

L'importance de la qualité de station pour l'aménagement des forêts feuillues

Au cours des dernières décennies, les forestiers ont noté une baisse de vigueur des érablières au Québec et ailleurs en Amérique du Nord. Parallèlement, leur productivité après traitement sylvicole n'est pas toujours celle escomptée. Il appert que la fertilité des sols est un facteur clé pour expliquer ces constats.

Mise en contexte

Au Québec, la forêt feuillue méridionale, principalement composée d'érablières, couvre environ 11 millions d'hectares. Parmi les 5,5 millions de mètres cubes de feuillus durs transformés annuellement depuis 1997, l'érable à sucre représente en moyenne 37 % de cette transformation. De plus, que ce soit pour leur production de bois, de sirop ou encore pour leur valeur esthétique et récréotouristique, les érablières occupent une place de choix dans le cœur des Québécois. Les érablières ne sont toutefois pas à l'abri des perturbations. L'épisode du verglas à l'hiver 1998 en est un exemple. Il ne faudrait pas non plus oublier le phénomène du dépérissement des érablières qui est principalement caractérisé par la perte de feuillage et l'ouverture du couvert. Bien qu'il ne soit pas reconnu comme une perturbation, mais bien comme le résultat d'une ou d'un ensemble de perturbations, le dépérissement, de par son étendue, sa durée et l'ampleur des dommages causés aux arbres, est sans contredit le phénomène perturbateur le plus répandu dans les érablières depuis les 30 dernières années au Québec (Roy *et al.*, 2004) et dans le Nord-Est américain (Horsley *et al.*, 2002).

Devant l'ampleur du dépérissement, un programme fédéral-provincial a été mis en place à la fin des années 1980 par les gouvernements afin 1) d'intensifier les efforts de recherche et le développement portant sur les érablières et 2) d'assurer de l'aide aux producteurs et aux propriétaires d'érablières par l'application de mesures correctives concrètes (Anonyme, 1994). À la suite des premières études reliant le dépérissement à des carences nutritives et documentant les effets bénéfiques de la fertilisation (Bernier et Brazeau, 1988a, 1988b; Ouimet et Fortin, 1992; Côté *et al.*, 1993; Hendershot et Courchesne, 1994), un programme a permis de fertiliser près de 19 000 hectares d'érablières chez plus de 1 800 propriétaires privés au Québec. Le suivi du programme a démontré que les érablières réagissent rapidement à une fertilisation appropriée (Ouimet, 1995). En effet, trois ans après le traitement, la fertilisation a permis de diminuer les symptômes du dépérissement de 25 % et d'augmenter la fréquence d'arbres sains de 70 %.

Parallèlement à ces actions, la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) a entrepris une étude d'envergure destinée principalement à accroître la compréhension du phénomène de dépérissement de l'érable à sucre. Cela s'est concrétisé par l'établissement du Réseau d'Étude et de Surveillance des Écosystèmes Forestiers (RÉSEF). À cette époque, le RÉSEF était composé d'une quinzaine d'érablières. Aujourd'hui, le RÉSEF comprend 31 stations établies de façon permanente et réparties dans diverses régions écologiques du territoire québécois. Il permet de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes par un suivi intensif et continu du climat, des dépôts atmosphériques, des sols, du statut nutritif, de la croissance et de la composition des peuplements.

Vingt ans après l'établissement du RÉSEF, l'information recueillie par ce réseau a permis de constater que le dépérissement est une problématique qui est toujours d'actualité. Succinctement, les études ont démontré que, pour certaines stations, on assiste à une baisse graduelle de la croissance des érables depuis les 40 dernières années. Une grande part de la variance associée à la décroissance des tiges au cours de ces années s'explique par les différences inhérentes à la fertilité des sols (Figure 1; Duchesne *et al.*, 2002). Parallèlement à la baisse de croissance observée chez les érables composant le couvert principal, on rapporte aussi une baisse de la régénération en érable ainsi qu'une augmentation considérable du nombre d'individus de hêtre à grandes feuilles en sous-étage (Duchesne *et al.*, 2005; Périé *et al.*, 2006). Il appert que l'augmentation de la lumière au sol à la suite du dépérissement des arbres dominants et co-dominants, combinée aux conditions de sol qui sont désormais défavorables à la régénération de l'érable à sucre, stimule le développement d'une cohorte de hêtre en sous-étage (Figure 2). Ces changements de structure et de composition mettent en péril la durabilité de ces érablières, sous leur forme actuelle.

