COMPARAISON DE LA CROISSANCE ET DE LA QUALITÉ EXTERNE ET INTERNE DES TIGES DE FEUILLUS NOBLES EN ESTRIE APRÈS L'ÉCLAIRCIE PRÉCOMMERCIALE SYSTÉMATIQUE ET PAR PUITS DE LUMIÈRE

Rapport final

Présenté à

Agence de mise en valeur de la forêt privée de l'Estrie

Mars 2010

Institut québécois d'Aménagement
de la Forêt feuillue

Équipe de réalisation de l'IQAFF*

Coordonnateurs scientifiques et de rédaction : Issifi Boureima, B. Sc M. Sc.
Frédérik Doyon, Ing. f., Ph. D.

Équipe technique : Srdjan Ostojic
Régis Pouliot
Mario Dionne, Ing. f. (Agence Estrie)
Sophie-Eve Adam-Meunier

*IQAFF : Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue
58 Principale, Ripon, Québec, J0V 1V0
Tél : 819-983-6589 ; Fax : 819-983-6588
Courriel : iqaff@iqaff.qc.ca
Site internet : www.iqaff.qc.ca

Pour citation :

Boureima I. et Doyon F. 2010. Comparaison de la croissance et de la qualité externe et interne des tiges de feuillus nobles en Estrie après l'éclaircie précommerciale systématique et par puits de lumière. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport final. 40 p.

Table des matières

Équipe de réalisation de l'IQAFF* ii

Table des matières III

Liste des tableaux VI

Remerciements viii

Résumé ix

1. Introduction 1

2. Objectifs 3

3. Méthodologie 4

3.1 Territoire de l'étude et sites expérimentaux 4

3.2 Échantillonnage 6

3.2.1 Échantillonnage non destructif 6

3.2.1.1 Placettes d'inventaire 6

3.2.1.2 Mesures non destructives 6

3.2.1.2.1 Variables dendrométriques 6

3.2.1.2.2 Variables de qualité externe 6

3.2.2 Échantillonnage destructif 7

3.2.2.1 Découpe des arbres entiers 7

3.2.2.2 Découpage des billes de huit pieds et préparations des planches d'observations 7

3.2.2.3 Mesures destructives 9

3.2.2.3.1 Mesures de qualité interne du bois 9

3.2.2.3.2 Mesures en laboratoire 12

3.2.2.3.2.1 Découpe et préparation des rondelles de bois 12

3.2.2.3.2.2 Mesure de la croissance radiale avant et après les traitements 12

3.2.2.3.2.3 Âge des peuplements 13

3.3 Analyses 14

3.3.1 Classification des tiges selon les normes de Sonderman (Lee and Weber 1979) 14

3.3.2 Analyses statistiques 16

3.3.2.1 Analyses à l'échelle des peuplements 16

3.3.2.1.1 Âge des peuplements 16

3.3.2.1.2 Vérification de l'applicabilité d'une analyse de covariance (ANCOVA) 16

3.3.2.1.2 ANOVA et autres analyses: 16

3.3.2.2 Analyses à l'échelle des tiges 17

4.1 Âge des peuplements 18

4.2 Effets des traitements sur les variables de croissance 19

4.2.1 Croissance radiale 19

4.2.2 Le DHP 20

4.2.3 La croissance en hauteur 21

4.3 Effets des traitements sur les variables de qualité 22

4.3.1 Qualité externe 22

4.3.1.1 Défauts externes et distribution des tiges élites entre les traitements 22

4.3.1.2 Le défilement des tiges 23

4.3.2 Qualité interne du bois 24

4.3.2.1 Bois blanc, bois de coloration et défauts internes 24

4.3.2.2 Relations entre les variables externes et internes des tiges 28

5. Discussion 29

5.1 Croissance des tiges avant et après les traitements 29

5.2 Qualité potentielle externe des tiges 30

5.2.1 Proportion des classes de phénotypes 31

5.2.2 Qualité interne du bois : coloration du cœur et défauts internes 32

5.2.2.1 Analyses à l'échelle des peuplements 32

5.2.2.2 Analyses à l'échelle des tiges 33

6. Conclusion et implications pour l'aménagement 34

7. Références 36

Liste des tableaux

Tableau 1. Normes de classifications de la qualité potentielle des jeunes tiges (modifiées de Sonderman 1979) 15

Tableau 2. Âge des peuplements 18

Tableau 3. Comparaison (ANOVA) des variables dendrométriques et de croissance pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. 19

Tableau 4. Proportion des classes de qualité potentielle suivant les traitements pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. ... 22

Tableau 5. Comparaison (ANOVA) des variables de qualité interne pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. 26

Tableau 6. Comparaison (ANOVA) des variables de qualité pour l'érable à sucre et le bouleau jaune par section de bille de 8 pieds après avoir été traités par éclaircie précommerciale. 27

Listes des figures

Figure 1. Territoire de l'étude 5

Figure 2. Billes découpées par tranches de 2 cm. 7

Figure 3. Préparation des surfaces de lecture des échantillons. 3a. Face brute avant planage et rabotage. 3b. Rabotage après planage sur les parties demandant une préparation additionnelle. 8

Figure 4. Grands défauts et bois de coloration chez l'érable à sucre et le bouleau jaune. ... 11

Figure 5. Stéréo-microscope Leica MZ125 (40x) et table de mesure micrométrique Velmex utilisés pour les analyses dendrochronologiques 13

Figure 6. Comparaison des moyennes de la croissance radiale 5 ans après traitement. Pour chaque espèce, les moyennes ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (P> 0,05, test de comparaison multiple de LSD). Les barres représentent l'écart type des échantillons. 20

Figure 7. Comparaison (ANOVA) des diamètres à hauteur poitrine (DHP) pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. ... 20

Figure 8. Comparaison des moyennes de la croissance moyenne en hauteur (m/an) pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. 21

Figure 9. Proportion des phénotype A et B pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale 23

Figure 10. Comparaison des moyennes du défilement des tiges pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. 24

Figure 11. Comparaison des moyennes de la proportion du bois blanc pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. 24

Figure 12. Comparaison des moyennes de la proportion du bois coloré pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale. 25

Figure 13. Variation du bois blanc avec le DHP chez le bouleau jaune 28

Figure 14. Variation du bois blanc avec le DHP chez l'érable à sucre 28

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord à l'Agence de mise en valeur de la forêt privée de l'Estrie (AMFE), promoteur de ce projet, pour l'excellent partenariat de ses représentants dans la réalisation de ce projet. Nous remercions particulièrement madame Marie-Josée Martel et monsieur Normand Bérubé pour leur excellente collaboration pendant la réalisation de toutes les phases de ce projet. Nos remerciements vont aussi envers Régis Pouliot (IQAFF) et Mario Dionne (AMFE) pour la qualité de leurs travaux au cours de la phase du terrain. Nous remercions aussi les responsables du moulin de la ferme des Montagnes Noires pour avoir effectué un excellent travail lors de la découpe des billes.

Cette étude a été rendue possible grâce à une excellente équipe de techniciens de laboratoire et nos remerciements vont donc à Sophie Adam Meunier, Srdjan Ostojic et Samir Benamirouche pour l'excellent travail qu'ils ont accompli, de la préparation des échantillons aux mesures en laboratoire. Un remerciement et une reconnaissance spéciale pour Srdjan Ostojic qui s'est blessé au cours de la préparation des planches. En prélude aux analyses de la qualité interne, nous avons eu l'occasion d'échanger avec l'équipe des mesureurs de bois de la scierie Lauzon (Thurso) Ressources Forestières.

La révision du document a été réalisée par Mélissa Farndon-Côté (IQAFF). Plusieurs corrections ont aussi été apportées au document suite à la lecture attentive du document par Marie-Josée Martel et Lise Beauséjour de l'AMFE et nous les en remercions grandement.

La réalisation de ce projet a surtout été rendue possible grâce au financement de l'AMFE et du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune dans le cadre de son Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier - Volet II. Enfin, nos remerciements vont aux propriétaires des peuplements étudiés, soient monsieur Girard et les compagnies Paul–Aimé Fontaine inc, Sintra inc et Domtar inc, qui ont autorisé la prise des données et la récolte des arbres échantillonnés, étapes essentielles à la réussite de ce projet.

Résumé

Au Québec, depuis les années 1990, deux approches d'éclaircie précommerciale sont habituellement utilisées dans la conduite des jeunes forêts feuillues : l'éclaircie systématique et le dégagement par puits de lumière. Il existe cependant peu d'information concernant les différences réelles des impacts de ces deux approches sylvicoles sur le gain en croissance et le maintien de la qualité interne et externe des tiges, ce qui ne facilite pas le choix des gestionnaires pour optimiser leurs interventions dans les jeunes peuplements feuillus. Cette étude avait donc comme premier objectif de comparer, à l'échelle des peuplements, les effets de ces deux approches sylvicoles sur la croissance et la qualité des tiges du bouleau jaune et de l'érable à sucre. Le second objectif était d'étudier, à l'échelle des tiges, la variation des indicateurs de la qualité interne pour les deux espèces. L'étude a été réalisée sur des terres privées de l'Estrie. Le dispositif expérimental était composé de trois traitements (systématique, puits de lumière et témoin) avec 4 répétitions. Les peuplements étaient âgés entre 26 et 33 ans et les traitements d'éclaircie précommerciale avaient été effectués lorsque ceux-ci avaient entre 12 et 15 ans. L'espacement moyen utilisé entre les tiges était de 1,5 m pour les traitements systématiques et de 0,75 m (par rapport aux cimes) pour les puits de lumière.

Une analyse de covariance n'a montré aucune influence de la différence d'âge et de hauteur des peuplements sur les variables étudiées. A l'échelle des peuplements, les résultats ont montré que la croissance radiale 5 ans avant les traitements d'éclaircie était la même dans les 12 peuplements étudiés. Par contre, la croissance radiale 5 ans après les traitements a augmenté dans les traitements d'éclaircie comparativement aux témoins pour le bouleau jaune. Toutefois, chez l'érable à sucre, la croissance radiale 5 ans après n'a pas varié dans le cas des puits de lumière comparativement aux témoins. Pour ce qui est du DHP, les résultats ont montré que celui-ci était supérieur dans les deux traitements, comparativement aux témoins, et ce, pour les deux espèces, dû à l'effet combiné de la sélection et de la croissance stimulée par le dégagement accru de l'éclaircie précommerciale.

Sur le plan de la qualité externe des tiges, pour les deux espèces, les traitements d'éclaircie ont légèrement diminué la proportion en tiges élites présentant un phénotype propre à produire du sciage par rapport à celle observée dans les peuplements témoins. Cette diminution de la proportion en tiges élites « sciage » est moindre cependant dans le cas de l'éclaircie par puits de lumière. Sur le plan de la qualité interne, l'importance des défauts n'a pas varié entre les traitements tandis que la coloration interne du bois était plus importante dans le témoin que dans les traitements d'éclaircie, lesquels présentaient une plus grande proportion de bois blanc (environ 15%) chez les deux espèces. Le DHP a montré une forte relation positive avec le bois

blanc chez les deux espèces. Le bois blanc a maintenu la même proportion sur toutes les sections de la longueur de la première bille de huit pieds et l'importance des défauts n'a pas varié entre les sections sur toute la longueur des billes étudiées.

