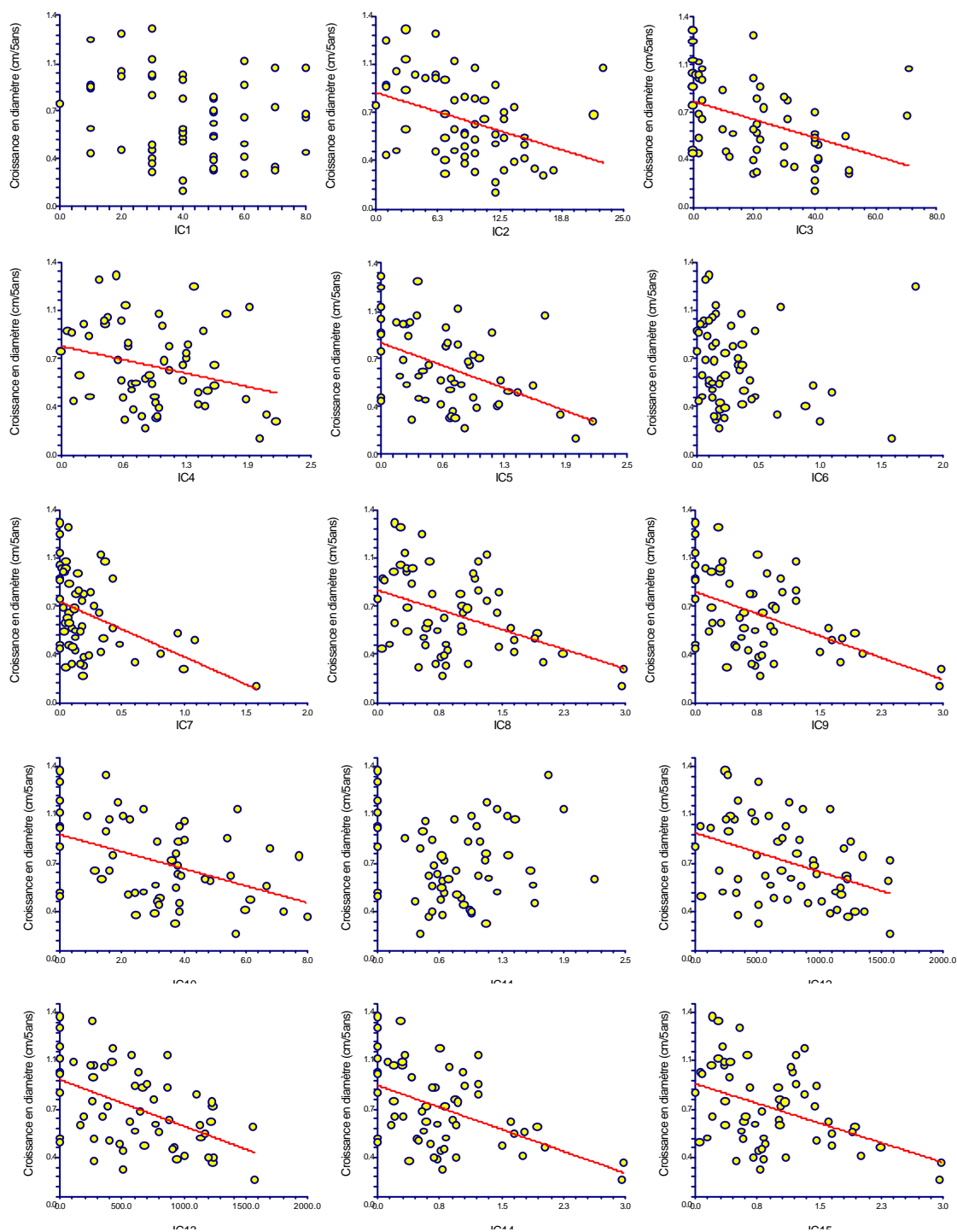


Figure 12. Relations entre la croissance en diamètre et les 15 indices de compétition testés pour l'érable à sucre.