La baisse de vigueur de l'érable à sucre et l'augmentation de l'importance du hêtre au Québec ont récemment été observées à grande échelle par l'analyse de près de 3000 parcelles du réseau de parcelles permanentes du MRNF (Duchesne et Ouimet, 2008). À l'échelle du Québec méridional, l'accroissement et le recrutement de l'érable à sucre ont chuté respectivement de 10 % et

Louis Duchesne, ing.f.

Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Jean-David Moore, ing.f.

Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Rock Ouimet, ing.f.

Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles et de la Faune

30 %, alors que la mortalité a doublé au cours des trente dernières années. Pendant ce temps, le recrutement du hêtre dans les tiges marchandes a augmenté de 120 %.

Par ailleurs, on assiste présentement à une inquiétude croissante de la part des forestiers concernant la grande variabilité associée à la productivité des forêts feuillues au Québec (Nolet et Forget, 2004, Labrèque *et al.*, 2006, Forget *et al.*, 2007). En 1995, la Direction de la recherche forestière du MRNF mettait en place un réseau d'échantillonnage servant à mesurer les effets réels des traitements sylvicoles. Pour les peuplements feuillus jardinés, les premières analyses ont révélé qu'en moyenne, cinq ans après la récolte, celle des peuplements était largement inférieure à la croissance nette des dispositifs expérimentaux servant à définir les hypothèses de rendement pour le calcul de la possibilité forestière (Bédard et Brassard, 2002; Bédard *et al.*, 2004). Les divergences ont été associées à la mortalité accrue des tiges dans les parcelles de mesure des traitements opérationnels comparativement aux dispositifs expérimentaux. La grande variabilité observée entre les deux types de dispositif est aussi observée entre les peuplements d'un même type de dispositif. En d'autres termes, une gamme de réactions doit être escomptée de traitements sylvicoles comparables, appliqués à des peuplements de structures et de compositions similaires.

Sans remettre en cause l'importance de la structure initiale du peuplement, de la qualité des tiges et de la qualité d'exécution des travaux de martelage et de récolte pour la réussite des traitements sylvicoles, les observations précédentes suggèrent que la productivité des forêts feuillues méridionales, principalement de l'érable à sucre, est dépendante des caractéristiques de station. Ces dernières, en plus de l'historique de perturbations, peuvent avoir une influence considérable sur la qualité des tiges et leur croissance. Ainsi, les liens possibles entre le phénomène de perte de vigueur de l'érable associé à la fertilité des stations et les récents résultats concernant la grande variabilité de réactions observées dans les forêts feuillues suivant la réalisation de travaux de jardinage devraient être examinés.

Mécanismes en cause

Plusieurs études ont documenté l'importance de la fertilité des sols pour expliquer la croissance de l'érable à sucre. Bien que historiquement perçues comme des peuplements climaciques, les érablières ont subi récemment des changements dans leur productivité, leur structure et leur composition en raison de stress environnementaux. À grande échelle, les précipitations acides et l'exportation de biomasse sont deux mécanismes qui peuvent avoir contribué à l'appauvrissement de la fertilité des sols au cours des 40 dernières années.

