

**Hausse de la densité de reboisement  
pour pallier un manque de plants :  
remède ou placebo?**

**Hors série**

Direction de la recherche forestière





**Hausse de la densité de reboisement  
pour pallier un manque de plants :  
remède ou placebo?**

**Hors série**

par

Guy Prigent, ing. f., M. Sc.

et

Jean Ménétrier, ing. agr., lic. ès sc.

Gouvernement du Québec  
Ministère des Ressources naturelles  
et de la Faune  
Direction de la recherche forestière  
2009



## **Remerciements**

Nous tenons à remercier M. François-Robert Nadeau, de la Direction de l'aménagement des forêts publiques et privées, auparavant à l'unité de gestion Manicouagan-Outardes, ainsi que M. Marc-André Boivin de la Direction de l'environnement et de la protection des forêts, auparavant à la Direction régionale de la Côte-Nord pour les informations et les données d'inventaire des plantations utilisées dans cette étude. Merci également à M. Pierre Bélanger pour la révision et l'édition du document, aux réviseurs anonymes d'une version antérieure et à Mme Sylvie Bourassa pour la mise en page.



## Résumé

Une fois la phase d'entretien juvénile franchie, tout reboisement doit satisfaire à une norme de densité minimale de plants vivants à l'hectare. La présence d'andains et de secteurs non ou mal préparés ou inaptes à la plantation réduit le nombre de microsites disponibles pour la mise en terre d'un plant et par là même le taux de boisement. L'influence de la végétation concurrente et l'efficacité des entretiens s'ajoutent aux facteurs qui modifient le taux de survie et la productivité d'une plantation. Certains acteurs proposent d'augmenter la densité initiale de plants pour compenser les incidences négatives de ces intrants et respecter ainsi les seuils minimaux imposés par les normes. À partir de trois résultats d'inventaires, la simulation d'une augmentation de la densité de reboisement démontre que cette approche est une solution inefficace pour régler ces problèmes.

Mots clés : *Picea mariana*, rendement, indice de qualité de station, forêt boréale, préparation de terrain, densité de reboisement.



## **Abstract**

*After the juvenile maintenance phase is over, all reforestation programs must meet a minimum density standard for live trees per hectare. The presence of slash windrows and areas that are poorly or not site prepared, or are unsuitable for planting reduces the number of available plantable micro sites, and therefore the rate of reforestation. The effect of competing vegetation and the efficacy of stand maintenance add to the factors affecting survival and plantation productivity. Some persons advise increasing the initial tree density to compensate for negative outcomes, and thereby meet the minimum thresholds set by the regulations. Using the results of three inventories a simulation was done with a higher initial planting density, which showed that this approach is ineffectual in resolving these problems.*

*Key words : Picea mariana, yield, site index, boreal forest, site preparation, spacing.*



## Table des matières

	page
<b>Remerciements</b> .....	iii
<b>Résumé</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>Liste des tableaux</b> .....	xi
<b>Liste des figures</b> .....	xi
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre premier - Matériel et méthodes</b> .....	3
<b>Chapitre deux - Résultats et discussion</b> .....	9
2.1 Comparaison de deux méthodes d'estimation du volume moyen à l'hectare.....	9
2.2 Effets d'une augmentation du nombre de plants selon trois approches .....	10
2.3 Effets d'une augmentation du nombre de plants dans les secteurs non préparés et sous-boisés .....	11
2.4 Applications à d'autres situations .....	13
<b>Conclusion</b> .....	15
<b>Références bibliographiques</b> .....	17



## Liste des tableaux

	page
<b>Tableau 1.</b> Distribution de fréquence des parcelles de 0,01 ha selon le nombre de plants.....	5
<b>Tableau 2.</b> Volume marchand (m <sup>3</sup> /ha) des trois plantations estimé selon deux méthodes .....	10
<b>Tableau 3.</b> Effets de la hausse de la densité à plus de 1 800 plants à l'hectare selon trois approches .....	11

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Relation entre le volume marchand estimé à 55 ans et la densité de reboisement.....	6
<b>Figure 2a.</b> Histogramme de fréquence du nombre de plants par parcelle avant et après ajout de plants dans les parcelles ayant moins de 1 200 plants à l'hectare. ....	6
<b>Figure 2b.</b> Histogramme de fréquence du nombre de plants par parcelle avant et après ajout de plants dans les parcelles ayant 1 200 à 1 400 plants à l'hectare.....	7
<b>Figure 2c.</b> Histogramme de fréquence du nombre de plants par parcelle avant et après ajout de plants dans les parcelles ayant 1 500 plants à l'hectare et plus. ....	7



## Introduction

Le Manuel d'aménagement forestier (ANONYME 2003) mentionne qu'après la mise en terre, une plantation doit avoir 1 500 à 2 000 plants vivants à l'hectare. À la suite de l'éclaircie précommerciale et en tenant compte des semis d'origine naturelle, ces valeurs doivent rester entre 1 500 et 2 500 arbres d'avenir à l'hectare. Dans certaines circonstances, les seuils minimaux peuvent être difficiles à atteindre. La présence de secteurs mal drainés, d'affleurements rocheux ou d'andains, par exemple, réduit le nombre de microsites pouvant être reboisés. De plus, la compétition exercée par des espèces naturelles et la coupe accidentelle d'arbres lors des travaux d'entretien peuvent modifier le taux de survie des plants de façon importante. Pour contrer ces problèmes et respecter les seuils recommandés, certains aménagistes forestiers proposent une hausse de la densité de reboisement aux endroits où la préparation de terrain est adéquate, ce qui permet d'avoir plus de plants vivants dans ces secteurs et un nombre moyen à l'hectare conforme aux normes. Toutefois, dans un contexte où une norme moyenne est utilisée pour de grandes superficies constituées d'éléments parfois très disparates, une telle approche nécessite une réflexion plus approfondie. Ceci est d'autant plus important que la relation entre le nombre moyen de tiges et le volume dans une plantation est non linéaire.

