

Acclimatation de la basse régénération résineuse à la suite de coupes partielles en forêt mixte tempérée : Développement après 15 ans

Daniel Dumais, ing.f., M. Sc. et Marcel Prévost, ing.f., Ph. D.

Résumé

La régénération préétablie joue un rôle prépondérant pour maintenir l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) au sein des bétulaies jaunes résineuses (BjR). Or, peu d'information est disponible sur le développement relatif de ces 2 espèces qui souvent se concurrencent après la coupe, notamment en forêt mixte tempérée. Nous présentons ici 15 années d'observations de la croissance en hauteur et de la croissance latérale de la basse régénération d'épinette et de sapin (0,4 à 1,3 m de hauteur) dans des BjR soumises à différentes intensités de coupe (prélèvements uniformes de 0, 40, 50, 60 et 100 % de la surface terrière) testées dans le cadre d'une étude sylvicole initiée à la fin des années 1990. Une première étude, portant sur l'écophysologie, avait démontré l'effet bénéfique des coupes à 40, 50 et 60 % sur la survie, l'acclimatation et la reprise de croissance de ce type de régénération durant les 6 premières années. Dans les coupes partielles, le sapin poussait plus que l'épinette rouge. Par contraste, dans la coupe à 100 %, l'épinette avait une croissance équivalente à celle du sapin (malgré le fait que seules quelques épinettes y avaient survécu). Les résultats de la présente étude indiquent que l'effet positif initial du traitement de coupe sur la croissance en hauteur s'est atténué avec le temps, mais que cette atténuation a été plus rapide pour l'épinette rouge. À moyen terme, le sapin a mieux performé que l'épinette dans tous les traitements, la surpassant de 40 à 120 cm en hauteur au bout de 15 ans. Ces données confirment l'avantage du sapin sur l'épinette au sein de la basse régénération préétablie.

Mots-clés : Coupes partielles uniformes, croissance, épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), forêt mixte tempérée, régénération préétablie, sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), sylviculture.

Abstract

*Advance growth plays a major role in maintaining red spruce (*Picea rubens* Sarg.) and balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.) in yellow birch – conifer stands. However, little information is available on the relative development of these two species that often compete together after cutting, particularly in the temperate mixedwood forest. Here we present 15-year observations of height and lateral growth of short advance spruce and fir regeneration (0.4 to 1.3 m in height) in yellow birch–conifer stands treated with different cutting intensities (uniform removal of 0%, 40%, 50%, 60% and 100% of basal area) tested in a silvicultural study initiated in the late 1990s. An earlier ecophysiological study demonstrated that after 6 years, the 40%, 50% and 60% cuts had positive effects on survival, acclimation and growth recovery of this type of regeneration. However, fir grew more than red spruce in partial cuts, while in the 100% cut, spruce grew similarly to fir (although only a few spruce survivors were present). Results of the present study indicate that the initial positive effect of harvesting on height growth diminished with time, and more rapidly for red spruce than for balsam fir. In the medium term, fir performed better than spruce following all cutting intensities, surpassing its height by 40 to 120 cm, 15 years after treatments. These data confirm the advantage of fir over spruce regarding short advance regeneration.*

Keywords: Uniform partial cuts, growth, red spruce (*Picea rubens* Sarg.), temperate mixedwood forest, advance regeneration, balsam fir (*Abies balsamea* [L.] Mill.), silviculture.



Introduction

La régénération préétablie joue un rôle prépondérant pour maintenir l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) au sein des bétulaies jaunes résineuses aménagées. Pour favoriser ces deux essences parmi les plus tolérantes à l'ombre des conifères boréaux (Blum 1990, Frank 1990), la coupe partielle uniforme a récemment été expérimentée dans un contexte d'aménagement écosystémique (Prévost 2008). Cette approche sylvicole s'est avérée bénéfique à leur acclimatation écophysiological (Dumais et Prévost 2008). Elle a permis de limiter le stress physiologique et la mortalité associés à la trop forte luminosité et aux extrêmes de température (voir Dumais et Prévost 2007). Or, le sapin tend à déloger l'épinette rouge après le passage d'une perturbation (Fortin 2003, Sullivan et Peterson 1994). De récentes études ont effectivement montré que le sapin était en mesure de surpasser l'épinette rouge, par exemple dans la forêt acadienne (Moore *et al.* 2007) et dans un peuplement résineux de basse terre de la vallée du Saint-Laurent (Pothier et Prévost 2008). À la suite de coupes partielles réalisées dans deux bétulaies jaunes résineuses de la grande région de Québec (Prévost 2008), nous avons aussi observé qu'à court terme, dans la régénération mesurant de 0,4 à 1,3 m de hauteur, le sapin était avantagé au détriment de l'épinette (Dumais et Prévost 2008). Il semble donc que la basse régénération préétablie d'épinette rouge ait besoin, à moyen terme, d'une seconde intervention sylvicole de mise en lumière afin d'atteindre une croissance optimale (notamment pour concurrencer les autres espèces, surtout le sapin) et d'occuper plus rapidement une place dans les étages supérieurs du peuplement.