Les précipitations acides sont principalement causées par le rejet dans l'atmosphère du dioxyde de soufre (SO_2) et des oxydes d'azote (NO_x), conséquence de la combustion des combustibles fossiles. Lorsque ces polluants entrent en contact avec l'eau de l'atmosphère, ils sont convertis en acides sulfurique et nitrique qui retombent ensuite dans les écosystèmes. Certains éléments présents dans le sol comme le calcium et le potassium, que l'on appelle aussi cations basiques, contribuent à neutraliser l'acidité des précipitations. En jouant ce rôle, ces éléments sont alors moins disponibles pour la croissance des arbres. Pour tenter d'endiguer ce problème, le Canada et les États-Unis se sont engagés en 1991 à réduire leurs émissions polluantes en signant l'accord canado-américain sur la qualité de l'air. En 2000, cet accord a permis la réduction de 50 % au Canada et de 40 % aux États-Unis des émissions acidifiantes comparativement aux années 1980. Malgré cette baisse, on estime qu'à long terme, la santé et la productivité forestières

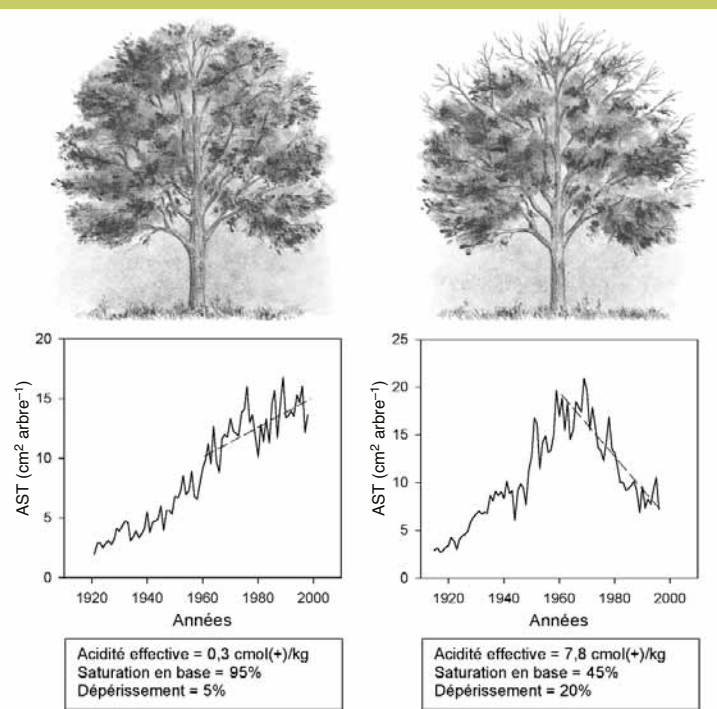


Figure 1. Exemple de deux érablières ayant des statuts nutritifs différents. La partie de gauche présente une érablière sur sol fertile. Les arbres de cette forêt ont un taux d'accroissement en surface terrière (AST) positif et un taux de dépérissement inférieur à 5 %. À l'opposé, l'érablière de droite est localisée sur un sol appauvri par l'effet des pluies acides. Depuis les années 1960, la croissance a considérablement ralenti et son taux de dépérissement atteint 20 %.



Figure 2. Cohorte de hêtre à grandes feuilles se développant sous un couvert d'érables à sucre présentant d'importants symptômes de dépérissement.

risquent d'être affectées par les dépôts acides dans l'Est du Canada (Ouimet *et al.*, 2006). Les derniers chiffres indiquent que les superficies affectées par les dépôts acides représentent 32 % du territoire forestier québécois sous aménagement, soit principalement les forêts feuillues (NEG/ECP Forest Mapping Group, 2007).

En ce qui concerne la récolte forestière, cette activité exporte des quantités plus ou moins importantes de biomasse et de nutriments hors de l'écosystème forestier. Ces quantités dépendent principalement du type et du procédé de récolte, de l'essence récoltée et de la fertilité intrinsèque des sites. Elles sont généralement importantes comparativement à la réserve de nutriments disponibles dans les sols (Houle *et al.*, 1997). Les risques liés à l'exportation de biomasse sur la fertilité des sols ont été documentés principalement pour la forêt boréale (Duchesne et Houle, 2006; Thiffault *et al.*, 2006; Duchesne et Houle, 2008). Toutefois, il est fort possible que les récoltes historiques en forêts feuillues aient également contribué à la baisse de fertilité des sols au cours des dernières décennies. Cet appauvrissement potentiel s'ajoute aux effets négatifs des récoltes historiques (coupe d'écrémage) sur la qualité des tiges résiduelles.

