

PREAMBLE / PRÉAMBULE

The three review papers presented in this issue of the *Canadian Journal of Forest Research* follow a 1-day workshop that was held in Montréal in early January 1997 entitled Functional Aspects of Regeneration in the Boreal Forest in the Context of Sustainable Forest Management. This workshop was held as part of the regeneration working group of Canada's Sustainable Forest Management Network to foster integration and collaboration among scientists in the field of regeneration ecology in the boreal forest. Scientists from Canada, United States, and the Nordic countries attended this workshop. The presentations (15), covered a variety of topics dealing with the natural regeneration process and how a better understanding of the process could be used for managing boreal forests. At the end of the workshop, a group of scientists decided to produce review papers on the regeneration ecology of boreal tree species, mainly for North America, to provide a timely research-oriented synthesis on the subject. The synthesis is presented in this issue of the *Canadian Journal of Forest Research*.

The circumpolar boreal forest (about 20% of the forested areas of the world) sustains relatively few dominant tree species: 9 in North America (Payette 1992) and 12 in Finno-scandinavia and Russia (Helmisaari and Nikolov 1989). Both the short-term geological history and current climate are major causes of the low tree species diversity in this ecosystem (Woodward 1995). Large-scale stand replacement natural disturbances, for example, forest fires with return intervals of 30 to 500 years (Zasada et al. 1997), defoliating insect outbreaks (e.g., spruce budworm, forest tent caterpillar, and the aspen tortrix) in conifers and hardwoods (Blais 1983; MacLean 1981), and bark beetle epidemics (Zasada et al. 1997), affect hundreds of thousands of hectares and in combination with site factors create a landscape mosaic that is complex both temporally and spatially in spite of the low tree species diversity. Between catastrophic disturbances, stand-scale gap dynamics occur, adding to the structural complexity. Single or group tree mortality creates conditions for shade-tolerant and mid-shade-tolerant species to get established, grow, and develop in the understory (Bergeron and Dubuc 1989; Leemans 1991; Kuuluvainen 1994; Kneeshaw and Bergeron 1998). All these natural processes and factors have had a strong selective effect on the structure of the boreal forest and on which tree species are adapted to occur in.

Human activity that affects the spatial and temporal pattern of disturbance has become increasingly important as a major factor initiating and influencing regeneration in the North American boreal forest in the last 100 years (Zasada et al. 1997). At the time of exploration and settlement by Europeans, the condition of the North American boreal forest was the result of the interaction of natural ecological processes and the influence of Native Americans that had lived in these forests for centuries (Densmore 1974; Botkin 1990; Kneeshaw and Bergeron 1998). Subsequently, forest harvesting, clearing for agriculture with subsequent abandonment, fire prevention, and other activities associated with this

Les trois articles de synthèse présentés dans ce numéro de la *Revue canadienne de recherche forestière* font suite à un atelier de travail d'une journée tenu à Montréal au début du mois de janvier 1997 et intitulé Aspects fonctionnels de la régénération en forêt boréale dans le contexte de l'aménagement forestier durable. Cet atelier a été organisé dans le cadre des activités du groupe de travail sur la régénération du Réseau sur l'aménagement forestier durable du Canada pour encourager l'intégration et la collaboration des chercheurs dans le domaine de l'écologie de la régénération en forêt boréale. Des chercheurs du Canada, des États-Unis et des pays nordiques ont assisté à cet atelier. Les présentations, 15 au total, couvraient une variété de sujets portant sur le processus de régénération naturelle et sur l'utilité d'une meilleure compréhension de ce processus pour l'aménagement des forêts boréales. À la fin de l'atelier, des participants ont décidé de rédiger des articles de synthèse sur les aspects écologiques de la régénération des espèces d'arbres boréales, principalement pour l'Amérique du Nord, jugeant opportun de produire une synthèse des travaux de recherche sur le sujet. Cette synthèse est présentée dans ce numéro de la *Revue*.