Dans la littérature, peu d'information est actuellement disponible sur la croissance relative à moyen terme de l'épinette rouge et du sapin baumier à la suite de coupes partielles, encore moins en forêt mixte tempérée. On peut alors se demander si l'acclimatation écophysiological du sapin, qui lui a permis de surpasser à court terme l'épinette dans les coupes partielles (Dumais et Prévost 2008), aura des répercussions à plus long terme. Par ailleurs, se pourrait-il que la différence de croissance observée entre l'épinette et le sapin se résorbe avec le temps? Enfin, de façon plus générale, les observations à court terme sont-elles un bon indice de la croissance à moyen terme? Pour tenter de faire la lumière sur ces questions, nous avons suivi, durant 15 années consécutives, le développement de la basse régé-

nération préétablie d'épinette rouge et de sapin baumier dans 2 bétulaies jaunes résineuses soumises à des coupes partielles uniformes de différentes intensités. S'inscrivant dans une étude sylvicole complète touchant la strate en régénération (Prévost 2008) et la croissance des tiges résiduelles (Prévost et Dumais 2013), le présent travail est la suite de l'étude écophysiological faisant état de l'acclimatation et de la croissance à court terme de la basse régénération (Dumais et Prévost 2008). Nous présentons dans cette note les résultats de l'évolution de la hauteur, de la croissance en hauteur, de la croissance latérale et du rapport de dominance apicale, un bon indicateur de la réaction morphologique et de la reprise de croissance en hauteur à la suite de la mise en lumière (Greis et Kellomäki 1981). D'un point de vue sylvicole, ces données sont importantes notamment afin de vérifier dans quelle mesure les effets morphophysiological observés sur ces deux espèces résineuses, qui souvent se concurrencent durant les premières années après la coupe, peuvent subsister à plus long terme. À cet effet, nous émettons l'hypothèse générale que l'avantage compétitif initialement rapporté pour le sapin, quant à sa croissance en hauteur et à sa croissance latérale (Dumais et Prévost 2008), peut se poursuivre à moyen terme, et ce, au détriment de l'épinette rouge. Les résultats présentés ici apportent de l'information scientifique qui sera utile, notamment, à des fins d'aménagement et de planification forestière.

1. Matériel et méthodes

1.1. Aire d'étude et dispositif expérimental

L'étude a été conduite dans deux dispositifs expérimentaux préalablement établis dans des bétulaies jaunes résineuses de la région de Québec (Prévost 2008). Le premier site, Armagh, est situé dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.) (région écologique 3dT; 46° 50' N, 70° 32' W). Le second site, Duchesnay, est dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'Est (région écologique 4dM; 46° 54' N, 71° 41' W). Tous deux reposent sur des sols podzoliques qui se sont développés à partir de dépôts de till épais d'origine glaciaire. Les peuplements des 2 sites sont principalement constitués de bouleau jaune, d'épinette rouge, de sapin baumier et d'érable rouge (*Acer rubrum* L.). Les structures d'âge et de diamètre de ces peuplements sont irrégulières inéquiennes. La basse ($\leq 1,3$ m de hauteur) et la haute

(>1,3 m) régénération résineuse sont dominées par l'épinette rouge (~1 200 et 1 100 tiges/ha, respectivement) et le sapin baumier (~5 800 et 600 tiges/ha).

Sur chaque site, notre étude comprenait 3 répétitions (blocs aléatoires complets), faisant chacune l'objet de 5 intensités de coupe, soit le prélèvement uniforme de 0, 40, 50, 60 et 100 % de la surface terrière marchande, pour un total de 15 unités expérimentales (3 blocs × 5 intensités de coupe) par site. Chaque unité expérimentale mesurait 70 × 70 m. Notons que le prélèvement à 100 % était en fait une coupe avec protection de la régénération et des sols, communément appelée CPRS. Des détails supplémentaires sur les sites et dispositifs expérimentaux sont présentés dans Prévost (2008).

1.2. Échantillonnage et mesures

Pour les besoins de la présente étude, nos observations ont été effectuées dans une sous-parcelle de 50 × 50 m, située au centre de chaque unité expérimentale. Des semis préétablis, mesurant de 0,4 à 1,3 m de hauteur, y ont été échantillonnés 6 ans après la coupe. Au minimum, 8 épinettes rouges et 5 sapins baumiers, exempts de défauts morphologiques, d'insectes et d'agents pathogènes, ont été sélectionnés dans chaque unité expérimentale. Lors de l'échantillonnage (année 6), la hauteur (H), la croissance rétrospective en hauteur (T : flèche terminale annuelle, qui correspondait à la longueur des entrenœuds des années 1 à 6 après la coupe) et la croissance latérale (L : pousse latérale annuelle adjacente à T, qui correspondait à la longueur d'une seule des pousses formant le verticille, soit la plus représentative) ont été mesurées. Par la suite, toutes ces variables morphologiques ont été mesurées annuellement jusqu'à l'année 15. De plus, le rapport T/L a été calculé 5, 10 et 15 ans après la coupe afin d'illustrer l'évolution du degré de dominance apicale (Greis et Kellomäki 1981).

1.3. Analyses statistiques

Pour chaque variable morphologique (T, L et T/L), les valeurs moyennes par unité expérimentale ont été calculées pour les années 5, 10 et 15 après la coupe. Pour chacune de ces années, les valeurs moyennes calculées ont été soumises à une analyse de variance (ou de covariance) en utilisant la procédure MIXED du logiciel SAS (version 9.3). Des tests de comparaisons multiples ont été menés à l'aide de l'option SIMULATE

afin de vérifier l'effet des intensités de coupe. La relation entre chacune des différentes variables morphologiques (T, L et T/L) et la hauteur initiale (H_0 , année 0) a été analysée par régression pour déterminer la pertinence d'inclure la hauteur initiale comme covariable dans le modèle statistique (analyse de covariance). Afin d'élargir la portée des résultats, le site (Armagh vs Duchesnay) a été inclus dans les effets aléatoires du modèle : bloc, bloc(site), intensité de coupe × bloc(site), intensité de coupe × espèce × bloc(site). Pour l'ensemble des tests statistiques, un seuil de signification de 0,05 a été retenu. La normalité des résidus et l'homogénéité de la variance ont été vérifiées graphiquement. Des transformations racine carrée ou logarithmique (ln) ont été appliquées aux données de H_0 et de croissance en hauteur qui montraient une hétérogénéité de la variance, lesquelles ont ensuite été ramenées à leur forme originale pour la présentation des résultats.

