



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

**Effets de l'éclaircie commerciale sur les peuplements de chêne
rouge et de pin blanc**

Rapport produit et rédigé par :

Philippe Nolet, M.Sc.
Frédéric Doyon, ing.f., Ph.D.
Marilou Beaudet, M. Sc.

Présenté à :

Produits forestiers Coulonge
Forêts Québec (U.G. 71)

Février 2001

Résumé

On retrouve en Outaouais beaucoup de peuplements sur sol mince composés de chêne rouge et de pin blanc âgés de 80-90 ans. Jusqu'à tout récemment ces peuplements étaient traités par coupe de jardinage puisque c'était le seul traitement permis par le manuel d'aménagement forestier pour ce type de peuplement. Peu d'études se sont intéressées aux peuplements mixtes de chêne rouge et pin blanc de telle sorte qu'il est difficile d'identifier les caractéristiques que devraient présenter les peuplements avant et après traitement pour que l'éclaircie commerciale soit profitable. L'intervention idéale permettrait à la fois d'optimiser la croissance des tiges de qualité en chêne et en pin tout en maintenant à long terme la vocation «chêne rouge – pin blanc» attribuée à ce type de peuplement – qui ont à peu près tous le même âge dans la région - lors du calcul de la possibilité forestière. La présente étude visait à : 1) Préciser quelles devraient être les conditions minimales que devraient présenter un peuplement pour obtenir une augmentation de croissance intéressante des tiges de qualité et d'essences désirées et 2) Vérifier quelle surface terrière il est préférable de laisser pour favoriser la régénération du chêne rouge et du pin blanc par rapport à l'érable à sucre. Pour répondre à ces questions, nous avons utilisé une approche par modélisation; nous avons simulé l'effet de diverses intensités d'éclaircie commerciale avec le modèle de croissance JABOWA III. Le modèle a été calibré l'aide des données des placettes-échantillons permanentes du ministère des Ressources naturelles. Les simulations montrent que l'éclaircie commerciale a un effet positif sur l'accroissement relatif des tiges résiduelles. Par contre, cet effet n'est pas assez marqué pour compenser la perte de surface terrière lors de l'éclaircie. L'étude semble démontrer qu'il est possible, dans certains cas, d'obtenir un accroissement en surface terrière de près de 15 m²/ha sur 20 ans. Nous n'avons pas pu dans le cadre de la présente étude préciser quelles sont les caractéristiques de peuplements qui permettent d'obtenir un tel accroissement. Nous avons remarqué un effet négatif significatif de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net des perches de chêne rouge. Même si l'utilisation de l'éclaircie commerciale ne semble pas pouvoir se justifier sur un strict plan économique, elle peut être utile, comme d'autres auteurs l'ont fait remarquer, pour favoriser la régénération du chêne rouge et ainsi fournir à l'aménagiste un outil supplémentaire pour la normalisation de la récolte.

Table des matières

Résumé.....	ii
Table des matières.....	iii
Tableau.....	iv
Figures.....	iv
1 Introduction.....	1
2 Présentation du modèle JABOWA III.....	2
3 Région à l'étude	3
4 Méthodologie	4
4.1 Travaux en forêt.....	4
4.2 Paramétrisation et calibration de JABOWA III	5
4.3 Simulations	8
4.4 Analyses statistiques	9
5 Résultats.....	10
5.1 Calibration.....	10
5.2 Structure et composition des peuplements.....	12
5.3 Simulations	12
6 Discussion.....	18
6.1 Implications pour l'aménagement	20
7 Références.....	22

Tableau

Tableau 1 : Paramètres initiaux et utilisés dans JABOWA III pour chacune des essences (Voir Botkin, 1993 pour la signification des codes)	8
--	---

Figures

Figure 1 : Dispositif expérimental de martelage	4
Figure 2 : Fenêtre des paramètres de sites de JABOWA III et paramètres utilisés dans la présente étude.....	6
Figure 3 : Superposition de la croissance obtenue pour le pin blanc, le chêne rouge et l'érable à sucre selon les placettes-échantillons permanentes du ministère des Ressources naturelles avec la croissance obtenue par la simulation de la croissance des placettes échantillonnées dans le cadre de la présente étude, et ce, avant et après calibration de JABOWA.	11
Figure 4 : Nombre de tiges/ha par classe de DHP pour les principales essences du territoire d'étude.....	12
Figure 5 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière (tiges > 10 cm de DHP) sur 20 ans	13
Figure 6 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière sur 20 ans	14
Figure 7 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière pour les tiges comprises entre 10 et 24 cm de DHP sur 20 ans.....	15
Figure 8 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière pour les tiges > 24 cm de DHP sur 20 ans	15
Figure 9 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement net en surface terrière dans le stade perchis pour le chêne rouge sur 20 ans.....	16
Figure 10 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement net en surface terrière dans le stade perchis pour l'érable à sucre sur 20 ans	16
Figure 11 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière dans le stade gaulis pour le pin blanc sur 20 ans	17
Figure 12 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière dans le stade gaulis pour le chêne rouge sur 20 ans	18

1 Introduction

Le chêne rouge et le pin blanc constituent des essences de haute valeur commerciale. On retrouve en Outaouais beaucoup de peuplements sur sol mince composés à majorité de ces deux essences. Jusqu'à tout récemment ces peuplements étaient traités par coupe de jardinage puisque c'était le seul traitement permis par le manuel d'aménagement forestier (MRNQ 1998) pour ce type de peuplement.

Il a été démontré par plusieurs auteurs que le chêne rouge et le pin blanc ont la capacité de bien réagir aux éclaircies commerciales (Graney 1987; Nichols et Carvell 1987; Smith 1996). Par contre, peu d'études se sont intéressées aux peuplements mixtes de chêne rouge et pin blanc de telle sorte qu'il est difficile d'identifier les caractéristiques (DHP moyen, surface terrière, densité, etc.) que devraient présenter les peuplements avant et après traitement pour que l'éclaircie commerciale soit profitable. Ainsi, les diagrammes de gestion de densité (ex. :Smith et Woods 1997) concernant directement ou indirectement ces deux essences peuvent difficilement être utilisés pour l'aménagement de ces peuplements mixtes.

D'après les inventaires d'intervention effectués par les compagnies forestières dans la région de l'Outaouais, l'âge de la majorité des peuplements à forte proportion de chêne se situerait aux alentours de 80 ans. En termes de planification régionale, cette homogénéité dans l'âge des peuplements soulève une seconde problématique – la première étant de favoriser la croissance de ces peuplements -, soit celle que les peuplements arriveront à maturité tous en même temps. Cela fait en sorte qu'il est difficile, à l'échelle régionale, de normaliser la récolte de ce type de peuplement dans le temps; il importe donc de trouver des stratégies pour étaler la récolte de volume en provenance de ces peuplements. Ainsi, l'intervention idéale permettrait à la fois d'optimiser la croissance des tiges de qualité en chêne et en pin tout en maintenant à long terme la vocation «chêne rouge – pin blanc» attribuée à ce type de peuplement lors du calcul de la possibilité forestière.

Plus précisément, le présent projet visait à :

- 1) Préciser quelles devraient être les conditions minimales que devraient présenter un peuplement pour obtenir une augmentation de croissance intéressante des tiges de qualité et d'essences désirées (PIB, CHR). Entre autres, nous désirons valider la norme de 16 m²/ha de surface terrière résiduelle toute essence - prescrite dans les instructions relatives du manuel d'aménagement - et comparer, en termes d'effets sur la croissance, les surfaces terrières optimales aux surfaces terrières minimales.
- 2) Vérifier quelle surface terrière il est préférable de laisser pour optimiser la croissance du peuplement résiduel et pour favoriser la régénération du chêne rouge et du pin blanc par rapport à l'érable à sucre fréquemment rencontré (gaules et perches) en position intermédiaire dans ces peuplements.

La méthode conventionnelle pour répondre à de telles questions est 1) l'installation de placettes, 2) l'exécution des différents traitements et 3) le suivi des placettes dans le temps. Cette façon de faire est coûteuse et les résultats prennent plusieurs années à venir. Il existe une méthode beaucoup moins coûteuse et qui fournit des résultats rapidement, soit l'utilisation d'un modèle de croissance des peuplements forestiers tel JABOWA III (Botkin 1993). Ce modèle a été mis au point dans les forêts feuillues du nord-est américain et qu'il a été testé avec succès à de nombreuses reprises. Cependant, son utilisation pour la résolution de problématiques concrètes demeure inexistante, à notre connaissance, au Québec. L'équipe de Christian Messier travaille présentement à ajuster le modèle SORTIE (Pacala *et al.* 1994) pour la forêt feuillue québécoise. Ce dernier modèle, à la fois plus complet et plus complexe que JABOWA III, requiert des années de recherche pour être ajusté à des conditions régionales spécifiques. Jabowa III présente donc l'avantage de pouvoir être utilisé rapidement pour répondre à notre problématique.