La fertilisation : un moyen pour revigorer les érablières en dépérissement

Au cours des années 1990, la Direction de la recherche forestière a mis en place des dispositifs expérimentaux plus élaborés que le programme de fertilisation mentionné précédemment, afin de documenter les effets de l'ajout d'éléments nutritifs limitatifs sur le sol des érablières ainsi que sur la nutrition, la croissance, la vigueur et la régénération de l'érable à sucre. Les résultats de ces études montrent que l'ajout de fertilisants appropriés sur les sols pauvres et acides permet d'améliorer, de façon importante et à long terme (dix ans et plus), la fertilité des sols traités (Houle *et al.*, 2002; Moore *et al.*, 2008; Ouimet *et al.*, 2008). L'amélioration de la fertilité du sol a un effet bénéfique sur la nutrition des érables à sucre (Moore et Ouimet, 2006). Cette meilleure nutrition des érables se traduit par une plus grande vigueur des tiges, soit une croissance en surface terrière près de deux fois supérieure (Figure 3) et un taux de dépérissement près de quatre fois inférieur comparativement aux arbres témoins (Moore et Ouimet, 2006; Ouimet *et al.*, 2008).

De plus, la fertilisation a des effets positifs sur la régénération d'érable à sucre. En effet, dix ans après traitement, la proportion d'érables à sucre en régénération dans les parcelles fertilisées a augmenté de plus de 33 % (58 % dans les parcelles fortement chaulées) comparativement aux témoins, alors que celle du hêtre à grandes feuilles a diminué de plus de 25 % (41 % dans les parcelles fortement chaulées) (Figure 4; Moore *et al.*, 2008). La réaction positive de l'érable à sucre, dix ans après l'ajout de fertilisants appropriés, démontre l'efficacité de ce traitement pour corriger l'état nutritionnel, réduire la défoliation et améliorer la croissance et la régénération de cette espèce sur les sols acides. Ces résultats confirment par le fait même les liens étroits entre la fertilité des sols et la vigueur de l'érable. D'autres études réalisées sur des sols acides et pauvres en cations basiques dans le Nord-Est américain ont rapporté des résultats similaires (voir Moore et Ouimet, 2006). Il importe toutefois de préciser l'importance de réaliser un diagnostic approprié afin d'identifier les éléments nutritifs limitatifs et de déterminer la composition et la dose optimale de fertilisant à appliquer. Des outils ont d'ailleurs été conçus pour aider à faire le diagnostic (Ouimet *et al.*, 2003).

Pistes de solution pour une gestion adéquate de la ressource

Les peuplements de feuillus tolérants sont généralement de structure inéquienne, ce qui limite l'application du concept d'IQS (hauteur à 50 ans). L'absence de la reconnaissance de la qualité de station dans le modèle de simulation utilisé pour le calcul de possibilité de ce type de peuplements est une lacune importante identifiée dans le rapport