À l'égard de ces résultats, nous avons émis les conclusions suivantes:

- Pour le bouleau jaune, les deux approches d'éclaircie semblent agir similairement sur la croissance et la qualité des tiges. Nous estimons que la bonne réponse de la croissance serait liée à l'âge auquel l'éclaircie a été effectuée (12 à 15 ans), ce qui correspond à la période optimale d'une éclaircie précommerciale pour le bouleau jaune, comme de nombreuses études l'ont prouvée. Aussi, le maintien de la qualité des tiges serait lié à la faible intensité de l'éclaircie qui semble maintenir l'auto-élagage autour d'une large proportion de tiges résiduelles dans le cas des deux approches d'éclaircie étudiées;

- Pour l'érable à sucre, l'éclaircie précommerciale par puits de lumière n'a pas favorisé la croissance radiale des 5 premières années après traitement comparativement à l'éclaircie systématique. Les traitements d'éclaircie et les témoins ont montré une bonne croissance en hauteur des tiges d'érable à sucre. Nous avons émis l'hypothèse que cela est dû à la qualité des sites étudiés qui semblent avoir un bon indice de qualité de station exprimé par une forte croissance en hauteur des érables (14 m de hauteur moyenne à 33 ans dans les témoins, soit 0,42 m/an). Pour ce qui est de la qualité externe des tiges, on note que les traitements d'éclaircie ont réduit la proportion en tiges élites présentant un phénotype de qualité « sciage » et que cette diminution est plus importante pour l'éclaircie systématique.

- La qualité interne s'est vue être améliorée dans les traitements d'éclaircie puisque l'éclaircie précommerciale favorise le maintien du bois blanc chez les deux espèces. Cela est d'autant plus plausible avec la forte relation observée entre le DHP et le bois blanc, puisque le DHP est aussi influencé par l'éclaircie. On note une tendance non-significative (P=0.11) à observer un nombre plus faible de grands défauts internes chez l'érable à sucre dans les traitements d'éclaircie précommerciale.

- Les caractéristiques internes du bois (coloration et défauts) semblent être uniformes sur toute la longueur de la première bille de huit pieds.

Ces conclusions nous amènent à faire les recommandations suivantes :

- Pour l'éducation des jeunes peuplements à dominance de bouleau jaune, nous encourageons les gestionnaires à choisir la moins coûteuse des approches d'éclaircie

précommerciale à faible intensité, puisque d'un point de vue sylvicole, elles semblent toutes deux favoriser cette espèce tant sur le plan de la croissance que sur celui du maintien de la qualité des tiges;

- Pour l'érable à sucre, sur une base stricte du maintien EN PROPORTION de la qualité, l'éclaircie précommerciale par puits de lumière est l'option la plus prudente. Par contre, comme la croissance est fortement supérieure dans l'éclaircie précommerciale systématique (soit 100% plus que le témoin) que dans l'éclaircie par puits de lumière (seulement 25% supérieur au témoin), que l'éclaircie systématique maintient tout même 72% de la proportion de tige élites en phénotype « sciage », et qu'une plus grande proportion en bois blanc est favorisée par une meilleure croissance, il est fort probable que le compromis croissance/qualité nous amène à privilégier l'éclaircie systématique sur une base de production totale de bois de qualité. Une analyse plus approfondie du volume de qualité produit serait alors nécessaire pour départir la quelle de ces deux approches est la plus avantageuse. Rappelons ici que l'éclaircie systématique utilisée était de faible intensité (1,5 m entre les tiges).

- Enfin, d'un point vue technique, nous estimons qu'en l'absence d'une autre norme de classification de la qualité des jeunes tiges, celle utilisée (Sonderman 1979) dans le cadre de cette étude pourrait être efficace pour dresser le portait de la qualité potentielle des jeunes tiges feuillues.

1. Introduction

L'éclaircie précommerciale est la principale pratique sylvicole utilisée dans la conduite des jeunes peuplements équiennes. Elle est recommandée souvent pour modifier la composition des espèces, notamment dans les peuplements feuillus naturels issus d'une coupe à blanc dans lesquels prédominent les essences pionnières (Del Degan, Massé 1996). Elle peut être aussi recommandée pour accélérer la croissance des tiges lorsque les essences recherchées prédominent déjà (Sonderman 1986, Lamson et Smith 1987, Miller 2000). Plusieurs approches d'éclaircie précommerciale sont décrites dans la littérature. Ainsi, suivant les régions, les différentes pratiques d'éclaircie précommerciale ont évolué en formant principalement deux grands groupes d'approches sylvicoles : contrôle de la densité du peuplement ou de l'environnement de compétition autour de tiges individuelles élites.

Le premier groupe qui vise un contrôle de la densité à l'échelle des peuplements utilise l'approche de l'éclaircie systématique ou éclaircie en plein, où le dégagement se fait par espacements moyens entre les tiges sur l'ensemble du peuplement. Dans ces conditions, l'effort sylvicole est réparti sur l'ensemble des tiges résiduelles (Erdmann 1981, Forget et Doyon 2002; Lamson et Smith 1987; Zarnovican, 1998, 1994).

Le second groupe qui vise un contrôle de l'environnement de compétition autour des tiges individuelles élites utilise des approches de dégagement des tiges d'avenir ou puits de lumière, où le dégagement se fait aux environs des tiges élites préalablement sélectionnées, tout en laissant du bourrage autour de celles-ci (gainage) pour favoriser l'élagage naturel (Nowak, 1997; Miller 2000; Perkey, Wilkins et Smith 1994; Von, et al 1994).

Face à ces approches sylvicoles issues des deux familles d'éclaircie précommerciale, le choix des gestionnaires repose le plus souvent sur un objectif de gain en croissance à court et à moyen terme, au détriment d'une production de bois de qualité. De façon générale, on reconnaît dans la littérature les effets de l'éclaircie sur l'accélération de la croissance, mais l'idée d'une densité résiduelle optimale permettant une bonne croissance et une meilleure qualité des tiges reste encore mal connue (Erdmann 1981, Lamson et Smith 1987, Zarnovican 1994). L'absence d'une densité résiduelle optimale d'éclaircie dans la littérature est due au fait que les impacts réels des différentes approches d'éclaircie précommerciale sur la qualité des tiges n'ont pas été profondément étudiés par absence d'indicateurs clés qui font l'unanimité à cet égard. Il est toutefois admis dans la littérature que l'éclaircie, en offrant plus d'espace de croissance aux tiges résiduelles, retarde ou même supprime l'élagage naturel.

L'absence de l'élagage naturel pour ces tiges augmente les chances de développer des défauts. Dans ces conditions, on peut donc présager que l'éclaircie pourrait réduire la qualité des tiges (Robitaille et al. 1990). Toutefois, l'importance de ces défauts (branchaisons, fourches) dépend de l'intensité et du type de dégagement (Erdmann, Godman et Roberge 1975); Voorhis 1990; Lamson 1983, 1983).

Au Québec et dans le reste de l'Amérique du Nord, parmi les différentes approches d'éclaircie précommerciale de feuillus, les éclaircies systématiques et par puits de lumière restent les plus utilisées. Cependant, il existe là aussi très peu d'études sur les implications réelles de ces deux types de traitements sur le gain en croissance et le suivi de la qualité des tiges. L'absence de consensus clair quant aux conséquences suscite souvent des interrogations sur la pertinence (sylvicole et économique) de la pratique de l'éclaircie précommerciale dans la conduite des jeunes peuplements feuillus. Ces interrogations sont d'autant plus justifiées lorsqu'on sait que la pratique de l'éclaircie peut faire l'objet d'une aide financière en forêt privée. Une meilleure connaissance de ces conséquences permettrait donc de mieux soutenir les décisions sylvicoles des gestionnaires au Québec. Cela est d'autant plus important pour le cas des terres privées de l'Estrie, puisqu'elles sont largement dominées par les feuillues (58% du territoire forestier privé). Dans cette région, au cours des 15 dernières années, plus de 1 500 ha d'éclaircie précommerciale en peuplements feuillus ont été réalisés dans le cadre des programmes d'aide à la mise en valeur des forêts privées. Ainsi, l'AMFE s'est proposée pour évaluer les effets de ces deux approches d'éclaircie précommerciale afin de valider son cadre sylvicole pour l'éducation des jeunes peuplements de feuillus tolérants.

2. Objectifs

L'objectif général de cette étude est d'étudier les effets de deux types d'éclaircie précommerciale, soit l'éclaircie systématique et le dégagement par puits de lumière, sur la croissance et la qualité des tiges de deux espèces importantes en Estrie, soit l'érable à sucre *(Acer saccharum Marsh.)* et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Litton). Les connaissances acquises devraient permettre une meilleure éducation des jeunes peuplements feuillus des terres privées de l'Estrie. L'étude comporte deux niveaux d'analyse : à l'échelle des peuplements et à l'échelle des tiges.

Les objectifs spécifiques sont :

À l'échelle des peuplements :

- D'étudier la variation de la croissance des tiges après les traitements d'éclaircie;
- D'étudier la variation de la qualité externe et interne des tiges après les traitements;
- De comparer l'éclaircie systématique à l'éclaircie par puits de lumière (croissance et qualité);
- D'identifier et de proposer des indicateurs clés permettant de mieux évaluer le gain en croissance et le suivi de la qualité des tiges dégagées;
- D'élaborer un outil d'aide permettant de caractériser le potentiel des tiges sur pieds de bonne qualité des jeunes peuplements de gaulis dans un objectif de production future de bois de sciage.

À l'échelle des tiges :

- D'étudier la variation des défauts internes des tiges le long d'une bille d'une longueur de huit pieds;
- D'étudier la variation de la proportion du bois de coloration par rapport au bois blanc des tiges le long d'une bille d'une longueur de huit pieds.

3. Méthodologie

3.1 Territoire de l'étude et sites expérimentaux

Le territoire de l'étude est situé dans l'unité de paysage régional Sherbrooke, caractérisé par un relief vallonné, plus accidenté au sud, où se démarquent des collines aux versants souvent escarpés. Le substrat rocheux est composé de roches sédimentaires (shale, grès, schiste, ardoise) et des roches métamorphiques (serpentine, quartzite). Le réseau hydrographique est dominé par la rivière Saint–François, le lac Memphrémagog et de nombreux plans d'eaux nichés entre les collines. La température moyenne est 5 Celsius avec un relevé pluviométrique annuel moyen de 1000 à 1100 mm. La saison de croissance annuelle est de l'ordre de 180-190 jours et l'indice d'aridité dans la zone est de l'ordre de 100 à 200. Ce territoire correspond au domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul. La forêt occupe la majeure partie du territoire, et elle est principalement du domaine privé (Robitaille et Saucier 1998).

Les sites expérimentaux sont situés sur des terres privées de cette région. Il s'agit de peuplements âgés de 27 à 33 ans issus de coupes à blanc ayant subi l'une ou l'autre des deux approches d'éclaircie précommerciale. L'âge des traitements est de 12 ans pour les traitements systématiques et de 15 ans pour les puits de lumière. Douze parcelles réparties dans un rayon d'environ 22 km entre les secteurs de Saint-Claude, Stoke et Bury (Figure 1) forment le dispositif expérimental. Ce dispositif est composé de 3 traitements (témoin, éclaircie précommerciale par puits de lumière, éclaircie précommerciale systématique) avec 4 répétitions réparties aléatoirement. Les témoins sont des parcelles dans les zones non-traitées, adjacentes aux puits de lumière. Les parcelles témoins ont été sélectionnées sur la base de la similarité des caractéristiques compositionnelles et structurales des peuplements ainsi que des conditions de sites avec les parcelles d'éclaircie précommerciale par puits de lumière. L'espacement moyen entre les tiges est de 1,5 m dans les traitements systématiques et de 0,75 m par rapport aux cimes pour les puits de lumière. L'érable à sucre et le bouleau jaune constituent les espèces dominantes. L'étude a donc porté sur ces deux essences, d'autant plus que leur valeur marchande est plus importante que celles des autres essences présentes.

