

Titre : Croissance et rendement à long terme de plants d'épinette blanche et d'épinette noire de moyennes et de fortes dimensions

Responsables : Nelson Thiffault, ing.f., Ph. D. et Charles Ward, ing.f., M. Sc.

Date : Février 2017

1. Contexte

La Direction générale de la production des semences et des plants forestiers (DGSPSF) du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) procède à une réflexion sur son panier de produits, y compris l'offre de plants résineux pour le reboisement. Pour soutenir cette réflexion, il importe de synthétiser les bases scientifiques sur lesquelles s'appuient la production et l'utilisation des différents types de plants forestiers, y compris le mode de production (p. ex. : en récipients ou à racines nues) et la taille des plants (p. ex. : petites, moyennes ou fortes dimensions).

En effet, le type de plants peut influencer le succès d'établissement des plantations. Il détermine les attributs morphologiques des arbres mis en terre, lesquels influencent leur physiologie, leur potentiel de croissance et leur potentiel compétitif (Grossnickle 2000), le tout, en interaction avec les traitements sylvicoles, comme le scarifiage du sol. De nombreux ouvrages se sont attardés aux effets du type de plants sur la croissance initiale des conifères, en étudiant ou en résumant, notamment, les effets de leur taille initiale (p. ex. South et Rakestraw 2004), du type de production (p. ex. Grossnickle et El-Kassaby 2016), ou d'un ensemble de facteurs (p. ex. Thiffault 2004) sur le succès de plantation. Or, bien que des tendances générales se dessinent, comme le lien positif démontré entre la taille initiale et le potentiel compétitif (p. ex. Grossnickle 2005, Jobidon *et al.* 2003;), l'influence à plus long terme de ces facteurs demeure incertaine, notamment sur le rendement des plantations.

Par ailleurs, certains types de plants ont été peu étudiés. C'est le cas, notamment, des plants de moyennes dimensions produits dans des récipients d'une taille intermédiaire entre ceux des plants standards (produits en récipients qui ont typiquement un volume < 110 cm³) et des plants de fortes dimensions (produits soit en récipients qui ont typiquement un volume > 300 cm³, soit à racines nues). Des résultats à court terme suggèrent que ce type de plants offre une performance intéressante dans certains contextes, notamment

On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence
© Gouvernement du Québec

celui d'une forte pression de broutement par les grands herbivores (Faure-Lacroix *et al.* 2013). Il offrirait en effet un compromis adéquat entre un bon potentiel compétitif associé à une taille initiale plus grande que celles des plants standards, d'une part, et une plus faible vulnérabilité au broutement associée à une taille initiale plus petite que celles des plants de fortes dimensions, d'autre part (Beguín *et al.* 2016). Toutefois, aucune étude n'a encore documenté la croissance à long terme des plants de moyennes dimensions au Québec.

Dans ce contexte, notre objectif est d'évaluer les effets simples et combinés du scarifiage du sol et du type de plants sur la hauteur à 16 ans, le diamètre à hauteur de poitrine à 16 ans et l'accroissement annuel moyen entre la 11^e et la 16^e saison de croissance d'épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] BSP) et d'épinettes blanches (*P. glauca* [Moench.] Voss) mises en terre sur une station mésique dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune (*Abies balsamea* [L.] Mill.—*Betula alleghaniensis* Britt.) de l'est du Québec. Nous désirons également estimer l'effet de ces traitements, s'ils sont significatifs, sur le rendement en volume que l'on peut espérer récolter en fin de révolution.

