

PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU FORESTIER

Rapport final – volet 1

RÉSULTATS D'ÉCLAIRCIES COMMERCIALES DANS L'ÉRABLIÈRE SUIVI APRÈS 8 ANS

Présenté à :

**Ministère des Ressources naturelles, de la
Faune et des Parcs du Québec**
Unité de gestion Basse-Lièvre
M. Paul Lachance, ing.f

Lauzon (Thurso) Ressources Forestières
M. Marc Riopel, dir. for.

Par :



Centre collégial de transfert de technologie en
foresterie

François Guillemette, ing.f., M.Sc.
Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.

Mai 2005

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET

- Lauzon (Thurso) Ressources Forestières
M. Marc Riopel, dir. for.

PARTENAIRES DU PROJET

- Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO)
M. François Guillemette, ing.f., M.Sc.
M. Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
M. Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
Mme Julie Plante, tech.f.
M. Étienne Morin, tech.f., étudiant B.Sc.A.
Mme Sabrina Morissette, étudiante B.Sc.A.

- Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec
Unité de gestion Basse-Lièvre
M. Paul Lachance, ing.f.
Mme Pierrette Faucher-Cyr, ing.f.

Direction régionale de l'Outaouais
M. André Laurin, tech.f.

TABLE DES MATIÈRES

BÉNÉFICIAIRE DU PROJET.....	I
PARTENAIRES DU PROJET.....	I
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ	V
INTRODUCTION.....	1
OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES	1
1. MÉTHODOLOGIE.....	2
1.1. DESCRIPTION DU SITE	2
1.2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	2
1.3. MESURES INITIALES ET DE SUIVI.....	3
1.4. ANALYSES STATISTIQUES	4
2. RÉSULTATS	5
2.1. PORTRAIT DU BOIS SUR PIEDS	5
2.2. ACCROISSEMENT RADIAL DES ARBRES D’AVENIR SURVIVANTS	7
2.3. ACCROISSEMENT EN SURFACE TERRIÈRE	11
2.4. ACCROISSEMENT EN VOLUME	13
3. DISCUSSION.....	14
3.1. ACCROISSEMENT DES ARBRES D’AVENIR SURVIVANTS	14
3.2. ACCROISSEMENT NET EN SURFACE TERRIÈRE MARCHANDE	14
3.2.1. <i>Présente étude</i>	14
3.2.2. <i>Littérature</i>	15
3.2.3. <i>Surface terrière minimale</i>	17
3.2.4. <i>Surface terrière maximale</i>	17
3.2.5. <i>Synthèse</i>	17
3.3. IMPLICATIONS SYLVICOLES	18
4. RECOMMANDATIONS	19
4.1. RECOMMANDATIONS SUR LES TRAITEMENTS	19
4.2. RECOMMANDATIONS SUR LE SUIVI	19
4.3. RECOMMANDATIONS SUR LA RECHERCHE	19
CONCLUSION	20
RÉFÉRENCES.....	21
ANNEXE 1 LOCALISATION ET PLAN DU DISPOSITIF	23
ANNEXE 2 DÉFINITIONS DES CLASSES SYLVICOLES	26

ANNEXE 3 CONSIDÉRATIONS SUR LE SUIVI PERMANENT DE PLACETTES À RAYON VARIABLE	27
ANNEXE 4 CLASSIFICATION DE LA VIGUEUR.....	31
ANNEXE 5 COMPOSITION DES PARCELLES AVANT ET APRÈS LA COUPE	32

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Différence d'accroissement radial huit ans avant et après traitement dans les traités et le témoin en fonction du diamètre en 1995	7
Figure 2. Différence d'accroissement radial huit ans avant et après coupe d'assainissement et éclaircie sélective en fonction des traitements et du diamètre en 1995	8
Figure 3. Différence d'accroissement annuel radial avant et après coupe pour des arbres d'avenir gênés et non gênés	9
Figure 4. Ratio d'accroissement radial après coupe sur avant coupe en fonction du DHP en 1995 et par traitement pour 10 ensembles de tiges d'avenir d'érable à sucre et de tilleul d'Amérique	9
Figure 5. Accroissement annuel net pendant 8 ans en fonction de la surface terrière résiduelle après traitement	12
Figure 6. Comparaison de l'accroissement annuel net prédit et observé pendant 8 ans.....	12
Figure 7. Accroissement annuel net du volume marchand brut total et taux d'accroissement annuel net des arbres d'avenir huit ans après traitement	13
Figure 8. Comparaison de l'accroissement annuel net entre diverses études d'éclaircie commerciale et de jardinage dans des peuplements de feuillus durs	15
Figure 9. Diagramme de gestion de la densité pour les peuplements de feuillus tolérants des états du nord-est américain (Solomon et Leak, 1986 adaptation tirée de Crcha et Trottier, 1991)	16

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques initiales de la surface terrière marchande (m ² /ha) du peuplement et des traitements.....	2
Tableau 2. Composition des traitements avant et après la coupe	6
Tableau 3. Diamètre, accroissement radial avant et après coupe et ratio d'accroissement radial pour 10 ensembles de tiges d'avenir d'érable à sucre et de tilleul d'Amérique.....	10
Tableau 4. Évolution de la surface terrière marchande de 1995 à 2003.....	11
Tableau 5. Surface terrière marchande des arbres d'avenir	12
Tableau 6. Volume marchand brut (m ³ /ha) par traitement et par période	13

REMERCIEMENTS

Le Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO) tient à remercier le ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs dans le cadre du *Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier* (Volet 1) pour son soutien financier par l'entremise de M. Marc Riopel de Lauzon (Thurso) Ressources Forestières. De plus, des remerciements sont aussi adressés aux collaborateurs présents lors de la mise en place du dispositif en 1995, soit messieurs Vincent Barette, Pierre Ricard, Carl Charbonneau, Alain Maillé, André Laurin et Marcel Grégoire.

Enfin, nous remercions Mme Anik Mimeault pour le traitement de texte et Mme Claire Roy pour la révision du texte de ce rapport.

RÉSUMÉ

De façon avant-gardiste, Produits forestiers Turpin (maintenant Lauzon Ressources Forestières) en collaboration avec le Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO) installèrent en 1995 d'importants dispositifs expérimentaux visant à développer des scénarios sylvicoles performants pour la production de bois d'œuvre et mieux adaptés aux érablières de l'Outaouais dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest. Un de ces dispositifs, établi en 1995 sur le type écologique FE22, visait à comparer 2 méthodes de mise en application de l'éclaircie commerciale dans une érablière à feuillus tolérants de 70 ans et un témoin sans intervention. L'intervention traditionnelle d'assainissement (enlèvement prioritaire des arbres de faible vigueur) fut comparée à l'éclaircie sélective telle que définie par Schütz (1990) (identification des arbres d'avenir qui formeront le peuplement final et enlèvement des tiges gênantes au développement de leur cime). Le dispositif a été établi selon un plan en blocs complets aléatoires avec 3 répétitions (blocs).

Huit ans après coupes, l'accroissement radial des arbres d'avenir survivants a augmenté par rapport à la période précédente. L'ampleur de cet effet a été le même pour les deux types d'intervention pour toutes les classes de diamètre entre 12 et 46 cm, soit un gain de 0,45 mm/an par rapport aux parcelles témoins. Ce gain a été corroboré par d'autres observations dans la littérature. Néanmoins, davantage d'arbres d'avenir ont connu un fort gain d'accroissement suite à l'éclaircie sélective par rapport à la coupe d'assainissement.

L'accroissement net dans la coupe d'assainissement a été significativement supérieur (0,69 m²/ha/an) à celui de l'éclaircie sélective (0,04 m²/ha/an) et du témoin (0,23 m²/ha/an). Néanmoins, les taux d'accroissements en surface terrière des arbres d'avenir ont été semblables entre la coupe d'assainissement (0,19 m²/ha/an, 2,1 %), l'éclaircie sélective (0,11 m²/ha/an, 1,7 %) et le témoin (0,20 m²/ha/an, 1,6 %). Les différences d'accroissement net entre les traitements ont été attribuées à des différences de surface terrière et de vigueur résiduelles. En effet, après coupe d'assainissement, le peuplement était moins dense (17,7 m²/ha) et plus vigoureux (8,8 m²/ha) que dans la coupe d'éclaircie sélective (21,8 m²/ha et 7,3 m²/ha, respectivement) et l'accroissement a été significativement plus élevé.

Dans l'ensemble, les résultats, comparés à ceux de la littérature, suggèrent que dans des peuplements de feuillus durs (surtout des érablières à bouleau jaune) dont la vulnérabilité au chablis est faible (essences, position, épaisseur du dépôt), la maximisation de l'accroissement annuel net en surface terrière passe d'abord par :

- la diminution de la surface terrière pour atteindre un optimum entre 11 et 16 m²/ha;
- le maintien de la plus grande quantité possible de tiges vigoureuses ($\geq 7,5$ m²/ha);
- et la réduction des tiges susceptibles de mourir (faible vigueur ou susceptibilité aux perturbations naturelles ou auto-éclaircie dans une portion trop dense).

Finalement, il est recommandé d'effectuer le choix entre une éclaircie sélective, une éclaircie d'assainissement, ou une combinaison des deux, en fonction des objectifs de production :

- Modifier la composition du peuplement : éclaircie sélective ou d'assainissement;
- Augmenter le rendement total en récoltant la mortalité : coupe d'assainissement;
- Augmenter le rendement des arbres d'avenir : éclaircie sélective.

INTRODUCTION

Depuis quelques années, il y a beaucoup de pression provenant des instances publiques et du public lui-même, qui sont exercées sur les bénéficiaires des contrats d'approvisionnement et d'aménagement de la forêt publique pour améliorer leurs pratiques et diminuer les impacts environnementaux des interventions en forêt. De plus, la révision à la baisse de la possibilité forestière, les objectifs de rendements accrus et de développement durable sont autant d'éléments obligeant les professionnels forestiers à élaborer et à étudier de nouvelles stratégies d'aménagement pour la production de bois d'œuvre. Les interventions sylvicoles pouvant être mises en pratique en forêt feuillue sont nombreuses. Cependant, les résultats concernant les effets réels de celles-ci en territoire québécois sont rares.

De façon avant-gardiste, Produits forestiers Turpin en collaboration avec le Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO) installèrent en 1995 d'importants dispositifs expérimentaux visant à développer des scénarios sylvicoles performants et mieux adaptés aux érablières de l'Outaouais dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest.

Un de ces dispositifs, établi en 1995, visait à comparer 2 méthodes de mise en application de l'éclaircie commerciale dans une érablière à feuillus tolérants de 70 ans. L'intervention traditionnelle d'assainissement (enlèvement prioritaire des arbres de faible vigueur) fut comparée à l'éclaircie commerciale dite *sélective* au sens de Schütz (1990) (identification des arbres d'avenir qui formeront le peuplement final et enlèvement des tiges gênantes au développement de leur cime). Le dispositif comprend également un témoin sans intervention.

OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

Les objectifs sont d'évaluer le développement des peuplements et des arbres d'avenir et de comparer l'effet des trois traitements mis à l'essai après huit ans. Plus spécifiquement, le suivi des éclaircies commerciales dans une érablière à bouleau jaune de l'Outaouais vise à vérifier les hypothèses suivantes :

- 1- L'accroissement radial des arbres d'avenir a augmenté de façon significative suite à la coupe par rapport au témoin.
- 2- L'accroissement radial des arbres d'avenir de l'éclaircie sélective est supérieur à celui des arbres d'avenir de la coupe d'assainissement.
- 3- Dans les parcelles éclaircies, les accroissements en surface terrière et en volume marchand sont supérieurs aux parcelles témoins.
- 4- Les accroissements de la surface terrière et du volume marchand de l'éclaircie sélective sont supérieurs à ceux de la coupe d'assainissement.

1. MÉTHODOLOGIE

1.1. DESCRIPTION DU SITE

Le dispositif a été établi dans une érablière à feuillus tolérants¹ de 70 ans (code cartographique du 2^e inventaire décennal : ErFt A2 50 1aR II) dans le secteur du lac Lafleur (carte 31G14SO), à l'ouest du lac Écho dans la Réserve faunique Papineau-Labelle sur l'aire commune 72-02 en Outaouais (Lessard et Blouin, 1997; Annexe 1). Le type écologique est l'érablière à tilleul mésique de texture moyenne (FE22) dans la sous-région écologique 3b-M (Hautes collines du lac Simon) du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest (Gosselin *et al.*, 1999).

Une synthèse des principales caractéristiques dendrométriques du peuplement initial est présentée au tableau 1. Malgré la structure d'âge relativement équiennne du peuplement, la distribution initiale des diamètres de l'ensemble des essences était en forme de J inversé avec le peuplier dans les plus gros diamètres et les essences plus tolérantes, telles que l'érable à sucre et le hêtre, dans les diamètres moyens et petits (Lessard et Blouin, 1997). Cette tendance des peuplements équiennes d'essences mélangées à développer une structure en J inversé est fréquemment observée (Goodburn et Lorimer, 1999; Leak, 1999; Lorimer et Krug, 1983; Zarnovican et Laberge, 1994). L'indice de qualité de station pour l'érable à sucre y est de 18 m à 50 ans selon Carpentier (1995 *in* MRNFP, 2003) ou de 15 m à 50 ans pour les feuillus tolérants selon Plonski (1974 *in* MRNFP, 2003).