Une analyse récente de certains projets de reboisement de la région administrative de la Côte-Nord a révélé l'existence de ce genre de problème lié à la préparation de terrain, généralement sur des secteurs rocheux ou à sols trop minces ou tout simplement mal préparés. L'augmentation de la densité de reboisement dans les secteurs bien préparés est une option envisagée pour contrer la diminution du nombre de plants mis en terre. Cette étude réalisée à partir des inventaires de trois de ces plantations vise à :

- 1) démontrer l'importance de l'estimation du volume à partir de chacune des parcelles et non pas à partir d'un nombre moyen de tiges de l'ensemble des parcelles;

- 2) démontrer que l'effet de l'ajout de plants sur la production en volume ne dépend pas principalement de l'augmentation du nombre moyen de plants mais surtout du choix des secteurs dans lesquels seront ajoutés les plants;
- 3) examiner les répercussions d'un ajout de plants dans les secteurs sous-boisés mais non préparés.

Par extension, nous discutons des effets d'une hausse de la densité de reboisement pour remédier à la mortalité causée par la végétation de compétition car le fort potentiel de productivité des plantations est dans une très large mesure dépendant de la maîtrise de la végétation de compétition (CARTER et FOSTER 2006, WAGNER *et al.* 2006).

## Chapitre premier

### Matériel et méthodes

Les données proviennent de trois plantations d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP) situées dans le domaine de la pessière à mousses de la région administrative de la Côte-Nord (SAUCIER *et al.* 1998). Quelques semaines après la mise en terre, les arbres plantés ont été dénombrés dans des parcelles circulaires de 0,01 ha (rayon de 5,64 m). Le nombre de parcelles varie de 19 à 67 selon la plantation, avec une distribution de fréquences du nombre de plants par parcelle variant de 3 à 32 (Tableau 1). La plantation 1 a une densité moyenne de 1 388 plants à l'hectare (ou 13,88 plants par parcelle de 0,01 ha), soit une valeur inférieure à la norme minimale (ANONYME 2003). Les deux autres plantations ont des densités légèrement supérieures à 1 800 plants à l'hectare, mais la plantation 2 possède un nombre de plants plus variable que celui de la plantation 3 de même qu'une plus forte proportion de parcelles très peu boisées.

À l'aide des modèles de PRÉGENT *et al.* (1996), les volumes marchands ont été estimés pour un âge de 55 ans et un indice de qualité de station (IQS) de 6,2 m (âge de référence à 25 ans), soit un IQS moyen pour de tels milieux avec une préparation de terrain (THIFFAULT *et al.* 2004). Les tables de rendement de PRÉGENT *et al.* (1996) ne permettent pas d'estimer un volume pour des densités de reboisement inférieures à 1 322 plants à l'hectare (espacement moyen de 2,75 m entre les plants). Les modèles ont donc été extrapolés pour des densités comprises entre 1 200 et 1 322 plants à l'hectare. Pour les densités inférieures à 1 200 plants à l'hectare, nous avons évalué le volume proportionnellement au nombre de tiges en utilisant comme base de référence le volume estimé pour une densité de 1 200 plants à l'hectare (Figure 1). Cette approche simple a été privilégiée car elle permet d'établir, entre le volume et le nombre de tiges, une relation qui s'apparente à celles publiées pour d'autres espèces pour de si faibles

densités (KILPATRICK *et al.* 1981, SAVILL *et al.* 1997) et également d'obtenir un volume nul en l'absence de plants.