La forêt boréale circumpolaire (environ 20% des régions forestières du monde) supporte peu d'espèces d'arbres dominantes : 9 en Amérique du Nord (Payette 1992) et 12 en Finno-Scandinavie et en Russie (Helmisaari et Nikolov 1989). L'histoire géologique récente et le climat actuel sont les principales causes de la faible diversité des espèces d'arbres dans cet écosystème (Woodward 1995). Les perturbations à grande échelle à l'origine des peuplements, comme les feux de forêt avec une récurrence de 30 à 500 ans (Zasada et al. 1997), les épidémies d'insectes défoliateurs (p. ex., la tordeuse des bourgeons de l'épinette, la livrée des forêts et la tordeuse du tremble) chez les conifères et les feuillus (Blais 1983; MacLean 1981) et les épidémies de scolytes (Zasada et al. 1997) affectent des centaines de milliers d'hectares et, en combinaison avec les facteurs de site, créent une mosaïque complexe de paysages à la fois dans le temps et dans l'espace malgré la faible diversité d'espèces d'arbres. Entre les perturbations catastrophiques, la dynamique des trouées à l'échelle du peuplement ajoute à la complexité structurale. La mort des arbres, individuellement ou en groupe, crée des conditions propices pour que les espèces ombrophiles et semi-ombrophiles s'établissent, croissent et forment le sous-étage (Bergeron et Dubuc 1989; Leemans 1991; Kuuluvainen 1994; Kneeshaw et Bergeron 1998). Tous ces processus et ces facteurs naturels ont eu un important effet de sélection sur la structure de la forêt boréale et les espèces aptes à s'y établir.

L'activité humaine qui affecte le patron spatial et temporel des perturbations a pris de plus en plus d'importance et est devenue l'un des principaux facteurs initiant et influençant la régénération dans la forêt boréale d'Amérique du Nord au cours des 100 dernières années (Zasada et al. 1997). À l'époque de l'exploration et de la colonisation par les européens, l'état de la forêt boréale de l'Amérique du Nord résultait de l'interaction entre les processus écologiques

settlement significantly changed the pattern and importance of natural disturbances. Composition and dynamics of these ecosystems were altered as a result of both natural and human disturbance. Natural regeneration usually resulted in trees as the dominant plants, but the rate of recovery, and the composition and distribution of trees, were often unsuitable for achieving forest management goals.

After World War II, foresters began to adopt an agricultural model in forest management. A stand would be a tended crop of genetically improved stock that would be weeded, fertilized, and then harvested on a planned rotation schedule.

Because of the unacceptably slow rates of regeneration after disturbances and the lack of control over the process, artificial regeneration methods were developed for the commercially important conifer species (Kimmins 1992; Weetman 1995). Where the full range of alternatives were available, artificial regeneration was more likely to be successful than natural regeneration (Lavender et al. 1990). But as options became limited in terms of the use of herbicides and high cost associated with manual brushing to control competing vegetation, results were often unacceptable even when large expenditures were made (Navratil et al. 1994).

The high cost of artificial regeneration, increased emphasis on ecosystem sustainability, and a more natural approach to forestry (Attiwil 1994; Lieffers et al. 1996; Bergeron and Harvey 1997) have recently made the use of natural regeneration a more appealing alternative for the reforestation of boreal forests. Natural regeneration was the means of maintenance of forests prior to settlement and has been used to varying degrees either by default or as a planned silvicultural practice. Natural regeneration has been successful for some species–site combinations, most notably for jack pine, black spruce, balsam fir, and aspen (Burns and Honkala 1990a, 1990b). These are also species more suited to the environments created by clear-cutting and site preparation. Natural regeneration of some other species (for example, white spruce) and species–site combinations has been eliminated as a viable option across the boreal forest because silvicultural practices did not adequately address the ecological factors of seed availability, seedbed, site conditions and shade tolerance necessary for successful natural regeneration (Zasada and Gregory 1969; Dobbs 1972; Coates et al. 1994).