Tableau 1. Caractéristiques initiales de la surface terrière marchande (m²/ha) du peuplement et des traitements

Surface terrière	Tout le dispositif	0-Témoin	1- Assainissement	2- Éclaircie
	(m ² /ha)	(m ² /ha)	(m ² /ha)	(m ² /ha)
Totale	26,7	28,8	23,2	28,2
Tiges de vigueur I	9,6	11,7	9,3	7,8
Tiges d'avenir	8,2	10,7	7,3	6,5
Érable à sucre	13,1	14,3	8,0	16,8
Hêtre à grandes feuilles	3,2	4,0	4,3	1,3
Peupliers (PEG et PET)	4,4	6,0	5,5	1,7
Proportion coupée	-	0 %	23 %	23 %

1.2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif établi en 1995 est un plan en blocs complets aléatoires avec trois répétitions de trois traitements (Annexe 1), soit : témoin (aucune intervention, traitement 0), coupe d'assainissement (traitement 1) et coupe d'éclaircie sélective (traitement 2). Dans les deux cas, les tiges à abattre ont été marquées préalablement, mais il n'y a pas eu de débardage des bois abattus pour des raisons logistiques.

¹ Principales essences en ordre d'importance en 1995 : ERS, PEU, HEG, ERR, TIA, BOJ, CET.

La coupe d'assainissement a consisté en un prélèvement effectué selon les critères utilisés pour le jardinage par Produits forestiers Turpin à l'époque. Le prélèvement visait à atteindre la première des alternatives suivantes : 30 % de la surface terrière ou une surface terrière résiduelle de 16 m² et l'abattage des arbres de vigueur III en priorité, d'où l'objectif d'assainissement.

Quant à l'éclaircie sélective, elle a été effectuée en sélectionnant des tiges d'avenir et en enlevant les tiges gênantes au développement de leur cime (détourage). Les définitions de ces classes sylvicoles sont présentées à l'annexe 2.

1.3. MESURES INITIALES ET DE SUIVI

Avant l'application des traitements en 1995, un inventaire au prisme de facteur 2, selon les normes usuelles du MRN, de 4 placettes par unité expérimentale² a été réalisé pour un total de 12 placettes par traitement. Les variables suivantes ont été notées pour chaque tige marchande (9,0 cm et plus) :

- essence;
- diamètre à hauteur de poitrine (DHP) par classe de 2 cm;
- vigueur (I, II, III, IV pour les feuillus);
- classe sylvicole (1, 2, 3, 4);
- tige martelée;
- numéro de l'arbre-étude, le cas échéant.

Une attention toute particulière a été appliquée afin de s'assurer du respect du martelage lors de l'abattage, ce qui a été un succès. Par la suite, les arbres d'avenir (ou arbres d'élite selon Schütz, 1990) identifiés dans chaque placette ont été mesurés pour la hauteur (m) et le diamètre à hauteur de poitrine au gallon circonférentiel (mm). Ces 167 arbres ont été identifiés à l'aide d'une plaquette métallique clouée au tronc à la hauteur de mesure du diamètre.

À l'automne 2003, soit après 8 saisons de croissance, un remesurage complet des placettes permanentes à rayon variable et des arbres d'avenir a été réalisé. L'utilisation de placettes permanentes à rayon variable n'est pas habituelle et est discutée en détails à l'annexe 3. Notons que l'accroissement en surface terrière entre les deux périodes de mesure a été obtenu par différence de surface terrière totale et que les composantes de l'accroissement (survie, mortalité recrutement) n'ont pas été calculées afin de réduire le risque de biais discuté à l'annexe 3. Un des problèmes fondamentaux d'un suivi permanent de placettes à rayon variable est la taille de la placette qui varie d'un inventaire à l'autre (en plus d'une classe de diamètre à l'autre) ce qui engendre une certaine imprécision.

La vigueur y a été évaluée d'après la grille de classification 2000-2001 sur l'aire commune 72-02 (Annexe 4). De plus, un échantillon de l'accroissement radial à hauteur de poitrine des 16 dernières années a été prélevé sur les arbres d'avenir à l'aide d'une sonde de Presler. La présence fréquente d'un renflement, causé par le clou et pouvant atteindre 1 cm d'épaisseur et une dizaine de centimètres de longueur, a empêché l'utilisation du diamètre précis (mm) des arbres d'avenir en 2003. Par contre, les mesures du diamètre au pied à coulisse (classes de 2 cm)

² Chaque répétition d'un traitement constitue une unité expérimentale ou parcelle d'un point de vue statistique.

et d'accroissement radial n'ont pas été affectées par le renflement. Ces deux dernières mesures ont donc été retenues pour comparer l'évolution du diamètre des arbres d'avenir.

Le volume marchand brut de l'inventaire a été calculé d'après le tarif de cubage local du MRNFP et l'application du tarif de cubage général de Perron (1985).

Deux méthodes ont été appliquées afin de préciser l'effet sur la croissance en diamètre de l'élimination des tiges gênantes autour des arbres d'avenir. Dans un premier temps, une identification *a posteriori* des arbres d'avenir *gênés* et *non gênés* après coupe a été effectuée. Les arbres d'avenir d'une placette ont été considérés *non gênés* lorsqu'il n'y avait plus d'arbres gênants dans la placette après coupe. De plus, quelques arbres d'avenir ont pu être déterminés *non gênés* lorsqu'il n'y avait pas de tiges gênantes situées à proximité de la tige selon les schémas de localisation des tiges dans les placettes. En présence d'une tige gênante à proximité d'une tige d'avenir, cette dernière a été considérée *gênée*. Trente des 167 arbres d'avenir n'ont pas été qualifiés de *gênés* ou *non gênés* à cause d'incertitudes dans l'interprétation des données de l'inventaire. Dans un deuxième temps, des ensembles d'arbres ayant des caractéristiques très semblables avant intervention (essence, diamètre, étage, hauteur, accroissement radial sur 8 ans) mais appartenant à des interventions différentes ont été formés. La comparaison de l'accroissement après intervention de ces arbres initialement semblables a permis de préciser l'effet de l'éclaircie sélective par rapport à la coupe d'assainissement sur l'accroissement des arbres d'avenir.

Finalement, les taux d'accroissement annuel ont été déterminés d'après la formule d'intérêts composés couramment utilisée en économie et dans les travaux de M. Majcen (Majcen *et al.*, 1990).

1.4. ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SAS version 8.02 et de la procédure GLM pour les analyses de variance (anova) et la régression linéaire. Les résultats des analyses ont été considérés significatifs à un niveau de probabilité p inférieur ou égal à 5 % ($p \leq 0,0500$) et hautement significatifs à un niveau de probabilité p inférieur ou égal à 1 % ($p \leq 0,0100$). Dans le cas où des différences significatives ont été dénotées dans l'anova, les moyennes statistiquement différentes les unes des autres ont été déterminées à l'aide du test de Waller-Duncan. Une transformation logarithmique des données d'accroissement radial a été effectuée afin de répondre aux postulats d'homogénéité des variances et de normalité des résidus. Les résultats sont présentés pour les moyennes et les intervalles de confiance à 95 % de probabilité sur les moyennes.

2. RÉSULTATS

2.1. PORTRAIT DU BOIS SUR PIEDS

Le peuplement initial était composé à environ 50 % d'érable à sucre, 16 % de peuplier (surtout à grandes dents, mais aussi faux-tremble), 12 % de hêtre (Tableau 2 et annexe 5) et d'une variété d'autres essences, telles que l'érable rouge, le tilleul, le bouleau jaune et le cerisier tardif. Le volume marchand brut avant coupe était d'environ 220 m³/ha, soit très près de ce qui est prédit par la table de rendement de Carpentier (1995 *in* MRNFP, 2003) pour l'érable à sucre (213 m³/ha à 70 ans) et beaucoup plus que prédit par les tables de Plonski (1974 *in* MRNFP, 2003) pour les feuillus tolérants en Ontario (158 m³/ha).

Tel que discuté par Lessard et Blouin (1997), la coupe d'assainissement a eu peu d'effets sur la proportion en surface terrière des essences dans le peuplement, alors que la coupe d'éclaircie a réduit de 64 et 22 % la présence de peuplier et de hêtre, respectivement, au bénéfice du bouleau jaune (+31 %) et de l'érable à sucre (+9 %). Le prélèvement a permis de réduire la surface terrière des tiges non vigoureuses (vigoureux III et IV) et la coupe d'assainissement était relativement plus vigoureuse (50 %) et moins dense (17,7 m²/ha) que la coupe d'éclaircie sélective (33 % et 21,8 m²/ha, respectivement).

Huit ans après traitement, la surface terrière était complètement reconstituée dans la coupe d'assainissement (23,2 m²/ha) et le volume (203 m³/ha) avait même dépassé son niveau initial (190 m³/ha). Alors que dans la coupe d'éclaircie sélective, la surface terrière et le volume marchand ont à peine progressé sur cette même période, passant de 21,8 à 22,2 m²/ha et de 184 à 198 m³/ha, respectivement. Ce gain ne représente que 6 % de la surface terrière à reconstituer (6,4 m²/ha) pour atteindre le niveau initial (28,2 m²/ha).

Les analyses suivantes permettront d'approfondir la compréhension de ces résultats.

Tableau 2. Composition des traitements avant et après la coupe

Traitement	Période	Volume marchand		DHP quadratique		Dénombrement	Surface terrière marchande						
		Total	Tiges d'avenir ^a	Total	Tiges d'avenir ^a		Total	ERS	PEU	HEG	Vig I	Vig III	Vig IV
		(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(cm)	(cm)	(ti/ha)	(m ² /ha)	(%)	(%)	(%)	(m ² /ha)	(m ² /ha)	(m ² /ha)
Peuplement	Av. coupe	220	69	21,5		740	26,8	48,9	16,3	12,1	9,6	8,8	8,0
0 - Témoin	Av. coupe	229		21,3		813	28,8	49,7	18,0	14,0	11,7	8,8	7,7
	Ap. coupe 95	229	88	21,3	20,6	813	28,8	49,7	18,0	14,0	11,7	8,8	7,7
	Ap. coupe 03	266	118	23,3	21,9	722	30,7	45,7	21,5	14,4	12,8	6,8	9,2
1 – Assainissement	Av. coupe	190		20,2		725	23,2	34,5	21,6	18,7	9,3	6,2	7,5
	Ap. coupe 95	141	68	19,2	21,3	612	17,7	35,8	18,9	17,9	8,8	3,5	5,2
	Ap. coupe 03	203	96	21,9	23,1	612	23,2	40,3	15,1	21,6	10,8	5,3	6,0
2 – Éclaircie sélect.	Av. coupe	240		22,9		682	28,2	59,8	10,1	4,8	7,8	11,3	8,8
	Ap. coupe 95	184	51	22,3	22,3	558	21,8	64,9	3,8	3,8	7,3	7,5	6,8
	Ap. coupe 03	198	67	23,5	23,8	509	22,2	71,4	0,8	5,3	7,5	7,7	6,3

^a Les arbres d'avenir qui ont été suivis ont été identifiés après traitement, d'où l'absence de compilation des données avant coupe. De plus, presque toutes les tiges de vigueur I après traitement ont été mesurées et suivies parmi les tiges d'avenir.

2.2. ACCROISSEMENT RADIAL DES ARBRES D'AVENIR SURVIVANTS

La différence d'accroissement radial, mesuré sur les arbres d'avenir qui ont survécu³, entre les huit années avant traitement (1988-1995) et les huit années suivantes (1996-2003) a été affectée de façon hautement significative par les traitements ($p < 0,0001$) et par le diamètre de 1995 ($p = 0,0004$) (Figure 1). Cependant, il n'y avait pas de différence significative ($p = 0,1785$) entre les tiges d'avenir de l'éclaircie d'assainissement et de l'éclaircie sélective (cf Hypothèse 2), malgré la présence d'une tendance à un accroissement plus élevé dans l'éclaircie sélective (Figure 2). De plus, la pente de la régression n'a pas été significativement ($p = 0,8528$) affectée par les traitements.

Les deux coupes ont donc permis d'augmenter l'accroissement radial des arbres d'avenir de 0,45 mm/an au cours de la période 1996-2003 par rapport à la période précédente (cf Hypothèse 1). L'ampleur de cet effet a été le même pour toutes les classes de diamètre entre 12 et 46 cm.