2. Méthode

2.1. Description de la station d'étude

Nous avons mené cette étude dans une plantation expérimentale décrite en détail par Thiffault et Jobidon (2005). En résumé, le site couvre environ 1 ha et est situé dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'Est décrit par Saucier *et al.* (2009), près du village de Biencourt (68° 38' 20" de longitude Ouest et 47° 52' 10" de latitude Nord). La région est soumise à un climat subhumide continental, avec une température annuelle moyenne de 2,5 °C et des précipitations annuelles variant de 1000 à 1100 mm (Robitaille et Saucier 1998). Le sol est un podzol humo-ferrique orthique (Soil Classification Working Group 1998), de drainage faible à moyen, qui s'est développé à partir d'un till indifférencié mince à texture loameuse. Il est couvert d'un humus de type mor de 5 à 15 cm d'épaisseur. La station supportait un peuplement dominé par le sapin baumier, l'épinette blanche et le bouleau jaune, jusqu'à l'application d'une coupe avec protection de la régénération et des sols à l'été 1996. Après la récolte, les débris de coupe ont été accumulés sous forme d'andains rectilignes en minimisant la perturbation de l'humus et du sol. La végétation concurrente s'est graduellement installée par la suite, dominée par le framboisier (*Rubus idaeus* L.), l'épilobe (*Chamaenerion angustifolium* [L.] Scopoli subsp. *angustifolium*), le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) et l'érable à épis (*Acer spicatum* Lam.).

2.2. Dispositif expérimental et mesures des plants

En septembre 1996, nous avons établi un dispositif expérimental à 9 blocs complets aléatoires à parcelles partagées, dans lequel nous avons appliqué un traitement de scarifiage en parcelles principales

(16 m × 30 m) et les différents types de plants en sous-parcelles. Ainsi, nous avons divisé chacun des 9 blocs expérimentaux en 2 parcelles principales et attribué au hasard, à chacune d'elles, la présence ou l'absence d'un scarifiage à disques passifs de type TTS.

En juin 1997, suivant un scénario de reboisement hâtif, nous avons mis en terre des plants d'épinette noire et d'épinette blanche produits en récipients de type 25–200 (plants de moyennes dimensions 2+0), en récipients de type 25–350A (plants de fortes dimensions 2+0) ou à racines nues (plants de fortes dimensions 2+2). Tous les plants ont été produits à la pépinière gouvernementale de Saint-Modeste. Nous avons disposé les plants en 4 rangées d'une longueur de 30 m chacune dans chaque parcelle principale, en respectant un espacement de 1 m entre les plants et de 2 m entre les rangées. Dans chaque parcelle principale, nous avons planté l'épinette blanche dans les 2 premières rangées et l'épinette noire dans les 2 rangées suivantes. Comme les espèces n'ont pas été réparties aléatoirement dans le dispositif, elles ne peuvent pas être comparées de manière formelle. Chaque rangée comportait 10 plants de chacun des 3 types à l'étude (25–200, 25–350A, racines nues), distribués aléatoirement. Un arbre sur 2 a été numéroté en vue du suivi à long terme de sa croissance. Pour des besoins de recherche, nous avons récolté les plants intercalaires non numérotés au fil des 5 premières saisons de croissance. Il en résulte une plantation d'une densité de 2500 plants ha⁻¹, avec un espacement de 2 m × 2 m.

En août 2000, soit pendant la 4^e saison de croissance, nous avons procédé à un dégagement mécanique de la végétation concurrente à l'aide de débroussailleuses sur l'ensemble du dispositif. Nous avons procédé à un second dégagement mécanique (un nettoyage) en juillet 2007, soit pendant la 11^e saison de croissance. Pour ce site, ces traitements et le moment de leur application correspondent au meilleur scénario opérationnel de gestion de la végétation, tel que décrit dans le guide sylvicole du Québec (Thiffault et Hébert 2013) et les fiches d'aide à la décision qui le complètent (Gravel *et al.* 2016).

Au moment de la mise en terre et de manière régulière par la suite, nous avons mesuré la hauteur (cm) et le diamètre au niveau du sol (mm) ou le diamètre à hauteur de poitrine (mm; lorsque le plant avait atteint la hauteur de 1,3 m) des plants numérotés.