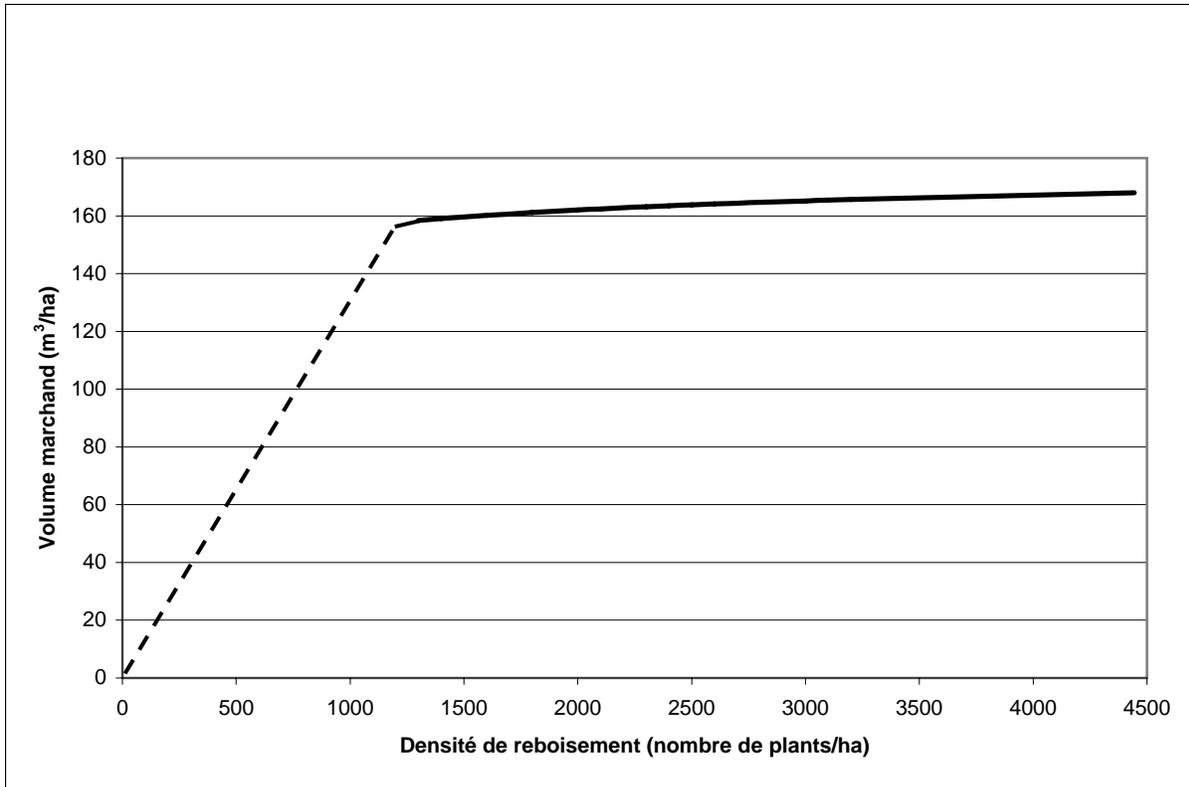
La densité de reboisement a été augmentée pour la plantation 1 seulement, soit celle ayant le plus faible nombre de plants à l'hectare et ne respectant pas la norme actuelle en vigueur. L'ajout de plants est simulé jusqu'à l'obtention d'un nombre moyen de plants excédant 1 800 plants à l'hectare et il est effectué de trois façons :

- 1) en ajoutant des plants dans les parcelles les moins boisées, soit les 14 parcelles avec moins de 1 200 plants à l'hectare (ou moins de 12 plants par parcelle de 0,01 ha) en plus d'une des trois parcelles ayant 1 200 plants à l'hectare;
- 2) en ajoutant des plants dans les 11 parcelles sur 42 moyennement boisées, soit celles comprises entre 1 200 et 1 400 plants à l'hectare inclusivement;
- 3) en ajoutant des plants dans les 23 parcelles les plus boisées, soit celles comprenant un nombre de tiges supérieur ou égal à 1 500 plants à l'hectare.

Afin de respecter la norme du nombre moyen de plants, il a fallu atteindre 30 plants par parcelle (3 000 plants à l'hectare) dans les parcelles qui, au départ, étaient moyennement ou très boisées. Pour les parcelles les moins boisées, 20 plants par parcelle ont suffi pour satisfaire les objectifs. Les histogrammes de fréquences après l'ajout simulé de plants sont présentés aux figures 2a, 2b et 2c.

**Tableau 1. Distribution de fréquence des parcelles de 0,01 ha selon le nombre de plants**

Nombre de plants par parcelle	Fréquence des parcelles		
	Plantation 1	Plantation 2	Plantation 3
3		1	
4			
5	1		
6	1		
7	4		
8	3		1
9	3	1	1
10	2		1
11		2	1
12	3		6
13	2	1	3
14	6		1
15	4	2	3
16	1	1	3
17	2	1	8
18			8
19	1	2	4
20	2		5
21	3	1	8
22	2		5
23		1	2
24		1	3
25	1	3	1
26	1	2	2
27			
28			
29			
30			
31			
32			1
Somme	42	19	67
Moyenne	13,88	18,05	18,16
Écart-type	5,5	6,7	4,5



Source : PRÉSENT *et al.* 1996 (valeurs extrapolées entre 0 et 1 322 plants à l'hectare).

Figure 1. Relation entre le volume marchand estimé à 55 ans et la densité de reboisement.