2. Résultats

2.1. Hauteur initiale

La coupe et l'espèce ont eu des effets significatifs sur la hauteur initiale ($p \leq 0,001$; tableau 1, figure 1a-b). Les semis du témoin surpassaient de 22 cm ceux des traitements de coupe ($p \leq 0,018$). De plus, l'épinette était plus haute (+ 10 cm) que le sapin ($p < 0,001$).

2.2 Croissance en hauteur

Cinq ans après le traitement, la coupe et l'espèce avaient des effets significatifs sur la croissance en hauteur ($p < 0,001$; tableau 1, figures 1c-d et 2a). Les semis ont mieux poussé dans les traitements de coupe (+ 11 cm) que témoin ($p < 0,001$). De plus, la croissance en hauteur a doublé dans la coupe à 100 % par rapport aux coupes partielles ($p \leq 0,001$). Enfin, les tests de comparaisons multiples indiquent que le sapin a poussé plus que l'épinette dans les coupes partielles, notamment celles à 40 et 60 % ($p \leq 0,024$, tableau 1).

À l'année 10, l'effet de la coupe sur la croissance en hauteur était présent chez le sapin, mais s'était estompé chez l'épinette (Figures 1c et 2b), comme en témoigne l'interaction significative C × E ($p = 0,043$; tableau 1). Par exemple, le sapin a maintenu une croissance en hauteur plus forte dans les coupes partielles que dans le témoin ($p \leq 0,034$), ce qui

Tableau 1. Probabilités ($p > F$) associées aux effets périodiques des différentes intensités de coupe (prélèvement de 0, 40, 50, 60 et 100 % de la surface terrière marchande) sur la hauteur initiale (H_0), la croissance en hauteur (T), la croissance latérale (L) et le rapport T/L de la régénération préétablie d'épinette rouge (Epr) et de sapin baumier (Sab).

Source de variation	DL _n ¹	DL _d ²	H ₀	Année 5			Année 10			Année 15		
				T	L	T/L	T	L	T/L	T	L	T/L
<i>Effets fixes³</i>												
Covariable (H ₀)	1	-	-	<0,001	-	-	-	-	-	-	-	-
Intensité de coupe (C)	4	23,9	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
0 % vs 40 %	1	23,9	0,018	<0,001	<0,001	0,001	0,851	0,632	0,980	0,204	0,731	1,000
0 % vs 50 %	1	23,9	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	0,037	0,088	0,049	0,002	0,151	0,608
0 % vs 60 %	1	23,9	0,012	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	0,211	0,045	0,002	0,404	0,689
0 % vs 100 %	1	23,9	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
40 % vs 50 %	1	23,9	0,997	0,480	0,797	0,222	0,262	0,656	0,143	0,181	0,771	0,601
40 % vs 60 %	1	23,9	1,000	0,179	0,871	0,013	0,025	0,904	0,131	0,191	0,979	0,678
40 % vs 100 %	1	23,9	0,619	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
50 % vs 60 %	1	23,9	1,000	0,959	1,000	0,622	0,940	0,985	1,000	1,000	0,978	1,000
50 % vs 100 %	1	23,9	0,809	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,011	0,001	<0,001	<0,001	0,022
60 % vs 100 %	1	23,9	0,736	0,001	0,002	0,001	<0,001	0,003	0,001	<0,001	<0,001	0,016
Espèce (E)	1	23,9	<0,001	<0,001	<0,001	0,274	<0,001	<0,001	0,146	<0,001	<0,001	0,176
C x E	4	23,9	0,635	0,169	0,162	0,019	0,043	0,283	0,580	0,022	0,001	0,567
0 % : Epr vs Sab	1	23,9	0,514	0,670	0,402	1,000	0,889	<0,001	0,828	0,390	0,954	1,000
40 % : Epr vs Sab	1	23,9	0,037	0,002	<0,001	0,968	0,016	0,001	1,000	<0,001	0,151	0,888
50 % : Epr vs Sab	1	23,9	0,769	0,635	<0,001	0,038	0,044	0,001	0,897	0,106	0,147	1,000
60 % : Epr vs Sab	1	23,9	0,826	0,024	<0,001	0,956	0,001	0,006	1,000	0,001	0,248	0,921
100 % : Epr vs Sab	1	23,9	0,719	0,727	0,168	0,986	0,001	0,001	1,000	<0,001	<0,001	0,665
Epr : 0 % vs 40 %	1	40,5	0,398	0,120	0,525	0,011	1,000	0,909	1,000	1,000	1,000	1,000
Epr : 0 % vs 50 %	1	40,5	0,067	<0,001	0,043	<0,001	0,716	0,365	0,404	0,200	0,993	0,907
Epr : 0 % vs 60 %	1	40,5	0,078	0,001	0,047	<0,001	0,612	0,393	0,785	0,213	1,000	1,000
Epr : 0 % vs 100 %	1	40,5	0,014	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,206	0,035
Epr : 40 % vs 50 %	1	40,5	0,987	0,285	0,958	0,027	0,885	0,982	0,200	0,374	0,997	0,988
Epr : 40 % vs 60 %	1	40,5	0,992	0,452	0,976	0,195	0,811	0,988	0,509	0,344	1,000	0,999
Epr : 40 % vs 100 %	1	40,5	0,716	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,027	<0,001	<0,001	0,242	0,024
Epr : 50 % vs 60 %	1	40,5	1,000	1,000	1,000	0,990	1,000	1,000	1,000	0,962	1,000	1,000
Epr : 50 % vs 100 %	1	40,5	0,996	0,007	0,010	0,041	0,005	0,168	0,018	0,015	0,689	0,084
Epr : 60 % vs 100 %	1	40,5	0,992	0,004	0,008	0,004	0,007	0,151	0,004	0,001	0,499	0,063
Sab : 0 % vs 40 %	1	40,5	0,053	<0,001	0,001	0,004	0,034	0,991	0,938	0,027	0,780	0,955
Sab : 0 % vs 50 %	1	40,5	0,125	<0,001	<0,001	0,009	0,026	0,549	0,428	0,043	0,292	0,967
Sab : 0 % vs 60 %	1	40,5	0,171	<0,001	0,001	<0,001	0,003	0,914	0,144	0,006	0,623	0,894
Sab : 0 % vs 100 %	1	40,5	0,019	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005
Sab : 40 % vs 50 %	1	40,5	1,000	1,000	1,000	1,000	0,048	0,958	0,986	1,000	0,994	0,986
Sab : 40 % vs 60 %	1	40,5	1,000	0,944	1,000	0,179	0,039	1,000	0,779	0,938	1,000	0,973
Sab : 40 % vs 100 %	1	40,5	1,000	0,008	0,532	0,001	<0,001	0,008	0,001	<0,001	<0,001	0,010
Sab : 50 % vs 60 %	1	40,5	1,000	0,933	1,000	0,092	0,779	0,997	0,999	0,981	1,000	1,000
Sab : 50 % vs 100 %	1	40,5	0,985	0,007	0,726	0,001	<0,001	0,090	0,011	<0,001	<0,001	0,015
Sab : 60 % vs 100 %	1	40,5	0,966	0,037	0,659	0,323	0,002	0,018	0,040	0,001	<0,001	0,018