2.3. Analyses statistiques

Nous présentons des analyses préliminaires basées sur la hauteur et le diamètre à hauteur de poitrine mesurés à l'automne 2012, soit 16 saisons de croissance après la mise en terre. Nous utilisons également les données de hauteur de la 11^e saison de croissance afin de calculer l'accroissement annuel moyen en hauteur (AAH) des plants entre les années 2007 et 2012, suivant la formule :

$$AAH = \frac{hauteur_{2012}(cm) - hauteur_{2007}(cm)}{5 \text{ ans}}$$

Nous avons soumis chacune de ces variables à des analyses de variance respectant la structure du dispositif expérimental, à l'aide de la fonction « lmer » de la librairie « lme4 » de R v3.0.2 (Bates *et al.* 2015, R Core Team 2013). Nous avons utilisé le seuil de $\alpha = 0,05$ pour déclarer un effet significatif, ainsi que l'approximation de Satterthwaite pour calculer des degrés de liberté. Dans les cas de valeurs significatives de F, nous avons comparé les moyennes à l'aide de tests de Tukey.

2.4. Estimation du rendement de l'épinette blanche en fin de révolution

Afin d'évaluer l'effet des traitements sur le rendement forestier à long terme pour l'épinette blanche, nous avons utilisé les tables de rendement de Prégent *et al.* (2010). Les modèles de croissance estiment la dynamique temporelle du volume marchand (m^3/ha) en plantations, en y spécifiant l'espacement initial entre les plants (m) et la hauteur dominante (m) à l'âge de 25 ans (IQS₂₅; 100 plus grandes tiges à l'hectare). Les modèles ont été étalonnés à l'aide de parcelles issues de plantations opérationnelles où le niveau de compétition intraspécifique est généralement plus homogène que ce qu'on observe à l'intérieur d'un dispositif expérimental. Chaque traitement tend à créer des conditions de croissance particulières, ce qui influencera la croissance en hauteur et le degré de compétition exercé aux traitements avoisinants. Afin d'éviter de surestimer l'IQS₂₅ par traitement, nous avons sélectionné les arbres étudiés parmi l'ensemble des blocs du dispositif expérimental. L'évaluation visuelle de la répartition spatiale de la mortalité, à l'intérieur d'un même bloc, a également été considérée pour identifier des tiges dominantes.

Pour l'épinette noire, les tables de rendement utilisées actuellement au Québec (Prégent *et al.* 1996) ne permettent pas d'estimer avec précision le volume marchand pour les plantations âgées de plus de 35 ans, et n'ont pas été étalonnées pour des IQS₂₅ supérieurs à 10 m. Par conséquent, il nous a été impossible de comparer le rendement à long terme des différents types de plants pour cette essence.

3. Résultats préliminaires et interprétation

3.1. Dimensions à 16 ans et accroissement annuel en hauteur

Nos résultats préliminaires pour les deux essences ne montrent aucun effet significatif du scarifiage sur la hauteur à 16 ans, le diamètre à hauteur de poitrine à 16 ans et l'accroissement annuel en hauteur entre la 11^e et la 16^e saison de croissance (Tableau 1). De même, nous n'observons aucune interaction significative entre le scarifiage et le type de plants pour l'ensemble des variables mesurées. Ces résultats semblent confirmer, à plus long terme, ceux que nous avons observés après 5 saisons de croissance sur ce même dispositif (Thiffault et Jobidon 2005). Ils suggèrent, en effet, que le scarifiage n'avantage pas la croissance et le rendement des plantations d'épinette noire et d'épinette blanche établies sur les stations mésiques caractérisées par des humus minces, dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune (Thiffault *et al.* 2003).

Le type de plants a un effet significatif sur la hauteur et le diamètre à hauteur de poitrine des plants à 16 ans (Tableau 1). Pour l'épinette blanche, les plants produits en récipients de type 25–350A atteignent, après 16 saisons de croissance, une hauteur (Figure 1A) et un diamètre à hauteur de poitrine (Figure 1B) significativement plus grands que ceux des plants produits en récipients de type 25–200. Pour leur part, les plants d'épinette blanche produits à racines nues ont des dimensions à 16 ans intermédiaires et équivalentes à celles des plants produits dans les deux types de récipients (Figures 1A et 1B). Pour l'épinette noire, les plants produits en récipients de type 25–350A atteignent, après 16 saisons de croissance, une hauteur (Figure 1A) et un diamètre à hauteur de poitrine (Figure 1B) significativement plus grands que ceux des deux autres types de plants, lesquels sont équivalents entre eux. Le type de plant ne semble pas avoir d'effet significatif sur l'accroissement annuel en hauteur entre la 11^e et la 16^e saison de croissance, et ce, pour les deux essences (Tableau 1 et figure 1C).