2 Présentation du modèle JABOWA III

Il faut d'abord distinguer le modèle JABOWA III du logiciel Sylva II. Ce dernier repose sur des données empiriques (courbes ou taux) et simule la croissance des peuplements à partir de ces données. Ainsi, il est difficile à partir de Sylva II d'évaluer l'effet d'une

éclaircie sur un peuplement à moins que des courbes ou des taux aient été explicitement établis à cet effet (exemple : les études de Majcen). Avec JABOWA III et à partir d'une description détaillée d'un peuplement, il est possible d'évaluer la réponse de chacun des individus du peuplement à une intervention sylvicole. JABOWA III simule la croissance d'individus et permet d'évaluer l'effet d'à peu près n'importe quel traitement puisque la croissance des différentes essences est modélisée à partir de la réponse physiologique des différentes essences en fonction des conditions environnantes, dont la lumière.

Le modèle requiert comme information de base le diamètre et la hauteur de tous les individus de plus de 2 cm de DHP. JABOWA III contient des courbes de croissance pour les espèces de la forêt feuillue et des relations entre la croissance de ces essences et divers facteurs environnementaux (climat, sol, lumière, etc.) Le modèle fournit ainsi, après simulation de la croissance, le nombre d'individus par essence par classe de DHP. Cette information peut donc être utilisée pour identifier une intensité d'éclaircie permettant d'optimiser la productivité du peuplement.

3 Région à l'étude

Le secteur à l'étude se situe dans l'unité de paysage du Lac Dumont (Robitaille et Saucier 1998). Le relief de cette région est modérément accidenté et formé de collines aux sommets arrondis et aux versants de pente faible à modérée. Le substrat rocheux est de nature cristalline et composé de roches métamorphiques. Le roc affleure sur plus du tiers de la superficie particulièrement sur les sommets et les pentes modérées et fortes. La végétation potentielle des sites mésiques de milieu de pente est l'érablière à bouleau jaune. Les dépôts minces et les affleurement rocheux sont colonisés par le chêne rouge et la pinède à pin blanc ou pin rouge. L'altitude moyenne est de 264 m, la longueur de la saison de croissance varie de 170 à 180 jours et les précipitations annuelles moyennes varient de 800 à 1000 mm/an.

4 Méthodologie

4.1 Travaux en forêt

À l'intérieur d'un secteur de coupe de 85 ha ayant une surface terrière moyenne de 27 m²/ha, 9 (neuf) blocs de 50 m * 50 m (2500 m²) ont été localisés afin de couvrir un gradient de proportion en chêne rouge et pin blanc de peuplements. Chaque bloc a par la suite été subdivisé en 25 quadrats de 10 m * 10 m (100 m²). Les quadrats (16) se trouvant sur les pourtours du bloc n'étaient pas échantillonnés puisqu'ils étaient utilisés comme zone tampon (figure 1). Des neuf (9) quadrats restants, cinq (5) étaient choisis au hasard et étaient échantillonnés tel que décrit ci-après. À l'intérieur de chaque quadrat, tous les individus de plus de 2 cm de DHP ont été numérotés et mesurés (DHP et hauteur). De plus pour chaque placette, une description complète du sol et du site a été effectuée. Ces mesures sont nécessaires pour simuler la croissance des individus dans JABOWA III.

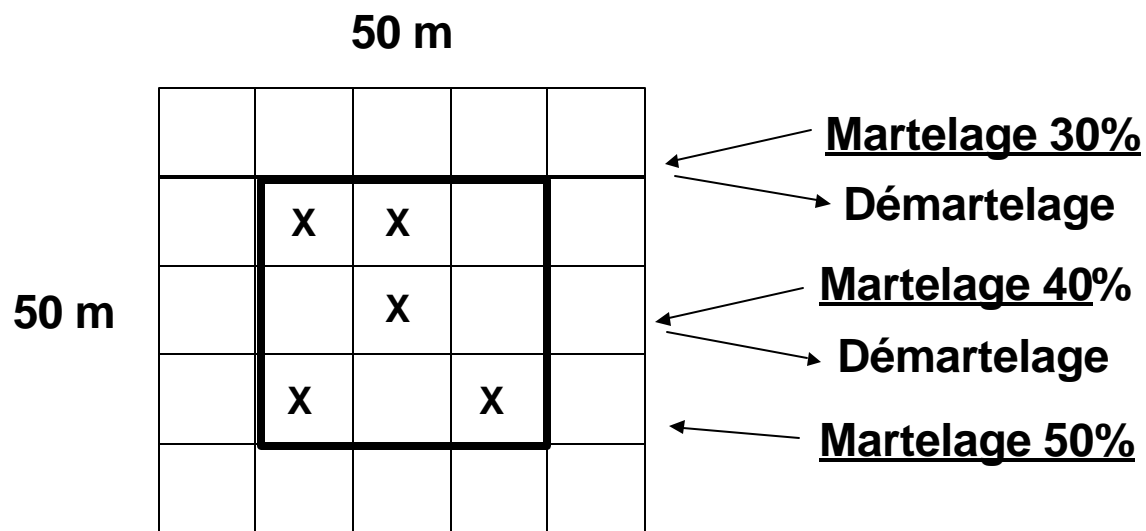


Figure 1 : Dispositif expérimental de martelage

Une fois les blocs échantillonnés, on procédait au martelage des blocs. Trois intensités d'éclaircie commerciale ont été testées en forêt pour chaque bloc de 2500 m², soit des martelages à 30%, 40% et 50% de la surface terrière initiale. Le marteleur procédait d'abord à un martelage de 30% puis «démartelait» le bloc pour recommencer avec un

martelage de 40%. Il suivait les mêmes étapes pour le martelage 50% (figure 1). Les indications suivantes avaient été données au marteleur . 1) Le marteleur n'avait pas à se soucier s'il devait procéder à une éclaircie par le haut ou par le bas. Il devait avant tout choisir des arbres d'avenir qui étaient de vigueur 1; 2) Il devait par la suite privilégier le chêne rouge et le pin blanc au détriment d'autres essences telles l'érable à sucre et le hêtre à grandes feuilles; 3) Après avoir tenu compte de ces premières directives, s'il hésitait entre différents arbres à favoriser, il choisissait ceux avec les plus forts diamètres. Les arbres d'avenir étaient marqués avec de la peinture bleue. Par la suite, le marteleur marquait de peinture rouge les arbres qui diminuait la croissance des arbres d'avenir en ayant en tête le pourcentage de la surface terrière initiale qu'il pouvait prélever. Il est arrivé en quelques occasions que le marteleur ne martèle pas jusqu'à une intensité de 50% tel que demandé. En effet, dans certains blocs plus faiblement stockés, l'augmentation du nombre d'arbres martelés au delà de 40% de la surface terrière n'aurait pas augmenté la libération des cimes des arbres d'avenir.

Cette méthodologie nous a permis d'obtenir 45 quadrats * 4 traitements (3 intensités d'éclaircie et un témoin) pour un total de 180 quadrats dont la croissance fut par la suite simulée à l'aide de JABOWA III. Cela nous permet ainsi de comparer l'effet de diverses surfaces terrières résiduelles sur la croissance de ces peuplements résiduels.

4.2 Paramétrisation et calibration de JABOWA III

Afin d'augmenter les chances que JABOWA III simule bien la croissance des peuplements, nous avons d'abord fourni au modèle les données météorologiques (précipitations et températures mensuelles des 15 dernières années complètes) de la station la plus proche (Station Shawville). Nous avons aussi fourni les données d'élévation et de latitude (figure 2). Nous avons procédé à de premiers essais de simulations, et ce, en utilisant des données approximatives de sol. : épaisseur du sol de 15 cm, profondeur de l'enracinement de 15 cm, capacité de rétention d'eau et teneur en azote moyennes. Lors de ces simulations, la mortalité des tiges était extrêmement élevée et cela sans que l'on puisse en connaître les causes exactes. Afin de diminuer cette mortalité excessive (et qui ne correspondait aucunement à la vigueur des tiges sur le

terrain), nous avons modifié les paramètres à la hausse. L'ensemble des valeurs utilisées pour toutes les simulations de tous les quadrats sont présentées à la figure 2. Idéalement, une étude de sensibilité aurait été conduite sur chacun des paramètres pour identifier plus spécifiquement quel(s) facteur(s) influençait le plus la mortalité. Étant donné que l'objectif du projet n'était pas de vérifier la précision de la modélisation des processus de JABOWA III - mais bien d'utiliser JABOWA III pour étudier l'effet de l'éclaircie commerciale sous nos latitudes -, nous n'avons pas procédé à une telle analyse de sensibilité.