Étude de la croissance de l'érable à sucre et du bouleau jaune

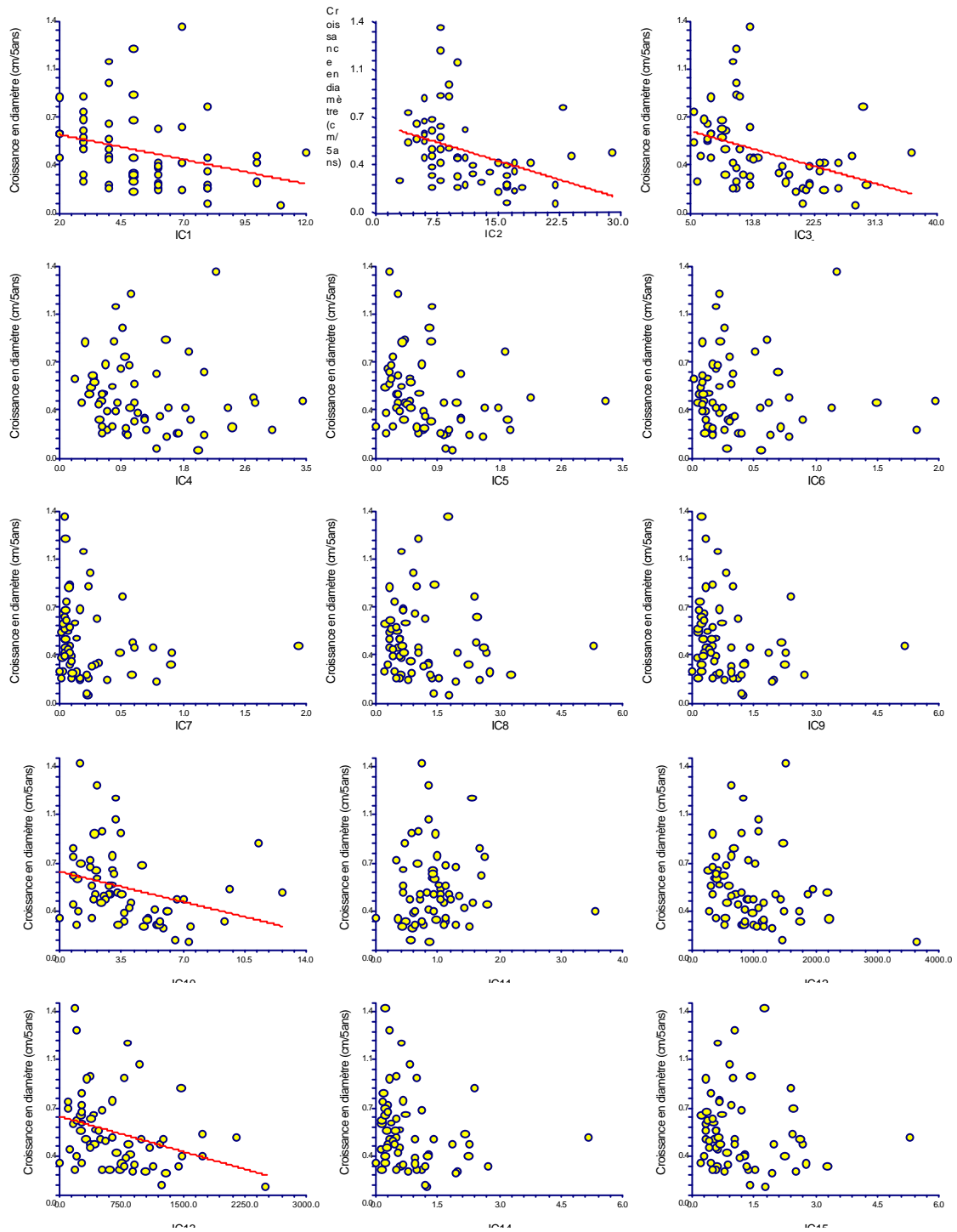


Figure 13. Relations entre la croissance en diamètre et les 15 indices de compétition testés pour le bouleau jaune.

Conclusion

Dans cette étude, nous avons voulu vérifier l'effet de plusieurs indices et variables sur la croissance en diamètre des tiges de bouleau jaune et d'érable à sucre. Plusieurs résultats importants ressortent de cette étude :

- Les indices de compétition intégrant le diamètre relatif ou la surface terrière relative des tiges qui sont présentés dans la littérature expliquent assez bien la croissance, bien que les relations obtenues avec le bouleau jaune soient un peu moins bonnes. Ces indices ont l'avantage de se mesurer facilement et donc de permettre un échantillonnage peu coûteux.
- La variable mortalité en cime est une des variables testées le plus fortement corrélée avec la croissance des tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune. Cette variable aurait intérêt à être utilisée dans les futurs projets de modélisation.
- Des modèles d'analyse de covariance permettent d'expliquer, avec seulement quelques variables, une proportion importante de la variabilité au niveau de la croissance en diamètre des tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune. Ces modèles pourront contribuer à la modélisation de la croissance de ces deux essences.
- Bien que le dispositif expérimental dans le cadre de cette étude ne soit pas optimal pour vérifier la corrélation entre les classes de vigueur et la croissance, les résultats démontrent aucune corrélation significative entre la croissance des tiges et les classes de vigueur vigoureux-faible ainsi qu'avec les classes de qualité.
- Une diminution rapide de la croissance des tiges des deux essences a été remarquée dans les années suivant les perturbations anthropiques comme le jardinage. Des prélèvements moins sévères jumelés à des rotations plus courtes permettraient d'améliorer le rendement des forêts. Des analyses sont nécessaires afin de vérifier l'optimum au niveau économique.