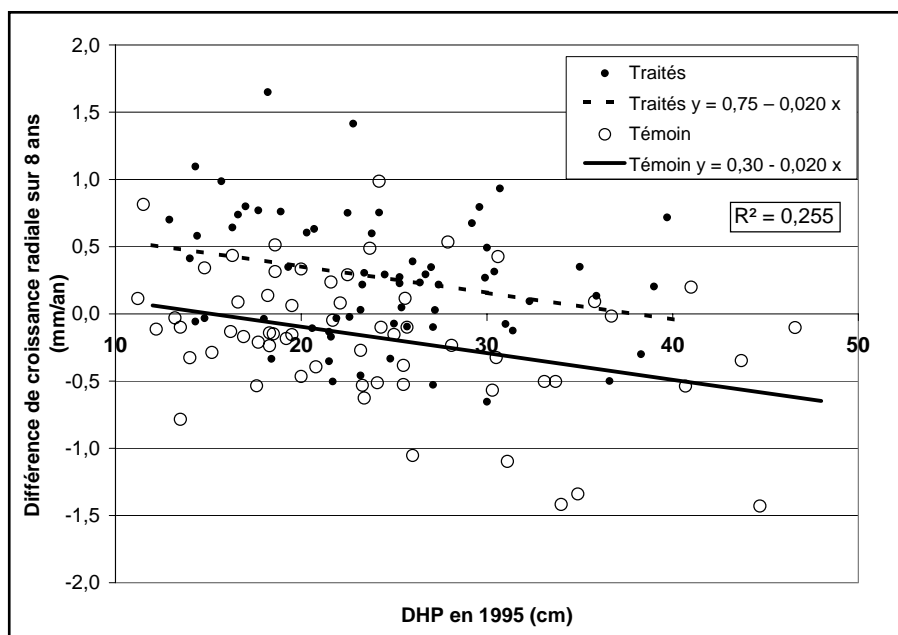


Figure 1. Différence d'accroissement radial huit ans avant et après traitement dans les traités et le témoin en fonction du diamètre en 1995

³ Parmi les 167 arbres d'avenir sélectionnés dans le dispositif en 1995, seules 7 tiges mortes ont été répertoriées en 2003 : témoin (BOJ 22 cm, BOJ 28 cm et BOJ 38 cm), assainissement (ERS 16 cm et TIL 18 cm) et éclaircie (ERS 16 cm et ERS 24 cm).

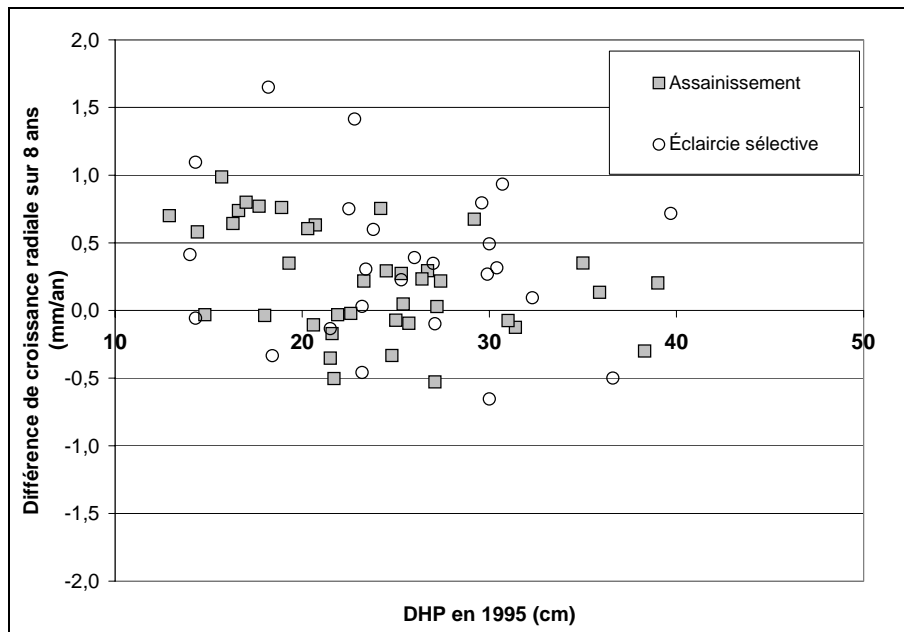


Figure 2. Différence d'accroissement radial huit ans avant et après coupe d'assainissement et éclaircie sélective en fonction des traitements et du diamètre en 1995

De même, la différence d'accroissement radial entre les huit années avant traitement (1988-1995) et les huit années suivantes (1996-2003) est significativement différente ($p = 0,0434$) entre les arbres d'avenir *gênés* et *non gênés* (Figure 3).

Malgré l'absence d'écart significatif dans la différence d'accroissement radial entre la coupe d'assainissement et l'éclaircie sélective (Figure 1), le ratio d'accroissement radial après/avant traitement dans l'éclaircie sélective est supérieur à ceux de la coupe d'assainissement et du témoin dans 7 des 10 ensembles (Figure 4 et Tableau 3). La représentation graphique de ces résultats démontre que dans les trois traitements il y a une bonne proportion des tiges qui ont un ratio semblable aux tiges du témoin, soit entre 0,5 et 1,5. Cependant, 2 des 11 tiges (18 %) de la coupe d'assainissement ont un ratio supérieur à 1,5 ainsi que 6 des 12 tiges (50 %) de l'éclaircie sélective. Ce dernier traitement est donc celui qui permet d'augmenter le plus la proportion des tiges d'avenir qui ont un gain d'accroissement suite à la coupe (*cf* Hypothèse 2).

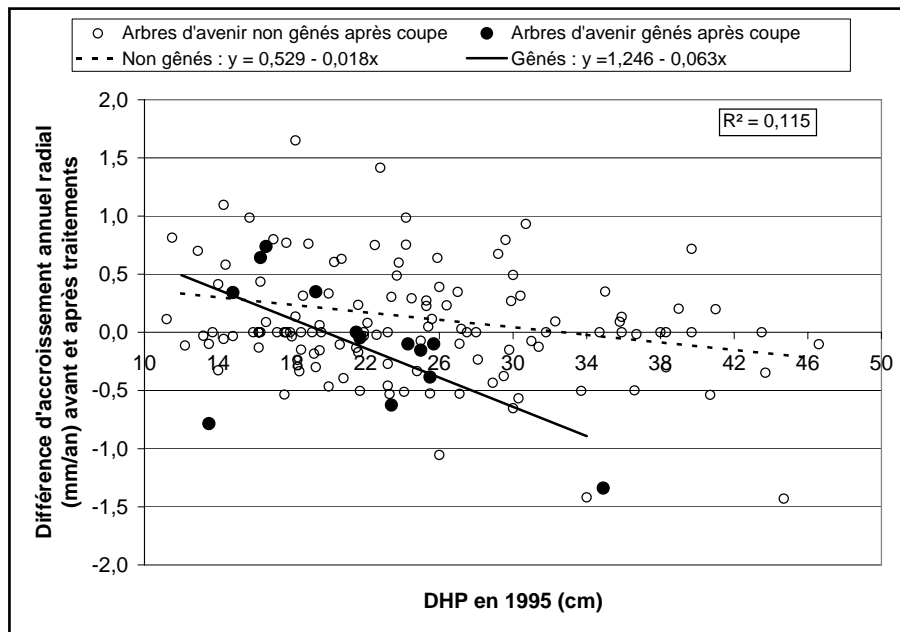


Figure 3. Différence d'accroissement annuel radial avant et après coupe pour des arbres d'avenir g n s et non g n s

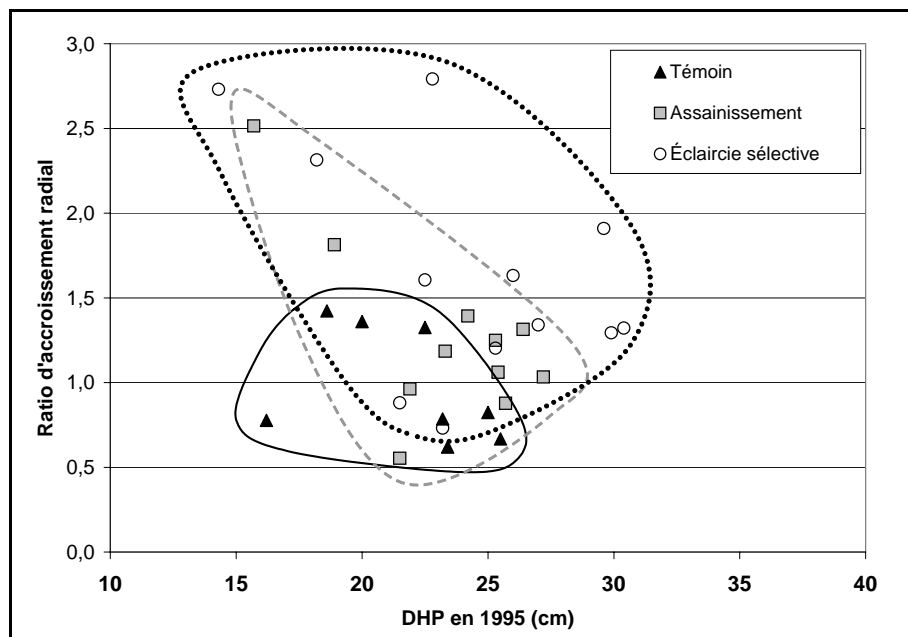


Figure 4. Ratio d'accroissement radial après coupe sur avant coupe en fonction du DHP en 1995 et par traitement pour 10 ensembles de tiges d'avenir d'érable à sucre et de tilleul d'Amérique

Tableau 3. Diamètre, accroissement radial avant et après coupe et ratio d'accroissement radial pour 10 ensembles de tiges d'avenir d'érable à sucre et de tilleul d'Amérique

Ensemble	Traitement	Essence	DHP (cm)	Accroissement radial (mm)		Ratio
			1995	1988-1995	1996-2003	Après/avant
1	Témoin	ERS	16,2	4,7	3,7	0,8
	Assainissement	ERS	15,7	5,2	13,1	2,5
	E. sélective	ERS	14,3	5,1	13,8	2,7
2	Témoin	ERS	18,6	9,7	13,8	1,4
	Assainissement	ERS	18,9	7,5	13,6	1,8
	E. sélective	ERS	18,2	10,1	23,3	2,3
3	Témoin	ERS	20,0	7,4	10,1	1,4
	Assainissement	ERS	21,5	6,3	3,5	0,6
	E. sélective	ERS	21,5	9,0	7,9	0,9
4	Témoin	ERS	22,5	7,2	9,5	1,3
	Assainissement	ERS	21,9	6,9	6,6	1,0
	E. sélective	ERS	22,8	6,3	17,6	2,8
5	Témoin	ERS	23,2	10,1	8,0	0,8
	Assainissement	ERS	23,3	9,4	11,2	1,2
	E. sélective	ERS	22,5	9,9	15,9	1,6
6	Témoin	ERS	23,4	13,2	8,2	0,6
	Assainissement	ERS	24,2	15,4	21,4	1,4
	E. sélective	ERS	23,2	13,6	10,0	0,7
7	Assainissement	ERS	25,3	8,7	10,9	1,2
	E. sélective	ERS	25,3	8,9	10,7	1,2
8	Témoin	ERS	25,0	7,0	5,8	0,8
	Assainissement	ERS	25,4	6,2	6,6	1,1
		ERS	25,7	6,2	5,5	0,9
	E. sélective	ERS	26,0	4,9	8,1	1,6
9	Témoin	TIL	25,5	9,2	6,2	0,7
	Assainissement	TIL	26,4	5,9	7,8	1,3
	E. sélective	TIL	27,0	8,2	10,9	1,3
10	Assainissement	TIL	27,2	7,0	7,2	1,0
	E. sélective	TIL	29,6	7,0	13,4	1,9
		TIL	29,9	7,3	9,5	1,3
		TIL	30,4	7,8	10,4	1,3

2.3. ACCROISSEMENT EN SURFACE TERRIÈRE

Après 8 ans, l'accroissement net en surface terrière dans le témoin (+ 0,229 m²/ha/an) n'est pas significativement différent de 0 m²/ha/an ($p = 0,0964$) (Tableau 4). Par contre, la coupe d'assainissement a causé une augmentation significative ($p = 0,0285$) de la surface terrière totale (+ 0,688 m²/ha/an), alors que la coupe d'éclaircie sélective n'a pas causé un accroissement significatif de la surface terrière marchande (cf Hypothèse 4). En effet, l'accroissement net de 1995 à 2003 (+ 0,041 m²/ha/an) n'y est pas significativement différent de 0 m²/ha/an ($p = 0,7140$) et il n'y est pas significativement différent de celui dans le témoin (cf Hypothèse 3).

Tableau 4. Évolution de la surface terrière marchande de 1995 à 2003

Traitements	Surface terrière (m ² /ha)				AAN (%)
	Avant (1995)	Après (1995)	Après (2003)	AAN (m ² /ha/an)	
0 – Témoin	28,8	28,8	30,7	0,229 b	0,80
1 – Assainissement	23,2	17,7	23,2	*0,688 a	3,44
2 – Éclaircie	28,2	21,8	22,2	0,041 b	0,23
Intervalles de confiance	± 7,0	± 7,5	± 7,1	± 0,25	

* Accroissement significativement différent de 0 m²/ha au niveau de probabilité de 5 %. Des lettres différentes indiquent des traitements qui sont significativement différents selon le test de Waller-Duncan au niveau de probabilité de 5 %.

Indépendamment des traitements, l'accroissement annuel net est supérieur dans les blocs où la surface terrière résiduelle (G_r) est plus faible, entre 16,5 et 34,0 m²/ha (Figure 5). Dans le bloc 1 de l'éclaircie sélective, l'accroissement annuel net négatif serait expliqué par la vigueur plus faible du peuplement résiduel (Annexe 5).

D'ailleurs, la surface terrière résiduelle ($p = 0,0087$) et celle en tiges vigoureuses (presque exclusivement de vigueur I) (G_{rv} ; $p = 0,0194$) expliquent, à elles seules, 71 % de la variation observée dans l'accroissement annuel net en surface terrière pendant 8 ans, indépendamment des traitements appliqués dans ce dispositif (Figures 5 et 6; équation 1). À l'intérieur des limites du développement de cette équation⁴, il apparaît que plus la surface terrière marchande est réduite et que celle des tiges vigoureuses est maintenue élevée, meilleure est la réponse du peuplement au traitement. Dans l'éclaircie sélective, les deux parcelles (blocs) ayant eu l'accroissement le plus faible avaient 5,5 et 6,0 m²/ha de tiges vigoureuses, alors que la vigueur variait entre 7,5 et 10,5 m²/ha dans les autres parcelles coupées.