Tableau 1. Résultats des analyses de variance sur la hauteur, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et l'accroissement annuel moyen en hauteur (AAH) entre la 11^e et la 16^e saison de croissance, pour des plants d'épinette blanche et d'épinette noire produits en récipients de types 25–200 ou 25–350A ou à racines nues, et mis en terre après ou sans scarifiage du sol. Les valeurs significatives ($P < 0,05$) apparaissent en caractères gras.

Source de variation (effets fixes)	Hauteur		DHP		AAH	
	Valeur de F	Valeur de <i>P</i>	Valeur de F	Valeur de <i>P</i>	Valeur de F	Valeur de <i>P</i>
<i>Épinette blanche</i>						
Scarifiage (S)	0,236	0,630	0,252	0,618	0,008	0,933
Type (T)	4,529	0,017	4,582	0,016	0,551	0,582
S × T	1,859	0,169	0,635	0,535	1,443	0,252
<i>Épinette Noire</i>						
Scarifiage	0,637	0,447	0,036	0,854	0,407	0,540
Type	8,304	< 0,001	6,090	0,002	2,040	0,148
S × T	0,401	0,670	0,521	0,594	0,892	0,421

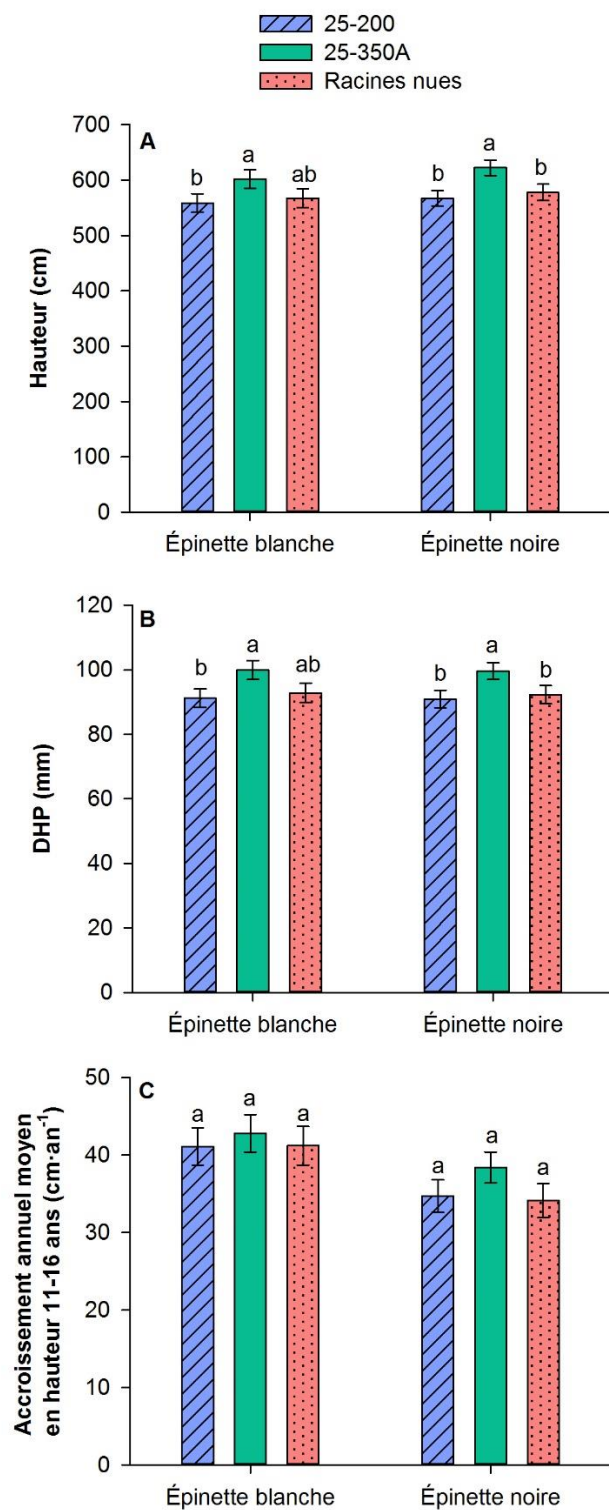


Figure 1. Hauteur à 16 ans (A), diamètre à hauteur de poitrine (DHP) à 16 ans (B) et accroissement annuel moyen entre la 11^e et la 16^e saison de croissance (C) de plants d'épinette blanche et d'épinette noire produits en récipients de type 25–350A, en récipients de type 25–200 et à racines nues. Les données sont présentées sous la forme de la moyenne $\pm$ l'erreur type. Pour une essence donnée, les colonnes surmontées d'une même lettre ne sont pas différentes au seuil $\alpha = 0,05$.

3.2. Estimation du rendement de l'épinette blanche en fin de révolution

Le volume marchand de l'épinette blanche en fin de révolution a été estimé pour chaque type de plants, étant donné qu'il s'agit du seul traitement qui influence significativement les caractéristiques dendrométriques à 16 ans. Soixante ans après la plantation, le rendement estimé en volume marchand des plants produits en récipients de type 25–350A est de 2,5 % supérieur à celui des plants produits en récipients de type 25–200 (+ 13,5 m³·ha⁻¹), et de 7,4 % supérieur à celui des plants produits à racines nues (+ 26,0 m³·ha⁻¹) (Figure 2). Indépendamment du type de plants, le rendement en volume marchand est d'au moins 520 m³·ha⁻¹ en fin de révolution. Ainsi, à long terme, les différences en rendement entre les types de plants testés sont marginales dans le contexte de plantations à haut rendement.