- Les tiges de bouleau jaune échantillonnées ont démontré des croissances relativement faibles. Cette observation devrait nous rappeler de favoriser cette essence surtout sur les sites riches là où sa croissance est meilleure.
- L'estimation de la croissance des tiges de bouleau jaune à partir d'observations visuelles s'est avérée concluante pour cette espèce puisque des différences importantes entre les classes ont été observées.

Les renseignements amassés dans le cadre de cette étude auront permis d'améliorer notre compréhension des facteurs affectant la croissance des tiges dans le contexte des forêts feuillues inéquiennes du sud du Québec. Il s'agit d'un premier pas vers le développement d'un modèle qui permettra de simuler avec précision les effets des coupes de jardinage sur la croissance, et ainsi permettre de choisir les paramètres du traitement les mieux adaptées à un peuplement forestier donné.

Références

- Brassard, F. 2002.** La pathologie forestière au service de la coupe de jardinage. Direction des programmes forestiers, Service de l'aménagement forestier, MRN. 2^{ème} colloque de la Table en recherche et développement et transfert technologique de l'Outaouais, Maniwaki, 23 mai 2002.
- Crow, T.R., R.D. Jacobs, R.R. Oberg et C.H. Tubbs. 1981.** Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St-Paul, Minnesota, Research Paper NC-199, 16 p.
- Ellis, R.C. 1978.** Response of crop trees of sugar maple, white ash, and black cherry to release of fertilization. *Can. J. For. Res.* 9 : 179-188.
- Gosselin, J.P. et J.-P. Saucier. 1999.** Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul de l'ouest. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction des inventaires forestiers.
- Hintze, J.L. 1999.** NCSS 2000. User's guide-1. Number cruncher statistical systems. Kaysville, Utah. 570 p.
- Hix, D.M. et C.G. Lorimer. 1990.** Growth-competition relationships in young hardwood stands on two contrasting sites in Southwestern Wisconsin. *For. Sci.* Vol 36(4) : 1032-1049.
- Holmes, M.J. et D.D. Reed. 1991.** Competition indices for mixed species in northern hardwoods. *For. Sci.* Vol 37(5) : 1338-1349.
- Lejeune, P. 1996.** Développement d'un modèle de type d'arbre appliqué à la croissance des peuplements feuillus irréguliers du sud de la Belgique. *Can. J. For. Res.* 26 : 1838-1848.
- Lorimer, C.G. 1983.** Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *For. Ecol. Manage.* 6: 343-360.
- Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier. 1990.** Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Ministère de l'Énergie et de Ressources, Québec, Guide technique.
- Majcen, Z. 1997.** Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs forestiers : accroissement décennal en surface terrière et état de la régénération. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Gouvernement du Québec, Mémoire de recherche forestière no 129, 48 p.

- Marquis, D.A. 1969.** Thinning in young northern hardwoods: 5-years results. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station, Broomal, PA. Research Paper NE-139, 22 p.
- Marquis, D.A. 1991.** Independent effects and interactions of stand diameter, tree diameter, crown class, and age on tree growth in mixed-species, even-aged hardwood stands. *In* Proceedings, 8th Central Hardwood Forest Conference. Pp. 442-458. USDA Forest Service. Gen. Tech. Rep. NE-148.
- OMNR. 2001.** Ontario Tree Marking Guide. Version 1.1. Ontario Ministry of Natural Resources, Queen's Printer for Ontario, Toronto, Ontario. 228 p.
- Ouimet, R. et J.-M. Fortin. 1992.** Growth and foliar nutrient status of sugar maple: incidence of forest decline and reaction to fertilization. *Can. J. For. Res.* 22 : 699-706.
- Québec. 1999.** Méthodes d'échantillonnage pour les suivis des interventions forestières – exercice 1999-2000. Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 135 p. + annexes.
- Renaud, J.-P. et Y. Mauffette. 1991.** The relationships of crown dieback with carbohydrate content and growth of sugar maple (*Acer saccharum*). *Can. J. For. Res.* 21 : 1111-1118.
- Robitaille, A. et J.P. Saucier. 1998.** Paysages régionaux du Québec méridional. Éd. Les publications du Québec, Ste-Foy, Québec, Canada. 213 p.
- Singer, M.T. et C.G. Lorimer. 1997.** Crown release as a potential old-growth restoration approach in northern hardwoods. *Can. J. For. Res.* 27 : 1222-1232.
- Smith, D.M. 1962.** The practice of silviculture. 7th ed., John Wiley & Sons, New York.
- Winsauer, S.A. et J.A. Mattson. 1992.** Calculating competition in thinned northern hardwoods. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St-Paul, Minnesota. Research Paper NC-306. 16 p.
- Zarnovican, Z. et C. Laberge. 1994.** Réaction des principales essences feuillues à l'éclaircie de mise en lumière dans une érablière à bouleau jaune en Estrie. Ressources naturelles Canada. Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Rapport informatif LAU-X-109.