Les différences d'accroissement qui ont été observées suite aux traitements pourraient donc être davantage expliquées par des différences de surface terrière résiduelle et de vigueur résiduelle que par les variantes entre les deux traitements de coupe. L'accroissement annuel net et le taux d'accroissement annuel net des arbres d'avenir survivants n'ont pas été significativement différents ($p = 0,4988$ et $p = 0,3372$) entre les traitements (Tableau 5), suggérant que les différences de rendement pourraient être causées par des différences de mortalité. La mortalité aurait été moindre dans les parcelles moins denses et plus vigoureuses.

$$\text{AAN} = 0,946 - 0,068G_r + 0,095G_{rv} \quad R^2 = 0,71 \quad (\text{Équation 1})$$

⁴ Limites de l'équation : AAN (-0,25 à 0,75), G_r (16,5 à 33,5), G_{rv} (5,5 à 16,0)

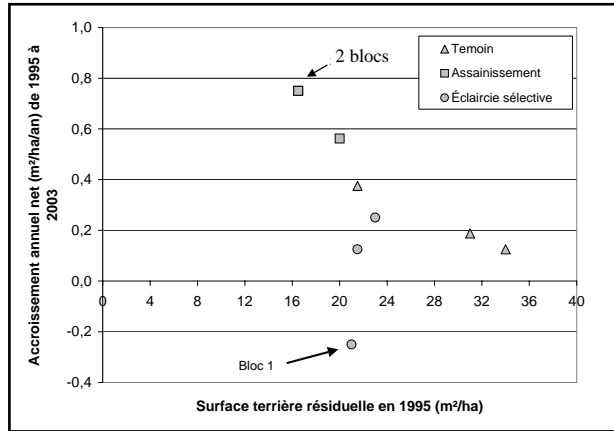


Figure 5. Accroissement annuel net pendant 8 ans en fonction de la surface terrière résiduelle après traitement

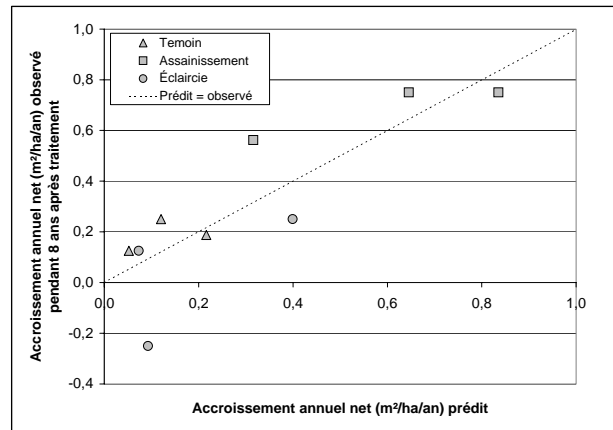


Figure 6. Comparaison de l'accroissement annuel net prédit et observé pendant 8 ans

Tableau 5. Surface terrière marchande des arbres d'avenir

Essences	Traitement	Surface terrière (m ² /ha)			AAN (%)
		Après (1995)	Après (2003)	AAN (m ² /ha/an)	
Toutes	0 – Témoins	11,6	13,2	0,204 a	1,63 a
	1 – Assainissement	8,7	10,3	0,194 a	2,13 a
	2 – Éclaircie	6,2	7,1	0,109 a	1,71 a

2.4. ACCROISSEMENT EN VOLUME

Les traitements n'ont pas eu d'effets statistiquement significatifs ($0,1094 < p > 0,2577$) sur les variables de volume marchand brut (cf Hypothèses 3 et 4) étant donné la grande variabilité entre les unités expérimentales (Tableau 6). Néanmoins, l'accroissement annuel net (AAN) en volume marchand brut a été nettement supérieur dans la coupe d'assainissement par rapport au témoin et à l'éclaircie sélective. D'ailleurs, le volume coupé en 1995 dans la coupe d'assainissement a été complètement reconstitué, voire même dépassé, après 8 ans et ce, contrairement à l'éclaircie sélective.

Ces résultats observés avec le volume corroborent ceux observés avec la surface terrière (cf Section 2.2). En effet, l'accroissement net en volume après traitement est plus élevé avec un volume résiduel plus faible (100 à 150 m³/ha) et un volume plus élevé d'arbres d'avenir (> 50 m³/ha) ou de tiges vigoureuses (Figure 7). Le volume du bloc 1 de la coupe d'éclaircie sélective a décliné et c'était le moins vigoureux (Tableau 2). Quant aux arbres d'avenir, leur volume s'est accru de 3,9 % par année, indépendamment du volume résiduel total ($p = 0,2864$) ou en tiges d'avenir ($p = 0,5230$) (Figure 7).

Tableau 6. Volume marchand brut (m³/ha) par traitement et par période

Traitement	Avant traitement	Volume	Après traitement	Après traitement	AAN (m ³ /ha/an)
	(1995)	récolté	(1995)	(2003)	(1995 à 2003)
	Total	Total	Total	Total	Total
0 – Témoin	229 a	0	229 a	266 a	4,68 a
1 – Assainissement	190 a	49	141 a	203 a	7,75 a
2 – Éclaircie	240 a	56	184 a	198 a	1,84 a
Intervalles de confiance	± 53	± 24	± 64	± 65	± 5,75

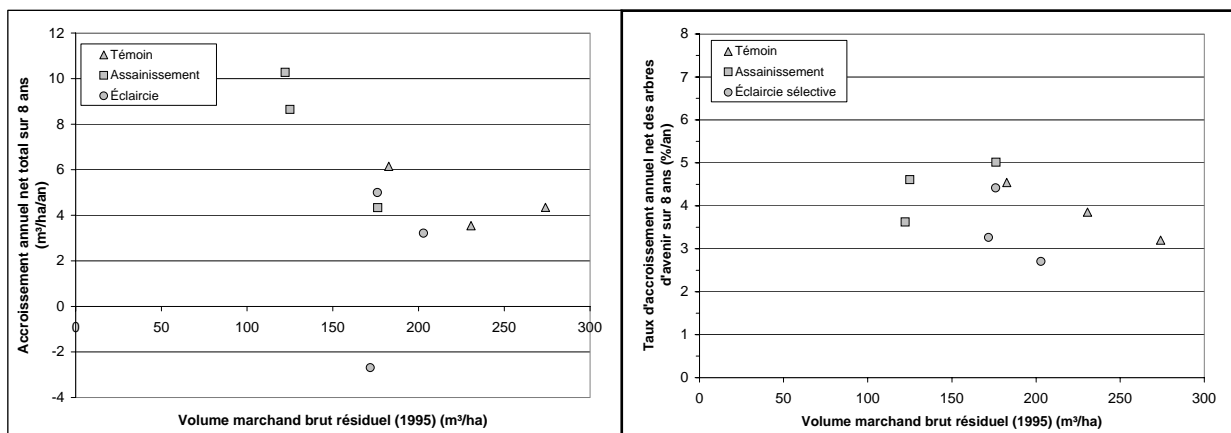


Figure 7. Accroissement annuel net du volume marchand brut total et taux d'accroissement annuel net des arbres d'avenir huit ans après traitement

3. DISCUSSION

3.1. ACCROISSEMENT DES ARBRES D'AVENIR SURVIVANTS

L'ouverture du couvert a eu des effets statistiquement significatifs, mais très minimes, sur l'accroissement radial des arbres d'avenir survivants (*cf* Hypothèse 1). En effet, les deux traitements ont augmenté l'accroissement radial des arbres d'avenir survivants de 0,45 mm/an par rapport à la période précédente et au témoin, ce qui correspond à un accroissement annuel moyen sans écorce de 0,09 cm de diamètre. De plus, parmi ces arbres d'avenir, il a été démontré que ceux qui n'étaient pas *génés* par d'autres tiges ont eu une croissance radiale supérieure aux arbres *génés*. D'ailleurs, ce constat est reflété par une plus grande fréquence de tiges ayant augmenté leur accroissement radial dans l'éclaircie sélective par rapport à la coupe d'assainissement et au témoin (*cf* Hypothèse 2).

Dans une érablière équienne âgée d'environ 50 ans à Duchesnay, les deux coupes d'éclaircie (assainissement sur 22 et 35 % de la surface terrière) ont augmenté le diamètre moyen avec écorce des tiges marchandes survivantes d'érable à sucre de 1,5 cm après 10 ans par rapport au témoin (Pothier, 1996). Cet accroissement avec écorce, pour des tiges dont le diamètre moyen (22 cm) était semblable à celui des arbres d'avenir de la présente étude (25 cm), représentait 0,15 cm/an, ce qui est légèrement supérieur aux résultats de la présente étude (0,09 cm/an sans écorce). Les résultats de Erdmann et Oberg (1973), Majcen (1995), Majcen et Richard (1995), Majcen et Bédard (2000), Bédard et Brassard (2002), pour n'en nommer que quelques-uns, ont aussi démontré que l'accroissement annuel en surface terrière des tiges survivantes était peu affecté par le jardinage par rapport aux témoins. La réduction de la mortalité et l'augmentation du recrutement sont, dans l'ordre, les principales variables qui expliquent l'augmentation de l'accroissement net suite au jardinage et à l'éclaircie commerciale.

3.2. ACCROISSEMENT NET EN SURFACE TERRIÈRE MARCHANDE

3.2.1. Présente étude

Des taux de prélèvement identiques (23 %) avaient été appliqués pour la coupe d'assainissement et la coupe d'éclaircie sélective, mais c'est la surface terrière résiduelle totale et celle des tiges résiduelles vigoureuses qui ont expliqué 71 % de l'accroissement net observé sur les huit années suivantes (*cf* Hypothèses 3 et 4). En effet, l'accroissement net en surface terrière marchande a été plus élevé dans la coupe d'assainissement (0,69 m²/ha/an; 3,44 %) où la surface terrière résiduelle était plus faible (17,7 m²/ha) et où la vigueur était plus élevée (10,3 m²/ha) par rapport à la coupe d'éclaircie sélective (0,04 m²/ha/an, 21,8 m²/ha 7,1 m²/ha et 0,23 %, respectivement). Par contre, les taux d'accroissement en surface terrière des tiges d'avenir n'étaient pas significativement différents entre les deux traitements (2,13 et 1,71 %, respectivement). L'élimination prioritaire des tiges non vigoureuses permettrait donc d'augmenter l'accroissement net en réduisant d'abord les pertes causées par la mortalité des tiges non vigoureuses. Cette mortalité serait, entre autres, causée par la compétition élevée entre les tiges lorsque la surface terrière est élevée.

3.2.2. Littérature

Ces résultats sur l'accroissement net en surface terrière marchande corroborent ceux observés sur des périodes quinquennale ou décennale dans la littérature québécoise pour des éclaircies commerciales (formes polygonales : o, Δ, □, etc.) et des coupes de jardinage (formes linéaires : +, x, -, etc.) dans des peuplements de feuillus durs (Figure 8). Dans la forêt expérimentale de Dudswell, près de Windsor en Estrie, le peuplement éclairci (éclaircie par le haut : zéro, 30 et 50 % de la surface terrière) était une érablière à bouleau jaune et à hêtre de 60 ans (Roberge, 1975). Malgré un prélèvement atteignant 50 % de la surface terrière, ce qui l'a réduite à 11,2 m²/ha, la qualité du tronc et des cimes de bouleau jaune ne fut pas diminuée (Fortin, 1974 *In* Roberge, 1975). L'importance des gaules d'érable à sucre et la présence de petites tiges marchandes (dégagées avec l'éclaircie par le haut) auraient contribué de façon importante au maintien de la qualité des troncs dans ce dispositif. Dans une érablière à érable rouge de 65 ans à Dudswell, Fournier *et al.* (1977) ont réalisé des éclaircies par le haut (récolte des arbres > 30 cm au DHP en priorité) à zéro, 30 et 70 % de la surface terrière. La croissance a été nulle dans le traitement ouvert à 70 % avec une surface terrière résiduelle de 5 m²/ha et la régénération y a été envahie par l'érable rouge, contrairement à l'éclaircie à 30 % (11 m²/ha résiduel) où la croissance est bonne (0,6 m²/ha/an) et le sapin (espèce tolérante) domine la régénération.