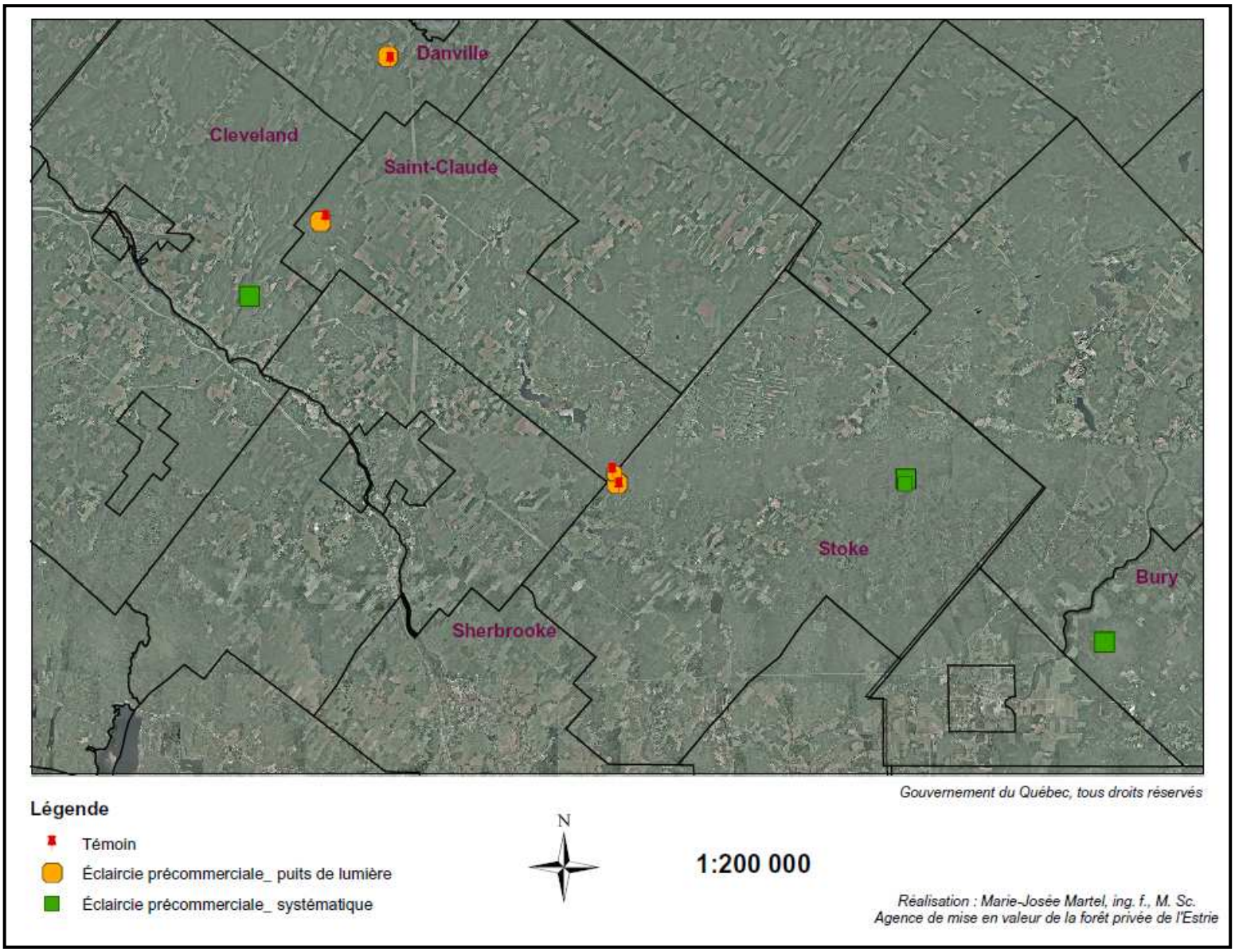


Figure 1. Territoire de l'étude

3.2 Échantillonnage

Il y a eu deux phases d'échantillonnage : destructive et non destructive. Pour relier les analyses entre les deux phases, il a été décidé d'utiliser les mêmes arbres au cours des deux étapes. Il est à noter qu'un pré-échantillonnage a d'abord été effectué pour tester le protocole de mesures en prélude aux deux phases d'échantillonnage.

3.2.1 Échantillonnage non destructif

3.2.1.1 Placettes d'inventaire

Des placettes de 400 m^2 de rayon ont été délimitées à partir du centre de chacun des peuplements. Dans chaque placette, 18 arbres, soit 9 bouleaux jaunes et 9 érables à sucre, ont été sélectionnés au hasard. La sélection aléatoire a toutefois exclu les tiges opprimées et les arbres de bordure. Au total, 216 tiges ont été sélectionnées. Ces arbres ont servi dans un premier temps pour les mesures non destructives et ensuite, ils ont été abattus pour les mesures destructives.

3.2.1.2 Mesures non destructives

3.2.1.2.1 Variables dendrométriques

Le DHP et la hauteur totale des tiges sélectionnées sont les variables mesurées. Le DHP a été mesuré sur pied à l'aide d'un ruban circonférentiel et les hauteurs étaient mesurées avec un ruban à mesurer sur les arbres une fois abattus.

3.2.1.2.2 Variables de qualité externe

Le nombre de branches de diamètre > 2 cm a été compté sur chaque bille de huit pieds. La déviation de la courbure a été mesurée par rapport à la verticale à l'aide d'une équerre. Ensuite, la présence de fentes, de fourches et de blessures a été observée et notée pour chacune des billes. Ces variables correspondent à celles qui sont prises en compte dans les normes de classification des jeunes tiges de Sonderman (Lee and Weber 1979). Enfin, nous avons mesuré une autre variable morphologique qui est le défilement. Le défilement correspond au rapport du diamètre au fin bout (fin de la bille de 8 pieds) sur le diamètre au gros bout (début de la bille de 8 pieds) des tiges. Une valeur de défilement proche de 1 indique une meilleure uniformité de la morphologie de la tige.

3.2.2 Échantillonnage destructif

3.2.2.1 Découpe des arbres entiers

La phase destructive a commencé par la coupe des arbres mesurés lors de la première phase d'échantillonnage. Les arbres ont été abattus à une hauteur de 30 cm à l'aide d'une scie à chaîne. Puis, sur chaque arbre, la bille des premiers huit pieds et la rondelle de souche ont été sélectionnées et identifiées avec des étiquettes métalliques numérotées.

3.2.2.2 Découpage des billes de huit pieds et préparations des planches d'observations

Les billes de huit pieds ont été acheminées de l'Estrie vers l'Outaouais dans une scierie à moulin portatif pour être découpées en planches d'épaisseur de 2 cm. La décision de découper les billes en plusieurs planches a été prise dans un souci d'examiner la variation de l'importance des défauts à tous les niveaux des billes entières. Après la découpe, les planches de chaque bille ont été reconstituées (Figure 2).

Figure 2. Billes découpées par tranches de 2 cm.

La préparation des planches avant les mesures a d'abord consisté à faire passer les faces de lecture de chacune d'elles à travers un planeur. Le passage dans le planeur a été suivi, au besoin, par un rabotage visant à rendre plus visible la structure de certaines parties de la face étudiée (Figure 3). Les planches, composant chaque bille, ont été préparées (planage et rabotage) pour les mesures, sauf dans le cas de la première et la dernière dosse (première et dernière planche) puisque les propriétés des faces de ces parties sont respectivement les mêmes que celles de la deuxième et de l'avant dernière planche. Les défauts et la coloration ont été mesurés visuellement sur une table de lecture où toutes les planches sélectionnées ont été délimitées transversalement en 7 sections de 30 cm. Cette délimitation a été faite pour examiner la variation des indicateurs de qualités internes (défauts+coloration) par section des premiers huit pieds.

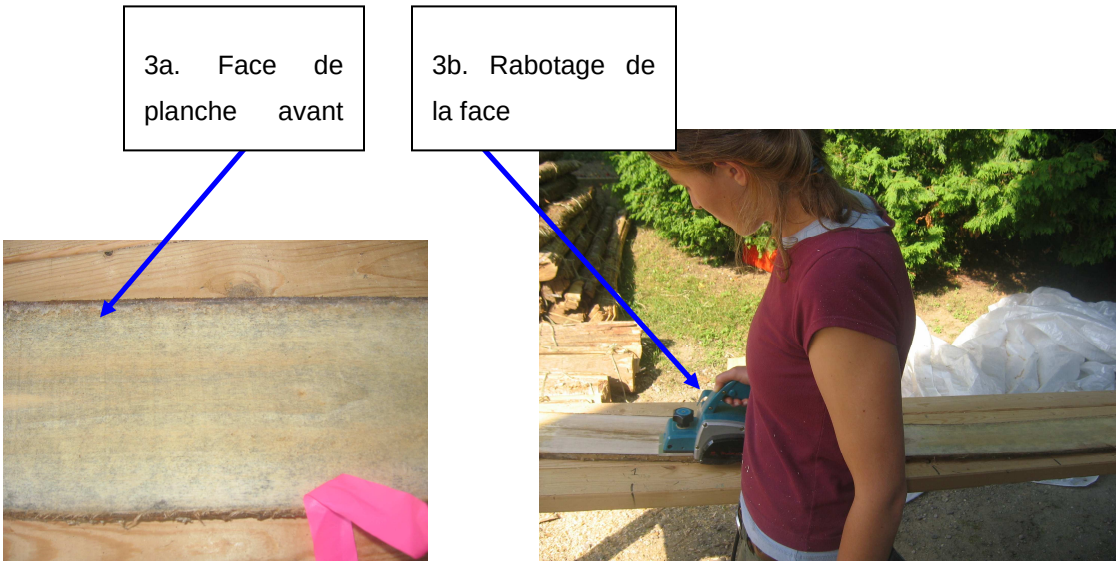


Figure 3. Préparation des surfaces de lecture des échantillons. 3a. Face brute avant planage et rabotage. 3b. Rabotage après planage sur les parties demandant une préparation additionnelle.

3.2.2.3 Mesures destructives

3.2.2.3.1 Mesures de qualité interne du bois

Le bois blanc, le bois coloré, le diamètre de section et les défauts internes sont les principales variables mesurées sur les planches. À l'aide d'une règle, la largeur en bois blanc ou bois coloré et le diamètre de chaque section ont été mesurés sur les lignes délimitant chacune des 7 sections de 30 cm des planches. Puis, dans chacune des sections, les défauts ont été notés suivant leurs dimensions. Nous avons utilisé trois catégories de défauts: les petits défauts (≤ 1/4 de cm^2), les moyens (> ¼ et < 4 de cm^2) et les grands défauts (> 4 cm^2). Les défauts regroupaient les cicatrices de blessures ou de nœuds et plus rarement, les caries et les trous. Après les observations et les mesures, nous avons choisi pour chaque tige la planche la plus représentative. Cette planche devait être celle qui avait le plus de défauts parmi les planches centrales. Le choix d'une planche représentative pour décrire les caractéristiques interne de chaque bille était justifié par les constats suivants :

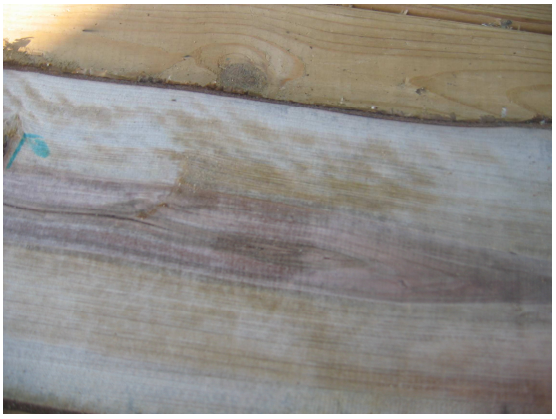
- Au cours de nos observations, nous avons remarqué que, pour la même tige, de l'extérieur vers l'intérieur, les défauts qui se trouvaient sur une planche donnée atteignaient rarement les planches suivantes. Souvent, le même défaut ne pouvait pas s'observer sur l'autre face de la planche étudiée (épaisseur = 2 cm);

- Nous avons observé peu de grands défauts (> 4 cm^2) sur toutes les planches étudiées. Parmi ceux-ci, les trous et les caries, qui pouvaient être suffisamment importants pour déclasser les billes à la maturité, étaient rares sur les planches échantillonnées. Les défauts étaient généralement des traces de cicatrisation de blessures.