¹DL_n : degrés de liberté au numérateur.

²DL_d : degrés de liberté au dénominateur (exemple pour H₀).

³Les effets aléatoires sont les suivants : Site, Bloc(Site), C x Bloc(Site), C x E x Bloc(Site).

n'était plus le cas chez l'épinette ($p \geq 0,612$). Le sapin a par ailleurs eu une meilleure croissance en hauteur que l'épinette dans toutes les intensités de coupe ($p \leq 0,044$), avec des gains respectifs de 4, 6, 8 et 9 cm dans les coupes à 40, 50, 60 et 100 %.

À l'année 15, l'effet des coupes partielles s'était atténué pour les deux espèces, mais demeurait perceptible chez le sapin ($p \leq 0,043$; tableau 1, figures 1d et 2c). Bien que les écarts entre les espèces soient moins grands qu'à 10 ans, le sapin poussait toujours plus que l'épinette dans les coupes à 40, 60 et 100 % ($p \leq 0,001$). Ces résultats de croissance se sont traduits par des sapins plus grands (+40 à +120 cm) que les épinettes dans l'ensemble des coupes après 15 ans (Figure 1a-b).

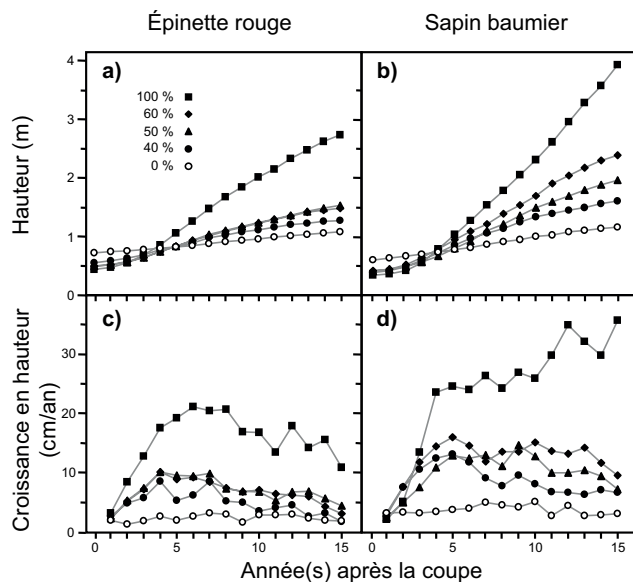


Figure 1. Évolution, sur une période de 15 ans, de la hauteur (a et b) et de la croissance en hauteur (c et d) de la basse régénération préétablie d'épinette rouge (à gauche) et de sapin baumier (à droite) à la suite de différentes intensités de coupe (prélèvements de 0, 40, 50, 60 et 100 % de la surface terrière marchande) réalisées dans des bétulaies jaunes résineuses de la région de Québec. L'erreur-type maximale est de $\pm 0,1$ m pour la hauteur et de ± 2 cm/an pour la croissance. Aucune analyse statistique n'ayant été effectuée sur le profil des courbes, ces dernières sont présentées à titre indicatif seulement.