Parameter	Value
Max Basal Area (sq cm)	20000
Elevation (m)	167.94684
Latitude (deg)	45.37
Soil Depth (m)	1
Root Depth (m)	1
Water Depth (m)	2
Moisture Capacity (mm H2O / m depth)	175
Percent Rock in Soil	12
Avail N (-100's to +100's)	80
Random Number Seed	987643
Initial State	Initial forest on plot
Climate Change	Year-to-year climate changes
Weather Type	Normal Climate
Weather File	Data\pontiac\WthrNor.txt
Species File	Data\allSpecies.txt
Plot File	Data\b1201.txt
Site Mode	Water Stress: evap

Figure 2 : Fenêtre des paramètres de sites de JABOWA III et paramètres utilisés dans la présente étude

Nous avons par la suite procédé à la calibration du modèle en vérifiant si JABOWA III parvenait à simuler des croissances vraisemblables pour les différentes essences sur le territoire. Pour ce faire, nous avons utilisé les placettes échantillons permanentes (PEP) des 2^{ème} et 3^{ème} décennaux du ministère des Ressources naturelles. Il est possible de connaître la croissance annuelle de tiges individuelles des tiges à l'intérieur de ces placettes en divisant la croissance de la tige donnée par le nombre d'années séparant les deux mesurages (10-16 ans). Seules les placettes de la région de l'Outaouais sur sol

mince et avec une présence à la fois de chêne rouge et de pin blanc ont été utilisées. Pour chaque essence, la croissance annuelle (CA) a été mise en relation avec le diamètre à 1.3 m (DHP), et ce graphiquement. Puis, nous avons simulé la croissance de chaque tige de nos propres placettes sur une période de 10 ans avec JABOWA III. Nous avons alors vérifié, par superposition graphique pour chaque essence, dans quelle mesure la relation CA-DHP obtenue par JABOWA III correspondait à celle obtenue avec les PEP. L'objectif n'était pas d'avoir une superposition exacte des nuages de points, mais de s'assurer que les simulations fournies par JABOWA III fournissaient des CA 1) à l'intérieur des variations de CA observées dans les PEP et 2) réparties de part et d'autre de la tendance moyenne des CA observée dans les PEP, et ce, pour toutes les classes de DHP.

Pour obtenir des superpositions adéquates, des modifications ont dû être effectuées dans les paramètres d'espèces de JABOWA III, et ce, pour la majorité des essences (Tableau 1). Le principal paramètre changé était « G », soit la constante de croissance. Ce paramètre détermine la vitesse à laquelle une essence donnée atteint son diamètre maximum. Pour certaines essences, la modification seule de ce paramètre a permis d'obtenir une bonne superposition. Pour certaines essences, dont le pin blanc (PIB), il était impossible d'obtenir une bonne superposition pour toutes les classes de DHP seulement en changeant le paramètre « G ». Il a fallu alors diviser ces essences en deux ou trois pseudo-essences. Par exemple, pour le pin blanc, il a fallu créer trois essences en fonctions de trois grandes classes de DHP: PIB 2-20 cm de DHP, PIB 22-28 cm de DHP et PIB > 28 cm. Une telle modification signifie que l'équation générale de croissance utilisée par JABOWA III ne s'applique pas à toutes les classes de diamètre d'une essence donnée. Le principal désavantage de l'utilisation de pseudo-essences est que la durée des simulations doit être restreinte. En effet, lorsque l'on fournit notre base de données à JABOWA III, ce dernier attribue à chaque tige une essence donnée. Cette tige ne peut, et c'est logique, changer d'essence en cours de simulation sous la base que son diamètre change. C'est une des raisons pour lesquelles nos simulations se sont limitées à des périodes de 20 ans; cela limite le nombre de tiges qui passent d'une grande classe de DHP à une autre. Le tableau 1 fournit les paramètres initiaux des espèces dans JABOWA III et les paramètres que nous avons utilisés.

Tableau 1 : Paramètres initiaux et utilisés dans JABOWA III pour chacune des essences (Voir Botkin, 1993 pour la signification des codes)

Nom scientifique	Calibration	S	N	SAP	E	G	C	DMAX	HMAX	AMAX	B2	B3	AINC	DDMIN	DDMAX	DT	WLTMX	T_MIN	SWA	SWB	SBA	SBB	BA	BB	RA	RB	
Abies balsamea	Non-calibré	3	3	2	1	103	2.5	86	2290	200	50.1	0.291	0.01	700	3700	0.2111	0.245	0	77.356	2.3	22.7	2	8.16	2.8	57.4	2.15	
	2-15 cm	3	3	2	1	251	1.5	200	3800	200	50.1	0.291	0.001	700	3700	0.2111	0.245	0	77.356	2.3	22.7	2	8.16	2.8	57.4	2.15	
	> 15 cm	3	3	2	1	301	1.5	280	2800	200	50.1	0.291	0.001	700	3700	0.2111	0.245	0	77.356	2.3	22.7	2	8.16	2.8	57.4	2.15	
Acer pensylvanicum	Non-calibré	3	2	2	1	110	1.8	23	1000	30	76.7	1.7	0.01	2000	6300	0.5667	0.274	0	75.37	2.3364	17.7	2.11	7.9	3.16	107	1.8	
	> 2 cm	3	2	2	1	110	1.8	23	1000	30	76.7	1.7	0.001	2000	6300	0.5667	0.274	0	75.37	2.3364	17.7	2.11	7.9	3.16	107	1.8	
Acer rubrum	Non-calibré	2	3	3	1	214	1.6	150	3660	150	47	0.156	0.01	2000	12400	0.3222	0.45	0.9	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 2 cm	2	3	3	1	141	1.6	150	3660	150	47	0.156	0.001	2000	12400	0.3222	0.45	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Acer saccharum	Non-calibré	3	2	3	1	119	1.6	170	3350	400	37.8	0.111	0.001	2000	6300	0.5667	0.35	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 2 cm	3	2	3	1	66	2.6	170	3350	400	37.8	0.111	0.001	2000	6300	0.5667	0.35	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Amlanchier sp.	Non-calibré	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	> 2 cm	3	2	2	1	110	1.8	23	1000	30	76.7	1.7	0.001	2000	6300	0.5667	0.274	0	75.37	2.3364	17.7	2.11	7.9	3.16	107	1.8	
Betula alleghaniensis	Non-calibré	2	2	15	1	144	0.5	100	3050	300	58.3	0.291	0.01	2000	5300	0.6	0.245	0.9	113.06	2.295	25.2	2.11	11.3	2.8	39.8	2.32	
	> 2 cm	2	2	15	1	144	0.5	100	3050	300	58.3	0.291	0.001	2000	5300	0.6	0.245	0	113.06	2.295	25.2	2.11	11.3	2.8	39.8	2.32	
Betula papyrifera	Non-calibré	1	3	10	1	190	0.5	76	3050	140	76.6	0.504	0.01	700	4000	0.3222	0.378	0.8	113.06	2.295	25.2	2.11	11.3	2.8	39.8	2.32	
	> 2 cm	1	3	10	1	190	0.5	76	3050	140	76.6	0.504	0.001	700	4000	0.3222	0.378	0	113.06	2.295	25.2	2.11	11.3	2.8	39.8	2.32	
Fagus grandifolia	Non-calibré	3	2	3	1	88	2.2	160	3660	366	44	0.137	0.01	2100	6000	0.4889	0.35	0	95.917	2.4113	10.7	2.25	26.2	2.55	71.6	2.15	
	> 2 cm	3	2	3	1	126	2.2	160	3660	366	44	0.137	0.001	2100	6000	0.4889	0.35	0	95.917	2.4113	10.7	2.25	26.2	2.55	71.6	2.15	
Fraxinus americana	Non-calibré	2	1	10	1	148	1.8	150	2440	150	30.7	0.102	0.001	2414	10947	0.4	0.245	0.9	113.06	2.295	25.2	2.11	11.3	2.8	39.8	2.32	
	> 2 cm	2	1	10	1	148	1.8	150	2440	150	30.7	0.102	0.001	2414	10947	0.4	0.245	0	113.06	2.295	25.2	2.11	11.3	2.8	39.8	2.32	
Ostrya virginiana	Non-calibré	1	2	3	1	144	0.5	30	1520	150	92.2	1.53	0.01	2750	10300	0.9333	0.45	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 2 cm	1	2	3	1	190	0.5	30	1520	150	92.2	1.53	0.001	2750	10300	0.9333	0.45	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Picea glauca	Non-calibré	3	1	2	1	92	2.5	53	3350	200	121.2	1.14	0.01	600	3750	0.5444	0.245	0.9	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	2-15 cm	3	3	2	1	106	2.5	200	1800	200	121.2	1.14	0.001	600	3750	0.5444	0.245	0.9	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 15 cm	3	3	2	1	181	2.5	200	1800	200	121.2	1.14	0.001	600	3750	0.5444	0.245	0.9	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Pinus resinosa	Non-calibré	1	3	3	1	156	2	91	3050	275	64	0.352	0.01	2000	4100	1.25	0.5	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 2 cm	1	3	3	1	156	2	91	3050	275	64	0.352	0.001	2000	4100	1.25	0.5	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Pinus strobus	Non-calibré	2	3	4	1	141	2	101	4570	450	87.8	0.435	0.01	2100	6000	1	0.45	0.9	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	2-20 cm	3	3	4	1	90	2.5	140	4500	450	87.8	0.435	0.001	2100	6000	1	0.45	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 28 cm	3	3	4	1	195	2.5	160	4500	450	87.8	0.435	0.001	2100	6000	1	0.45	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Populus grandidentata	Non-calibré	1	2	3	1	177	0.5	60	2130	70	66.4	0.554	0.01	2100	6000	0.4	0.187	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 2 cm	1	2	3	1	177	0.5	60	2130	70	66.4	0.554	0.001	2100	6000	0.4	0.187	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Quercus rubra	Non-calibré	2	2	10	1	108	1.8	100	3050	400	58.3	0.291	0.001	2400	9600	0.9333	0.45	0.5	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 2 cm	3	2	10	1	191	1.8	180	3550	400	58.3	0.291	0.001	2400	9600	0.9333	0.45	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
Tilia americana	Non-calibré	3	1	3	1	170	1.6	137	4270	140	60.3	0.22	0.01	2300	6000	0.5667	0.29	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	
	> 2 cm	3	1	3	1	170	1.6	137	4270	140	60.3	0.22	0.001	2300	6000	0.5667	0.29	0	103.87	2.385	17.9	2.28	4.23	2.97	54.6	2.2	