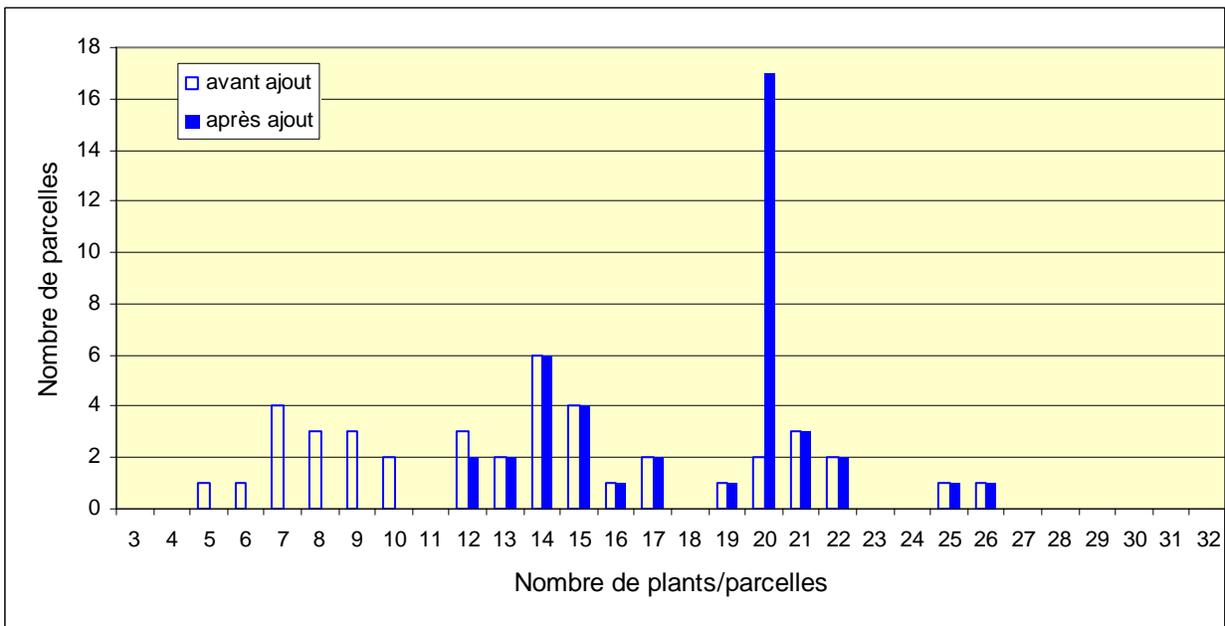


Figure 2a. Histogramme de fréquence du nombre de plants par parcelle avant et après ajout de plants dans les parcelles ayant moins de 1 200 plants à l'hectare.

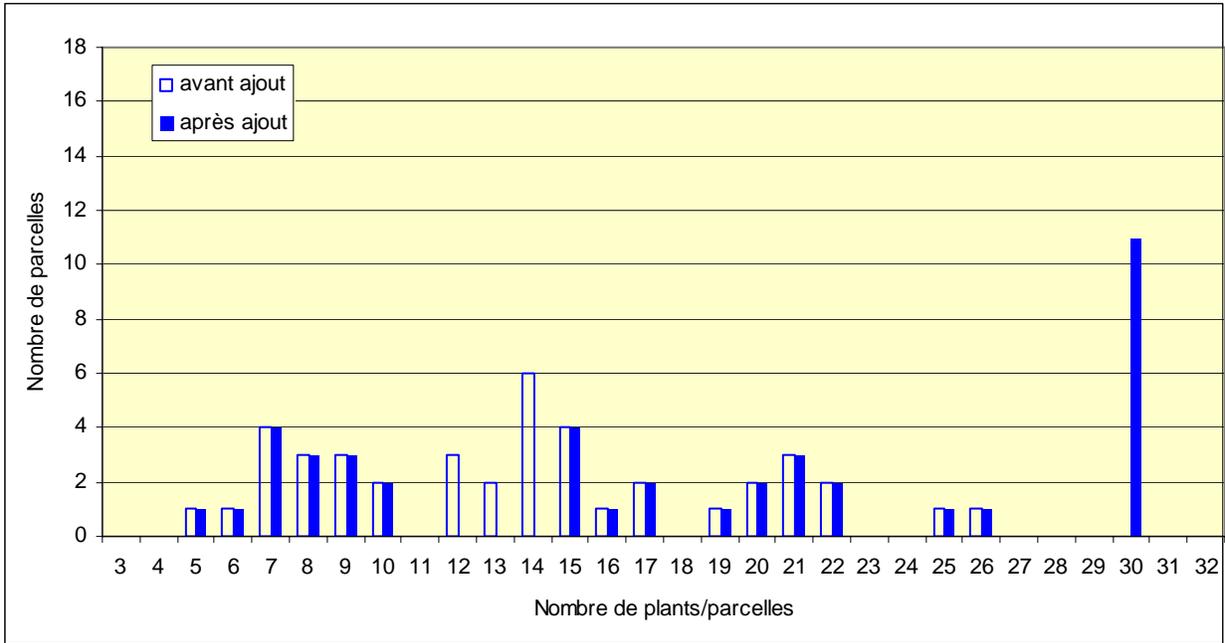


Figure 2b. Histogramme de fréquence du nombre de plants par parcelle avant et après ajout de plants dans les parcelles ayant 1 200 à 1 400 plants à l'hectare.