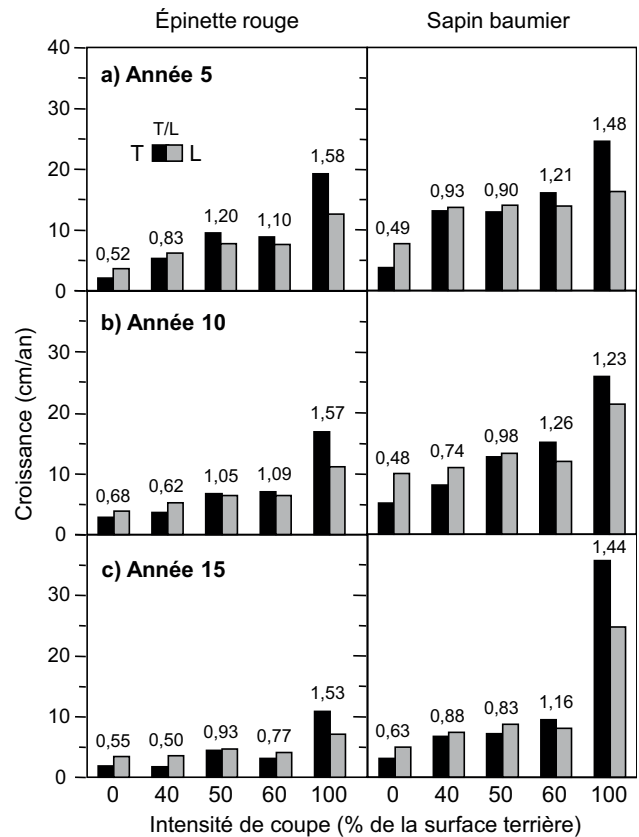


Figure 2. Effet des différentes intensités de coupe sur la croissance en hauteur (colonne T), la croissance latérale (colonne L) et le rapport T/L (chiffre au-dessus des colonnes d'histogramme) de la basse régénération préétablie d'épinette rouge (à gauche) et de sapin baumier (à droite) après 5 ans (a), 10 ans (b) et 15 ans (c). L'erreur-type maximale est de ± 2 cm pour T, de ± 1 cm pour L et de $\pm 0,1$ pour T/L.

2.3 Croissance latérale et rapport T/L

Cinq ans après le traitement, la coupe et l'espèce ont eu des effets significatifs sur la croissance latérale ($p < 0,001$; tableau 1, figure 2a). Celle-ci a été plus forte dans les traitements de coupe (+ 6 cm) que témoin ($p < 0,001$), et elle a été plus forte dans la coupe à 100 % que dans les coupes partielles ($p \leq 0,002$). De plus, les tests de comparaisons multiples montrent que le sapin a eu une meilleure croissance latérale que l'épinette dans les coupes partielles ($p < 0,001$). Le rapport T/L s'est accru avec l'intensité de coupe, et cet effet a varié selon l'espèce ($p = 0,019$). En moyenne, la croissance latérale des 2 espèces a été plus importante que la croissance en hauteur ($T/L < 1$) dans les coupes à 0 et 40 %, et aussi dans la coupe à 50 % chez le sapin.

À l'année 10, l'effet de la coupe sur la croissance latérale avait disparu chez les 2 espèces dans les coupes partielles, mais demeurait présent dans la coupe à 100 % ($p \leq 0,003$; tableau 1, figure 2b). Le sapin a eu une croissance latérale plus forte que l'épinette dans toutes les intensités de coupe ($p \leq 0,006$). Le rapport T/L a continué d'augmenter par rapport au témoin selon l'intensité de coupe ($p \leq 0,049$), à l'exception de la coupe à 40 % dont l'effet par rapport au témoin n'était plus significatif après 10 ans ($p = 0,980$). Comme à l'année 5, la croissance latérale des deux espèces a excédé la croissance en hauteur dans les coupes à 0 et 40 %, et aussi dans la coupe à 50 % chez le sapin (Figure 2b).

À l'année 15, l'effet de la coupe sur la croissance latérale variait selon l'espèce (C x E : $p = 0,001$; tableau 1). En fait, il n'y avait plus d'effet de l'intensité de coupe chez l'épinette, et le seul effet perceptible chez le sapin était une croissance latérale largement supérieure, dans la coupe à 100 % (+ 17 cm), à celle dans les autres traitements et à celle de l'épinette ($p < 0,001$; figure 2c). Après 15 ans, le sapin n'avait plus d'avantage par rapport à l'épinette dans les coupes partielles. L'effet de la coupe sur le rapport T/L s'était également estompé, puisque seule la coupe à 100 % se démarquait des autres ($p \leq 0,022$). Enfin, la croissance latérale de l'épinette surpassait alors sa croissance en hauteur dans les coupes à 50 et 60 % (T/L < 1), en plus des coupes à 0 et 40 %; par contraste, pour le sapin, l'effet de la coupe sur ce rapport avait peu changé par rapport à la période précédente.

3. Discussion et implications pour la sylviculture

Les résultats de la présente étude nous renseignent sur la capacité de la basse régénération préétablie d'épinette rouge et de sapin baumier à reprendre et à maintenir une croissance vigoureuse 15 ans après l'ouverture totale ou partielle (uniforme) du couvert forestier, dans des bétulaies jaunes résineuses représentatives de celles qu'on rencontre communément dans les 2 régions couvertes par notre étude. Il en ressort que l'intensité des différentes coupes, les conditions environnementales qui en résultent et le temps écoulé depuis l'intervention sont tous des facteurs cruciaux dans la dynamique de croissance de ces deux essences qui souvent se concurrencent.