Pour éviter de surestimer l'importance de ces défauts sur les tiges, nous avons reconsidéré notre approche initiale qui consistait à cumuler les défauts de toutes les planches par tige. La nouvelle approche reposait sur deux principes :

- Nous avons choisi une planche représentative qui avait le maximum de défauts (petits+moyens et grands) pour chaque tige (Figure 4);

- Nous avons convenu d'exclure les défauts des planches extérieures parce que nous avons considéré le fait que nos billes étaient issues de jeunes tiges. Nous avons estimé que les cicatrices de blessures qui se trouvaient sur les planches extérieures pourraient s'améliorer avant la maturité comparativement à celles qui se trouvaient sur les planches centrales. Ces dernières peuvent demeurer longtemps sur les planches centrales, ce qui pourrait déclasser les billes matures. Le choix des planches centrales était par ailleurs plus pertinent dans un contexte où, à l'usine, la première et la dernière dosse à éliminer sur les billes matures tronçonnées dépassent 2 cm d'épaisseur. Nos tiges avaient en moyennes 6 planches de 2 cm d'épaisseur y compris la première et la dernière dosse que nous avons éliminées. On pouvait donc estimer que les limites actuelles des planches extérieures étudiées pouvaient être dans la partie de la première et la dernière dosse à éliminer sur les billes matures à l'usine, donc les défauts qui y sont formés à ce stade ne pourraient pas déclasser les billes matures tronçonnées.



4a. Coloration du cœur du bouleau jaune

4b. Grand défaut chez l'érable à sucre

4c. Grand défaut chez le bouleau jaune

Figure 4. Grands défauts et bois de coloration chez l'érable à sucre et le bouleau jaune.

3.2.2.3.2 Mesures en laboratoire

3.2.2.3.2.1 Découpe et préparation des rondelles de bois

Après les observations du bois blanc et des défauts, des rondelles de bois ont été découpées à partir des planches contenant le cœur, et ce, pour toutes les tiges des deux essences. Les rondelles ont permis la lecture de la croissance avant et après traitement. La découpe de ces rondelles a été faite à 1 m à partir des billes de huit pieds. La hauteur de 1 m correspond, dans les faits, à la hauteur au DHP (1,3 m) des tiges d'origine, car les arbres ont été coupés à 30 cm du sol.

Une fois découpées, les rondelles ont été sablées en deux étapes à l'aide de papier abrasif (60 grains/po^2 et 320 grains/po^2). La préparation a aussi concerné les rondelles qui ont été prises sur les arbres abattus sur le terrain. Celles-ci ont servi à valider l'âge des peuplements. Nous avons sélectionné, au hasard, 2 rondelles de souche par essence et par parcelle pour la lecture de l'âge des 12 peuplements.

3.2.2.3.2.2 Mesure de la croissance radiale avant et après les traitements

La lecture de la croissance des cernes annuels a été faite à l'aide d'un stéréo-microscope Leica MZ125 (Cox, Lemieux, and Lodin 1996), couplé à une table de numérisation électronique Velmex d'une précision de 10 microns (Figure 5). Pour délimiter les périodes de croissance 5 ans avant et 5 ans après l'éclaircie, on s'est servi des rapports d'exécution des traitements fournis par le promoteur. Nous avons utilisé le graphique du profil dendrochronologique pour valider l'année de traitement, considérant que cette année serait suivie par une année de croissance importante (début d'augmentation de réponse).

Après la délimitation de cette année de référence, nous avons ensuite délimité la période de croissance 5 ans avant et 5 ans après le traitement. Pour le cas particulier des témoins, l'année de référence correspondait à celle des parcelles adjacentes traitées (puits de lumière). Cette technique d'observation graphique de l'année du début de dégagement s'est avérée très efficace dans le cadre d'une de nos précédentes études (Nolet et Boureima 2009). Il est à noter que le choix d'une période d'observation de 5 ans est dû au fait que de nombreuses études ont montré que l'effet de l'éclaircie sur la croissance est plus marqué les 5 à 6 premières années après l'éclaircie, pour ensuite diminuer graduellement (Della-Bianca 1975; Labonte et Robley 1978; Erdmann et al. 1981; Lamson 1988; Zarnovican 1998).

De ce fait, le choix d'une période assez longue (10 ans par exemple) pourrait s'avérer inadéquate si l'effet des traitements s'estompe rapidement. Par ailleurs, une courte période (deux à trois ans) risquerait d'être trop peu pour apprécier l'importance de l'effet des traitements. En effet, dans certains cas, le début de la réponse ne peut s'observer que plus de 2 ans après l'année des traitements.

Figure 5. Stéréo-microscope Leica MZ125 (40x) et table de mesure micrométrique Velmex utilisés pour les analyses dendrochronologiques

3.2.2.3.2.3 Âge des peuplements

Pour valider l'âge indiqué sur les prescriptions sylvicoles des traitements étudiés, nous avons utilisé l'âge des arbres récoltés lors de la lecture des rondelles de souches. La validation de l'âge des rondelles prélevées sur le terrain s'est faite par la lecture du nombre de cernes annuels de l'écorce au cœur à l'aide du stéréo-microscope Leica MZ125 (Cox, Lemieux, and Lodin 1996).

3.3 Analyses

3.3.1 Classification des tiges selon les normes de Sonderman (Lee and Weber 1979)

Il existe plusieurs méthodes de classification de la qualité des tiges feuillues : (Calvert et Petro 1993; Monger 2004, OMNR 2004;Petro et Calvert 1976). Cependant, la plupart de ces méthodes ne sont pas adaptées à un suivi de la qualité potentielle des jeunes peuplements. Lorsque nous parlons de qualité potentielle, cela veut dire qu'une tige classée potentielle élite (sciage) a toutes les chances de donner du bois de sciage à maturité si les conditions de croissance et d'environnement se maintiennent. Pour la classification de nos tiges issues des jeunes perchis, nous nous sommes inspirés du système de classification de Sonderman (Lee and Weber 1979), reconnu pour caractériser les classes de qualité potentielle des jeunes tiges feuillues. Ce système de classification a déjà été utilisé lors d'une récente étude au Nouveau-Brunswick (Boureima 2007). Les variables externes, architecturales (nombres de branches, fourches) et morphologiques (courbure, cambrure) serviront à cette classification. En plus de ces variables, le statut social et la présence de fentes et de pourritures sont aussi retenus (Tableau 1). Toutefois, des modifications ont été apportées à ce système de classification de Sonderman sur les aspects suivants :

- Les observations ont distingué les premiers des seconds huit pieds des tiges. Cela est d'autant plus nécessaire lorsqu'on sait qu'en Amérique du Nord, les produits de bois sont vendus à maturité par bille de huit pieds;

- Pour mieux évaluer, d'une part, l'effet des branches les plus basses et, d'autre part, pour avoir une estimation adéquate du bois de qualité sciage, les observations se sont plutôt concentrées sur les premiers huit pieds. Les seconds huit pieds, comparativement aux premiers, ont plus de chance de développer des défauts physiques, même en absence de dégagement (Coutand, 2006, Miller 1996). Une branchaison abondante et l'existence des fourches sur cette partie du tronc ne sont donc pas nécessairement liées à un dégagement des tiges (Gaëtan, 2006);

- Seules les branches vivantes ou mortes ayant un diamètre ≥ 2 cm (plutôt que 1 cm) étaient comptées. Nous avons estimé qu'au stade actuel (plus de 15 ans après les traitements d'éclaircie), la formation des branches de diamètre < 2 cm ne permet pas de relier judicieusement une détérioration de la qualité actuelle des tiges à l'effet de l'éclaircie. Ce choix est aussi soutenu par les prescriptions des pratiques d'élagage. Il est

recommandé dans la littérature d'éliminer les branches dont le diamètre est ≥ 3 cm puisqu'elles nuisent plus à l'architecture des tiges et qu'elles peuvent persister longtemps, en laissant des nœuds ou des cicatrices en cas de blessures (Alain, 1991, Hubert et Courraud 2002);

- Nous avons porté une attention particulière à l'angle d'orientation des branches. Les branches d'angle trop aigu sont les plus visées lors d'une pratique de taille de formation parce qu'elles nuisent à la vigueur et à la morphologie des tiges (Coutand, 2006, Gaëtan, 2006). Cependant, nous avons éliminé ce paramètre parce que les analyses ont montré qu'il n'apportait pas une différence dans la grille de classification.
- Nous avons convenu de former deux classes de qualités au lieu de trois comme chez Sonderman (Lee and Weber 1979) : la classe des tiges de potentielle élite (phénotype sciage) et les tiges de pauvre potentiel de qualité.

Tableau 1. Normes de classifications de la qualité potentielle des jeunes tiges (modifiées de Sonderman 1979)

Indicateurs externes	Valeurs
Houppier	
Dominant	4
Codominant	3
Intermédiaire	2
Défauts principaux	
Courbure et cambrure (déviation en cm)*	
< 3	4
3 à 12	3
12 à 18	2
18 à 24	1
> 24	0
Nombres de branches ≥2 cm (vivantes ou mortes) sur les 8 premiers pieds	
0 à 1	4
2 à 4	3
5 à 6	2
> 7	1

* Les arbres morts, dépérissants, malades ou de diamètre < 5 cm ne sont pas classés. Si les tiges présentent de la pourriture ou des fentes, la valeur numérique devient 0. Si les tiges ont une fourche, la section de la bille examinée devient une qualité 3. La somme des valeurs permet ainsi d'obtenir une qualité potentielle définie selon 2 phénotypes :

- Phénotype A : 8 à 12 = bonne qualité (potentiel sciage)
- Phénotype B : < 8 = qualité médiocre (potentiel pâte à papier, palette, chauffage)

3.3.2 Analyses statistiques

3.3.2.1 Analyses à l'échelle des peuplements

3.3.2.1.1 Âge des peuplements

Après la lecture de l'âge de toutes les rondelles, nous avons fait la moyenne des âges de celles-ci pour déduire l'âge de chaque peuplement.

3.3.2.1.2 Vérification de l'applicabilité d'une analyse de covariance (ANCOVA)

Dans un premier temps, nous avons convenu de vérifier si les différences d'âge et de hauteur n'influencaient pas les variables de croissance et de qualité des tiges étudiées. Nous avons tenté de vérifier si ces deux variables pouvaient avoir une relation avec une ou des variables étudiées pour justifier l'utilisation d'une analyse de covariance au cas par cas. À titre d'information, les conditions d'application d'une ANCOVA sont :

- la relation entre la covariable et la variable réponse doit être linaire pour tous les traitements;
- l'effet de la covariable doit être additif;
- les pentes doivent être homogènes entre les traitements. Cela veut dire que les droites de réponse doivent être parallèles pour les différents traitements;
- la covariable ne doit pas être influencée par les traitements (Collin 2008).

3.3.2.1.2 ANOVA et autres analyses:

Comme l'ANCOVA a démontré que les différences d'âge et de hauteur n'ont pas d'effets sur les variables réponses étudiées, une analyse de variance (ANOVA) plutôt qu'une ANCOVA a été choisie afin d'examiner la variation de toutes les variables étudiées. Les analyses ont d'abord été précédées par la vérification de l'homogénéité de la variance et la normalité de la distribution des variables réponses étudiées. Nous avons ensuite effectué une ANOVA à deux facteurs (traitements et espèce). L'ANOVA à deux facteurs n'ayant montré d'interaction entre l'espèce et le traitement pour aucune des variables, nous avons repris une ANOVA à un facteur (traitement) séparément pour les deux espèces. Le test de comparaison LSD a été utilisé pour comparer les moyennes des traitements lorsque l'ANOVA a montré une différence significative entre les traitements. Un test de Khi carré a été effectué pour vérifier si la distribution des classes de qualité externe des tiges était la même entre les traitements. Pour toutes ces analyses, le seuil de probabilité des tests était 0,05. Les analyses ont été effectuées avec le logiciel NCSS&Pass (Hintze 2004).