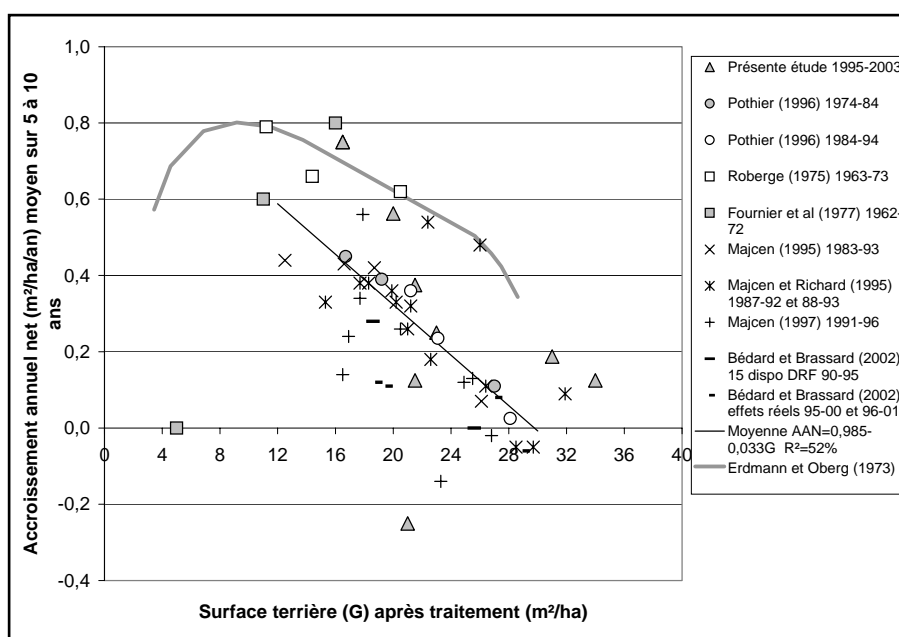


Figure 8. Comparaison de l'accroissement annuel net entre diverses études d'éclaircie commerciale et de jardinage dans des peuplements de feuillus durs

Dans l'éclaircie commerciale, d'aussi bons accroissements ont été observés à des surfaces terrières résiduelles de 16 m²/ha que de 11 m²/ha. Dans l'érablière au sud des Grands-Lacs, Erdmann et Oberg (1973) ont observé un accroissement annuel net optimal (0,8 m²/ha/an) plus près d'une surface terrière résiduelle de 9 m²/ha, mais leur diamètre marchand minimal était de 11,7 cm au lieu de 9,1 cm comme au Québec, ce qui explique un glissement de leur courbe vers la gauche par rapport aux données québécoises (Figure 8). D'après le guide de gestion de la

densité pour les érablières au sud des Grands-Lacs (Tubbs, 1977), avec un diamètre moyen d'environ 25 cm, tel qu'observé dans la présente étude, la surface terrière maximale (plein stocking) serait de 21 m²/ha et, après éclaircie, la surface terrière minimale à conserver serait de 16 m²/ha, ce qui corrobore les résultats de la présente étude. D'ailleurs, dans des érablières assainies de cette même région, Crow *et al.* (1981) ont démontré qu'entre une surface terrière résiduelle de 11,5 et 20,6 m²/ha, le choix devait se faire davantage sur des considérations économiques que biologiques, puisque l'accroissement y était assez semblable. Selon Solomon et Leak (1986 dans Crcha et Trottier, 1991) la surface terrière résiduelle permettant d'obtenir le maximum de croissance en volume (ligne B) est autour de 15 m²/ha (Figure 9). Les éclaircies pratiquées dans le dispositif à l'étude auraient donc pu être plus intenses.

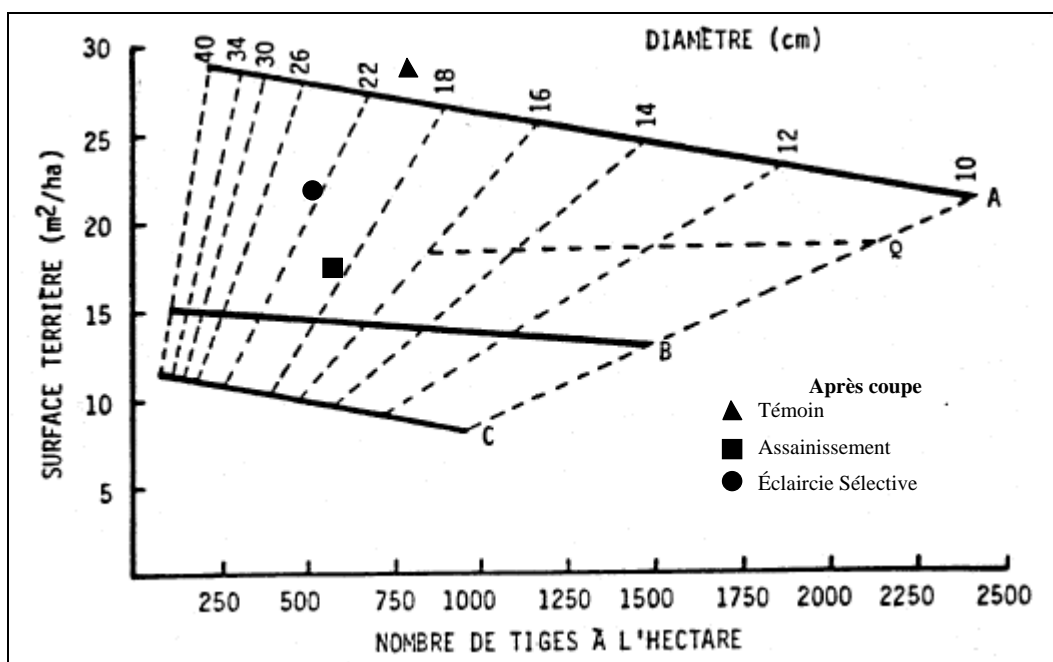


Figure 9. Diagramme de gestion de la densité pour les peuplements de feuillus tolérants des états du nord-est américain (Solomon et Leak, 1986 adaptation tirée de Crcha et Trottier, 1991)

Les résultats présentés pour les études de Majcen et Richard (1995) et Majcen (1997) regroupent les parcelles témoins et traitées de 11 dispositifs expérimentaux, dont 10 sur le jardinage⁵. Au lac Cordon (1991-96, non présenté sur la figure 6, 29,0 et 17,9 m²/ha après coupe), les chablis ont causé une mortalité importante tant dans le témoin (-0,208 m²/ha/an) que dans le traité (-0,144 m²/ha/an) de ce dispositif localisé sur un sommet au sol mince. L'accroissement net a été très élevé dans les témoins des dispositifs du Grand Lac Bénédicte (22,4 m²/ha, +0,54 m²/ha/an) et du Ruisseau Bouleau (26,0 m²/ha, +0,48 m²/ha/an) où la mortalité a été beaucoup plus faible (0,04 et 0,12 m²/ha/an) que dans les cinq autres témoins (0,26 à 0,63 m²/ha/an) des sept dispositifs de Majcen et Richard (1995). D'après le modèle développé dans la présente étude, une vigueur élevée du peuplement pourrait expliquer ce gain, quoique Majcen et Richard (1995) n'en aient pas fait mention. La moyenne de 15 dispositifs de la Direction de la recherche forestière

⁵ Les résultats de certains de ces blocs ont aussi été publiés dans Bédard et Majcen (2003).

(DRF) est présentée d'après Bédard et Brassard (2002), ainsi qu'une comparaison avec le suivi des effets réels de 1995-00 (42 peuplements) et 1996-01 (83 peuplements). Ces auteurs ont démontré que les arbres morts sur pieds, renversés et cassés dans les peuplements jardinés du dispositif de suivi des effets réels en 2001 étaient très majoritairement des tiges non vigoureuses après coupe. Cette observation est corroborée par les résultats de la présente étude qui démontrent, qu'en plus de la surface terrière résiduelle totale, la surface terrière résiduelle des tiges vigoureuses est une variable qui explique une portion significative de l'accroissement. Cependant, cette comparaison n'a pu être effectuée avec d'autres études puisque la surface terrière des tiges vigoureuses n'y était pas présentée par les auteurs dans les études recensées.

3.2.3. Surface terrière minimale

Une surface terrière minimale doit être conservée afin d'éviter une réduction de la qualité des tiges et une trop grande réduction du capital forestier en croissance. Selon Fortin (1974 *in* Roberge, 1975) en présence de nombreuses gaules en sous-bois, la qualité des troncs de bouleau jaune peut être maintenue avec une surface terrière résiduelle de seulement 11 m²/ha. Néanmoins, à titre préventif, il serait préférable de viser une surface terrière résiduelle plus près de 16 m²/ha après éclaircie commerciale pour maintenir la qualité des tiges et obtenir un accroissement net aussi élevé. Quant à la surface terrière minimale de tiges vigoureuses à obtenir après coupe, dans les parcelles traitées de la présente étude, une surface terrière de tiges vigoureuses de 7,5 à 10,5 m²/ha a donné de bons résultats sur 8 années, alors qu'à 6 m²/ha et moins, l'accroissement net a été faible ou négatif. Une vigueur résiduelle de 7,5 m²/ha doit être perçue comme une valeur minimale en bas de laquelle l'éclaircie en Outaouais n'a pas permis d'accroître le rendement et non pas comme une valeur cible, puisqu'avec une vigueur plus élevée l'accroissement net est augmenté.

3.2.4. Surface terrière maximale

À plus de 22-26 m²/ha, l'accroissement net est généralement faible dans les études rapportées (Figure 8), probablement à cause d'une mortalité élevée provenant d'une vigueur faible et d'une densité élevée (auto-éclaircie). L'objectif de reconstituer la surface terrière initiale du peuplement, lorsque celle-ci était supérieure à environ 22-26 m²/ha, est donc questionnable si l'objectif est de maximiser la production de bois. D'après la moyenne de ces études, à partir d'une surface terrière résiduelle de 16 m²/ha, il serait possible d'atteindre 24 m²/ha en 22 ans. Par contre, avec une vigueur élevée, tel que suggéré par les parcelles des études ayant eu le meilleur accroissement, ce même objectif pourrait être atteint en une quinzaine d'années. À l'avenir, la vigueur du peuplement résiduel devra donc être considérée dans l'analyse et l'interprétation des résultats de coupes partielles dans des peuplements feuillus. De plus, une analyse de ces résultats dans leur contexte écologique devrait être entreprise.

3.2.5. Synthèse

Dans l'ensemble, les résultats suggèrent que, dans des peuplements de feuillus durs (surtout des érablières à bouleau jaune) dont la vulnérabilité au chablis est faible (essences, position, épaisseur du dépôt), la maximisation de l'accroissement annuel net en surface terrière passe d'abord par :

- la diminution de la surface terrière pour atteindre un optimum entre 11 et 16 m²/ha;
- le maintien d'un maximum de tiges vigoureuses ($\geq 7,5$ m²/ha);

- et la réduction des tiges susceptibles de mourir (faible vigueur ou susceptibilité aux perturbations naturelles ou auto-éclaircie dans une portion trop dense).

Dans le cas du jardinage, les objectifs de l'intervention dépassent ceux de l'éclaircie commerciale, car ils visent aussi la régénération du peuplement par le maintien d'une distribution diamétrale en forme de J inversée, ainsi que la reconstitution de la surface terrière avant coupe sur une période d'environ 15 à 20 ans. C'est pourquoi les travaux de M. Majcen (Majcen, 1995; Majcen et Richard, 1995; Majcen et Bédard, 2000) recommandent d'effectuer des coupes d'une intensité de 25 à 35 % (surface terrière résiduelle entre 16 et 21 m²/ha), car une récolte plus intense augmente la proportion de tiges blessées, la perte de gaules et la durée de la période de rotation. De plus, à 12,3 m²/ha de surface terrière marchande résiduelle, les essences non commerciales (prp, erp, ere) sont plus abondantes en régénération qu'à 16,6 m²/ha, mais il en serait aussi de même pour les essences commerciales désirées, telles que le bouleau jaune et l'érable à sucre. À un taux de coupe de 28 % et une surface terrière résiduelle de 18,7 m²/ha, la surface terrière initiale a été reconstituée en une quinzaine d'années dans le jardinage à Ste-Véronique (Majcen et Bédard, 2000).

3.3. IMPLICATIONS SYLVICOLES

Les résultats de la présente étude ont démontré, dans une érablière équienne en Outaouais, que l'éclaircie sélective pouvait modifier la composition du peuplement et stimuler l'accroissement des arbres d'avenir. Par contre, l'absence d'objectif d'assainissement peut engendrer des pertes importantes de volumes parmi les arbres de remplissage. C'est donc un traitement sylvicole particulièrement intéressant lorsque seuls les arbres d'avenir sont recherchés et qu'on ne désire pas récolter le volume des autres tiges. Dans ce cas, les arbres abattus n'auraient pas à être récoltés et ainsi, les blessures aux arbres d'avenir seraient minimisées. Cependant, lorsque la récolte du volume des arbres autres que ceux d'avenir est désirée, alors la coupe d'assainissement est préférable puisqu'elle permet à la fois de récolter le volume susceptible de se perdre (vigueur faible ou auto-éclaircie dans les portions trop denses) tout en dégagant les arbres d'avenir de la plupart des tiges gênantes. D'ailleurs, il est possible de compléter l'assainissement par une éclaircie sélective visant les arbres d'avenir.

Sur les stations à faible risque de chablis et avec des essences qui y sont peu vulnérables, vers 60-70 ans (20-25 cm au DHP) la surface terrière résiduelle peut facilement être réduite à un peu moins de 16 m²/ha afin de maximiser l'accroissement, tout en contrôlant les risques de blessure et de perte de qualité des troncs. Cependant, la surface terrière résiduelle de tiges vigoureuses devra aussi être maximisée (minimum > 7,5 m²/ha) afin de réduire les risques de mortalité causée par la vigueur faible. Néanmoins, tous les facteurs qui rendent les arbres susceptibles de mourir doivent aussi être considérés dans le choix des tiges à abattre ou à conserver, tels que :

- longévité;
- vigueur (blessures, maladies);
- perturbations naturelles (chablis, épidémies);
- densité élevée (auto-éclaircie).

Il en ressort donc trois concepts fondamentaux pour maximiser l'accroissement : (1) rabattre la densité à un niveau optimal de croissance, (2) récolter les arbres susceptibles de mourir et (3) ouvrir le couvert de façon à permettre le dégagement des arbres d'avenir.