Can natural regeneration play a larger role in future silvicultural systems in the boreal forest? There are both legislative and ecological considerations to this question. Various countries, provinces, and states have laws and regulations specifying minimum regeneration requirements. In some cases, regulations provide adequate time for natural regeneration to be a viable option, while in other cases they do not. The use of natural regeneration in silvicultural plans must be determined on a site by site basis. There has long been discussion about the acceptability of natural regeneration when compared with artificial regeneration, but the question really should be one of how they complement one another and not how they compete. Both processes have their place and sites should be evaluated taking ecological and economic conditions into consideration.

Alternative silvicultural systems that use information on seed availability, microclimate, and advance regeneration

naturels et l'influence des populations indigènes qui avaient vécu dans ces forêts pendant des siècles (Densmore 1974; Botkin 1990; Kneeshaw et Bergeron 1998). Par la suite, l'exploitation forestière, le défrichage de terres agricoles subséquentement abandonnées, la prévention des feux et les autres activités associées à la colonisation ont significativement modifié le patron et l'importance des perturbations naturelles. La composition et la dynamique de ces écosystèmes ont été modifiées par l'action des perturbations naturelles et humaines. La régénération naturelle s'est généralement traduite par l'installation d'arbres comme plantes dominantes mais le taux de récupération, la composition et la distribution des arbres ont souvent été inadéquats pour atteindre les objectifs de l'aménagement forestier.

Après la seconde guerre mondiale, les forestiers ont commencé à adopter un modèle agricole en aménagement forestier. Un peuplement devenait une culture intensive de plants génétiquement améliorés qui devaient être dégagés, fertilisés et récoltés selon une période de révolution planifiée.

Étant donné que les faibles taux de régénération étaient inacceptables après une perturbation et qu'on ne pouvait exercer de contrôle sur le processus, des méthodes de régénération artificielle ont été mises au point pour les espèces de conifères d'importance commerciale (Kimmins 1992; Weetman 1995). Lorsque toute la gamme des possibilités était disponible, la régénération artificielle avait plus de chance de réussir que la régénération naturelle (Lavender et al. 1990). Mais lorsque les options sont devenues plus limitées en regard de l'utilisation des herbicides et du coût élevé du dégageage manuel pour la maîtrise de la végétation compétitrice, les résultats furent souvent inacceptables même après avoir fait d'importantes dépenses (Navratil et al. 1994).

Le coût élevé de la régénération artificielle, l'intérêt accru pour le maintien de la durabilité de l'écosystème et une approche plus naturelle en foresterie (Attiwil 1994; Lieffers et al. 1996; Bergeron et Harvey 1997) ont récemment fait de la régénération naturelle une alternative plus intéressante pour le reboisement des forêts boréales. La régénération naturelle était la façon de perpétuer les forêts antérieurement à la colonisation et a été utilisée à des degrés divers soit par défaut, soit comme pratique sylvicole planifiée. La régénération naturelle a été un succès avec certaines combinaisons d'espèces et de sites, surtout entre autres avec le pin gris, l'épinette noire, le sapin baumier et le peuplier faux-tremble (Burns et Honkala 1990a, 1990b). Ce sont aussi les espèces les mieux adaptées aux environnements créés par la coupe à blanc et la préparation des sites. La régénération naturelle de certaines autres espèces (l'épinette blanche, par exemple) et combinaisons d'espèces et de sites a été éliminée en tant qu'option viable partout en forêt boréale parce que les pratiques sylvicoles ne se sont pas suffisamment préoccupées des facteurs écologiques qui influencent la disponibilité des graines, les lits de germination, les conditions des sites et la tolérance à l'ombre nécessaires à la réussite de la régénération naturelle (Zasada et Gregory 1969; Dobbs 1972; Coates et al. 1994).