3.3.2.2 Analyses à l’échelle des tiges

Après les analyses à l’échelle des peuplements, nous avons examiné à l’échelle des tiges la variation des défauts internes et celle de la coloration du bois. Nous avons fait abstraction des traitements à cette étape et les sections des tiges ont été considérées comme les unités expérimentales au lieu des peuplements. Les principales sources de variation (facteur), outre l’espèce, étaient la section de la bille des premiers huit pieds pour les défauts internes et la ligne de lecture (hauteur de section) pour le bois blanc et le bois coloré. Une ANOVA a donc été utilisée pour l’examen de chacune des variables réponses par espèce. Des régressions simples et multiples ont été effectuées pour vérifier des relations entre les variables externes et les caractéristiques internes (bois blanc, bois coloré et défauts). L’analyse des régressions a fait abstraction des traitements en intégrant d'abord toutes les tiges de bouleau jaune et ensuite celles d’érable à sucre.

4. Résultats

4.1 Âge des peuplements

Pour chaque parcelle, l'âge calculé était un peu supérieur à l'âge indiqué dans les prescriptions sylvicoles des traitements pour les peuplements de puits de lumière et les témoins, mais il était inférieur ou égal pour les peuplements systématiques. L'écart moyen entre l'âge calculé et l'âge théorique était de 3 ans pour les puits de lumière et 3,5 ans pour les témoins, tandis que pour les systématiques, l'écart était de moins d'un an (Tableau 2). Le faible écart entre l'âge calculé et l'âge théorique des peuplements nous a rassuré sur le fait que nos tiges étaient issues de la dernière perturbation (coupe totale) dont origine les peuplements étudiés. Par ailleurs, même si elles avaient été préétablies, elles n'auraient pas eu plus de trois ans avant la perturbation. Nous avons donc utilisé l'âge calculé pour la suite de nos analyses au lieu de l'âge théorique.

Tableau 2. Âge des peuplements

Parcelle	*Traitement**	*Âge calculé*	*Âge théorique*	*Âge à l'éclaircie*
1	P	31	27	15
2	P	31	27	15
5	P	33	31	15
7	P	32	30	15
9	S	26	28	12
10	S	28	28	12
11	S	26	27	12
12	S	26	27	12
3	T	32	27	-
4	T	33	27	-
6	T	33	31	-
8	T	32	30	-

Légende : T = Témoin, S = Éclaircie précommerciale systématique, P = Éclaircie précommerciale par puits de lumière

4.2 Effets des traitements sur les variables de croissance

4.2.1 Croissance radiale

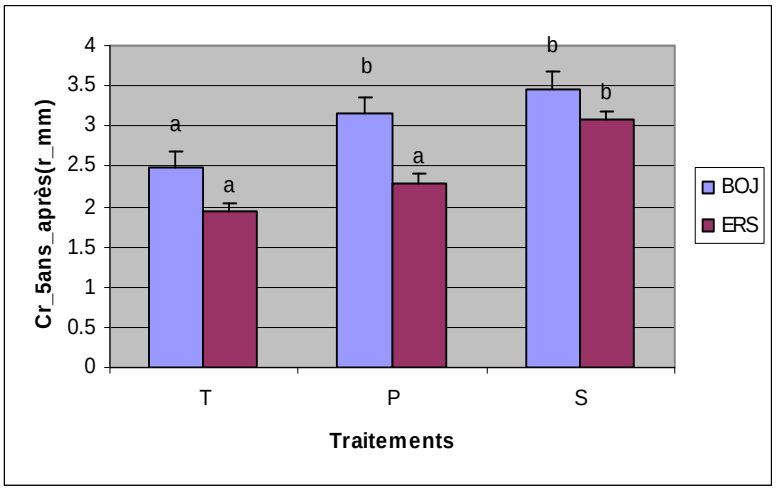
Pour les deux espèces, la croissance radiale moyenne sur 5 ans avant l'éclaircie n'est pas significativement différente entre les traitements (Tableau 3). Par contre, celle après 5 ans est significativement différente entre les traitements et les témoins pour le bouleau jaune. Pour l'érable sucre, seule la moyenne des traitements systématiques est significativement différentes des témoins (Figure 6). On observe que la croissance du bouleau jaune est supérieure à celle de l'érable à sucre d'environ 0,5 mm/an pour tous les traitements.

Tableau 3. Comparaison (ANOVA) des variables dendrométriques et de croissance pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

Variables Réponses	Moy_BOJ				Moy_ERS			
	T[1]	P	S	P ANOVA	T	P	S	P ANOVA
Croissance radiale avant 5 ans (mm)	2,72	2,70	2,73	0,997	1,90	1,84	1,95	0,957
Croissance radiale après 5 ans (mm)	2,48	3,15	3,46	0,026*	1,93	2,28	3,06	0,0002***
DHP (cm)	11,11	13,24	13,29	0,0138*	10,38	12,59	11,55	0,028*
Hauteur (cm)	13,86	13,78	12	0,0175*	14,39	14,45	12,02	0,01*
H/age (cm/an)	0,42	0,43	0,45	0,495576				0,849

[1] T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

* $\alpha \leq 0.05$, ** $\alpha \leq 0.01$, *** $\alpha \leq 0.001$

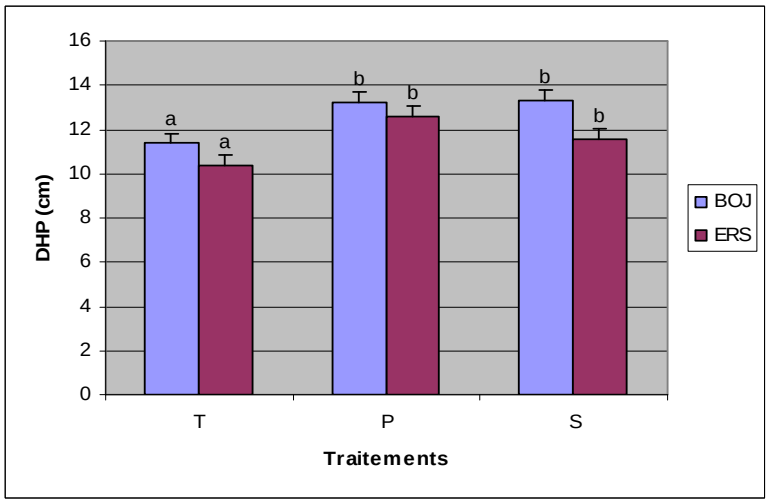


T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Figure 6. Comparaison des moyennes de la croissance radiale 5 ans après traitement. Pour chaque espèce, les moyennes ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (P> 0,05, test de comparaison multiple de LSD). Les barres représentent l'écart type des échantillons.

4.2.2 Le DHP

La moyenne du DHP est aussi significativement différente après les traitements d'éclaircie, comparativement aux témoins pour les deux espèces. Par contre, entre les puits de lumière et les systématiques, il n'y a eu aucune différence des moyennes de DHP pour les deux espèces (Figure 7). Ainsi, les tiges traitées ont en moyenne 1,5 cm de DHP de plus que les tiges élites des parcelles témoins, autant pour l'érable à sucre que pour le bouleau jaune.

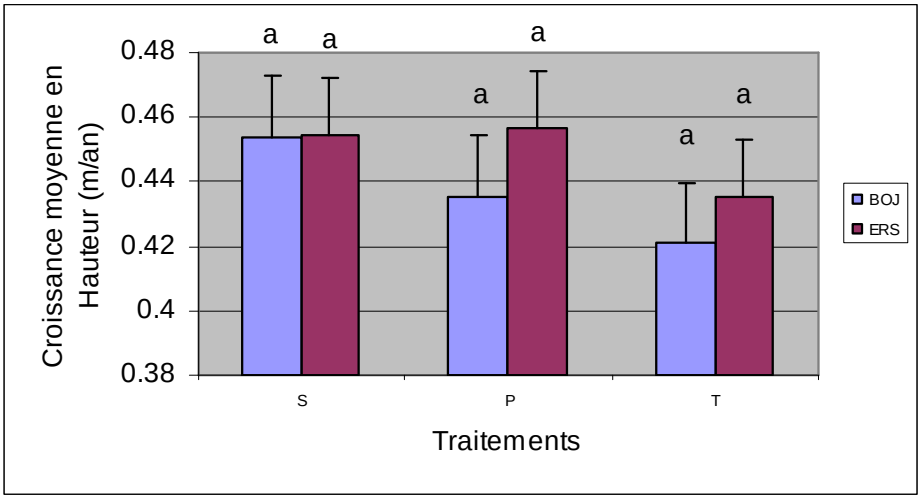


T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale

Figure 7. Comparaison (ANOVA) des diamètres à hauteur poitrine (DHP) pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

4.2.3 La croissance en hauteur

Les différences d'âge ont fait en sorte que la hauteur totale n'était pas la même entre les traitements. Chez le bouleau jaune, la hauteur variait de 12 m pour les systématiques (un peu plus jeunes) à 13,78 et 13,86 m pour les puits de lumières et les témoins. Chez l'érable à sucre, elle variait de 12 m pour les systématiques (un peu plus jeunes) à 14,39 et 14,45 m pour les témoins et les puits de lumières. La croissance moyenne en hauteur (H/age) a donc été utilisée pour standardiser les valeurs et permettre la comparaison entre les traitements. Pour les deux espèces, l'ANOVA n'a montré aucune différence significative de la croissance moyenne en hauteur entre les traitements d'éclaircie et les témoins, bien que les témoins montrent une légère croissance plus faible (Figure 8). Les bouleaux jaunes et les érables à sucres ont poussé en moyenne de 43 cm/an en hauteur.



T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Figure 8. Comparaison des moyennes de la croissance moyenne en hauteur (m/an) pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

4.3 Effets des traitements sur les variables de qualité

4.3.1 Qualité externe

4.3.1.1 Défauts externes et distribution des tiges élites entre les traitements

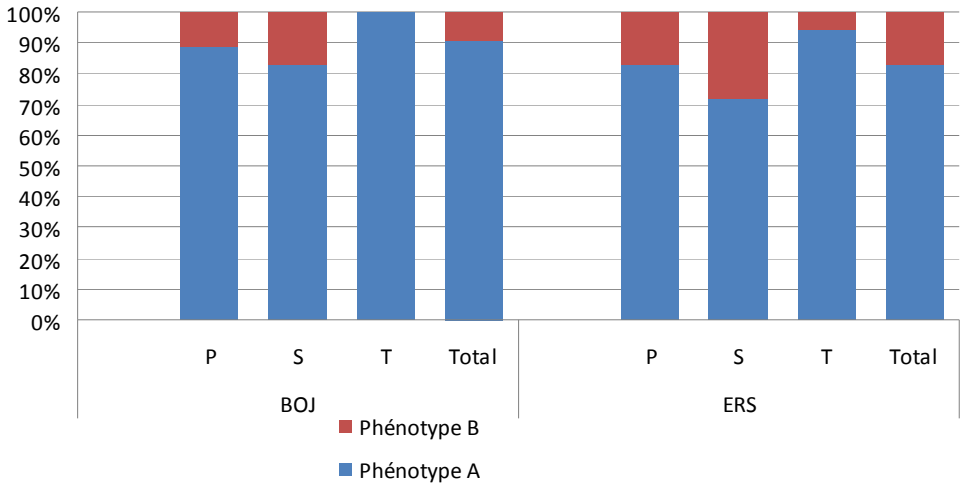
L'ensemble des défauts externes des 216 tiges sélectionnées ont été examinés. Rappelons que ces défauts sont : la courbure des troncs, le nombre de branches, l'angle d'insertion des branches, les fourches, les fentes, les bosses et les blessures. L'examen de ces défauts a permis de classer les tiges en deux phénotypes de qualité potentielle selon les normes de Sonderman (Lee and Weber 1979). Nous avons dénommé le phénotype A les tiges élites qui correspondent aux tiges de potentiel sciage, et le phénotype B celles de qualité médiocre. Pour l'ensemble des traitements, plus de 80% des tiges des deux espèces sont classées comme des tiges de phénotype A, soit un peu plus de 172 tiges sur les 216 sélectionnées (Figure 9). Pour les deux espèces, l'analyse du test de Khi carré a par ailleurs démontré que la distribution du phénotype A versus B n'est pas la même entre les traitements et les témoins. Le pourcentage des tiges élites chez les deux espèces est plus élevé, par ordre d'importance, chez les témoins, les puits de lumière et les systématiques. Toutefois, l'écart entre les deux traitements d'éclaircie est plus élevé chez l'érable à sucre (Tableau 4).