4. RECOMMANDATIONS

4.1. RECOMMANDATIONS SUR LES TRAITEMENTS

Les recommandations suivantes, tirées des résultats de la présente étude et de la littérature, visent particulièrement l'éclaircie commerciale dans des érablières équiennes (50 à 70 ans) sur les types écologiques FE32 ou FE22 du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest ou de l'érablière à tilleul.

- Effectuer le choix entre une éclaircie sélective, une éclaircie d'assainissement, ou une combinaison des deux, en fonction des objectifs de production :
 - Modifier la composition du peuplement : éclaircie sélective ou d'assainissement.
 - Augmenter le rendement total en récoltant la mortalité : coupe d'assainissement.
 - Augmenter le rendement des arbres d'avenir : éclaircie sélective.
- Viser une surface terrière résiduelle de l'ordre de 16 m²/ha, dont au moins la moitié en tiges vigoureuses. A ce titre, les diagrammes de gestion de la densité peuvent permettre de préciser significativement la prescription.

4.2. RECOMMANDATIONS SUR LE SUIVI

- Effectuer un suivi après 15 ans (2010) afin de préciser le moment optimal pour réaliser une seconde éclaircie.
- Lors du prochain suivi, identifier l'appartenance des tiges à chaque composante de l'accroissement selon les meilleures définitions applicables aux placettes à rayon variable (annexe 3).

4.3. RECOMMANDATIONS SUR LA RECHERCHE

- Poursuivre le développement de modèles décrivant l'accroissement quinquennal en surface terrière en fonction de la surface terrière résiduelle totale et de tiges vigoureuses. De tels travaux sont présentement en cours par la Direction de la recherche forestière du MRNFP et par le ministère des Ressources naturelles de l'Ontario (Murray Woods, *Growth and yield program leader* en Ontario, communication personnelle, 2004).
- Évaluer la possibilité sylvicole et économique d'effectuer un second prélèvement (assainissement) dans des peuplements jardinés ou éclaircis dont la surface terrière résiduelle est élevée et l'accroissement annuel est faible.

CONCLUSION

L'ouverture du couvert a eu des effets statistiquement significatifs, mais très minimes, sur l'accroissement radial des arbres d'avenir survivants, ce qui corrobore les résultats d'autres études semblables. Le gain moyen d'accroissement radial des arbres d'avenir n'a pas été significativement différent entre l'éclaircie sélective et la coupe d'assainissement. Cependant, davantage d'arbres d'avenir ont connu un fort gain d'accroissement suite à l'éclaircie sélective par rapport à la coupe d'assainissement.

L'accroissement net en surface terrière après intervention a été significativement plus élevé dans la coupe d'assainissement que dans la coupe d'éclaircie sélective et le témoin, principalement à cause d'une surface terrière résiduelle plus faible et d'une vigueur plus élevée. Ces résultats sont corroborés par ceux d'autres études publiées dans la littérature.

RÉFÉRENCES

- Bédard, S. et F. Brassard. 2002. Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 et 1996. Ministère des Ressources naturelles du Québec. 16 p.
- Bédard, S. et Z. Majcen. 2003. Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwoods. *The Forestry Chronicle* 79 : 898-905.
- Crcha, J. et F. Trottier. 1991. Guide de traitements sylvicoles – Les feuillus tolérants. Ministère des Forêts du Québec, Service des techniques d'intervention forestière.
- 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 For. Serv., Res. Pap. NC-199. 16 p.
- Erdmann, G.G. et R.R. Oberg. 1973. Fifteen-year results from six cutting methods in second-growth northern hardwood. USDA For. Serv., Res. Pap. NC-100. 12 p.
- Fournier, M., C. Bordeleau et M.C. Roberge. 1977. État d'une érable rouge dix ans après éclaircie. Fonds de recherches forestières de l'Université Laval, Note technique 4. 17 p.
- Goodburn, J.M. et C.G. Lorimer. 1999. Population structure in old-growth and managed northern hardwoods : an examination of the balanced diameter distribution concept. *For. Ecol. Manage.* 118 : 11-29.
- Gosselin, J., P. Grondin et J.P. Saucier. 1999. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction des inventaires forestiers. 187 p.
- Guillemette, F., G. Lessard et D. Blouin. 2005 (En rédaction). Création de tables de rendement pour le bouleau jaune. Centre collégial de transfert de technologie en foresterie (CERFO).
- Leak, W.B. 1999. Stand structure in evenaged northern hardwoods : development and silvicultural implications. *Northern Journal of Applied Forestry* 16(2) : 115-119.
- Lessard, G. et D. Blouin. 1997. Contribution au développement de scénarios sylvicoles dans les érablières à bouleau jaune équiennes de l'Outaouais. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Ste-Foy inc (CERFO). 75 p.
- Lorimer, C.G. et A.G. Krug. 1983. Diameter distribution in even-aged stands of shade-tolerant and midtolerant tree species. *American Midland Naturalist* 109(2) : 331-345.
- Majcen, Z. 1995. Résultats après 10 ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érable. Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles du Québec. Mémoire de recherche forestière no 122. 32 p.
- Majcen, Z. 1997. Coupe de jardinage et coupe d'éclaircie commerciale dans cinq secteurs forestiers. Accroissement quinquennal en surface terrière et état de la régénération.

Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles du Québec.
Rapport interne no 424. 29 p.

Majcen, Z. et S. Bédard. 2000. Accroissement après 15 ans dans une érablière à la suite de coupes de jardinage de diverses intensités. Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles du Québec. Note de recherche no 98. 12 p.

Majcen, Z. et Y. Richard. 1995. Coupe de jardinage dans six régions écologiques du Québec. Accroissement quinquennal en surface terrière. Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles du Québec. Mémoire de recherche forestière no 120. 22 p.

Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier. 1991. Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique. Mémoire # 96. Gouv du Québec, min. des Ress. Nat. 96 p.

MRNFP, 2003. Manuel d'aménagement forestier. 4^{ème} édition. Direction des programmes forestiers, Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs du Québec.

Perron, 1985. Tarif de cubage général : volume marchand brut. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de l'inventaire forestier. 55 p.

Pothier, D. 1996. Accroissement d'une érablière à la suite de coupes d'éclaircie : résultats de 20 ans. Can. J. For. Res. 26 : 543-549.

Roisin, P. 1978. Sylviculture générale – Notes de cours. Chaire de sylviculture, Faculté des sciences agronomiques, Université de Gembloux. 198 p.

Roberge, M.R. 1975. Éclaircie dans une érable à hêtre en vue de produire du bois d'œuvre de bouleau jaune. Naturaliste Can. 102 : 353-361.

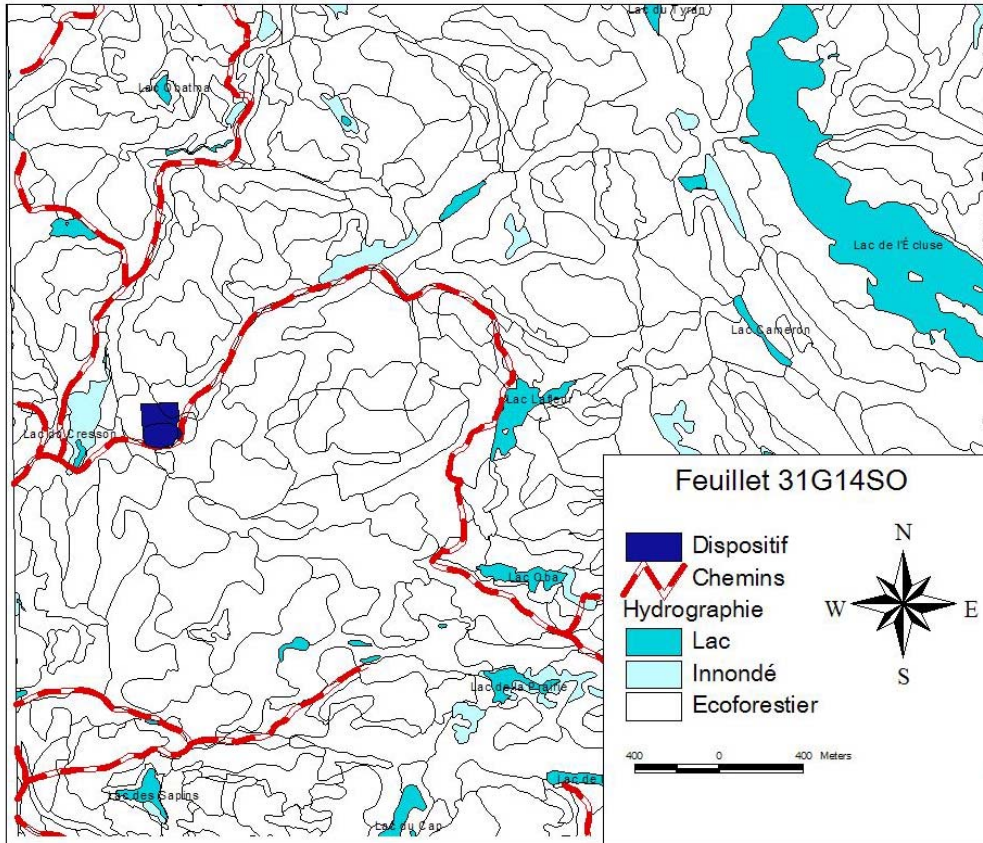
Schütz, J.P. 1990. Sylviculture 1 : Principes d'éducation des forêts. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suisse. 243 p.

Tubbs, C.H. 1977. Manager's handbook for Northern Hardwoods in the North Central States. USDA For. Serv., St-Paul, Minnesota. 29 p.

Zarnovican, R. 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, Région du Québec. Rapport d'information LAU-X-109. 22 p.