Bien que les épinettes rouges préétablies aient été initialement plus grandes que les sapins, ce qui est généralement rapporté comme un avantage pour celles-ci (Davis 1991, Westveld 1931), la différence de 10 cm que nous avons mesurée entre les 2 espèces a été insuffisante pour contrebalancer la croissance plus rapide du sapin (Figure 1). À titre comparatif, selon les travaux de Moores *et al.* (2007), une épinette rouge préétablie doit avoir au moins 14 à 33 cm de plus qu'un sapin de 0,5 m de haut pour atteindre une hauteur de 6 m au cours de la même période de temps.

Dans la coupe à 100 % (CPRS), nous avons observé à court terme, soit 6 ans après la coupe, que les quelques épinettes rouges préétablies ayant survécu avaient un taux de croissance qui leur permettait de concurrencer le sapin (Dumais et Prévost 2008). À l'année 5, la CPRS laissait passer de 45 à 65 % de pleine lumière (Prévost 2008), ce qui était cohérent avec la prémisse voulant que la croissance optimale de l'épinette rouge, une fois acclimatée, requière au moins 50 % de pleine lumière (Seymour 1995). Or, selon toute vraisemblance, le développement rapide d'une végétation concurrente persistante (p. ex. : le cerisier de Pennsylvanie, *Prunus pensylvanica* L. f.) dans les parterres de CPRS (Prévost 2008) et la croissance en hauteur plus rapide du sapin ont graduellement privé l'épinette rouge de cette quantité optimale de lumière, et réduit sa croissance à moyen terme (Figure 1c). Puisque, contrairement au sapin, l'épinette rouge préétablie modifie peu sa surface foliaire spécifique, sa croissance dépend principalement du gain photosynthétique associé à la quantité de lumière (Dumais et Prévost 2008, 2014). De son côté, le sapin, par son acclimatation rapide, sa forte croissance latérale et la plasticité morphologique de son feuillage, a pu maintenir et même augmenter son rythme de croissance en hauteur, et surpasser l'épinette (Figure 1). Ce résultat confirme donc la supériorité du sapin sur l'épinette pour la croissance en hauteur et la croissance latérale dans la basse régénération préétablie. Par ailleurs, la CPRS n'apparaît pas comme une option sylvicole valable pour favoriser la basse régénération préétablie d'épinette rouge, étant donné la faible survie de l'espèce après cette intervention (Dumais et Prévost 2008, Prévost 2008) et la courte durée de l'avantage compétitif que ce traitement peut parfois lui procurer. De plus, dans un contexte d'aménagement écosystémique, ce type de coupe va sans contredit à l'encontre de la dynamique naturelle des bétulaies jaunes résineuses (Lafleche *et al.* 2000, Hébert 2003).

Nous avons déjà montré qu'à court terme, la basse régénération préétablie de sapin bénéficiait davantage des coupes partielles uniformes que celle d'épinette rouge, notamment pour la croissance en hauteur (Dumais et Prévost 2008). Les nouveaux résultats présentés ici confirment ce constat à moyen terme. Non seulement le sapin conserve-t-il son avantage sur l'épinette, mais cette dernière voit l'effet positif de l'ouverture du couvert sur sa croissance en hauteur disparaître après 15 ans (Figure 1c). De plus, la diminution graduelle et générale du rapport T/L observée dans les coupes partielles, ainsi que le retour à des rapports < 1 dans les coupes à 50 et 60 % à l'année 15, indiquent que cette régénération d'épinette rouge est revenue à un état d'oppression. Ainsi, le développement d'autres essences concurrentes comme l'érable rouge et le bouleau jaune (qui ont bénéficié aussi des coupes partielles), le développement de la haute régénération résineuse préétablie (pour laquelle des résultats seront bientôt disponibles) et la fermeture du couvert principal par l'expansion des houppiers des arbres marchands résiduels (Prévost et Dumais 2013) ont fort probablement influencé la basse régénération d'épinette, notamment en réduisant la quantité de lumière disponible. Cette diminution de luminosité dans les coupes partielles est probablement aussi responsable de la réduction de croissance en hauteur du sapin observée à l'année 15 (Figure 1d). Toutefois, la meilleure acclimatation morphophysologique de ce dernier lui a précédemment permis d'être plus efficace sous les conditions de lumière modérée du couvert partiel uniforme (Dumais et Prévost 2008). De plus, le maintien à moyen terme d'une bonne croissance latérale chez le sapin, à la fois par rapport à sa croissance en hauteur et par rapport à la croissance latérale de l'épinette (Figure 2), a certainement aidé celui-ci à capter davantage de lumière (Waring 1991) et à fixer plus de carbone pouvant être alloué à la croissance en hauteur. On peut dès lors émettre l'hypothèse que l'ombre supplémentaire projetée par les sapins devenus plus grands et plus larges ne fera qu'accentuer le retard de la basse régénération d'épinette rouge au cours des prochaines années.