La régénération naturelle peut-elle jouer un rôle plus important dans les systèmes sylvicoles futurs en forêt boréale? Cette question comporte des considérations législatives et écologiques. Différents pays, provinces et états ont des lois et règlements qui précisent les exigences minimales en matière de régénération. Dans certains cas, les règlements laissent

autecology are being used to varying degrees. These include protecting advance regeneration when harvesting a mature overstory (Doucet 1988; Navratil et al. 1994), retention of patches of seed trees and leave trees within clear-cut areas (Coates and Steventon 1995), and other even-aged silvicultural systems such as classical shelterwoods or their modifications (Smith et al. 1997; Graham and Jain 1998). Along with this, new methods are being proposed using various types of partial cutting as a mean to create or maintain an uneven age structure in some of the stands (Lieffers et al. 1996; Kelly et al. 1999).

The utilisation of natural regeneration and of more natural silvicultural systems creates a new challenge for forest managers who now are required to have a good understanding of the biological and physical factors that affect the establishment, growth, and survival of the natural regeneration. At the same time, they are required to maintain both a healthy forest for economic growth and a structurally diverse forest for biodiversity. The three review papers presented in this issue focus on creating the right understory light environment for the right tree species ((1) Predicting and managing light in the understory of boreal forests and (2) Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests) and creating the right disturbance pattern to establish the desired tree species ((3) A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species). It is our belief that a better knowledge of the functional ecology of trees of our boreal forests could lead to the development of silvicultural practices that are more in accordance with the functioning of a healthy natural forest.

References

- Attiwill, P.M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservation management. *For. Ecol. Manag.* **63**: 247–300.
- Bergeron, Y., and Dubuc, M. 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio*, **79**: 51–63.
- Bergeron, Y., and Harvey, B. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *For. Ecol. Manag.* **92**: 235–242.
- Blais, J.R. 1983. Trends in frequency, extent and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. *Can. J. For. Res.* **13**: 539–547.
- Botkin, D.B. 1990. *Discordant harmonies*. University Press, New York, Oxford.
- Burns, R.M., and Honkala, B.H. 1990a. *Silvics of North America*. Vol. 1. Conifers. U.S. Dep. Agric. Agric. Handb. 654.
- Burns, R.M., and Honkala, B.H. 1990b. *Silvics of North America*. Vol. 2. Hardwoods. U.S. Dep. Agric. Agric. Handb. 654.
- Coates, K.D., and Steventon, J.D. 1995. Patch retention harvesting as a technique for maintaining stand level biodiversity in forests of northern British Columbia. *In Proceedings: Innovative Silviculture Systems in Boreal Forests*, 2–8 Oct. 1994, Edmonton, Alta. *Edited by C.R. Bamsey*. Clear Lake Ltd, Edmonton, Alta. pp. 102–106.
- Coates, K.D., Haeussler, S., Lindeburgh, S., Pojar, R., and Stock, A.J. 1994. Ecology and silviculture of interior spruce in British Columbia. Canada – British Columbia partnership on forest development. British Columbia Ministry of Forests, Research Branch, Victoria, B.C., FRDA II Rep. 220.

assez de temps pour que la régénération naturelle soit une option viable tandis qu'ils ne le permettent pas dans d'autres cas. Le recours à la régénération naturelle dans la planification sylvicole doit être déterminé pour chaque site. L'acceptabilité de la régénération naturelle comparativement à la régénération artificielle est sujette à discussion depuis longtemps mais on devrait en réalité se demander comment elles se complètent l'une l'autre et non comment elles entrent en compétition. Les deux approches ont leur place et les sites devraient être évalués en prenant en considération les facteurs économiques et écologiques.