ANNEXE 1 LOCALISATION ET PLAN DU DISPOSITIF

Localisation du dispositif

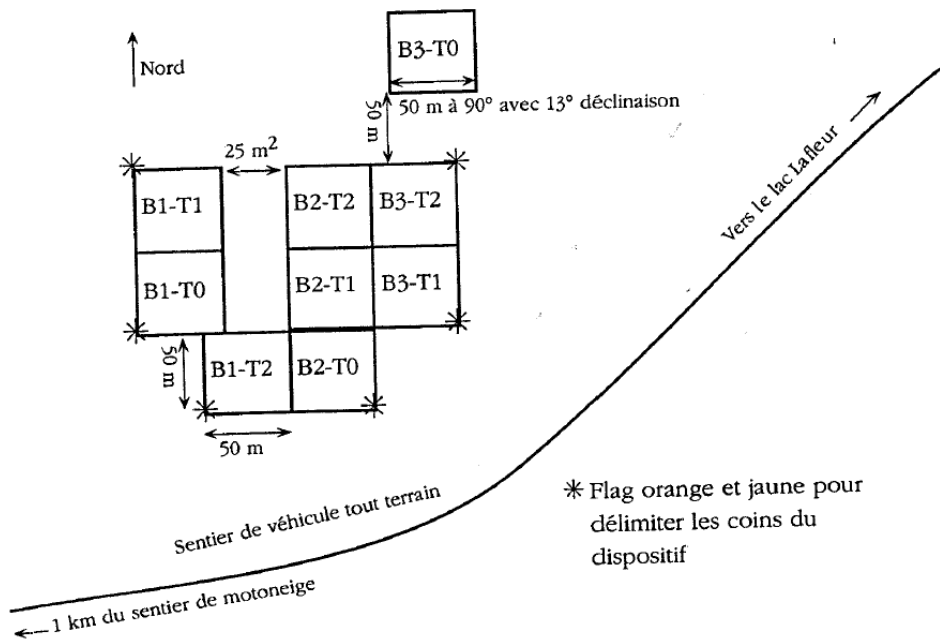


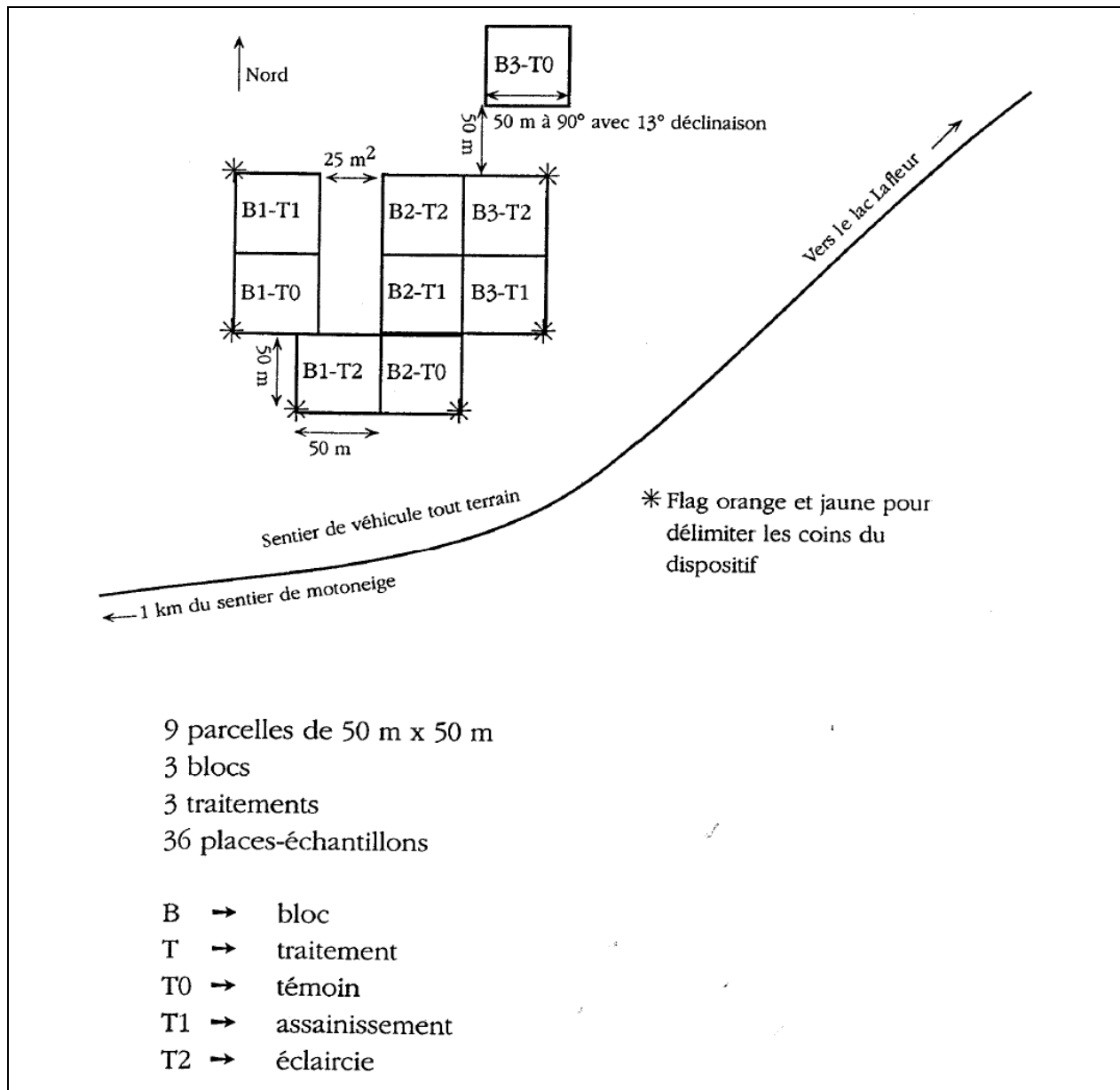
LOCALISATION DU VOLET 3

Le dispositif du volet 3 est situé dans un peuplement d'érablières à feuillus tolérants (ErFt A250 D LaRII) de la réserve de Papineau-Labelle. Le site est accessible par le village de Notre-Dame-de-la-Salette via le chemin du rang Thomas et le chemin Boucher (voir carte routière Outaouais Hautes-Laurentides). Suivre le chemin Boucher jusqu'à l'intersection avec le sentier de motoneige juste avant le pont du ruisseau de l'Argile. Parcourir le sentier de motoneige sur une distance de 2,4 km jusqu'à l'intersection du sentier pour le lac Lafleur (voir carte de la réserve Papineau-Labelle). Le chemin est accessible en camion jusqu'à l'intersection du sentier menant au lac Lafleur, point à partir duquel le sentier était alors accessible seulement en véhicule tout terrain (VTT). Le dispositif est situé au nord du sentier du Lac Lafleur à environ 1 km à partir de l'intersection du sentier de motoneige.

Carte forestière 31G/14 S.O.

Photographie aérienne de 1990, numéro 31 G 40, Q90177, 172 et 173.





ANNEXE 2 DÉFINITIONS DES CLASSES SYLVICOLES

Extrait de Lessard et Blouin (1997)

ARBRE D'AVENIR

Bonne croissance pour au moins 20 ans

Critères de Pierre Ricard :

- 2 billes de 5 mètres claires de noeud
- exemptes de fibre torse
- droites
- d'aplomb
- qui ne défile que très peu
- coeur est centré
- anneaux de croissance réguliers
- objectif : 60 cm DHP et 18 m de hauteur

ARBRE GÊNANT

Nuit à la croissance d'un arbre d'avenir et l'empêche d'avoir une cime bien conformée (ronde)

Si plus de 25 % des tiges d'un peuplement sont de cette catégorie :
le peuplement est prêt à éclaircir

ARBRE D'HYGIÈNE

Malade, insectes ou maladies

Elle peut être également gênante

Si un bon pourcentage des tiges d'un peuplement sont de cette catégorie :
le peuplement devrait être assaini
(% selon la gravité et les dangers d'expansion du problème)

ARBRE DE REMPLISSAGE

Arbre mûr ou non commercial sur lequel on n'investit plus

Sa fonction est de compléter le couvert

Si la majorité des tiges d'un peuplement sont de cette catégorie :
le peuplement est prêt à réaliser

ANNEXE 3 CONSIDÉRATIONS SUR LE SUIVI PERMANENT DE PLACETTES À RAYON VARIABLE

Littérature

Il existe un débat dans la littérature sur l'utilisation de placettes permanentes à rayon variable et sur la méthode d'analyse de telles données (Eriksson, 1995; Gregoire, 1993; Lappi et Bailey, 1987; Lynch, 1995; Hradetzky, 1995). L'utilisation de placettes à rayon variable pour évaluer l'accroissement n'est pas encouragée, mais elle est parfois nécessaire compte tenu des données disponibles, tel qu'il est le cas dans le présent dispositif expérimental.

Les composantes habituellement reconnues de l'accroissement net, telles que définies par Beers (1962), sont :

$$\text{L'accroissement net} = Y_2 - Y_1 = S + R - M - C \quad (\text{Éq. 2})$$

Où Y_2 et Y_1 représentent la variable d'intérêt (volume ou surface terrière⁶) aux temps 2 (final) et 1 (initial), respectivement; S est l'accroissement des survivants, c'est-à-dire des tiges de diamètre marchand présentes dans la placette aux temps 1 et 2; R représente le recrutement de nouvelles tiges marchandes dans la placette dû au passage au-dessus du diamètre minimal (9,1 cm) entre les temps 1 et 2 (les « nongrowth » dans la littérature anglophone), M est la mortalité et C la coupe.

Par rapport aux placettes à surface fixe⁷, dans les placettes à rayon variable il y a une autre catégorie d'arbres à considérer, soit les « nongrowth » (Lynch, 1995). Ce sont les arbres qui ont un diamètre marchand aux 2 périodes de mesures, mais qui entrent dans la placette à rayon variable seulement à la deuxième période de mesure. La place de ces arbres dans les composantes de l'équation d'accroissement et la façon de les traiter dans l'analyse de l'accroissement est l'objet d'un débat continu dans la littérature depuis Grosenbaugh (1958 *in* Eriksson, 1995). Est-ce que ces arbres contribuent au recrutement? À l'accroissement des survivants? Est-ce qu'on doit les inclure en tout, en partie ou les exclure?

Lorsque ces arbres « nongrowth » sont exclus des composantes de l'accroissement net (S, R, M et C), mais inclus dans la surface terrière finale (Y_2), l'équation 2 n'est pas équilibrée, c'est-à-dire que les deux côtés ne donnent pas le même accroissement net. Pour résoudre ce problème, Lynch (1995) a proposé de calculer les moyennes de chaque variable à l'aide de l'approche des moindres carrés généralisés à laquelle une restriction est appliquée. Cette restriction vise à assurer que les deux côtés de l'équation 2 sont égaux avec les moyennes ainsi obtenues. Cette approche a pour effet de répartir cette incohérence sur toutes les composantes en fonction de leurs variances et covariances. Cependant, il en résulte que même la moyenne initiale de la variable

⁶ Pour la suite de cette section, la surface terrière sera considérée comme la variable d'intérêt (Y) afin d'alléger le texte.

⁷ Par analogie avec les placettes à rayon fixe, c'est comme si on installait des placettes d'un rayon X à la première mesure et que la relecture était faite à l'aide de placettes d'un rayon plus grand que X, mais ayant le même centre de placette.

d'intérêt (Y_1 , soit la surface terrière dans notre étude et le volume initial dans l'exemple de Lynch, 1995) est changée par l'utilisation de cette approche, ce qui n'est pas logique.

Eriksson (1995) a plutôt proposé de redéfinir les composantes de l'accroissement. Les 4 questions à se poser pour évaluer l'appartenance d'un arbre à une des composantes de l'accroissement sont :

1. Est-ce que le diamètre de l'arbre était au moins égal au diamètre marchand minimal au début de la période?
2. Est-ce que l'arbre est resté vivant tout le long de la période?
3. Est-ce que l'arbre entraînait dans la placette au début de la période? Même s'il n'avait pas atteint le diamètre minimal, il faut se demander si la distance qui le sépare du point de prisme et la relation entre son diamètre et le facteur de prisme font en sorte qu'il était dans la placette au début.
4. Est-ce que l'arbre est situé dans le rayon correspondant au diamètre marchand minimal?

La méthode de Eriksson (1995) est assez complexe puisqu'elle vise non seulement à redéfinir les composantes de l'accroissement, mais aussi à les intégrer dans un concept de temps continu plutôt que périodique. Or, ce dernier aspect complique fortement la compréhension des nouvelles définitions et n'est pas absolument nécessaire pour l'analyse de dispositifs comme dans la présente étude. En effet, la présente étude vise principalement à comparer l'accroissement net de 3 traitements plutôt que d'identifier toutes les composantes de l'accroissement d'une forêt. L'interprétation simplifiée des composantes de l'accroissement selon de Eriksson (1995) est la suivante :

- Le recrutement (R) est composé des arbres qui ont atteint le diamètre minimal en cours de période, soit entre les temps 1 et 2, et qui sont situés dans le cercle correspondant au diamètre minimal. Avec un prisme de facteur 2, le rayon du cercle minimal est de 3,22 m pour un diamètre minimal de 9,1 cm.
- L'accroissement des survivants (S) est composé de deux parties. La première partie (S_1) est l'écart dans la dimension des tiges qui étaient présentes et vivantes aux deux mesures, soit la définition habituelle (Beers, 1962). La seconde partie (S_2) représente l'écart entre le diamètre au temps 2 d'une tige nouvellement entrée dans la placette et le diamètre d'entrée d'une tige dans la placette à la distance où elle se trouve. Par exemple, une tige de 26,0 cm située à 9,33 m du point de prime ne sera pas incluse dans la placette au temps 1. Au temps 2, si elle fait 27,0 cm, alors elle sera sélectionnée dans la placette, puisqu'à 9,33 m le diamètre minimal pour sélectionner une tige est de 26,3 cm. Sa contribution à l'accroissement des survivants sera donc obtenue d'après l'écart entre le diamètre au temps 2 (27,0 cm) et le diamètre minimal associé à cette distance (26,3 cm). Selon Eriksson (1995), cette deuxième partie de S serait généralement faible au point où, en pratique, ce ne serait pas nécessaire d'en tenir compte. D'ailleurs, Bitterlich (1984) lui-même, l'inventeur de la méthode d'estimation de la surface terrière par placette à rayon variable (balayage sous angle constant, *angle-count*) ne mentionne pas la nécessité d'en tenir compte.
- La mortalité (M) et la coupe (C) peuvent être calculés selon l'approche habituelle.
- La valeur au temps 2 de la surface terrière (Y_2) sera composée des recrues, des survivants et de la contribution des nouvelles tiges à l'accroissement (S_2).

Méthodologie de la présente étude

La méthode proposée par Eriksson (1995) n'a pas été appliquée dans la présente étude puisqu'il était difficilement réalisable d'identifier au bureau chaque composante de l'accroissement *a posteriori* sans créer un classement artificiel compte tenu des données disponibles.

La méthode de calcul de l'accroissement dans la présente étude diffère de celle présentée par Bitterlich (1984), Eriksson (1995) ou Lynch (1995) puisqu'il n'y a pas de décomposition des composantes de l'accroissement. En effet, l'accroissement net a été obtenu par la différence entre les deux mesures de surface terrière totale. Ainsi, l'accroissement en diamètre d'un arbre qui était dans la placette lors de la première mesure n'apporte aucun changement en surface terrière dans la placette. L'accroissement net provient donc uniquement de l'entrée de nouveaux arbres dans la placette et de la mortalité. Il est donc supposé que l'entrée de nouveaux arbres reflète l'accroissement brut (survivants + recrues) dans la placette. Cette méthode de calcul réduit le biais dont il est question dans Bitterlich (1984), Eriksson (1995) et Lynch (1995), puisque l'accroissement important qui est attribué aux *nongrowth* (ajout soudain de 2 m²/ha pour l'entrée d'un arbre dans la placette) est compensé par l'absence de considération de l'accroissement des survivants, contrairement à ce qu'ont fait ces auteurs. D'ailleurs, l'ampleur de ce biais serait relativement faible puisque les résultats d'accroissement net rapportés dans la présente étude corroborent ceux de la littérature pour des conditions semblables.

Finalement, le biais qui peut être engendré sur l'évaluation de l'accroissement par la méthodologie appliquée dans la présente étude n'a pas d'effets sur la détection de différences significatives par l'analyse de variance. En effet, toutes les répétitions de tous les traitements sont sujettes à avoir le même biais. Les résultats de comparaison des traitements dans la présente étude sont donc fiables et sans biais, alors que l'utilisation des données d'accroissement doit être faite avec prudence en considérant qu'il s'agit d'un ordre de grandeur très réaliste, mais probablement pas exact.