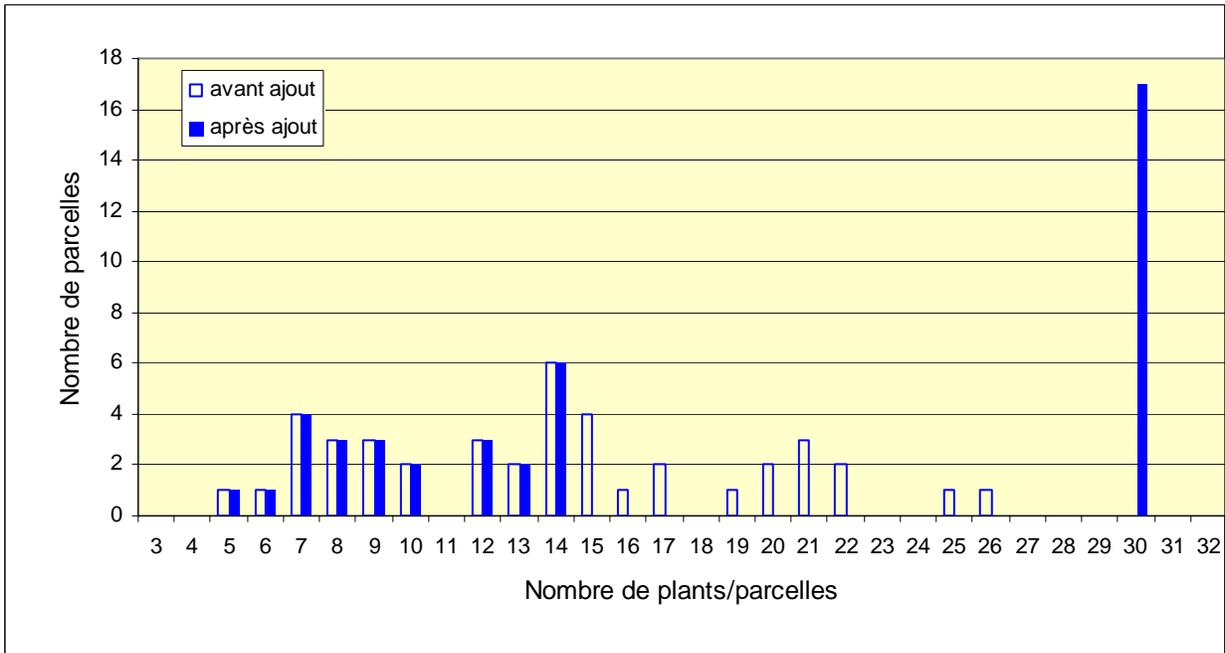


Figure 2c. Histogramme de fréquence du nombre de plants par parcelle avant et après ajout de plants dans les parcelles ayant 1 500 plants à l'hectare et plus.



## Chapitre deux

### Résultats et discussion

#### 2.1 Comparaison de deux méthodes d'estimation du volume moyen à l'hectare

Dans la pratique, on utilise souvent le nombre moyen de tiges de toutes les parcelles-échantillons pour estimer le volume d'une plantation. Une telle approche nécessite que la relation entre les deux paramètres soit linéaire. Or, cette exigence n'est pas respectée dans ce cas car la courbe décrivant la relation entre le volume et le nombre de tiges n'est pas linéaire. Elle présente une portion presque directement proportionnelle au nombre de tiges pour les faibles densités jusqu'à environ 1 200 tiges à l'hectare et un plateau pour des densités moyennes à fortes de 1 200 à plus de 4 000 tiges (KILPATRICK *et al.* 1981, SAVILL *et al.* 1997) (Figure 1). Il est donc plus juste et nécessaire d'estimer les volumes de chacune des parcelles et de faire ensuite la moyenne de ces volumes. Les volumes moyens estimés selon les deux méthodes sont présentés au tableau 2.

Les principales conclusions liées à l'utilisation du nombre moyen de tiges, soit la façon jugée erronée, sont les suivantes :

- En présence de parcelles faiblement boisées et quel que soit le nombre moyen de tiges, le volume est surestimé;
- La surestimation du volume s'accroît avec une augmentation de la proportion de parcelles sous-boisées (cas de la plantation 2 par rapport à la plantation 3);
- Le volume moyen estimé est ensuite attribué à tort à l'ensemble des parcelles, et donc artificiellement à celles comprenant peu de plants, voire même aucun plant.

**Tableau 2. Volume marchand (m<sup>3</sup>/ha) des trois plantations estimé selon deux méthodes**

	<b>Plantation 1</b>	<b>Plantation 2</b>	<b>Plantation 3</b>
Méthode 1 (à partir du volume moyen par parcelle)	141,3	151,4	159,1
Méthode 2 (à partir du nombre moyen de tiges )	158,9	161,2	161,2
Écart (m <sup>3</sup> /ha)	17,6	9,8	2,1
Écart (%)	12,4	6,5	1,3

Note : La méthode 1 consiste à estimer le volume de chacune des parcelles et à calculer ensuite le volume moyen. La deuxième méthode, celle comportant un biais, estime le volume une seule fois à partir du nombre moyen de tiges. (volumes estimés à 55 ans à partir de PRÉGENT *et al.* 1996)

Dans un contexte où l'on choisirait délibérément d'inclure des superficies improductives ou des portions de plantations manquées, cette méthode est d'autant plus équivoque, qu'elle facilite le camouflage de telles superficies.

L'utilisation de la bonne méthode d'estimation du volume est donc essentielle pour obtenir des estimés les plus justes possibles mais également pour bien comprendre ce qu'apporte une hausse de la densité de reboisement.

## **2.2 Effets d'une augmentation du nombre de plants selon trois approches**

Les résultats de nos simulations indiquent que la hausse de la densité de reboisement de 1 388 plants à l'hectare à plus de 1 800 plants à l'hectare, pour la plantation 1, a un effet presque nul sur la production en volume marchand estimé à 55 ans si l'on ajoute des plants aux parcelles moyennement boisées ou très boisées (Tableau 3). La hausse du volume marchand à cet âge n'est respectivement que de 1,7 et 1,5 m<sup>3</sup>/ha. Une hausse moyenne du nombre de plants de près de 30 % se traduit dans ces cas par une hausse du volume d'environ 1 %. En ajoutant des plants aux parcelles les moins boisées, la hausse du volume marchand estimé à 55 ans est beaucoup plus importante, soit 19,7 m<sup>3</sup>/ha ou 13,9 %. L'apport anticipé à 55 ans pour chaque plant ajouté n'est que de 3,4 dm<sup>3</sup> pour les parcelles très boisées et de 4,0 dm<sup>3</sup> pour celles moyennement boisées, alors qu'il atteint 46,4 dm<sup>3</sup> dans les parcelles sous-boisées. Par conséquent, l'augmentation de la densité de reboisement n'a un effet important sur la production en volume que si elle est appliquée dans les secteurs sous-boisés et bien sûr productifs.