4.3 Simulations

Pour chacune des 180 combinaisons quadrats-traitements (45 quadrats * 4 traitements), 25 simulations de croissance sur 20 ans ont été effectuées. Pour chacune des tiges, la croissance moyenne sur les 25 simulations a été calculée et retenue dans la base de données finale. Pour des raisons déjà expliquées, la mortalité des tiges simulée par JABOWA III était une source d'incertitude. Pour pallier ce problème, nous avons vérifié dans les PEP le pourcentage de tiges mortes sur une période de 20 ans sur le nombre total de tiges. Nous avons ainsi calculé que 22% des tiges de 10 cm et plus présentes dans de tels peuplements seraient mortes 20 ans plus tard. Nous avons ainsi considéré mortes les 22% des tiges les plus souvent mortes dans les 25 simulations des quadrats témoins. En appliquant cette règle, toutes les tiges qui sont mortes plus de 7 fois sur 25 simulations ont été considérées mortes. Pour les quadrats traités, nous avons par la suite considéré que toutes les tiges qui sont mortes plus de 7 fois étaient mortes. Toutes les tiges mortes ont été retirées de la base de données finale et c'est à partir de cette base de données que toutes les analyses statistiques ont été effectuées.

4.4 Analyses statistiques

Nous avons vérifié l'effet de l'éclaircie commerciale sur deux principaux paramètres, soit l'accroissement net en surface terrière et l'accroissement relatif net en surface terrière. Le terme « net » est utilisé dans le même sens que Novak (1996) l'utilise, c'est-à-dire que la mortalité survenue durant la période est retirée de la surface terrière après 20 ans. Nous utilisons l'expression « accroissement relatif net en surface terrière » lorsque le changement en surface terrière après 20 ans est relativisé en fonction de la surface terrière immédiatement après coupe. Mathématiquement, cela donne :

$$ArST_i = (S_{i20} - ST_{ir}) / ST_{ir}$$

où

$ArST_i$: Accroissement relatif net en surface terrière de la classe de diamètre i ;

S_{i20} : Surface terrière nette de la classe diamètre i au temps 20 et

ST_{ir} : Surface terrière nette immédiatement après coupe dans la classe de diamètre i .

Pour diverses classes de diamètre et pour diverses essences, l'accroissement net en surface terrière et l'accroissement relatif net en surface terrière ont été mis en relation avec des variables quantitatives par analyses de régression simples et multiples à l'aide du logiciel SPSS (SPSS Inc 1997).

5 Résultats

5.1 Calibration

Afin de vérifier si le modèle JABOWA simule bien la croissance des peuplements, nous avons vérifié dans quelle mesure le modèle fournit des croissances semblables à ce qui est observée sur le terrain d'après les données de placettes permanentes du ministère des Ressources naturelles. Pour le pin blanc, on peut observer (figure 3) que JABOWA sous-estimait, avant calibration, la croissance des arbres ayant un diamètre de plus de 30 cm. Après calibration (telle que décrite dans la section méthodologie), on peut observer que la croissance des pins blancs suit la tendance observée dans les données de placettes permanentes. Évidemment, la variation observée dans les placettes permanentes est beaucoup plus grande que celle observée avec les simulations de JABOWA. Cela s'explique entre autres par le fait que JABOWA ne peut considérer toute la viabilité observée en nature : variabilité de la qualité des sites, variabilité génétique et variabilité liée à la vigueur des arbres. Pour le chêne rouge, JABOWA avait tendance avant calibration à systématiquement sous-estimer la croissance des arbres. Après calibration, on voit que la croissance simulée par JABOWA respecte beaucoup mieux la variabilité observée dans les placettes permanentes. Par ailleurs, la variabilité observée chez le chêne rouge par les simulations JABOWA semble plus grande que chez le pin blanc, et ce, plus spécifiquement dans les gros diamètres. En fait, la faible variabilité observée chez le pin blanc dans les simulations JABOWA s'explique sans doute par le fait que les gros pins blancs sont dominants et reçoivent tous la même intensité lumineuse. Pour l'érable à sucre, JABOWA avait tendance à surestimer la croissance des arbres avant calibration. Après calibration, la croissance des érables à sucre telle que simulée par JABOWA correspondait beaucoup mieux à la croissance observée dans les placettes permanentes. Il est par contre difficile d'évaluer si JABOWA pourrait simuler adéquatement des érables de plus forts diamètres. Étant donné que de tels érables étaient rares dans les peuplements échantillonnés, cette incertitude n'est pas majeure dans le cas de notre étude.