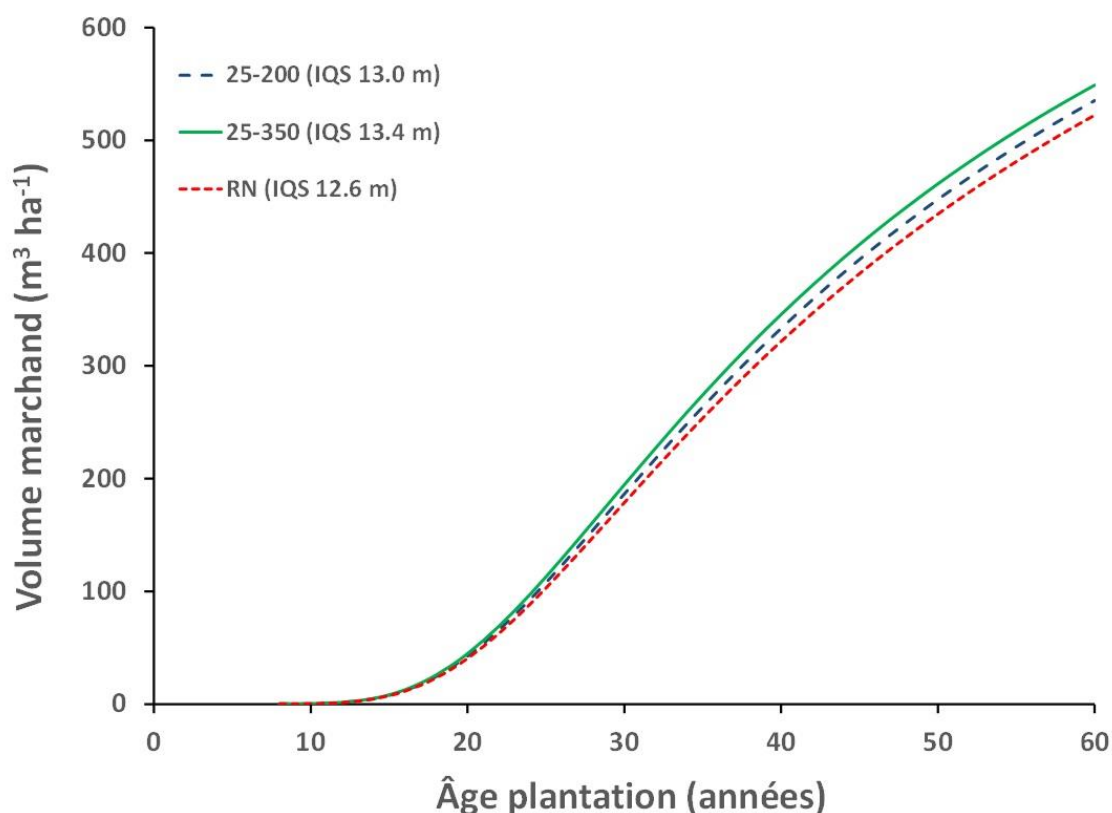


Figure 2. Dynamique temporelle du rendement en volume marchand, dans des plantations d'épinette blanche, selon le type de plants. Les courbes ont été tracées à partir des modèles de croissance développés dans Prégent *et al.* (2010), pour une densité initiale de 2500 tiges/ha.

4. Conclusion

Nos résultats préliminaires suggèrent que le type de plants (production en récipients 25–350A ou 25–200, ou production à racines nues) a un effet significatif, mais limité sur la croissance de l'épinette noire et de l'épinette blanche, de même que sur le rendement estimé en volume marchand de l'épinette blanche, dans des plantations établies sur les sites mésiques du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'Est, pour autant que la gestion de la végétation concurrente soit réalisée de manière appropriée. Ainsi, pour ces stations, le choix d'un type de plants (de fortes ou de moyennes dimensions produits en récipients, ou de fortes dimensions produits à racines nues) devrait être guidé par d'autres considérations que la croissance et le rendement, telles que les contraintes associées à la disponibilité des produits, la manutention ou la mise en terre (Thiffault 2004).

De manière similaire, le scarifiage du sol ne semble pas requis pour garantir le succès d'établissement des plants dans de tels écosystèmes. Son utilisation devrait être guidée par d'autres impératifs, tels que la gestion des débris de coupe afin de garantir l'accès sécuritaire au site pour les reboiseurs et les débroussaillleurs.