Considérations pour les prochains suivis ou d'autres dispositifs

Une autre approche est proposée pour résoudre le problème du suivi permanent de placettes à rayon variable lorsque le diamètre des arbres est mesuré par classe de diamètre (ex. : classes de 2 cm dans ce cas). Pour chaque classe de diamètre, on pourrait considérer que la placette a un rayon fixe correspondant à la distance limite associée à cette classe pour ce facteur de prisme (ex. : 9,33 m pour une tige de 26 cm). Il y aurait donc une série de placettes concentriques par classe de 2 cm, un peu comme nous utilisons 2 placettes concentriques pour distinguer les gaules (<9,1 cm, placette 3,57 m de rayon) des perches et des fûts (> 9,0 cm, placette 11,28 m de rayon). Il serait ensuite possible de calculer pour chaque classe de diamètre l'accroissement des *membres de la classe* (augmentation du diamètre d'une tige à l'intérieur d'une classe de diamètre), la mortalité, l'*immigration* (ajout d'une tige provenant d'une classe inférieure de diamètre) et l'*émigration* (perte d'une tige vers une classe supérieure de diamètre). De plus, pour la première classe de diamètre (10 cm), il serait possible de calculer le recrutement. Ainsi, la définition du recrutement correspondrait à celle de Eriksson (1995). L'accroissement des survivants serait obtenu par la somme de l'accroissement des *membres de la classe* (valeur positive), de

l'immigration (valeur positive) et de *l'émigration* (valeur négative) pour toutes les classes de diamètre (ou classes de rayon de placette). La mortalité serait obtenue de façon habituelle.

Cette proposition de méthodologie devra être validée en comparant ses résultats avec d'autres méthodologies proposées dans la littérature. À noter qu'il serait intéressant de contacter des gens de la Forêt expérimentale de Penobscot dans le Maine (Laura Kenefic au USDA-FS) où ils ont des suivis permanents de placettes concentriques à rayon fixe avec 3-4 tailles de placettes pour des classes différentes de diamètre. Catherine Larouche, étudiante au doctorat sur le thuya avec Jean-Claude Ruel, a accès à leurs données pour son projet.

Références

- Bitterlich, W. 1984. The relascope idea. Commonwealth Agricultural Bureau, England. 242 p.
- Erikson, M. 1995. Compatible and time-additive change component estimators for horizontal-point-sampled data. *For. Sci.* 41 (4) : 796-822.
- Gregoire, T.G. 1993. Estimation of forest growth from successive surveys. *For. Ecol. Manage.* 56 (1-4) : 267-278.
- Lappi, J. et R.L. Bailey. 1987. Estimation of the diameter increment function or other tree relations using angle-count samples. *For. Sci.* 33 (3) : 725-739.
- Lynch, T.B. 1995. Compatible estimation of components of forest growth from remeasured point samples with restricted generalized least squares. *For. Sci.* 41 (3) : 611-628.
- Hradetzky, J. 1995. Concerning the precision of growth estimation using permanent horizontal point samples. *For. Ecol. Manage.* 71(3) : 203-210.

ANNEXE 4 CLASSIFICATION DE LA VIGUEUR

Grille de classification 2000-2001							
72-02		Feuilles, PIB et PIR				Résineux	
DHP		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
Vigueur		10 cm et +	10 cm et +	24 cm et +	10 cm et +	10 cm et +	10 cm et +
Qualité		Survie et croissance assurées jusqu'à la prochaine rotation (Vigoureuse)	Survie et croissance assurées jusqu'à la prochaine rotation (Vigoureuse)	Qualité décroissante ou mort possible avant la prochaine rotation (Faible)	Dépérissement ou mort possible avant la prochaine rotation (Faible)	Survie et croissance assurées jusqu'à la prochaine rotation (Vigoureuse)	Dépérissement ou mort possible avant la prochaine rotation (Faible)
		DHP < 24cm: Tige qui a le potentiel de posséder une bille de bois d'œuvre au cours d'une rotation ultérieure (1) DHP >= 24cm: Tige possédant du bois d'œuvre(2)	DHP < 24cm: Aucun potentiel de posséder une bille de bois d'œuvre au cours d'une rotation ultérieure DHP >= 24cm: Tige ne possédant pas de bois d'œuvre	Tige possédant du bois d'œuvre	DHP < 24cm: Aucun potentiel de posséder une bille de bois d'œuvre au cours d'une rotation ultérieure DHP >= 24cm: Tige possédant aucun bois d'œuvre	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
D E F A U T S	Exposition d'aubier sur tronc	DHP: 10 à 20cm < 50cm ³ 22 à 30cm < 150cm ³ 32cm et + < 300cm ³ et largeur de l'aubier < que le rayon de l'arbre à la hauteur du défaut	DHP: 10 à 20cm < 50cm ³ 22 à 30cm < 150cm ³ 32cm et + < 300cm ³ et largeur de l'aubier < que le rayon de l'arbre à la hauteur du défaut	Aucune limite	Aucune limite	THO et PRU < 1200cm ³ Autre RES. < 600cm ³	Aucune limite
	Champignons, charbons, consoles, rouilles et chancres, sur tronc	Aucun toléré	Aucun toléré	Aucune limite (la tige doit cependant posséder du bois d'œuvre)	Aucune limite	Aucune tolérée	Aucune limite
	Dépérissement ou bris de la cime	< 1/3 de cime dépérisissante ou détruite (aucune restriction pour les branches inférieures mortes)	< 1/3 de cime dépérisissante ou détruite (aucune restriction pour les branches inférieures mortes)	Aucune limite	Aucune limite	< 66% de cime dépérisissante ou détruite	Aucune limite
	Dépérissement ou bris des racines	< 1/3 du système racinaire dépérisissant ou détruit	< 1/3 du système racinaire dépérisissant ou détruit	Aucune limite	Aucune limite	< 1/3 du système racinaire dépérisissant ou détruit	Aucune limite
	Trou de Grand Pic sur tronc	Aucun toléré	Aucun toléré	Aucune limite (la tige doit cependant posséder du bois d'œuvre)	Aucune limite	Aucun toléré	Aucun toléré
	Pourriture sur tronc	Aucune tolérée	Aucune tolérée	Aucune limite (la tige doit cependant posséder du bois d'œuvre)	Aucune limite	Aucune tolérée	Aucune limite
	Renflement du tronc ou du pied	Présent sur les 4 faces : Aucun toléré	Présent sur les 4 faces : Aucun toléré	Aucune limite (la tige doit cependant posséder du bois d'œuvre)	Aucune limite	< 1/3 de la circonférence	Aucune limite
	Signes de présence du perceur de l'érable sur le tronc	Aucun toléré	Aucun toléré	Aucune limite	Aucune limite	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas
	Fente de pied (fermée ou ouverte)	Aucune limite	Aucune limite	Aucune limite	Aucune limite	Aucune tolérée	Aucune limite
	Fente sur tronc	Aucune limite	Aucune limite	Aucune limite	Aucune limite	< 1m (d'un seul tenant)	Aucune limite
	Écoulement de résine sur tronc	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	Ne s'applique pas	<= 10ml/mètre. (Calculé sur la pire des quatre faces trouvée en tenant compte seulement des écoulements de résine.)	Aucune limite
	DHP	PET < 30cm PEB < 40cm PEG < 40cm BOP < 36cm	PET < 30cm PEB < 40cm PEG < 40cm BOP < 36cm	Aucune limite	Aucune limite	SAB < 20cm	Aucune limite
Autres défauts (ex: nodules noir, écoulement noir,...)	DHP < 24cm: Aucune limite (1) DHP >= 24cm: Aucune limite (la tige doit cependant posséder du bois d'œuvre)	Aucune limite	Aucune limite (la tige doit cependant posséder du bois d'œuvre)	Aucune limite	Aucune limite	Aucune limite	

(1) Sur une tige de moins de 24 cm, il faut considérer que les broussins et les branches vivantes de plus de 1 cm de diamètre à la base ne peuvent s'atténuer avec le temps. (excluant les pins)

(2) Possédant du bois d'œuvre: Longueur minimale: 2.50m Rendement minimum en débits (face d'avant dernière qualité): 50% Longueur minimum des débits clairs: 60cm Diamètre minimum au fin bout:??

On entend par tronc: la partie de la tige qui s'étend du sol jusqu'aux premières branches considérées comme faisant partie de la cime.

ANNEXE 5 COMPOSITION DES PARCELLES AVANT ET APRÈS LA COUPE

Traitement	Bloc	Période	Volume marchand		DHP quadratique		Surface terrière marchande							
			Total	Tiges d'avenir ^a	Total	Tiges d'avenir ^a	Total	ERS	PEU	HEG	Vig I	Vig III	Vig IV	
			(m ³ /ha)	(m ³ /ha)	(cm)	(cm)	(m ² /ha)	(%)	(%)	(%)	(m ² /ha)	(m ² /ha)	(m ² /ha)	
0 - Témoin	1	Av. coupe	274		22,8		34,0	44,1	19,4	10,4	16,0	9,5	7,5	
		Ap. coupe 95	274	129	22,8	22,2	34,0	44,1	19,4	10,4	16,0	9,5	7,5	
		Ap. coupe 03	309	166	23,4	23,2	35,0	37,1	21,4	11,4	20,5	7,5	5,0	
	2	Av. coupe	231		18,8		31,0	38,7	29,0	16,1	12,5	9,0	8,5	
		Ap. coupe 95	231	83	18,8	17,7	31,0	38,7	29,0	16,1	12,5	9,0	8,5	
		Ap. coupe 03	259	112	21,3	19,2	32,5	27,7	37,5	18,8	11,0	4,5	15,0	
	3	Av. coupe	183		23,7		21,5	74,4	0,0	16,3	6,5	8,0	7,0	
		Ap. coupe 95	183	54	23,7	24,3	21,5	74,4	0,0	16,3	6,5	8,0	7,0	
		Ap. coupe 03	232	77	26,6	26,6	24,5	81,6	0,0	12,8	7,0	8,5	7,5	
	Moy.	Av. coupe	229		21,3		28,8	49,7	18,0	14,0	11,7	8,8	7,7	
		Ap. coupe 95	229	88	21,3	20,6	28,8	49,7	18,0	14,0	11,7	8,8	7,7	
		Ap. coupe 03	266	118	23,3	21,9	30,7	45,7	21,5	14,4	12,8	6,8	9,2	
1 – Assainissement	1	Av. coupe	183		19,9		23,5	40,4	8,5	17,0	12,0	4,5	6,5	
		Ap. coupe 95	122	87	18,8	21,6	16,5	42,4	9,1	15,2	10,5	1,0	4,5	
		Ap. coupe 03	204	115	22,5	22,7	22,5	35,6	11,1	17,8	12,5	4,5	5,0	
	2	Av. coupe	186		20,1		23,5	46,8	19,1	17,0	8,5	5,5	9,5	
		Ap. coupe 95	125	65	18,9	20,5	16,5	51,5	12,1	12,1	8,5	3,0	5,0	
		Ap. coupe 03	194	93	22,4	22,4	22,5	55,6	11,1	13,3	8,5	7,0	6,5	
	3	Av. coupe	201		20,6		22,5	15,6	37,8	22,2	7,5	8,5	6,5	
		Ap. coupe 95	176	54	19,8	21,8	20,0	17,5	32,5	25,0	7,5	6,5	6,0	
		Ap. coupe 03	211	80	21,1	24,7	24,5	30,6	22,4	32,7	11,5	4,5	6,5	
	Moy.	Av. coupe	190		20,2		23,2	34,5	21,6	18,7	9,3	6,2	7,5	
		Ap. coupe 95	141	68	19,2	21,3	17,7	35,8	18,9	17,9	8,8	3,5	5,2	
		Ap. coupe 03	203	96	21,9	23,1	23,2	40,3	15,1	21,6	10,8	5,3	6,0	
	2 – Éclaircie sélect.	1	Av. coupe	223		23,3		27,0	55,6	13,2	0,0	5,5	13,0	8,0
			Ap. coupe 95	172	41	23,4	22,0	21,0	54,8	7,3	0,0	5,5	8,5	6,5
			Ap. coupe 03	150	54	23,4	23,4	19,0	60,5	0,0	0,0	7,0	5,5	5,5
2		Av. coupe	254		26,3		27,0	75,9	5,6	14,8	6,0	12,0	9,0	
		Ap. coupe 95	203	50	26,2	25,7	21,5	83,7	0,0	11,6	6,0	9,5	6,0	
		Ap. coupe 03	229	62	25,9	26,1	22,5	82,2	0,0	15,6	5,5	10,0	6,0	
3		Av. coupe	242		20,6		30,5	49,2	11,5	0,0	12,0	9,0	9,5	
		Ap. coupe 95	176	60	19,3	20,6	23,0	56,5	4,3	0,0	10,5	4,5	8,0	
		Ap. coupe 03	216	85	22,0	22,8	25,0	70,0	2,0	0,0	10,0	7,5	7,5	
Moy.		Av. coupe	240		22,9		28,2	59,8	10,1	4,8	7,8	11,3	8,8	
		Ap. coupe 95	184	51	22,3	22,3	21,8	64,9	3,8	3,8	7,3	7,5	6,8	
		Ap. coupe 03	198	67	23,5	23,8	22,2	71,4	0,8	5,3	7,5	7,7	6,3	

^a Les arbres d'avenir qui ont été suivis ont été identifiés après traitement, d'où l'absence de compilation des données avant traitement. De plus, presque toutes les tiges de vigueur I après traitement ont été mesurées et suivies parmi les tiges d'avenir.