D'un point de vue écologique, la réduction de croissance relativement rapide que nous avons observée sur la basse régénération d'épinette rouge ne va pas à l'encontre de sa dynamique naturelle. Il est connu que la régénération d'épinette rouge peut passer par plusieurs cycles d'oppression et de libération s'étalant sur des décennies avant d'occuper une place dans les étages supérieurs du peuplement (Wu *et al.*

1999), ce qui est conséquent avec sa remarquable tolérance à l'ombre et sa grande longévité. Bien que l'oppression de l'épinette rouge soit commune dans la nature, cette situation serait plutôt à éviter, si on la considère d'un point de vue sylvicole. Par exemple, dans le contexte où, pour réintroduire l'espèce, des semis produits en pépinière seraient plantés sous couvert partiel (Prévost *et al.* 2010), il serait logique d'assurer à ceux-ci des conditions optimales de croissance afin de rentabiliser cet investissement. Ainsi, l'utilisation de coupes partielles uniformes visant à acclimater et à libérer la basse régénération d'épinette rouge devrait être accompagnée de modalités particulières (p. ex. un dégagement par puits de lumière) pour optimiser sa croissance et réduire la concurrence par les autres espèces, notamment le sapin. Sinon, la création de petites trouées sylvicoles, telle que nous l'avons expérimentée récemment dans un nouveau dispositif (site Armagh 2, établi en 2003), pourrait s'avérer une option prometteuse. En effet, une étude écophysiological récente réalisée dans ce nouveau dispositif a révélé que les conditions engendrées par des trouées de forme irrégulière et d'une superficie de 100 à 300 m² seraient favorables à la physiologie et à la croissance de la basse régénération préétablie d'épinette rouge, lui permettant même de concurrencer le sapin (Dumais et Prévost 2014). Des résultats à plus long terme comme ceux que nous présentons ici seront utiles pour le confirmer.

D'un autre côté, il est important de voir les résultats de la présente étude comme une représentation incomplète, bien que très valable, de la dynamique qui entoure la réaction globale de la régénération naturelle et du peuplement résiduel à la suite de l'ouverture du couvert forestier. Malgré tout, l'abondance de la basse régénération par rapport à la haute régénération dans les deux sites étudiés (Prévost 2008) permet de dresser un assez bon portrait du sous-étage. Il demeure que la présente étude, d'abord mise en place pour des suivis écophysiologicals, ne permet pas à elle seule de tirer toutes les conclusions au sujet du développement global de la régénération préétablie. Par exemple, il est impossible pour le moment de se prononcer sur la réaction de la haute régénération d'épinette rouge et de sapin, plus susceptible, lorsqu'elle est présente, d'accéder rapidement aux plus hauts étages du peuplement et d'influencer la basse régénération. En pratique, selon les données de Moores *et al.* (2007) récoltées sur de la régénération préétablie de 0,5 à 6,0 m de hauteur, aucune manipulation de l'étage dominant du peuple-

ment pour augmenter la luminosité en sous-bois ne peut à elle seule favoriser une croissance en hauteur de l'épinette rouge plus rapide que celle du sapin baumier. Les analyses et résultats à venir concernant la haute régénération préétablie (de 1,3 à 5,0 m de hauteur) dans les 2 sites d'étude (Prévost *et al.*, en préparation) permettront de vérifier cette hypothèse et d'obtenir un portrait plus global de la situation, dans un contexte de coupe partielle uniforme en forêt mixte tempérée.

Synthèse et conclusion

Dans les bétulaies jaunes résineuses que nous avons étudiées, l'effet positif des différentes intensités de coupe partielle uniforme sur la croissance en hauteur de la basse régénération préétablie d'épinette rouge et de sapin baumier s'est atténué avec le temps. Cette atténuation a été plus rapide et plus importante pour l'épinette rouge. Au cours des 6 premières années après le traitement, le sapin avait poussé plus que l'épinette dans les coupes partielles, mais sous les conditions créées par la CPRS, les quelques épinettes ayant survécu avaient tout de même poussé autant que le sapin. Au-delà de cette période, le sapin a indéniablement mieux performé que l'épinette dans toutes les intensités de coupe, la surpassant de 40 à 120 cm au bout de 15 ans. Ces résultats nous font croire que nos observations antérieures faisant état d'une stratégie écophysiological plus efficace du sapin baumier par rapport à l'épinette rouge sous les conditions créées par l'ouverture partielle uniforme du couvert forestier (Dumais et Prévost 2008) ont eu des implications à plus long terme.

En conclusion, si de telles coupes partielles sont pratiquées dans des bétulaies jaunes résineuses similaires, le sylviculteur désirant optimiser par la suite la croissance subséquente de la basse régénération préétablie d'épinette rouge devrait envisager des interventions supplémentaires à moyen terme. Les résultats à venir concernant le développement relatif de la haute régénération résineuse pour ces deux espèces (Prévost *et al.*, en préparation) permettront d'orienter encore mieux les actions sylvicoles.

Remerciements

Nous tenons à remercier d'abord Mme Julie Forgues, MM. Carlo Gros-Louis, Daniel Guimond, Serge Williams, Pascal Lainé, Étienne Du Berger et plusieurs étudiants pour leur travail rigoureux sur le terrain. Nous voulons également remercier M. Nelson Thiffault qui a agi à titre d'éditeur associé de cette note de recherche, ainsi que les réviseurs anonymes qui ont commenté la version préliminaire du texte. Nos remerciements s'adressent aussi à Mmes Nathalie Langlois et Brigitte Boudreault pour la mise en page et le graphisme, ainsi qu'à Mme Denise Tousignant pour la révision complète et l'édition. Cette étude a été financée par la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec (projet 142332016, sous la responsabilité de M. Marcel Prévost, et projet 142332111, sous la responsabilité de M. Daniel Dumais).