Nous avons confiance dans la qualité de ces résultats préliminaires, puisqu'ils sont issus d'une démarche scientifique rigoureuse, basée sur un dispositif expérimental randomisé et comprenant de nombreuses répétitions. Cependant, ils doivent être considérés avec prudence tant qu'ils n'auront pas traversé un processus de publication comprenant une révision par les pairs. Cet avis technique constitue une étape vers la préparation d'un manuscrit de note de recherche forestière qui sera soumis à ce processus. De plus, nos résultats sont issus d'un seul dispositif expérimental; les inférences doivent être limitées aux conditions écologiques et techniques représentées par ce dernier. Il serait d'intérêt d'analyser d'autres dispositifs expérimentaux situés le long d'un gradient de fertilité de station. Néanmoins, nos résultats peuvent fournir des pistes de réflexion quant aux orientations de gestion en matière de production de plants et de sylviculture des plantations.

5. Remerciements

Nous remercions Robert Jobidon, Jacques Carignan, Réjean Poliquin, Dominic Létourneau, Francis Cadoret, Steve Lemay, Alexandre Fortin-Pelletier, Evelyne Gaillard et Maïté Brémont pour leurs contributions à l'élaboration, la mise en place, l'entretien et le suivi du dispositif expérimental présenté dans cet avis. Nous soulignons la collaboration de messieurs Normand Gendron, Louis Labrecque et Serge Leclerc à l'établissement de l'expérience. Nous remercions également Catherine Larouche pour ses commentaires constructifs sur une version préliminaire de ce texte, ainsi que Denise Tousignant et Nathalie Langlois pour leurs contributions à l'édition finale du document.