Tableau 4. Proportion des classes de qualité potentielle suivant les traitements pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

Espèce	Traitement	Phénotype			
		Phénotype A (%)		Phénotype B (%)	
BOJ	P	32	89	4	11
	S	30	83	6	17
	T	36	100	0	0
	Total	98	91	10	9
ERS	P	30	83	6	17
	S	26	72	10	28
	T	34	94	2	6
	Total	90	83	18	17

T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Khi carré : P= 0,019453* (BOJ); P = 0,025613* (ERS)

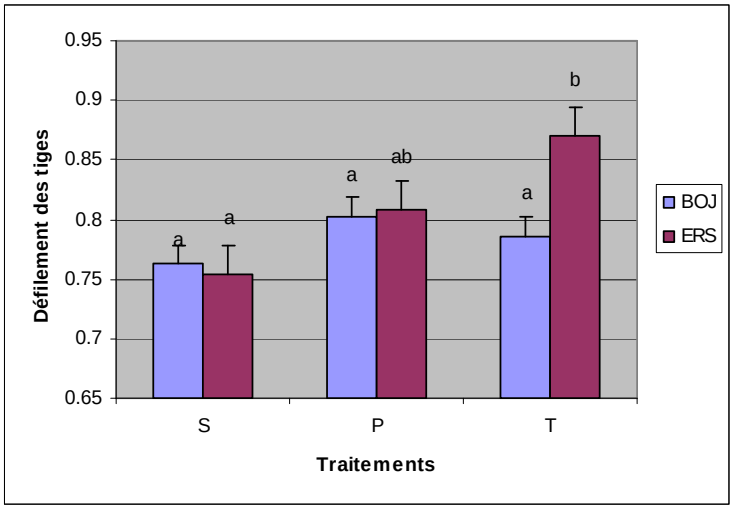


T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Figure 9. Proportion des phénotype A et B pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale

4.3.1.2 Le défilement des tiges

Chez le bouleau jaune, la moyenne du défilement n'est pas significativement différente entre les traitements d'éclaircie et les témoins. Par contre, chez l'érable à sucre, le défilement s'est plutôt accru dans les traitements d'éclaircie lorsque comparé aux témoins. La détérioration est plus marquée dans les traitements d'éclaircie systématique que dans ceux par puits de lumière (Figure 10).



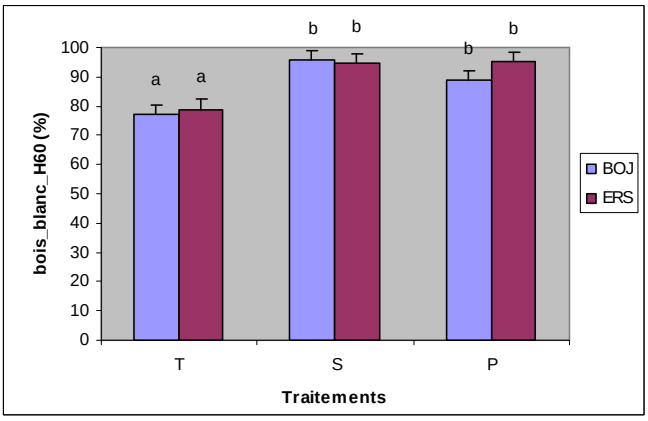
T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Figure 10. Comparaison des moyennes du défilement des tiges pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

4.3.2 Qualité interne du bois

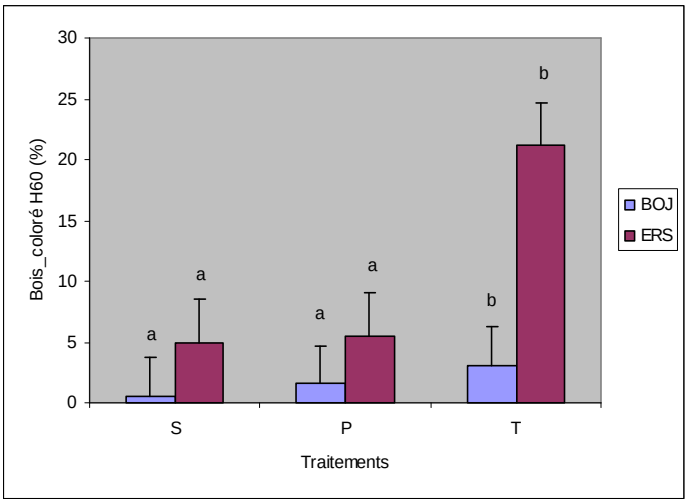
4.3.2.1 Bois blanc, bois de coloration et défauts internes

La proportion du bois blanc était plus grande dans les peuplements traités par éclaircie que chez les témoins, qui présentent une plus grande proportion de bois de coloration du cœur. Nous avons observé en moyenne 90% et 95% de bois blanc dans les tiges provenant d'éclaircie, contre 75% et 78% provenant des sites témoins respectivement pour le bouleau jaune et l'érable à sucre. Entre les traitements d'éclaircie, il n'existe aucune différence significative entre les moyennes de bois blanc et celles de bois de coloration pour les deux espèces (Figures 11 et 12).



T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Figure 11. Comparaison des moyennes de la proportion du bois blanc pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.



T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Figure 12. Comparaison des moyennes de la proportion du bois coloré pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

Pour les défauts internes, les moyennes du nombre des petits, moyens et grands défauts ne sont pas significativement différentes entre les traitements et les témoins (Tableau 5). Par contre, entre les deux espèces, l'érable a présenté un peu plus de défauts que le bouleau jaune. Nous avons dénombré 41 tiges d'érable à sucre qui avaient au moins un défaut sur les planches centrales, contre 36 pour le bouleau jaune, qui présentait plus de petits et de moyens défauts que de grands défauts (> 4 cm²). À l'échelle des tiges, les résultats ont montré que la proportion du bois blanc par rapport à celle du bois coloré et le nombre de défauts ne sont pas significativement différents entre les sections de la longueur des billes pour les deux espèces. Ces résultats montrent donc peu de variation dans les indicateurs de qualité interne le long de la tige sur la première bille.

Tableau 5. Comparaison (ANOVA) des variables de qualité interne pour l'érable à sucre et le bouleau jaune après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

Variables	Bouleau jaune			P ANOVA	Érable à sucre			P ANOVA
	1. Analyses à l'échelle des peuplements							
Traitement	T[1]	P	S	0,254174	T	P	S	0,024*
% bois blanc	76,94	88,97	95,9	0,006**	78,86	94,47	95,04	0,015*
% bois coloré	23,06	11,03	4,01	0,006**	21,14	5,53	4,96	0,016
Nombre de défauts (petits +moyens)	6,61	5,44	5,58	0,189	8,63	10,19	9,05	0,749
Grands défauts (> 4cm^2)	1,4	1,4	1,4	0,221	10,5	7,5	5,25	0,108

T=Témoin, P=Éclaircie précommerciale par puits de lumière, S=Éclaicie précommerciale systématique

Tableau 6. Comparaison (ANOVA) des variables de qualité pour l'érable à sucre et le bouleau jaune par section de bille de 8 pieds après avoir été traités par éclaircie précommerciale.

Variables	BOJ								ERS							
	2. Analyses à l'échelle des tiges; Section tige = Facteur															
	S1	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**	**S7**	**P**	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**	**S6**	**S7**	**P**
% bois blanc	77,45	77,50	77,70	77,78	77,69	77,69	77,74	0,572	78,11	78,20	78,35	78,56	78,85	78,81	78,85	0,261
% bois coloré	22,55	22,50	22,30	22,28	22,31	22,31	22,26	0,572	21,89	21,80	21,65	21,44	21,15	21,09	21,15	0,261
Défauts totaux	1,549	1,876	1,938	1,775	1,916	1,867	1,833	0,087	1,80	2,230	2,175	1,930	2,153	2,062	2,03	0,377

4.3.2.2 Relations entre les variables externes et internes des tiges

Le DHP est la seule variable externe ayant eu une relation avec le bois blanc et le bois de coloration du cœur chez les deux espèces (Figure 13; Figure 14). Pour ce qui est des défauts internes, le nombre des défauts n'a eu de relation avec aucune variable ext#erne et interne des tiges étudiées.

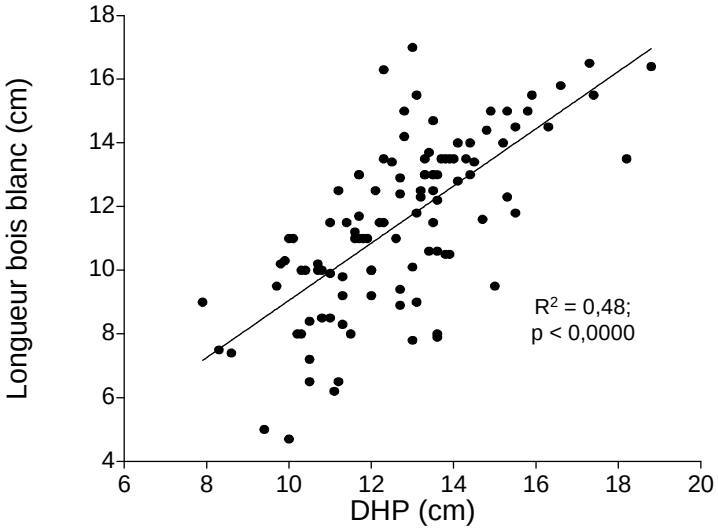


Figure 13. Variation du bois blanc avec le DHP chez le bouleau jaune

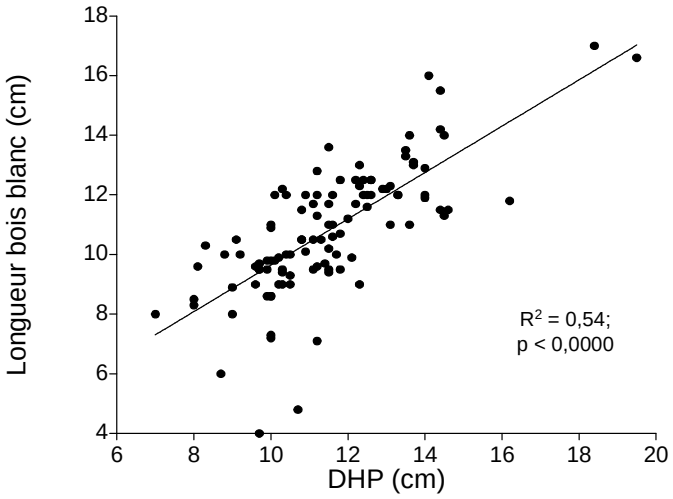


Figure 14. Variation du bois blanc avec le DHP chez l'érable à sucre

5. Discussion

5.1 Croissance des tiges avant et après les traitements

Le fait que la croissance radiale avant éclaircie ne soit pas significativement différente entre les traitements pour les deux espèces laisse sous-entendre que les conditions de croissance des peuplements étudiés avant l'éclaircie étaient similaires. Ainsi, nous supposons que les résultats observés au sujet de la croissance radiale après les traitements sont attribuables aux effets de l'éclaircie. Ces résultats s'ajoutent donc à ceux de nombreuses études qui soutiennent que l'éclaircie peut favoriser un gain en croissance comparativement aux conditions naturelles (Erdmann, Peterson, et Godman 1981; Erdmann et Godman 1975, Huot, 2001, Leak 1997). Au niveau des espèces, le bouleau jaune semble être favorisé par les deux traitements d'éclaircie, et ce, aussi bien sur le plan de la croissance radiale 5 ans après que sur celui de la taille en diamètre (DHP). Cela montre donc que la bonne réponse du bouleau jaune est plutôt conditionnée par l'âge des peuplements à l'éclaircie plutôt que par le type d'éclaircie. En effet, les deux approches d'éclaircie, bien qu'elles soient différentes, ont toutes deux favorisé un gain en croissance et cela serait dû en partie à l'âge des peuplements auquel l'éclaircie a été pratiquée. Les deux traitements ont été effectués au stade gaulis, soit 12 ans pour les systématiques et 15 ans pour les puits de lumières. Ces âges correspondent ainsi à la période optimale pour une éclaircie précommerciale favorable au bouleau jaune (Lees 1978; Voorhis 1990, Zarnovican 1998).