Les systèmes sylvicoles alternatifs qui utilisent l'information sur la disponibilité des graines, le microclimat et l'autécologie de la régénération préétablie sont utilisés à divers degrés. Ils incluent la protection de la régénération préétablie au moment de la récolte de l'étage dominant mature (Doucet 1988; Navratil et al. 1994), la conservation d'îlots de semenciers et d'arbres debout à l'intérieur des aires de coupe à blanc (Coates et Steventon 1995) et d'autres systèmes sylvicoles en peuplement équienné tels que la coupe progressive classique et ses variantes (Smith et al. 1997; Graham et Jain 1998). Parallèlement, de nouvelles méthodes qui comportent différents types de coupe partielle sont proposées comme moyens pour créer ou maintenir une structure d'âge inéquienné dans certains des peuplements (Lieffers et al. 1996; Kelly et al. 1999).

L'utilisation de la régénération naturelle et de systèmes sylvicoles plus naturels créent de nouveaux défis pour les aménagistes forestiers qui doivent maintenant posséder une bonne compréhension des facteurs physiques et biologiques qui influencent l'établissement, la croissance et la survie de la régénération naturelle. Ceux-ci doivent à la fois conserver la forêt en santé pour avoir une croissance suffisante du point de vue économique et maintenir une forêt dont la structure varie pour assurer la biodiversité. Les trois articles de synthèse présentés dans ce numéro mettent l'accent sur la création d'un bon environnement lumineux en sous-étage pour la régénération de la bonne espèce d'arbre ((1) la prédiction et la gestion des conditions de lumière en sous-étage des forêts boréales et (2) l'écologie fonctionnelle de la régénération préétablie en relation avec les conditions de lumière dans les forêts boréales) et la création du bon patron de perturbation selon l'espèce d'arbres dont on souhaite l'établissement ((3) une revue de la dynamique de la régénération des espèces d'arbres de la forêt boréale). Nous croyons qu'une meilleure connaissance de l'écologie fonctionnelle des arbres de nos forêts boréales pourrait conduire au développement de pratiques sylvicoles qui sont davantage en concordance avec le fonctionnement d'une forêt naturelle saine.

Références

- Attiwill, P.M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservation management. *For. Ecol. Manag.* **63** : 247–300.
- Bergeron, Y., et Dubuc, M. 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio*, **79** : 51–63.
- Bergeron, Y., et Harvey, B. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *For. Ecol. Manag.* **92**: 235–242.