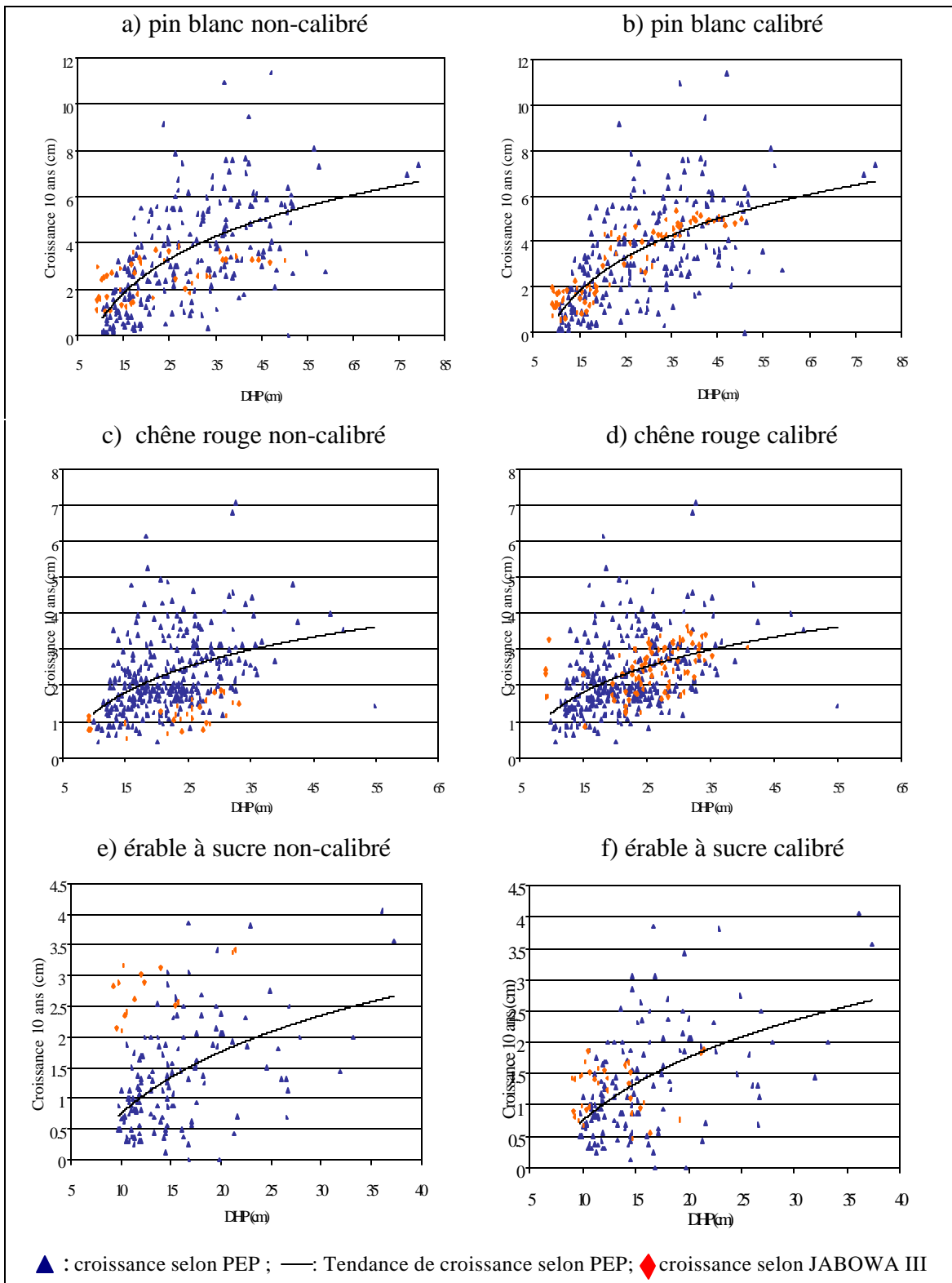


Figure 3 : Superposition de la croissance obtenue pour le pin blanc, le chêne rouge et l'érable à sucre selon les placettes-échantillons permanentes du ministère des Ressources naturelles avec la croissance obtenue par la simulation de la croissance des placettes échantillonnées dans le cadre de la présente étude, et ce, avant et après calibration de JABOWA.

5.2 Structure et composition des peuplements

Afin de décrire les peuplements étudiés, nous avons calculé le nombre de tiges/ha par classe de diamètre, et ce, pour chacune des essences (figure 4). Dans un premier temps, on peut remarquer que la très grande majorité des arbres de valeurs sciage sont des chênes rouges et des pins blancs. On remarque aussi une grande diversité d'essences dans les tiges de 10 cm et moins ; il est intéressant de remarquer que le chêne rouge et le pin blanc, nos essences objectifs, sont bien représentés dans cette classe de diamètre. Par contre, on observe pour le chêne rouge une rareté de tiges entre 12 et 18 cm.

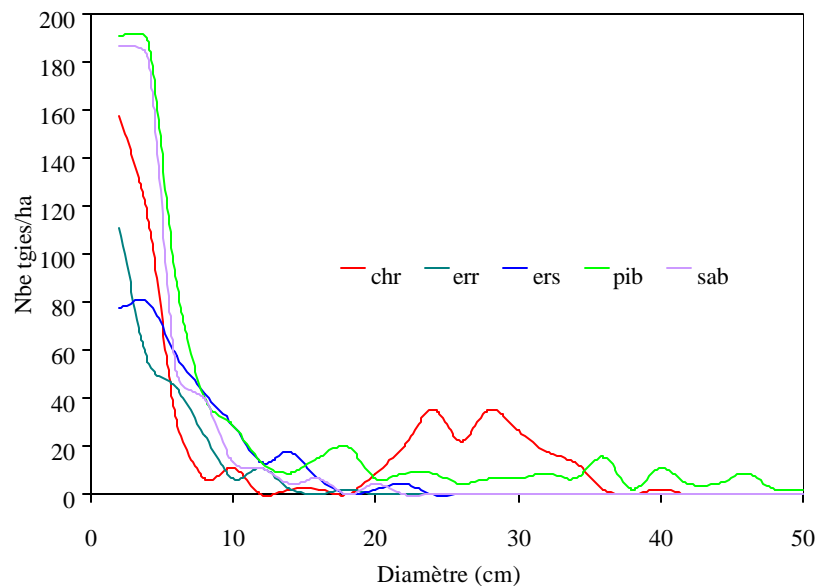


Figure 4 : Nombre de tiges/ha par classe de DHP pour les principales essences du territoire d'étude

5.3 Simulations

D'après les simulations effectuées, l'accroissement relatif net des arbres de plus de 10 cm de diamètre diminue de façon significative à mesure qu'augmente la surface terrière résiduelle. La relation n'est toutefois pas parfaite comme l'indique le R^2 à 0.47 (figure 5). Toujours à la même figure, on observe une espèce de plateau quant à l'effet de la surface

terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net; nous n'avons pas pu toutefois confirmer statistiquement la présence de ce plateau. Nous avons par la suite vérifié si l'effet de la surface terrière était dépendant des essences en présence. En ajoutant le variable pourcentage de pin blanc immédiatement après traitement à l'intérieur du modèle de régression, nous observons une augmentation significative ($p=.007$) du R^2 de 0,47 à 0,55 et qui démontre que le pourcentage de pin blanc dans le peuplement résiduel a un effet positif significatif sur la l'accroissement relatif net¹.

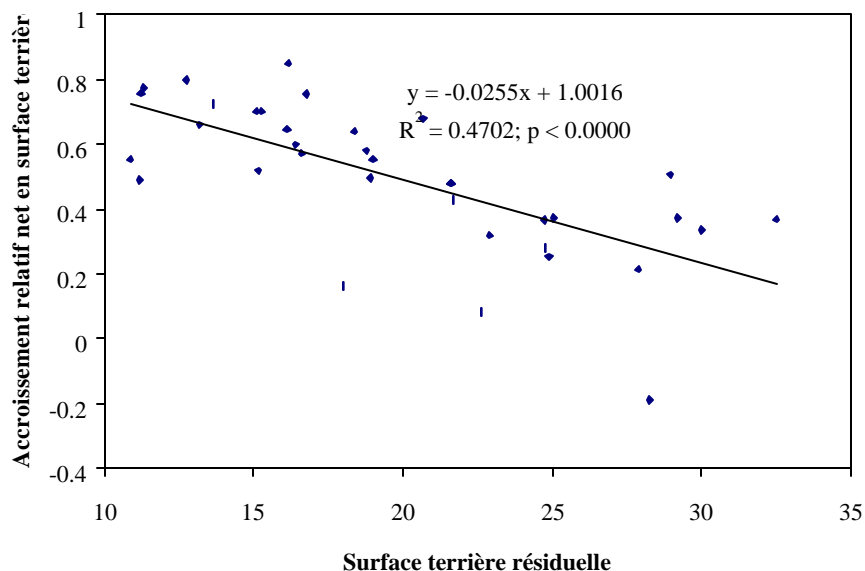


Figure 5 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière (tiges > 10 cm de DHP) sur 20 ans

Par contre, lorsque l'on vérifie l'effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement en surface terrière (et non sur l'accroissement relatif net), nous n'observons aucune relation significative (figure 6). Les résultats présentés aux figures 4 et 6 peuvent paraître contradictoires dans un premier temps. Toutefois, on peut penser que si nous n'avions observé aucune relation significative entre la surface terrière résiduelle et l'accroissement relatif net, nous aurions observé une diminution de l'accroissement en surface terrière net en fonction de la surface terrière résiduelle. Toujours à la même figure, il est intéressant de remarquer à quel point l'accroissement en surface terrière est variable. En effet, on remarque que l'on peut atteindre une augmentation de la surface terrière sur 20 ans de

¹ $\text{Accroissement relatif net en surface terrière} = .7238 + (-.02229 * \text{Surface terrière initiale}) + (.4542 * \text{Pourcentage en pin blanc immédiatement après traitement})$

près de 15 mètres carrés, et ce, pour des surfaces terrières résiduelles variant approximativement de 15 à 30 m²/ha. Cela revient à dire que l'accroissement en surface terrière est dépendant d'autres variables que nous n'avons pas explicitement mesurées.