**Tableau 3. Effets de la hausse de la densité à plus de 1 800 plants à l'hectare selon trois approches**

	Hausse de densité dans les parcelles		
	Sous-boisées	Moyennement boisées	Très boisées
Volume marchand (m <sup>3</sup> /ha)	161,0	143,1	142,8
Hausse de volume (m <sup>3</sup> /ha)	19,7	1,7	1,5
Hausse de volume (%)	13,9	1,2	1,0
Volume additionnel par tige ajoutée (dm <sup>3</sup> )	46,4	4,0	3,4

Note : Les trois approches consistent à ajouter des plants dans les parcelles sous-boisées, moyennement boisées ou très boisées de la plantation 1, à densité initiale moyenne de 1 388 plants à l'hectare.

Dans le cas des secteurs échantillonnés qui sont à l'origine de cette étude, ces résultats signifient qu'il faut d'abord augmenter le nombre de microsites dans les parcelles sous-boisées par une meilleure préparation de terrain et non pas rapprocher les plants aux endroits où la préparation de terrain, et par conséquent la densité de tiges, sont déjà adéquates.

### **2.3 Effets d'une augmentation du nombre de plants dans les secteurs non préparés et sous-boisés**

Nos résultats démontrent que seul l'ajout de plants dans les secteurs sous-boisés est relié à une hausse importante de la production en volume. Mais qu'advient-il de ce bénéfice si ces secteurs sous-boisés n'ont pu être préparés ou sont inaptes à nous assurer d'un nombre adéquat de microsites favorables au reboisement? Pour répondre à cette question, nous examinons trois situations : a) tout le secteur a un potentiel productif mais n'est pas préparé b) une portion seulement du secteur est sans préparation de terrain mais a un potentiel productif et c) tout le secteur ou une partie est improductif.

Une étude de THIFFAULT *et al.* 2004, réalisée sur des stations à éricacées semblables à celles de cette étude, indique qu'en l'absence de préparation de terrain, l'IQS chute à 2,4 m (âge de référence de 25 ans) comparativement à 6,2 m pour les secteurs préparés. Les tables de PRÉGENT *et al.* (1996) ne

permettent pas d'estimer des volumes pour de si faibles valeurs. En émettant l'hypothèse que l'écart de production en volume entre un IQS de 2,4 m et de 6,2 m est similaire à l'écart estimé entre un IQS de 6,2 m et de 10,0 m, la production en volume serait d'environ 60 m<sup>3</sup> à l'hectare à 55 ans pour les secteurs non préparés comparativement à 162 m<sup>3</sup> à l'hectare pour les secteurs préparés. Avec une densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare, l'apport moyen de chacun des plants mis en terre est donc de 30 dm<sup>3</sup> pour les secteurs non préparés. Selon ces hypothèses et les résultats de la section précédente, il serait plus profitable de reboiser les secteurs non préparés (apport de 30 dm<sup>3</sup> par plant ajouté) que d'ajouter des plants aux secteurs préparés ayant déjà une densité moyenne ou élevée (apport de 3,4 à 4,0 dm<sup>3</sup> par plant ajouté).

L'ajout de plants dans un secteur où seulement une certaine partie est non préparée peut difficilement être simulé puisque les tables de rendement actuellement disponibles sont basées sur des modèles de peuplement et non pas sur des modèles d'arbres. De plus, les parcelles servant à la modélisation sont constituées d'unités relativement homogènes alors que dans ce cas-ci nous cherchons à modéliser le rendement d'une parcelle ayant deux IQS fort différents. Néanmoins, compte tenu des écarts importants d'IQS (THIFFAULT *et al.* 2004), les arbres qui seraient ajoutés dans des secteurs non préparés à proximité d'arbres plantés dans des secteurs préparés auraient de très fortes probabilités de demeurer en sous-étage jusqu'à la fin de la révolution en plus d'avoir une plus forte probabilité de mourir avant la coupe finale. Une étude réalisée dans une plantation d'épinette noire âgée de 36 ans située dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc de la Réserve faunique des Laurentides (COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER 2002, pp. 29-31) apporte aussi certains éléments de réponse quant à l'importance relativement faible des tiges de sous-étage sur la production en volume. Sur l'ensemble des arbres séparés en 5 classes de hauteur à partir des mesures effectuées à 7 ans, l'apport à la production en volume à 36 ans est de 5 % pour les 20 % d'arbres les plus petits et il passe à 15 % pour les 40 % d'arbres les plus petits. Dans le cas qui nous préoccupe, ces valeurs devraient être encore moindres pour les deux raisons suivantes : 1) l'importance relative des petits arbres diminuera jusqu'en fin de révolution et 2) les arbres ajoutés sont plantés dans des microsites beaucoup moins productifs, ce qui va accentuer l'étagement de la plantation. L'apport au volume de chacun des plants ajoutés dans des secteurs non préparés à proximité de plants mis en terre dans des secteurs préparés sera d'autant plus faible que la proportion de plants dans les secteurs préparés sera élevée et que la densité y sera forte.