- Densmore, F. 1974. How Indians use wild plants for food medicine and crafts. Dover Publications, Inc., New York.
- Dobbs, R.C. 1972. Regeneration of white and Engelmann spruce. Can. For. Serv. Pac. For. Res. Cent. Inf. Rep. BC-X-79.
- Doucet, R. 1988. La régénération préétablie dans les peuplements forestiers naturels au Québec. For. Chron. **64**: 116–120.
- Graham, R.T., and Jain, T.G. 1998. Silviculture's role in managing boreal forests. Conserv. Ecol. **2**: 8. [Available on line from the internet. URL: <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art8>.]
- Helmisaari, H., and Nikolov, N. 1989. Survey of ecological characteristics of boreal tree species in Fennoscandia and the USSR. Biosphere dynamics project. Publ. 95. IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), Vienna, Austria.
- Kelly, C., Messier, C., Bergeron, Y., and Harvey, B. 1999. Silviculture adapted for intolerant deciduous stands on mixedwood sites of the south-eastern boreal forest. For. Chron. In press.
- Kimmins, J.P. 1992. Balancing act: environmental issues in forestry. UBC Press, Vancouver, B.C.
- Kneeshaw, D.D., and Bergeron, Y. 1998. Canopy gap characteristics and tree replacement in the southern boreal forest. Ecology, **79**: 783–794.
- Kuuluvainen, T. 1994. Gap disturbance, ground microtopography, and the regeneration dynamics of boreal coniferous forests in Finland: a review. Ann. Zool. Fenn. **31**: 35–51.
- Lavender, D.P., Parish, R., Johnson, C.M., Montgomery, G., Vyse, A., Willis, R.A., and Winston, D. (Editors). 1990. Regenerating British Columbia's forests. UBC Press, Vancouver, B.C.
- Leemans, R. 1991. Canopy gaps and establishment patterns of spruce in two old-growth coniferous forests in central Sweden. Vegetatio, **93**: 157–165.
- Lieffers, V.J., Macmillan, R.B., MacPherson, D., Branter, K., and Stewart, J.D. 1996. Semi-natural and intensive silvicultural systems for the boreal mixedwood forest. For. Chron. **72**: 286–292.
- MacLean, D.A. 1981. Effects of spruce budworm outbreaks on the productivity and stability of balsam fir forests. For. Chron. **56**: 213–221.
- Navratil, S., Brace, L.G., Sauder, E.A., and Lux, S. 1994. Silvicultural and harvesting options to favor immature white spruce and aspen regeneration in boreal mixedwoods. Can. For. Serv. North. For. Cent. Inf. Rep. NOR-X-337.
- Payette, S. 1992. Fires as a controlling process in the North American boreal forest. In A systems analysis of the global boreal forest. Edited by H.H. Shugart, R. Leemans, and G.B. Bonan. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. pp. 13–84.
- Smith, D.M., Larson, B., Kelty, M., and Ashton, P.M.S. 1997. The practice of silviculture—applied forest ecology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Weetman, G.F. 1995. Silviculture systems in Canada's boreal forest. In Proceedings: Innovative Silviculture Systems in Boreal Forests, 2–8 Oct. 1994, Edmonton, Alta. Edited by C.R. Bamsey. Clear Lake Ltd, Edmonton, Alta. pp. 5–16.
- Woodward, F.I. 1995. Ecophysiological controls of conifer distributions. In Ecophysiology of coniferous forests. Edited by W.K. Smith and T.M. Hinckley. Academic Press, San Diego, Calif. pp. 79–94.
- Blais, J.R. 1983. Trends in frequency, extent and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. Can. J. For. Res. **13**: 539–547.
- Botkin, D.B. 1990. Discordant harmonies. University Press, New York, Oxford.
- Burns, R.M., et Honkala, B.H. 1990a. Silvics of North America. Vol. 1. Conifers. U.S. Dep. Agric. Agric. Handb. 654.
- Burns, R.M., et Honkala, B.H. 1990b. Silvics of North America. Vol. 2. Hardwoods. U.S. Dep. Agric. Agric. Handb. 654.
- Coates, K.D., et Steventon, J.D. 1995. Patch retention harvesting as a technique for maintaining stand level biodiversity in forests of northern British Columbia. Dans Proceedings: Innovative Silviculture Systems in Boreal Forests, 2–8 octobre 1994, Edmonton, Alb. Éditeur : C.R. Bamsey. Clear Lake Ltd., Edmonton, Alb. pp. 102–106.
- Coates, K.D., Haeussler, S., Lindeburgh, S., Pojar, R., et Stock, A.J. 1994. Ecology and silviculture of interior spruce in British Columbia. Canada – British Columbia partnership on forest development. British Columbia Ministry of Forests, Research Branch, Victoria, C.-B., FRDA II Rep. 220.
- Densmore, F. 1974. How Indians use wild plants for food medicine and crafts. Dover Publications, Inc., New York.
- Dobbs, R.C. 1972. Regeneration of white and Engelmann spruce. Can. For. Serv. Pac. For. Res. Cent. Inf. Rep. BC-X-79.
- Doucet, R. 1988. La régénération préétablie dans les peuplements forestiers naturels au Québec. For. Chron. **64**: 116–120.
- Graham, R.T., et Jain, T.G. 1998. Silviculture's role in managing boreal forests. Conserv. Ecol. **2**: 8. [Disponible en direct sur l'internet. URL : <http://www.consecol.org/vol2/iss2/art8>.]
- Helmisaari, H., et Nikolov, N. 1989. Survey of ecological characteristics of boreal tree species in Fennoscandia and the USSR. Biosphere dynamics project. Publ. 95. IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), Vienne, Autriche.
- Kelly, C., Messier, C., Bergeron, Y., et Harvey, B. 1999. Silviculture adapted for intolerant deciduous stands on mixedwood sites of the south-eastern boreal forest. For. Chron. Sous presse.
- Kimmins, J.P. 1992. Balancing act: environmental issues in forestry. UBC Press, Vancouver, C.-B.
- Kneeshaw, D.D., et Bergeron, Y. 1998. Canopy gap characteristics and tree replacement in the southern boreal forest. Ecology, **79**: 783–794.
- Kuuluvainen, T. 1994. Gap disturbance, ground microtopography, and the regeneration dynamics of boreal coniferous forests in Finland: a review. Ann. Zool. Fenn. **31**: 35–51.
- Lavender, D.P., Parish, R., Johnson, C.M., Montgomery, G., Vyse, A., Willis, R.A., et Winston, D. (Éditeurs). 1990. Regenerating British Columbia's forests. UBC Press, Vancouver, C.-B.
- Leemans, R. 1991. Canopy gaps and establishment patterns of spruce in two old-growth coniferous forests in central Sweden. Vegetatio, **93**: 157–165.
- Lieffers, V.J., Macmillan, R.B., MacPherson, D., Branter, K., et Stewart, J.D. 1996. Semi-natural and intensive silvicultural systems for the boreal mixedwood forest. For. Chron. **72**: 286–292.
- MacLean, D.A. 1981. Effects of spruce budworm outbreaks on the productivity and stability of balsam fir forests. For. Chron. **56**: 213–221.
- Navratil, S., Brace, L.G., Sauder, E.A., et Lux, S. 1994. Silvicultural and harvesting options to favor immature white