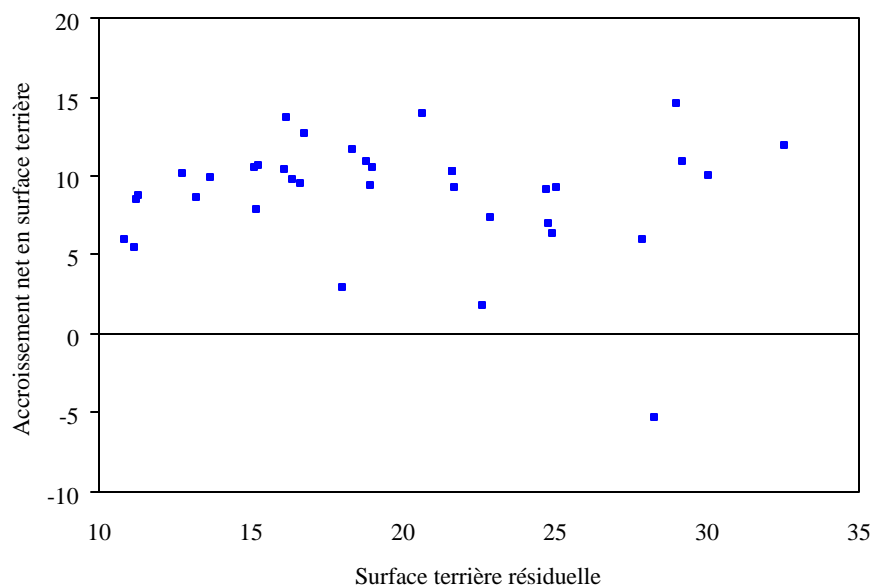


Figure 6 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière sur 20 ans

Nous avons voulu vérifier également si l'accroissement relatif touche davantage les grosses tiges que les petites tiges. Pour ce qui est des arbres de 10 à 24 cm, nous n'avons observé aucune relation significative entre la surface terrière résiduelle et leur accroissement relatif net ($p = 0.12$, figure 7). On peut par contre observer qu'après 25 m² de surface terrière résiduelle que l'accroissement de ces arbres est faible ou nul. Malgré que ce résultat doive être confirmé, on peut présumer qu'au dessus d'une certaine surface terrière l'accroissement des petites tiges se trouve limité.

Pour les tiges de 24 cm et plus, nous n'observons aucune relation claire entre la surface terrière résiduelle et l'accroissement relatif net (figure 8); en fait, l'analyse de régression révèle une tendance ($p = 0.085$) qui va dans le même sens que l'effet observé lorsque l'on considère l'ensemble des tiges (figure 4). Il peut sembler étrange que l'on observe une relation significative entre la surface terrière résiduelle et l'accroissement relatif net des peuplements, mais que cette relation ne soit plus visible ou très faible si on ne s'intéresse qu'aux petites tiges ou aux grosses tiges séparément. Ce phénomène s'explique par le fait

que l'apport de l'accroissement des petites tiges n'est pas dérisoire dans l'équation obtenue à la figure 5.

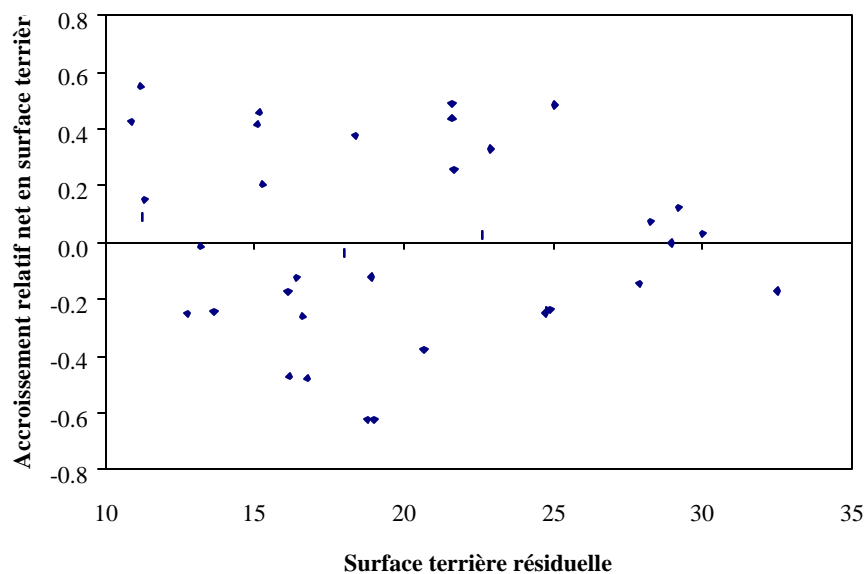


Figure 7 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière pour les tiges comprises entre 10 et 24 cm de DHP sur 20 ans

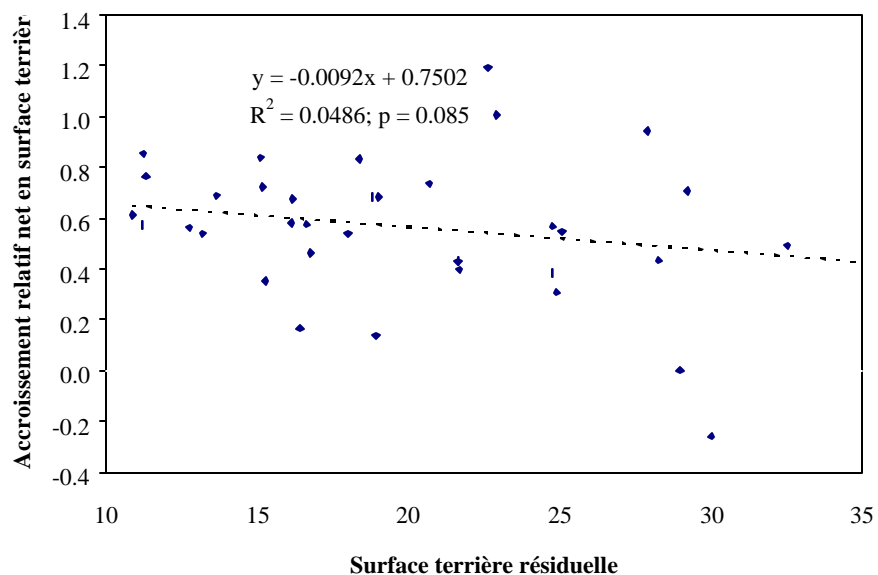


Figure 8 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière pour les tiges > 24 cm de DHP sur 20 ans

Nous avons aussi voulu vérifier l'effet de l'éclaircie sur le stade perchis (10-24 cm) puisque l'on retrouve une quantité appréciable de tiges de nos essences objectifs dans

cette classe diamètre. On remarque que la surface terrière résiduelle a un effet négatif significatif sur l'accroissement net du chêne rouge dans ce stade ($R^2 = 0.1662$; $p = 0.013$; figure 9). Pour le pin blanc, nous n'avons observé aucune relation significative ($p = 0.46$; résultats non présentés). Pour l'érable à sucre, une essence non désirée dans ces strates, nous observons, à l'instar du chêne rouge, un effet négatif significatif sur l'accroissement dans ce stade ($R^2 = 0.1406$; $p = 0.024$; figure 10).