Pour l'érable à sucre, seul le traitement d'éclaircie systématique a favorisé la croissance radiale 5 ans après l'éclaircie. La croissance radiale 5 ans après l'éclaircie n'était pas différente entre les témoins et les puits de lumières. Toutefois, on a observé un bon DHP pour les puits de lumière comparativement aux témoins. Les puits de lumière semblent donc ne pas favoriser à court terme une réponse rapide de la croissance de l'érable à sucre. Cette approche d'éclaircie semble avoir un effet à moyen terme sur la croissance de l'érable à sucre, ce qui pourrait expliquer la bonne réponse du DHP contrairement à la croissance radiale des 5 premières années après l'éclaircie. La moyenne des 5 premières années de croissance radiale (prises pour l'évaluation) semble ne pas suffire pour apprécier les effets à moyen terme des puits de lumière sur la croissance de l'érable à sucre. Cependant, le DHP actuel des tiges d'érable peut ne pas être attribué exclusivement à l'effet de l'éclaircie si la croissance radiale des 5 premières années s'est avérée faible avec les puits de lumière. En effet, l'importance de la taille des tiges exprimée en partie par le DHP peut aussi provenir d'une différence de l'effet de sélection dans le traitement d'éclaircie précommerciale par puits de lumière (Doyon et al 2000). Il faut comprendre que l'effet du

traitement sur le DHP est la résultante de l'effet combiné du dégagement accru dû à l'éclaircie et à la sélection des tiges à dégager. En effet, les critères de sélection des tiges élites lors de l'application de l'éclaircie précommerciale par puits de lumière suggèrent de prendre les tiges vigoureuses les plus grosses. Ainsi, dans le cas de l'érable à sucre, on peut penser que la forte taille des tiges élites dans le traitement de l'éclaircie précommerciale avec puits de lumière serait fortement attribuable à l'effet de sélection plutôt qu'exclusivement à l'effet de croissance accrue due à l'éclaircie.

Pour les traitements systématiques, par contre, l'éventualité d'un effet de l'éclaircie sur la bonne réponse de la croissance de l'érable est plausible. Le diamètre moyen de l'érable et la croissance radiale sont plus importants pour l'éclaircie précommerciale systématique comparativement aux témoins. Ces résultats sont contraires à ceux observés par d'autres études (Doyon et al 2000, Drinkwater 1960, Roberge 1975). En effet , Drinkwater (1960) et Roberge (1975) soutiennent que l'éclaircie ne peut favoriser l'érable à sucre que si elle est faite très tôt (stade gaulis). Par ailleurs, Huot (2001) et Voorhis (1990) ont aussi constaté la bonne réponse de la croissance du bouleau jaune au détriment de l'érable à sucre après une éclaircie précommerciale hâtive. Boureima (2007) a aussi remarqué une faible réponse des tiges élites de l'érable en mélange avec le bouleau jaune après une éclaircie précommerciale effectuée au stade gaulis (12 ans). Nos résultats peuvent se justifier par la faible intensité de dégagement et aussi possiblement par la qualité des sites des peuplements étudiés. L'effet du site serait plausible parce que la hauteur moyenne des érables des témoins est de 14 m pour un âge maximum calculé de 33 ans. Cela laisse supposer que nos peuplements ont des caractéristiques de sites riches (IQS élevé).

Les traitements d'éclaircie et les témoins ont significativement la même croissance en hauteur. L'éclaircie n'a donc pas influencé les moyennes de la croissance en hauteur entre les traitements pour les deux espèces (Figure 8). La croissance en hauteur est toutefois un indicateur complexe pour évaluer le succès de l'éclaircie précommerciale. De nombreuses études ont révélé une mauvaise réponse de la hauteur suite à une éclaircie précommerciale comparativement au DHP (Downs, 1946; Doyon et al, 2000, Hilt et Dale 1982; Lamson 1988, 1983). Toutefois, une bonne réponse de la hauteur à l'éclaircie précommerciale est souvent observée avec des intensités d'éclaircies beaucoup plus grandes, soit un peu plus de 2,3 m d'espacement entre les tiges (Boureima 2007, Robitaille, Sheedy et Richard 1990). Nous estimons ainsi qu'il est plus pertinent de relier la bonne croissance en hauteur de ces sites à la qualité des stations qu'aux effets exclusifs des traitements, parce que l'intensité de dégagement des tiges était somme toute plutôt faible.

5.2 Qualité potentielle externe des tiges

5.2.1 Proportion des classes de phénotypes

L'analyse de la classification des phénotypes a montré que les parcelles témoins ont une plus grande proportion de tiges présentant un potentiel de sciage que celles traitées par éclaircie. Entre les traitements d'éclaircie, on voit que l'approche par puits de lumière génère une proportion de tiges élites plus grande que l'approche systématique. On peut donc supposer que le type d'éclaircie peut entraîner une différence dans le maintien de la qualité des tiges, et ce, particulièrement pour l'érable à sucre. En effet, avec l'espace de croissance que favorise l'éclaircie de façon générale, on s'attend donc au développement des défauts externes comme les fourches, les branches et les blessures sur les tiges résiduelles. Cependant, l'importance de ces défauts externes est fonction de l'intensité et du type de dégagement (Boureima 2007), Erdmann, Godman et oberge 1975, Miller 2000). L'approche par puits de lumière offre un gainage qui favoriserait l'auto-élagage, réduisant, en comparaison, l'apparition de défauts déclassants (Miller 2000, 1996). Cependant, bien que les traitements systématiques avaient une faible proportion de tiges élites comparativement aux puits de lumière et aux témoins, près de 72% des tiges de bouleau jaune ont conservé un potentiel de tiges élites après traitement. Cette proportion est de 83% pour l'érable à sucre. Ces fortes proportions seraient dues au fait que l'intensité de l'éclaircie systématique était, somme toute, assez faible comparée à celles utilisées dans d'autres études (Robitaille, Sheedy et Richard 1990). Dans les peuplements traités systématiquement, l'espacement moyen entre les tiges résiduelles était de 1,5 m. Doyon et al (2000) ont aussi observé le maintien de la qualité des tiges avec une telle intensité de dégagement (1,5 m). Avec une faible intensité de dégagement, les tiges semblent encore bénéficier de l'élagage naturel pour contrôler le développement des branches sur les premiers huit pieds. Ces résultats montrent donc que l'éclaircie précommerciale systématique pourrait aussi préserver, en bonne proportion, la qualité des tiges avec des intensités de dégagement faibles (tel qu'ici expérimenté, ex.: 1,5 m) contrairement aux résultats de certaines études (Della-Bianca 1983, Robitaille, Sheedy et Richard 1990; Strong et Erdmann 2000).

Par ailleurs, les résultats ont montré que l'éclaircie systématique n'a pas eu un effet négatif sur le défilement des tiges de bouleau jaune. La moyenne du défilement était significativement la même entre les trois traitements pour cette espèce. L'éclaircie systématique, bien qu'elle ait offerte une bonne croissance en DHP, n'a donc pas affecté la morphologie des tiges de bouleau jaune. Par contre, pour l'érable à sucre, l'éclaircie systématique a entraîné une détérioration du défilement des tiges comparativement aux témoins. Les puits de lumière ont quant eux favoriser le maintien du défilement des tiges de l'érable puisque la moyenne du défilement n'était pas significativement différente à celle des témoins. Le maintien du défilement des tiges avec les puits de lumière pourrait s'expliquer par la présence des tiges de bourrage dont la pression impose la formation d'un fût droit sur les tiges dégagées (Bastien et Wilhelm 2000; Nowak 1997). On peut ainsi

estimer que les puits de lumière permettent une meilleure éducation (croissance et maintien de la qualité) de l'érable à sucre. Pour le bouleau jaune, les résultats montrent que les deux types de traitements d'éclaircie semblent favoriser cette espèce. L'écart entre les proportions de tiges élites n'est que de 5% entre les deux traitements d'éclaircie et il n'y a pas eu de différence des moyennes de défilement des tiges. Nous estimons que cela est dû à l'effet conjugué de la faible intensité et de la période de dégagement, toutes deux propices pour une bonne réponse du bouleau jaune après l'éclaircie. Il est donc difficile, à partir de ces résultats, de dégager la meilleure approche sylvicole à prescrire pour cette espèce.

5.2.2 Qualité interne du bois : coloration du cœur et défauts internes

5.2.2.1 Analyses à l'échelle des peuplements

Les analyses à l'échelle des peuplements ont montré que la proportion du bois blanc est plus importante dans les traitements d'éclaircie que dans les témoins; ces derniers présentant une forte proportion de bois coloré. Par ailleurs, nos analyses de régressions linaires ont montré à l'échelle des tiges que le DHP a eu une relation positive avec le bois blanc pour les deux espèces (R^2= 0,48 pour le bouleau jaune et 0,54 pour l'érable à sucre). Le DHP étant influencé par l'éclaircie, ces résultats permettent donc d'attribuer la forte proportion du bois blanc chez les tiges dégagées aux effets de l'éclaircie. Les conditions de croissance semblent donc avoir un impact sur la formation du bois blanc au détriment du bois coloré. Les tiges qui ont connu une croissance rapide auraient donc plus de chance de maintenir une bonne proportion de bois blanc.

Chez l'érable à sucre, la proportion de bois blanc est d'une grande importance parce qu'elle permet de classer les billes par catégorie d'érable blanc ou d'érable régulier. L'érable blanc est le plus recherché dans l'industrie du meuble. Une bille est considérée comme de l'érable blanc lorsque la proportion du bois de coloration est inférieure ou égale au tiers du diamètre gros bout[1]. Les résultats ont montré que plus de 80% des billes étudiées entrent dans la catégorie d'érable blanc pour les traitements d'éclaircie. Le processus de formation du bois blanc chez l'érable à sucre n'est cependant pas encore bien documenté dans la littérature, bien qu'il s'agisse d'un sujet d'un grand intérêt pour l'industrie.

Nous estimons que la principale raison de la rareté de la documentation à cet égard résulte de la problématique de délimitation de l'aubier et du duramen chez cette espèce. Si l'on admet que le bois blanc correspond à l'aubier chez l'érable à sucre, alors les conditions d'une croissance

[1] Normes de classification interne de l'industrie Lauzon

rapide vont entraîner une forte proportion de bois blanc à cause d'une duraminisation tardive. En effet, il est connu que la duraminisation peut être retardée chez certaines espèces dans des conditions de croissance rapide, ce qui produit du bois mature avec une faible proportion de bois de cœur plus coloré (Giroud 2005, Longteaud 2005). Cependant, il est difficile de conclure que le bois blanc est exclusivement la zone de l'aubier chez l'érable, bien que dans le milieu de l'industrie, il semble conduire à une telle conclusion.