L'ajout de plants sur les superficies ou portions de superficies improductives est inutile car la logique et le bon sens suffisent à la décision qui s'impose, de soustraire ces superficies pour estimer correctement le rendement des plantations.

## 2.4 Applications à d'autres situations

Les conclusions portant sur la méthode d'estimation du volume moyen et sur l'importance d'ajouter les plants dans les secteurs sous-boisés s'appliquent à toutes les espèces et quelle que soit la qualité de la station. Ces conclusions sont valables également quelle que soit la cause de la disparité du nombre de tiges, notamment à cause de la végétation de compétition.

Chez les résineux, les effets de la végétation de compétition se manifestent en plusieurs étapes. En premier lieu, une diminution de la croissance en diamètre est très vite observée, puis elle est suivie d'un ralentissement de la croissance en hauteur. Enfin, beaucoup plus tardivement, la mortalité touche un certain nombre d'arbres. À cette étape, des arbres survivants subissent de fortes pertes de croissance et l'avenir de la plantation est compromis en raison d'une plus forte proportion d'arbres de faible diamètre (JOBIDON 2000). L'effet d'une hausse de la densité de reboisement pour contrer ceux de la végétation de compétition doit donc être analysé en tenant compte de la mortalité des arbres et également des pertes de croissance des arbres survivants.

Le taux de survie en bas âge est indépendant de la densité de reboisement (MÉNÉTRIER et PRÉGENT 2006, OMULE 1988), Ainsi, dans les secteurs où le taux de survie est de 20 %, une hausse de la densité de 500 plants à l'hectare (2 000 à 2 500 plants à l'hectare) ne permet d'ajouter que 100 plants à l'hectare alors que dans les secteurs ayant un taux de survie de 90 %, 450 plants sont ajoutés. Cette hausse de la densité de reboisement augmente donc davantage le nombre de plants aux endroits les plus boisés. Or, comme nous l'avons démontré précédemment, l'ajout de plants n'a un effet important sur la production en volume que s'il permet d'augmenter substantiellement le nombre de plants dans les secteurs sous-boisés. Par conséquent, une hausse de la densité de reboisement à 2 500 plants à l'hectare aura généralement peu d'effet sur la production en volume tout en ayant des répercussions négatives sur la rentabilité et la faisabilité de l'éclaircie commerciale subséquente dans les secteurs suffisamment boisés (PRÉGENT 2003). De plus, pour des secteurs suffisamment boisés, le lien entre la densité de reboisement et la production à l'hectare est faible et son importance diminue avec le temps. Aussitôt le couvert arborescent fermé, la production tend vers une valeur presque indépendante de la densité de reboisement (RIOU-NIVERT et GEORGEOT 1982).

Des études réalisées dans la partie septentrionale de l'Amérique du Nord (WAGNER *et al.* 2006) rapportent des gains en volume variant de 49 à 5 478 % liés à la maîtrise de la végétation de compétition. Or, selon BOLGHARI et BERTRAND (1984), une hausse de la densité de reboisement de 2 000 à 2 500 plants à l'hectare pour une plantation d'épinette blanche avec un IQS de 9 m, ne permet qu'une hausse de la production en volume de 2 % seulement. De façon pratique, non seulement la hausse de la

densité de reboisement ne permet pas de contrer efficacement la mortalité mais elle peut encore moins pallier les pertes de croissance causées par la végétation concurrente.

La variabilité des qualités de station, particulièrement pour de grandes superficies, est également un facteur à prendre en compte. Il est probable que les premiers secteurs à subir l'influence de la végétation de compétition soient les secteurs les plus fertiles, pour lesquels le risque d'une mortalité importante est aussi plus élevé. Si cette hypothèse est vérifiée, les superficies les plus productives seront alors les premières à subir des pertes de plants et une baisse de productivité. Dans un tel contexte et comme nous l'avons démontré précédemment, une hausse de la densité de reboisement augmenterait davantage le nombre de plants dans les secteurs où le taux de survie est élevé, c'est-à-dire là où la compétition est moins forte et également là où le potentiel de la productivité est moindre.

## Conclusion

La relation entre la production en volume et le nombre de tiges n'est pas linéaire. La production est presque proportionnelle au nombre de tiges pour de faibles densités alors qu'elle en est presque indépendante pour des densités moyennes à fortes. À cause de cette relation non linéaire, le nombre moyen de tiges ne permet donc pas d'estimer précisément le volume d'un peuplement. Avec une telle approche erronée, la surestimation du volume est donc probable. Il importe donc d'estimer le volume par unité de superficie de chacune des parcelles inventoriées et d'en calculer la moyenne par la suite. L'utilisation de la méthode appropriée est importante non seulement pour estimer le plus correctement possible la production en volume mais également pour bien comprendre les effets d'un ajout de plants pour pallier certains problèmes normatifs .

L'ajout de plants n'a un effet important sur la production en volume que s'il est effectué dans des secteurs ayant un faible nombre de plants vivants. Par conséquent, le faible nombre de microsites créés par une préparation de terrain insuffisante ne peut être compensé par l'ajout de plants dans les secteurs mieux préparés et donc suffisamment boisés. Selon les hypothèses utilisées et s'il advenait qu'on ne puisse préparer le terrain de certains secteurs potentiellement productifs, il serait préférable de les reboiser plutôt que d'ajouter des plants dans les secteurs préparés et déjà suffisamment boisés. Néanmoins, la solution pour maximiser la production ligneuse à l'hectare consiste à préparer tous les secteurs potentiellement productifs et à les reboiser.