- Zasada, J.C., and Gregory, R.A. 1969. Regeneration of white spruce with reference to interior Alaska: a literature review. USDA For. Serv. Res. Pap. PNW-79.
- Zasada, J.C., Gordon, A.G., Slaughter, C.W., and Duchesne, L.C. 1997. Ecological considerations for the sustainable management of the north American boreal forests. IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), Vienna, Austria. Int. Rep. IR-97-024.
- spruce and aspen regeneration in boreal mixedwoods. Can. For. Serv. North. For. Cent. Inf. Rep. NOR-X-337.
- Payette, S. 1992. Fires as a controlling process in the North American boreal forest. *Dans* A systems analysis of the global boreal forest. *Éditeurs* : H.H. Shugart, R. Leemans et G.B. Bonan. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni. pp. 13-84.
- Smith, D.M., Larson, B., Kelty, M., et Ashton, P.M.S. 1997. The practice of silviculture—applied forest ecology. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Weetman, G.F. 1995. Silviculture systems in Canada's boreal forest. *Dans* Proceedings: Innovative Silviculture Systems in Boreal Forests, 2-8 octobre 1994, Edmonton, Alb. *Éditeur* : C.R. Bamsey. Clear Lake Ltd., Edmonton, Alb. pp. 5-16.
- Woodward, F.I. 1995. Ecophysiological controls of conifer distributions. *Dans* Ecophysiology of coniferous forests. *Éditeurs* : W.K. Smith et T.M. Hinckley. Academic Press, San Diego, Calif. pp. 79-94.
- Zasada, J.C., et Gregory, R.A. 1969. Regeneration of white spruce with reference to interior Alaska: a literature review. USDA For. Serv. Res. Pap. PNW-79.
- Zasada, J.C., Gordon, A.G., Slaughter, C.W., et Duchesne, L.C. 1997. Ecological considerations for the sustainable management of the north American boreal forests. IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), Vienne, Autriche. Int. Rep. IR-97-024.

Christian Messier, John Zasada, and / et David Greene