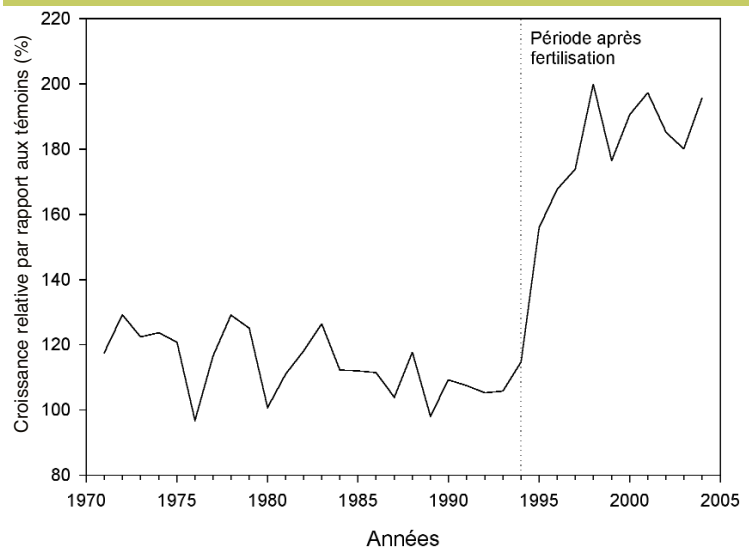


Figure 3. Croissance relative en surface terrière de l'érable à sucre, par rapport aux témoins, avant et après l'application de chaux dolomitique effectuée à l'automne 1994.

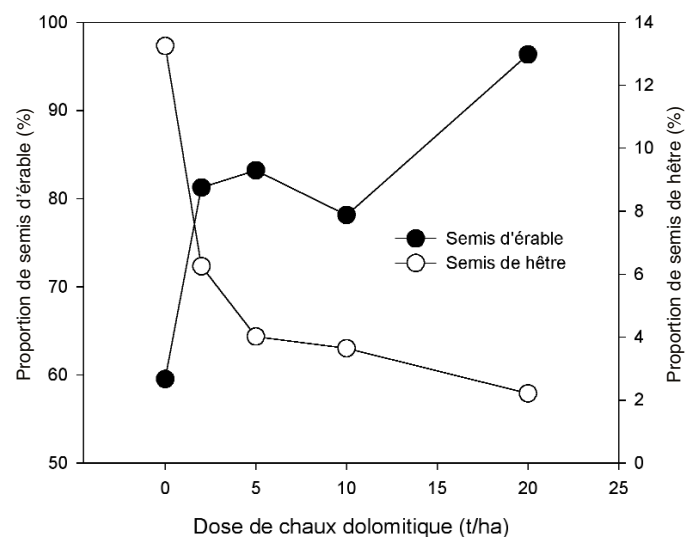


Figure 4. Proportion de semis d'érable à sucre et de hêtre à grandes feuilles, selon la dose de chaux appliquée, dix ans après traitement.

Coulombe. En effet, les taux de passage entre les classes de diamètre des tiges, que le modèle de simulation utilise, ne tiennent pas compte des caractéristiques de station, malgré le lien sol-vigueur discuté précédemment. Ainsi, les rendements actuellement escomptés sont identiques peu importe les caractéristiques de station. Une étude récente réalisée dans les Basses-Laurentides a confirmé le besoin de tenir compte des caractéristiques de station pour orienter l'aménagement des forêts feuillues (Nolet *et al.*, 2007). Étant donné que la qualité des tiges dépend à la fois de l'historique de perturbation et de la qualité de station, il est proposé que la qualité de station soit déterminée indépendamment de la classification des tiges.

Une autre lacune d'importance du calcul de la possibilité forestière est liée à la calibration des taux de passage qui composent le modèle de simulation des peuplements de structure inéquienne. Actuellement, ces fonctions mathématiques ont été calibrées à partir de l'information provenant des deux premières campagnes de mesure des parcelles permanentes du MRNF (1970-1977 à 1978-1988). Ainsi, étant donné les variations temporelles associées à la croissance et la dynamique des érablières au Québec (Duchesne *et al.*, 2002; Duchesne *et al.*, 2003; Duchesne et Ouimet, 2008), il importe de mettre à jour les outils de planification en incluant les données qui reflètent les conditions actuelles de croissance.

Dans ce contexte, diverses initiatives ont été amorcées afin de résoudre ces problèmes. En effet, sous l'égide du «Comité scientifique sur les intrants au calcul de possibilité forestière», le Ministère procède actuellement à la refonte des modèles mathématiques utilisés pour simuler l'évolution de la forêt et ainsi estimer la possibilité forestière. Cette refonte sera l'occasion de revoir les principales fonctions du modèle de simulation en intégrant l'information la plus à jour provenant des réseaux d'inventaires. Cette refonte sera aussi l'occasion, dans une certaine mesure, de prendre en compte l'influence des caractéristiques de station et de la qualité des tiges sur la dynamique et la productivité des peuplements feuillus.