Références bibliographiques

- Blum, B.M., 1990. *Picea rubens* Sarg. (*red spruce*). Dans : Burns, R.M. et B.H. Honkala (éds). *Silvics of North America. Volume 1 – Conifers*. U.S.D.A. Forest Service, Agricultural Handbook N° 654. Washington, DC (États-Unis). p. 250-259. [http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/Volume_1/picea/rubens.htm].
- Davis, W.C. 1991. *The role of advance regeneration of red spruce and balsam fir in east central Maine*. Dans Simpson, C.M. (éditeur). *Proceedings of the Conference on natural regeneration management*, 17–19 March 1990, Fredericton, NB. Forestry Canada, Maritimes Forestry Centre. Fredericton, NB. p. 157-168.
- Dumais, D. et M. Prévost, 2007. *Management for red spruce conservation in Québec: The importance of some physiological and ecological characteristics – A review*. For. Chron. 83: 378-392.
- Dumais, D. et M. Prévost, 2008. *Ecophysiology and growth of advance red spruce and balsam fir regeneration after partial cutting in yellow birch–conifer stands*. Tree Physiol. 28: 1221-1229.
- Dumais, D. et M. Prévost, 2014. *Physiology and growth of advance Picea rubens and Abies balsamea regeneration following different canopy openings*. Tree Physiol. 34: 194-204.

- Fortin, M., 2003. *Raréfaction de l'épinette rouge*. Dans : Grondin, P. et A. Cimon (coordonnateurs). *Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. 200 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/enjeux-2003-3070.pdf>].
- Frank, R.M., 1990. *Abies balsamea (L.) Mill. (balsam fir)*. Dans : Burns, R.M. et B.H. Honkala (éds). *Silvics of North America. Volume 1 – Conifers*. U.S.D.A. Forest Service, Agricultural Handbook No 654. Washington, DC (États-Unis). p. 26-35 [http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/Volume_1/abies/balsamea.htm].
- Hébert, R., 2003. *Are clearcuts appropriate for the mixed forest of Québec?* For. Chron. 79(3): 664-671.
- Greis, I. et S. Kellomäki, 1981. *Crown structure and stem growth of Norway spruce undergrowth under varying shading*. Silva Fenn. 15: 306-322.
- Lafèche, V., J.-C. Ruel et L. Archambault, 2000. *Évaluation de la coupe avec protection de la régénération et des sols comme méthode de régénération de peuplements mélangés du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'est du Québec, Canada*. For. Chron. 76(4): 653-663.
- Moore, A.R., R.S. Seymour et L.S. Kenefic, 2007. *Height development of shade-tolerant conifer saplings in multiaged Acadian forests stands*. Can. J. For. Res. 37: 2715-2723.
- Pothier, D. et M. Prévost, 2008. *Regeneration development under shelterwoods in a lowland red spruce – balsam fir stand*. Can. J. For. Res. 38: 31-39.
- Prévost, M. 2008. *Effect of cutting intensity on micro-environmental conditions and regeneration dynamics in yellow birch – conifer stands*. Can. J. For. Res. 38: 317-330.
- Prévost, M. et D. Dumais, 2013. *Decennial growth and mortality following uniform partial cutting in yellow birch – conifer stands*. Can. J. For. Res. 43: 224-233.
- Prévost, M., D. Dumais et J. DeBlois, (en préparation). *Partial cuts in yellow birch – conifer stands: morphological effects on red spruce and balsam fir saplings*.
- Prévost, M., P. Raymond et J.M. Lussier, 2010. *Regeneration dynamics after patch cutting and scarification in yellow birch – conifer stands*. Can. J. For. Res. 40: 357-379.
- Seymour, R.S., 1995. *The Northeastern region*. Dans : Barrett, J.W. (éd.). *Regional silviculture of the United States*. 3rd edition. Wiley and Sons. New York, NY (États-Unis). p. 31-79.
- Sullivan, J.H. et K.M. Peterson, 1994. *The importance of seedling competition in the segregation of spruce and fir in the southern Appalachians*. New For. 8: 105-121.
- Waring, R.H., 1991. *Responses of evergreen trees to multiple stresses*. Dans : Mooney, H.A., W.E. Winner et E.J. Pell (éds). *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press. New York, NY (États-Unis). p. 371–390.
- Westveld, M., 1931. *Reproduction on the pulpwood lands in the Northeast*. U.S.D.A. Economic Research Service, Tech. Bull. 223. 63 p. [<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/162946/2/tb223.pdf>].
- Wu, X., J.F. McCormick et R.T. Busing, 1999. *Growth pattern of Picea rubens prior to canopy recruitment*. Plant Ecol. 140: 245-253.



La Direction de la recherche forestière a pour mandat de participer activement à l'orientation de la recherche et à l'amélioration de la pratique forestière au Québec, dans un contexte d'aménagement forestier durable, en réalisant des travaux de recherche scientifique appliquée. Elle développe de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou leur intégration au domaine de la pratique. Elle subventionne aussi des recherches en milieu universitaire, le plus souvent dans des créneaux complémentaires à ses propres travaux.

**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec 

ISSN : 0834-4833
ISBN : 978-2-550-73280-8
ISBN (pdf) : 978-2-550-73281-5
F.D.C. : 231
L.C. : SD 396
Dépôt légal 2015
Bibliothèque nationale du Québec
© 2015 Gouvernement du Québec