Une hausse de la densité de reboisement est souvent envisagée afin de contrer les pertes de plants qui surviennent à différentes étapes de la vie d'une plantation (mortalité juvénile, concurrence, coupe accidentelle d'arbres lors des entretiens). La probabilité que l'augmentation du nombre de plants soit faite davantage dans les secteurs où le taux de survie est plus élevé, plutôt que dans les secteurs critiques pourvus d'un taux de survie faible, est beaucoup plus forte. Par conséquent, une hausse de la densité de reboisement peut difficilement solutionner les problèmes de certains secteurs subissant une forte mortalité. Dans un contexte de mortalité causée par la végétation concurrente, l'ajout de plants est aussi inefficace puisqu'il ne permet pas de compenser les très fortes pertes de croissance des arbres survivants.

La réussite d'un reboisement et la productivité d'un peuplement dépendent du succès à chacune des nombreuses étapes de sa vie. De façon générale, une erreur à une étape donnée peut difficilement être compensée aux étapes suivantes. C'est le cas des plantations en cause dans cette étude, dont les problèmes de préparation de terrain et de qualité de station ne peuvent être corrigés par une hausse de la densité de reboisement ou par un rapprochement des plants dans les secteurs bien préparés. De la même façon, une hausse normative de la densité de reboisement ne peut compenser les pertes causées par l'absence ou l'insuffisance d'entretien en bas âge. Le rehaussement de la densité de plants mis en terre peut illusoirement permettre de respecter la norme relative au nombre moyen de tiges à l'hectare reboisé mais ne règle aucunement les vrais problèmes.

## Références bibliographiques

- ANONYME, 2003. *Manuel d'aménagement forestier*. 4<sup>e</sup> édition. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction des relations publiques. 122 p.
- BOLGHARI, H.A. et V. BERTRAND, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire de recherche forestière n° 79. 392 p.
- CARTER, M.C. et C.D. FOSTER, 2006. *Milestones and millstones : A retrospective on 50 years of research to improve productivity in loblolly pine plantations : influence of five early respacing treatments on the growth of Sitka spruce*. *Forest Ecology and Management* 227 : 137-144.
- COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER, 2002. *Le traitement d'éclaircie précommerciale pour le groupe de production prioritaire SEPM. Avis scientifique*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. 126 p.
- JOBIDON, R., 2000. *Density-dependent effects of northern hardwoods competition on selected environmental resources and young white spruce (Picea glauca) plantation growth, mineral nutrition, and stand structural development – a 5-year study*. *Forest Ecology and Management* 130 : 77-97.
- KILPATRICK, D.J., J.M. SANDERSON et P.S. SAVILL, 1981. *The influence of five early respacing treatments on the growth of Sitka spruce*. *Forestry* 54 : 17-29.
- MÉNÉTRIER, J. et G. PRÉSENT, 2006. *Visite de dispositifs expérimentaux sur l'éclaircie. Forêt d'expérimentation de Madawaska (secteur J)*. Colloque sur les éclaircies commerciales dans les plantations. Rivière-du-Loup, 7 et 8 juin 2006. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Document de visite. 38 p.

- OMULE, S.A.Y., 1988. *Early growth of four species planted at three spacings on Vancouver Island*. B.C. Ministry of Forests and Lands Research Station, FRDA Report 009. 22 p.
- PRÉGENT, G., V. BERTRAND et L. CHARETTE, 1996. *Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'épinette noire au Québec*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 118. 70 p.
- PRÉGENT, G., 2003. *Caractéristiques des arbres coupés et du peuplement résiduel à la première éclaircie commerciale de plantations résineuses*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Service de la sylviculture et du rendement des forêts. Mémoire de recherche forestière n° 143. 54 p.
- RIOU-NIVERT, P. et J.-M. GEORGEOT, 1982. *Densité de plantation et sylviculture du Douglas en forêt domaniale d'Amance : les plus grands espacements ont donné les meilleurs résultats*. Forêt-Entreprise 82(8) : 14-25.
- SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional (3<sup>e</sup> version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec*. L'Aubelle : février-mars. 12 p.
- SAVILL, P., J. EVANS, D. AUCLAIR et J. FALCK, 1997. *Plantation silviculture in Europe*. Oxford University Press, New York. 297 p.
- THIFFAULT, N., G. CYR, G. PRÉGENT, R. JOBIDON, L. CHARETTE et J.-M. VEILLEUX, 2004. *Régénération artificielle des pessières noires à éricacées : effets du scarifiage, de la fertilisation et du type de plants après 10 ans*. The Forestry Chronicle 80(1) : 141-149.
- WAGNER, R.G., K.M. LITTLE, B. RICHARDSON et K. McNABB, 2006. *The role of vegetation management for enhancing productivity of the world's forests*. Forestry 79(1) : 57-79.





La Direction de la recherche forestière (DRF) a pour mandat de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec en réalisant des travaux, principalement à long terme et d'envergure provinciale, qui intègrent des préoccupations de recherche fondamentale et appliquée. Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou à moyen terme. Ces recherches, importantes pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne s'implique pas. Elle contribue à la diffusion de nouvelles connaissances, d'avis et de conseils scientifiques et à l'intégration de ces nouvelles connaissances ou savoir-faire à la pratique forestière.