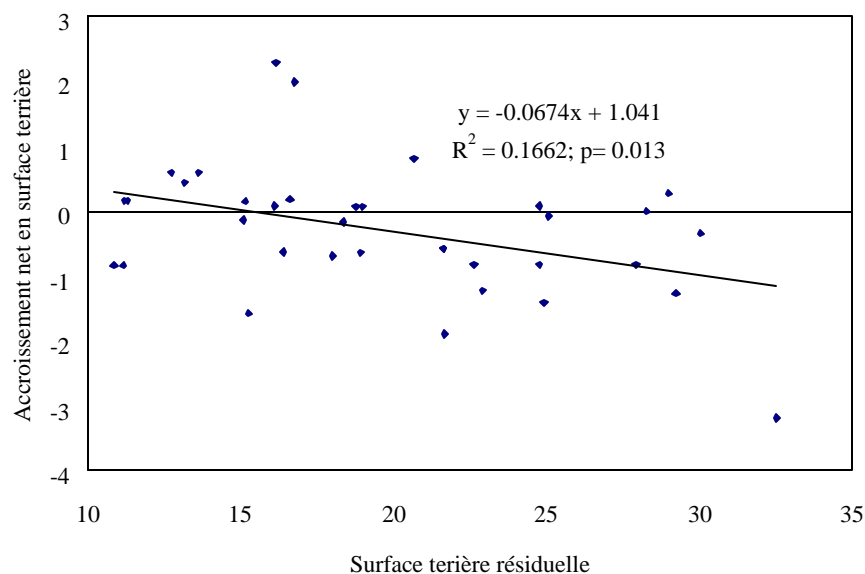


Figure 9 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement net en surface terrière dans le stade perchis pour le chêne rouge sur 20 ans

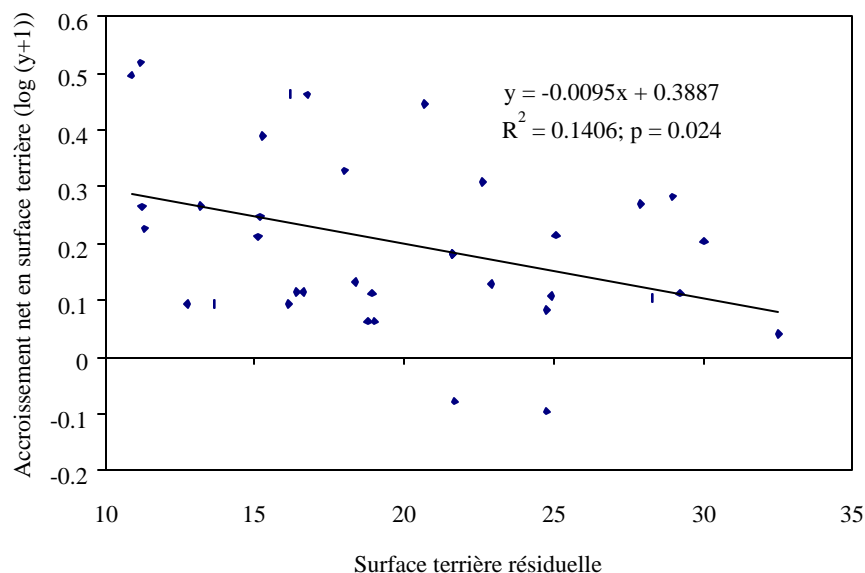


Figure 10 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement net en surface terrière dans le stade perchis pour l'érable à sucre sur 20 ans

Nous avons finalement voulu vérifier l'effet de l'éclaircie sur la régénération du chêne rouge et du pin blanc. Pour le chêne rouge, nous avons observé une relation significative négative entre la surface terrière résiduelle et l'accroissement relatif net des gaules de chêne rouge (figure 11, $p= 0.076$), mais cette relation demeure ténue comme en témoigne le $R^2 = 0.089$. Pour le pin blanc, nous n'avons observé aucune relation significative entre l'effet de la surface terrière résiduelle et l'accroissement relatif net des gaules ($p = 0.35$, figure 12). Il est important de rappeler que la croissance des gaulis a été simulé à partir des mêmes paramètres que les autres classes de diamètre. Aucune donnée ne nous permet de vérifier si l'accroissement prévu par JABOWA correspond à ce que l'on observe sur le terrain dans la région d'étude.

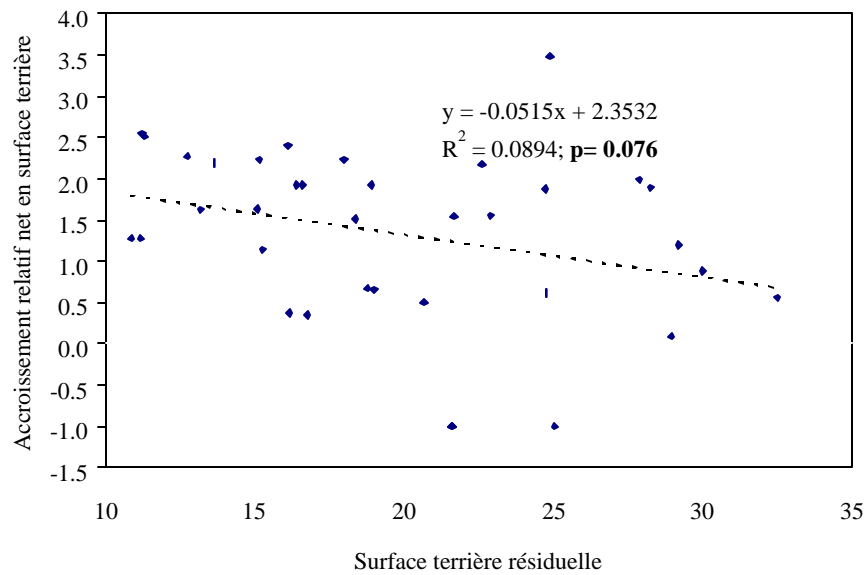


Figure 11 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière dans le stade gaulis pour le pin blanc sur 20 ans

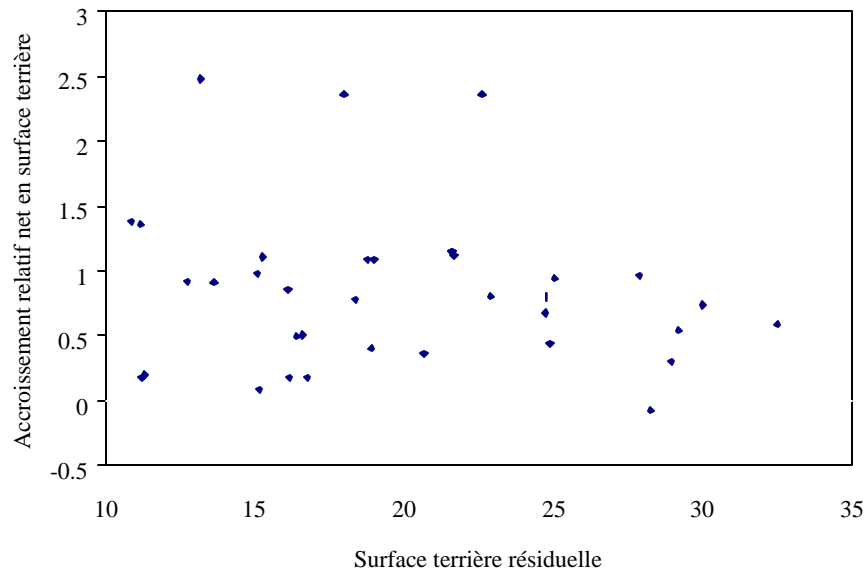


Figure 12 : Effet de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement relatif net en surface terrière dans le stade gaulis pour le chêne rouge sur 20 ans

6 Discussion

L'éclaircie commerciale a un effet positif sur l'accroissement relatif des tiges résiduelles. Par contre, cet effet n'est pas assez marqué pour compenser la perte de surface terrière lors de l'éclaircie. Malgré le fait que JABOWA ne considère pas la variabilité génétique et de vigueur des individus, nous avons observé une très grande variabilité quant à l'effet de l'éclaircie sur l'accroissement en surface terrière. Nous ne pouvons donc pas, sur la base de la croissance, proposer une surface terrière optimale immédiatement après coupe. L'étude semble démontrer qu'il est possible d'obtenir un accroissement en surface terrière de près de 15 m²/ha sur 20 ans. Nous n'avons pas pu dans le cadre de la présente étude préciser quelles sont les caractéristiques de peuplements qui permettent d'obtenir un tel accroissement. Il est possible que cela s'explique à la fois par la composition en essences (proportion en pin blanc comme nous l'avons démontré) et par la structure (c'est-à-dire la répartition de la surface terrière dans les différentes classes de diamètre) du peuplement immédiatement après traitement. Cela pourrait être étudié avec JABOWA, mais il faudrait échantillonner (sur le terrain ou virtuellement) une très grande quantité de structures de peuplements. À cet égard, il est important de mentionner les études effectuées dans le nord-est américain par divers chercheurs (Roach 1977; Marquis et

Ernst 1992; Nowak 1996). Ces auteurs ont étudié, à l'aide d'un indice appelé la densité relative², comment la structure d'un peuplement affecte sa croissance. À notre connaissance, aucun indice de densité relative n'a été défini pour les peuplements étudiés dans la présente étude.

Il est très important de mentionner que nous avons observé une relation très faible entre la surface terrière résiduelle et l'accroissement relatif net des tiges de 24 cm et plus. Or, c'est justement sur ces tiges qu'un effet de l'éclaircie commerciale est espéré puisque ce sont ces tiges qui prendront le plus de valeur au cours de la prochaine rotation. Ainsi, il serait difficile de justifier l'utilisation de l'éclaircie commerciale dans les peuplements étudiés sur une stricte base économique à court terme.