Pour les défauts, les analyses à l'échelle des peuplements ont montré que leur importance n'a pas varié entre les traitements pour les deux espèces. Rappelons que les résultats ont montré que près de 80% des tiges étaient de bonne qualité potentielle parce qu'elles avaient développé peu de défauts externes, notamment en ce qui concerne les branches et les bosses. Nous avons précédemment justifié cela par la faible intensité de dégagement utilisée pour les deux traitements d'éclaircie. La faible intensité de dégagement n'aurait dont pas permis le développement de beaucoup de défauts externes, notamment des grosses branches qui, en se cassant, auraient occasionné des surfaces blessées internes plus importantes et difficiles à cicatriser rapidement. Les tiges étaient aussi des perches dont les branches n'étaient pas encore suffisamment développées pour occasionner des blessures lorsqu'elles se cassaient sous l'effet de l'auto-élagage et d'autres phénomènes (tempête de vent ou de neige, machinerie). Notons qu'un développement important de fourches et de branches produit du bois de tension qui réduit la qualité technologique du bois chez les feuillus (Marcel Goulet et al 2008).

5.2.2.2 Analyses à l'échelle des tiges

Les analyses à l'échelle des tiges de la qualité interne ont montré que le bois blanc semble maintenir la même proportion sur toute la longueur des premiers huit pieds des tiges des deux espèces. Longteaud (2005) pense que la coloration du bois, due au duramen, est plus accentuée à la base de la cime. Il est donc possible que les sections supérieures des deuxièmes huit pieds que nous n'avons pas considérées dans cette étude puissent avoir une proportion de coloration du bois plus grande que celle de la première bille des tiges. Par ailleurs, le nombre de défauts n'a pas vraiment varié entre les sections des billes des 108 tiges par espèce. Cette information s'avère importante parce qu'elle enseigne que la qualité interne d'une bille varie peu sur toute sa longueur. Cela rend donc pertinent le choix d'attribuer le même grade de qualité à une bille entière non tronçonnée selon ses caractéristiques externes.

6. Conclusion et implications pour l'aménagement

Dans le cadre de cette étude, nous avons comparé les effets d'une éclaircie précommerciale systématique à ceux d'une éclaircie par puits de lumière en forêts privées de l'Estrie. Les analyses se sont effectuées à l'échelle des peuplements et à l'échelle des tiges. D'un point de vue global, il ressort des résultats de cette étude et de la littérature recensée, les implications suivantes :

À l'échelle des peuplements :

a. Sur la justification de la pratique de l'éclaircie précommerciale :

- En plus de permettre le contrôle de la composition du peuplement, la pratique de l'éclaircie précommerciale se justifie bien pour accélérer la croissance des tiges d'avenir désirées, comme beaucoup d'études l'ont d'ailleurs démontrée;

b. Sur les implications des deux approches d'éclaircie chez les deux espèces:

b.1 Sur la croissance des tiges :

- Pour le bouleau jaune, les deux approches d'éclaircie semblent aussi valables l'une que l'autre lorsque pratiquées au stade de gaulis (12 à 15 ans) à une faible intensité (1,5 m pour le systématique et 0,75 m par rapport aux cimes pour les puits de lumière).

- En ce qui concerne l'érable à sucre, l'éclaircie précommerciale systématique est plus efficace que l'éclaircie précommerciale par puits de lumière pour stimuler la croissance de l'érable à sucre.

- Une bonne réponse de la croissance est attendue suite à une faible éclaircie hâtive sur des sites riches. Ainsi, la qualité des sites bien qu'elle n'a pas été étudiée dans le cadre de ce projet, semble être un facteur important à considérer pour obtenir un bon succès réponse de l'éclaircie précommerciale.

b.2 Sur la qualité des tiges :

Pour la qualité externe :

- Pour le bouleau jaune, les deux approches d'éclaircie semblent aussi valables l'une que l'autre si elles sont toutes deux pratiquées à une faible intensité de dégagement.

- Le maintien des phénotypes « sciage » d'érable à sucre semble être plus favorisé par les puits de lumière que par l'éclaircie systématique, et ce même, si cette dernière est de faible intensité sur le plan du dégagement.

Pour la qualité interne :

- Les deux approches d'éclaircie semblent avoir un effet bénéfique sur la formation du bois blanc au détriment du bois de coloration pour les deux espèces.
- Par contre, avec des faibles intensités de dégagement, les deux types d'éclaircie ne semblent pas avoir un effet sur les défauts internes pour les deux espèces.

À l'échelle des tiges :

- Le bois blanc semble maintenir la même proportion sur toute la longueur de la première bille des tiges pour les deux espèces.
- Le DHP des tiges semble être un indicateur qui permet de prédire l'importance du bois blanc.
- Les caractéristiques internes (défauts) semblent être uniformes sur toute la longueur de la première bille des tiges.
- Enfin, d'un point de vue technique, nous estimons qu'en absence d'une autre norme de classification des tiges adaptées aux jeunes arbres, celle utilisée (Sonderman 1979) au cours de cette étude pourrait être efficace pour dresser le portait de la qualité potentielle des jeunes tiges feuillues.

7. Références

Alain, S. 1991. Élagage artificiel et risques phytosanitaires chez les feuillus. Cemagref-Grenoble-France 103p.

Bastien, Y., et Wilhelm, G.J. 2000. Une sylviculture d'arbres pour produire des gros bois de qualité. Rev. For Fr. LII: 407-423.

Boureima, I 2007. Éclaircie précommerciale en peuplement feuillus, effets sur la croissance et la qualité des tiges : Analyses à l'échelle du peuplement et à l'échelle de l'arbre d'avenir. Thèse de Maitrise Es sciences Forestières. Université de Moncton Campus d'Edmundston. NB, Canada. 58p.

Calvert, W.W. & Petro, F.J. 1993. Grading standing hardwood trees in Nova Scotia. Canada, Nova Scotia Cooperative Agreement for Forestry Development. 71 p.

Coutand., C. 2006. Dynamique biomécanique du contrôle de la forme d'une structure viscoélastique en croissance: le cas des arbres. INRA, umr PIAF, Clermont Ferrand. 133p.

Della-Bianca, L. 1975. An intensive cleaning of mixed hardwood saplings-10-year results from the southern appalachians. Journal of Forestry 73: 25-28.

Del Degan, M., & Associés. 1996. Revue de littérature : Pratiques forestières en peuplements feuillus ou mixtes. La forêt modèle du Bas-Saint-Laurent. 35p.

Downs, A. A. 1946. Response to release of sugar maple, white oak and yellow-poplar. Journal of Forestry 44: 22-27. cité dans Boureima (2007)

Doyon F., J. Goulet, P. Nolet et A. Patry. 2000. Étude de l'éclaircie précommerciale dans les jeunes peuplements de feuillus durs. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 43p.

Doyon F., J. Goulet, P. Nolet et A. Patry. 2000. Études de la réponse en croissance et en qualité des feuillus nobles à l'éclaircie précommerciale par puits de lumière. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 47p. .

Drinkwater, M.H. 1960. Crown release of young sugar maple. Note technique n°-89, Division de la recherche forestière, ministère du Nord Canadien et des ressources nationales, 17p.

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.

Erdmann, G.G., Godman, R.M., et Oberg, R.R. (1975). Crown release accelerates diameter growth and crown development of yellow birch saplings. U.S.D.A For Serv. Res. Paper NC-117. 87-99p

Forget, É. et F. Doyon. 2002. Guide de classification des peuplements feuillus selon leur potentiel de réponse à l'éclaircie précommerciale. Guide de l'Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 30 p.

Gaëtan D. 2006. Fourches et branches problématiques, quelques considérations d'un arboriste grimpeur. Forêt Wallone- No 82- Mai-juin.

Giroud, G. 2005.caractérisation de la proportion de bois d'aubier et de duramen chez le bouleau à papier (betula papyrifera marsh.). Mémoire de maitrise-Université Laval Québec. 163p.

Graves, A.T., Fajvan, M.A., et Miller, G.w. 2000. The effects of thinning intensity on snag and cavity tree abundance in applachian hardwood stand. Can.J.For Res. 30. 1212-1220.

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.

Hubert, M., et Courraud, R.(2002). Élagages et taille de formation des arbres forestiers. Institut pour le développement forestier. Paris, France 3e édition 281 p

Huot, M. 2001. Résultats de 15 ans de l'éclaircie précommerciale dans l érablière à Duchesnay, Québec. Note de recherche forestière n ^{o}113- p17.

Jean, C. 2008. Dispositifs Expérimentaux : Manuel de cours de statistiques en recherches. Université Laval, Québec, Canada. 225p

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 prunning of Appalachian hardwood stump sprouts-10 year results. Southern Journal of Applied Forestry 12: 23-27.

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.

Lees, J.C. 1978. Hardwood silviculture and management : an interpretive literature review for the Canadian Maritime provinces. Department of Fisheries and the Environment, Can. For. Serv. Maritimes Forest Research Centre, Fredericton, N.B. Information Report M-X-93.

Longuetaud, F. 2005. Détection et analyse non destructive de caractéristiques internes de billons d'epicea commun (Picea Abies (L.) karst.) par tomographie a rayons x. Thèse de Doctorat en sciences forestières et du bois. ENGREF- France.2005. 124p

Marcel G., Pierre Laforest, Foger. H et Maurice Defo. 2008. Fascicule de cours de Physique de bois. Université Laval. Département des sciences du bois et de la forêt. Chapitre 1, section 7.

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.

Miller, G.W. (1996). Epicormic branching on Central Appalachian hardwoods 10 years after deferment cutting. USDA. For. Serv. Research Paper NE-702.

Miller, G.W. et Hanks, L.F. 1986. A key for the Forest Service hardwood tree grades. Northern Journal of Applied Forestry. 3(1): 19-22

Monger, R. 2004. Classification des tiges d'essences feuillues: Normes techniques. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parc. 73 pp

Nolet. P; Boureima I. 2009. Indicateurs de qualité de site pour l'érable à sucre. Ripon, Qc. Institut Québécois d'Aménagement de la Foret Feuillue. 102p

Nowak, C.A.1997. Developing combined crop tree and area wide marking guides for hardwood forests of the Alleghenies. North. J. Appl. For. 14: 99-101

OMNR. 2004. Ontario tree marking guide, Version 1.1. Ont. Min. Nat. Res., Techn. Series., 252 p.

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.

Perkey, A.W, Wilkins, B.L, Smith, H.C.(RYAN et al. 1994). Crop tree management in eastern hardwoods. USDA, For. Serv. Northeastern area state and private forestry, NA- TP-19-93.

Petro, F.J. et Calvert, W.W. (Tamm 1976). How to grade hardwood logs for factory lumber. Dept. Fisheries and Environ. Cana. For. Serv., Forest. Techn. Rpt. 6, 64 p.

Roberge, M. R. 1975. Effect of thinning on the production of high-quality wood in a quebec northern hardwood stand. Can. J. For. Res. 5: 139-145.

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.

Schütz, Jean-Philippe. 1990. Sylviculture 1 : Principes d'éducation des forêts. Collection gérer l'environnement, Presses polytechniques et universitaires romandes.

Sonderman, D.L ; Brisbin, R.L.1978. A quality classification system for young hardwood trees – the first step in predicting future products. USDA For Ser Research n°NE-419. 7p.

Sonderman, D.L. 1979. Guide to the measurement of tree characteristics important to the quality classification system for young hardwood trees. USDA, For Ser. Northeastern Forest Experiment Station. Ne-54. 15p.

Strong, T. F., et Erdmann, G. G. 2000. Effects of residual stand density on growth and volume production in even-aged red maple stands. Can. J. For. Res.,, 30(3): 372-378.

Von Althen, F.W.V., Wood J.E., Mitchell E.G., & Hoback, K. 1994. Effects of different intensities of yellow birch and sugar maple crop tree release. Nat. Ressour. Can., Canadian Forest Service, Ontario, Sault Ste-Marie, Ont., NODA/NFP Tech. Rep. Tr-4.12p.

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. Centre de foresterie de Laurentides, Rapport d'information. 17p.

Zarnovican, R., et Laberge, C. 1994. Réaction des principales essences feuillues à l'éclaircie de mise en lumière dans une érablière à bouleau jaune en Estrie. Serv. Can. For. Centre forestier des Laurentides, Sainte-Foy, Québec. Rapport inf. LAU-X-109.