6. Références

- Bates, D., M. Mächler, B.M. Bolker et S.C. Walker, 2015. *Fitting linear mixed-effects models using lme4*. J. Stat. Soft. 67(1): 1–48.
- Beguin, J., J.-P. Tremblay, N. Thiffault, D. Pothier et S.D. Côté, 2016. *Management of forest regeneration in boreal and temperate deer–forest systems: challenges, guidelines, and research gaps*. Ecosphere 7(10): e01488.
- Faure-Lacroix, J., J.-P. Tremblay, N. Thiffault et V. Roy, 2013. *Stock type performance in addressing top-down and bottom-up factors for the restoration of indigenous trees*. For. Ecol. Manage. 307: 333–340.
- Gravel, J., P. Beaupré, I. Latrémouille, M. Barrette, S. Bédard, M.-M. Gauthier, F. Guillemette, F. Hébert, C. Larouche, G. Prigent, M. Prévost, P. Raymond, N. Thiffault et S. Tremblay, 2016. *Fiches d'aide à la décision pour les traitements sylvicoles au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers et Direction de la recherche forestière. Document n° DAEF2-0088. Québec, QC. 109 p. [\[https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/fiches-aide-decision-traitement_sylvicole.pdf\]](https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/fiches-aide-decision-traitement_sylvicole.pdf)
- Grossnickle, S.C., 2000. *Ecophysiology of northern spruce species. The performance of planted seedlings*. NRC Research Press. Ottawa, ON. 409 p.
- Grossnickle, S.C., 2005. *Seedling size and reforestation success. How big is big enough? The Thin Green Line: A symposium on the state-of-the-art in reforestation*. July 26–28 2005, Thunder Bay ON. Proceedings compiled by S.J. Colombo. Ontario Ministry of Natural Resources, Ontario Forest Research Institute. Forest Research Information Paper n° 160. p. 138–143.
- Grossnickle, S.C. et Y.A. El-Kassaby, 2016. *Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison*. New For. 47(1): 1–51.
- Jobidon, R., V. Roy et G. Cyr, 2003. *Net effect of competing vegetation on selected environmental conditions and performance of four spruce seedling stock sizes after eight years in Québec (Canada)*. Ann. For. Sci. 60(7): 691–699.

- Prégent, G., V. Bertrand et L. Charette, 1996. *Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'Épinette noire au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 118. Québec, QC. 70 p.
[<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire118.pdf>]
- Prégent, G., G. Picher et I. Auger, 2010. *Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette blanche au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 160. Québec, QC. 73 p.
[<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire160.pdf>]
- R Core Team, 2013. *R: A language and environment for statistical computing*. Dans : R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. [<http://www.R-project.org/>]
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Publications du Québec. Québec, QC. 213 p.
- Saucier, J.-P., A. Robitaille et P. Grondin, 2009. *Cadre bioclimatique du Québec*. Dans : Doucet, R. et M. Côté (éds.). *Manuel de foresterie, 2^e édition*. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Éditions Multimondes. Québec, QC. p. 186–205.
- Soil Classification Working Group, 1998. *The Canadian System of Soil Classification. 3rd edition*. Agriculture and Agri-Food Canada. Publication n° 1646. Ottawa, ON. 187 p.
[http://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/manuals/1998-cssc-ed3/cssc3_manual.pdf]
- South, D.B. et J.L. Rakestraw, 2004. *Large-diameter seedlings: A method of reducing chemical use in some pine plantations*. J. Sustain. For. 18(4): 47–58.
- Thiffault, N., 2004. *Stock type in intensive silviculture: A (short) discussion about roots and size*. For. Chron. 80(4): 463–468.
- Thiffault, N. et F. Hébert, 2013. *Chapitre 13 — Le dégagement et le nettoyage*. Dans : Ministère des Ressources naturelles (éd.). *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 — Les concepts et l'application de la sylviculture*, ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier. Les Publications du Québec. Québec, QC. p. 244–271.

Thiffault, N. et R. Jobidon, 2005. *Existe-t-il une interaction entre le type de plants et le scarifiage? Le cas des PMD et des PFD d'épinettes*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 129. 13 p.

[\[http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Thiffault-Nelson/Note129.pdf\]](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Thiffault-Nelson/Note129.pdf)

Thiffault, N., R. Jobidon et A.D. Munson, 2003. *Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Québec (Canada)*. Ann. For. Sci. 60(7): 645–655.