Étant donné qu'il y a plusieurs tiges de 24 cm et moins dans les essences objectifs, il est aussi intéressant de s'attarder sur l'effet de l'éclaircie commerciale sur ces petites tiges. Nous avons remarqué qu'au-dessus d'une surface terrière de ~25 m²/ha, l'accroissement relatif net des petites tiges est nul ou négatif. Ce résultat n'a toutefois pas pu être vérifié statistiquement en raison du faible échantillonnage au-dessus de ce seuil. Ainsi, si on considère que le nombre de tiges des essences objectifs dans cette classe de diamètre est suffisant, il peut être intéressant de favoriser leur croissance en visant une surface terrière maximale (~25 m²/ha, mais à confirmer). Par ailleurs, nous avons remarqué que le chêne rouge et l'érable à sucre au stade perchis réagissent favorablement à l'éclaircie. En première analyse, on pourrait être porté à croire que l'effet de l'éclaircie sur la composition en essences désirées sera très faible, car l'augmentation en érable à sucre défavorisera annulerait en quelque sorte l'augmentation en chêne rouge dans la compétition future. Par contre, ce résultat peut également être perçu comme étant une alternative supplémentaire s'offrant à l'aménagiste pour le prolongement de la vocation chêne rouge de ces peuplements. En effet, on pourrait imaginer une éclaircie libre dans laquelle on récolterait d'une part les chênes et les pin les moins vigoureux et, d'autre part, les érables à sucre – de plus petits diamètres – qui auront tendance à faire compétition au chêne et au pin en sous-étage.

² La densité relative constitue une fonction de la composition, de la surface terrière, du nombre de tiges/ha et du DHP moyen ou médian; c'est à partir de la densité relative que sont bâties les diagrammes de gestion de densité

Par ailleurs, l'étude de la structure du peuplement semble indiquer que le renouvellement du chêne rouge n'est pas assuré puisque l'on observe très peu de tiges de cette essence entre 12 et 18 cm de dhp, et ce, même s'il y a beaucoup de chêne rouge de 10 cm et moins. On peut donc supposer que le chêne rouge a subi la compétition d'autres essences plus tolérantes tels l'érable à sucre et le sapin baumier. À cet égard, nous avons remarqué un effet négatif significatif (faible, il est vrai) de la surface terrière résiduelle sur l'accroissement net des perches de chêne rouge. Même si l'effet remarqué est faible, il pourrait être important biologiquement pour l'évolution du peuplement puisqu'il pourrait permettre au chêne rouge de mieux faire compétition à d'autres essences moins désirées ; cela reste toutefois à démontrer. Des études effectuées dans le nord-est américain tendent à démontrer que l'éclaircie commerciale peut être utilisée pour favoriser la régénération du chêne rouge (Ward 1992; Yanai R.D. 1998). Dans de tels cas, l'éclaircie commerciale n'a plus comme seule fonction de favoriser la croissance du peuplement en place, mais aussi d'augmenter les possibilités offertes au forestier lors des futures coupes de régénération (Ward 1992).

6.1 Implications pour l'aménagement

Il est intéressant de vérifier dans quelle mesure la présente étude a pu répondre aux principaux objectifs établis au départ et qui étaient :

- 1) Préciser quelles devraient être les conditions minimales que devraient présenter un peuplement pour obtenir une augmentation de croissance intéressante des tiges de qualité et d'essences désirées (PIB, CHR) et comparer, en termes d'effets sur la croissance, les surfaces terrières optimales aux surfaces terrières minimales.

Réponse : Il semble qu'il est possible d'obtenir un accroissement relatif net en surface terrière intéressant sur un très grand éventail de surface terrière résiduelle. La valeur maximale obtenue se situe aux alentours de 16 m²/ha. On a vu que l'accroissement en surface terrière est, lui aussi, très variable en fonction de la surface terrière résiduelle puisque l'on obtient des valeurs d'accroissement de près de 15 m²/ha sur 20 ans sur un très large éventail de surface terrière résiduelle. Ainsi, la principale conclusion que

l'on peut tirer à cet égard est que la surface terrière résiduelle **n'est pas un bon indicateur** pour décrire le potentiel de croissance d'un peuplement. D'autres paramètres existent pour décrire la structure des peuplements, il est impérieux que l'on développe de tels descripteurs pour les peuplements mélangés de chêne rouge et pin blanc. Par ailleurs, l'étude démontre que pour des arbres de vigueur et qualités similaires, il est préférable de maintenir le pin blanc que le chêne rouge puisqu'il présente une meilleure croissance.

- 2) Vérifier quelle surface terrière il est préférable de laisser pour favoriser la régénération du chêne rouge et du pin blanc par rapport à l'érable.

Réponse : La présente étude n'est pas tout à fait concluante à ce sujet, mais certains résultats démontrent que l'aménagiste dispose de certains outils pour favoriser la vocation chêne rouge de ces peuplements. Il importe de rappeler que le chêne rouge et le pin blanc sont présents en quantité appréciables dans les perches (sauf un trou pour le chêne rouge entre 12 et 18 cm de DHP) dans les peuplements analysés. Dans de tels cas, il est possible qu'une plus faible surface terrière résiduelle favorise leur croissance au détriment d'essences plus tolérantes surtout si l'éclaircie vise aussi des tiges de plus petits diamètres des essences moins désirées tel l'érable à sucre, le hêtre à grandes feuilles et le sapin baumier. Ainsi, pour l'aménagiste qui désire à la fois obtenir un bon accroissement en surface terrière de ces peuplements et maintenir leur vocation, la présence/absence de chêne rouge et de pin blanc dans les stades gaulis-perchis peut être un bon outil pour déterminer l'intensité d'un traitement d'éclaircie. Dans les peuplements où le chêne et le pin sont absents de la classe perchis (10-24), l'aménagiste pourrait favoriser une plus faible intensité de traitement, couplée à une rotation plus courte, qui aurait pour seul objectif d'augmenter l'accroissement en surface terrière. L'utilisation de ces deux régimes d'éclaircies commerciales basées sur la présence-absence de chêne rouge et pin blanc en sous-étage permettrait à l'aménagiste d'étaler dans le temps la récolte de ces peuplements qui ont à peu près tous le même âge dans la région .

7 Références

- Botkin, D. 1993. Forests dynamics. An ecological model. Oxford, Oxford University Press. 309p.
- Graney, D. L. 1987. Ten-Year Growth of red and white oak crop trees following thinning and fertilization in the Boston Mountains of Arkansas. Proceedings of the fourth biennial Southern Silvicultural research conference, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC, USDA forest Service 445-450.
- Marquis, D. A. et R. L. Ernst. 1992. The effects of stand structure after thinning on the growth of an Allegheny hardwood stands. *Forest Science* 35: 1182-1200.
- MRNQ, Ed. 1998. Manuel d'aménagement forestier.
- Nichols, J. S. et K. L. Carvell. 1987. Growth response of Appalachian hardwoods to partial cuttings. *West Virginia Forestry Notes*(13): 14-18.
- Nowak, C. A. 1996. Une étude sur l'éclaircies de peuplement équiennes mixtes de feuillus des Alleghany de 50 à 55 ans. *Canadian Journal of Forest Research* volume 26 numéro 5;: pages 819 à 835.
- Pacala, S. W., C. D. Canham, J. A. Silander et R. K. Kobe. 1994. Sapling growth as a function of resources in a north temperate forest. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 2172-2183.
- Roach, B. A. 1977. A stocking guide for Allegheny hardwoods and its use in controlling intermediate species. Upper Darby, PA: U.S, Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest experiment station. 30p.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Ste-Foy, QC, Canada, Les Publications du Québec. 213p.
- Smith, D. J. 1996. Development and field application of density management diagrams and size-density surface models developed for the boreal mixedwood stands of Ontario. Sault Ste. Marie, Nat. Resour. Can., Canadian Forest Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, On.: 11 p.
- Smith, D. J. et M. E. Woods. 1997. Red Pine and White Pine Density Management Diagrams for Ontario. North Bay, Ontario Ministry of Natural Resources Southcentral Sciences Section: 31 p.
- SPSS Inc. 1997. SPSS 8.0 for Windows

- Ward, J. S. 1992. Response of woody regeneration to thinning mature upland oak stands in Connecticut, USA. *Forest Ecology and Management* 49(3-4): 219-231.
- Yanai R.D., Twery. M. J. et Stout. S. L. 1998. Woody understory reponse to changes in overstory density: thinnig in Allegheny hardwoods. *Forest Ecology and Management* volume 102 numéro 1: pages 45 à 60.