De plus, un projet de recherche est actuellement en cours à la Direction de la recherche forestière afin d'identifier les variables physiques et biophysiques des stations qui régissent la dynamique des principales essences au Québec. Une fois ces variables identifiées, elles pourront être intégrées aux outils de planification afin d'éclairer les aménagistes sur les scénarios sylvicoles les plus appropriés pour l'atteinte des objectifs d'aménagement.

Références

- ANONYME, 1994. Programme de lutte contre le dépérissement des érablières : rapport final 1988-1993. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts. 82 pages.
- BÉDARD, S. et F. BRASSARD, 2002. Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 et 1996. Ministère des Ressources naturelles du Québec. 15 pages.
- BERNIER, B. et M. BRAZEAU, 1988a. Foliar nutrient status in relation to sugar maple dieback and decline in the Québec Appalachians. *Revue canadienne de recherche forestière* 18 : 754-761.
- BERNIER, B. et M. BRAZEAU, 1988b. Nutrient deficiency symptoms associated with sugar maple dieback and decline in the Québec Appalachians. *Revue canadienne de recherche forestière* 18 : 762-767.
- CÔTÉ, B., HENDERSHOT, W. H. et I. O'HALLORAN, 1993. Response of sugar maple to seven types of fertilization in southern Quebec : growth and nutrient status. Pages 162-174 dans Huetti/Mueller et Dombois, éditeurs. *Forest decline in the Atlantic and Pacific region*. Springer-Verlag, Berlin.
- DUCHESNE, L., OUIMET, R. et D. HOULE, 2002. Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients. *Journal of Environmental Quality* 31 : 1676-1683.
- DUCHESNE, L., OUIMET, R. et C. MORNEAU, 2003. Assessment of sugar maple health based on basal area growth pattern. *Revue canadienne de recherche forestière* 33 : 2074-2080.
- DUCHESNE, L., OUIMET, R., MOORE J.-D. et R. PAQUIN, 2005. Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada. *Forest Ecology and Management* 208 : 223-236.
- DUCHESNE, L. et R. OUIMET, 2008. Population dynamics of tree species in southern Quebec, Canada : 1970-2005, *Forest Ecology and Management* 255 : 3001-3012.
- DUCHESNE, L. et D. HOULE, 2006. Base cation cycling in a pristine watershed of the Canadian boreal forest. *Biogeochemistry* 78 : 195-216.
- DUCHESNE, L. et D. HOULE, 2008. Investigating the impact of nutrient cation removal through harvesting on the long term sustainability of the boreal forest. *Ecological Applications* (sous presse).
- FORGET, É., NOLET P., DOYON, F., DELAGRANGE, S. et Y. JARDON, 2007. Ten-year response of northern hardwood stands to commercial selection cutting in southern Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management* 242 : 764-775.
- HENDERSHOT, W. H. et F. COURCHESNE, 1994. Effect of base cation addition on soil chemistry in a sugar maple forest of the Lower Laurentians, Quebec. *Revue canadienne de recherche forestière* 24 : 609-617.
- HORSLEY, S.B., LONG, R.P., BAILEY, S.W., HALLET, R.A. et P.M. WARGO, 2002. Health of eastern North American sugar maple forests and factors affecting decline. *Northern Journal of Applied Forestry* 19 : 34-44.
- HOULE, D., PAQUIN, R., CAMIRÉ, C., OUIMET, R. et L. DUCHESNE, 1997. Response of the Lake Clair Watershed (Duchesnay, Québec) to changes in precipitation chemistry (1988-1994). *Revue canadienne de recherche forestière* 17 : 1813-1821.
- HOULE, D., DUCHESNE, L., MOORE, J.-D., LAFLÈCHE, M. et R. OUIMET, 2002. Soil and tree-ring response to soil liming in a sugar maple stand, Lake Clair Watershed, Québec, Canada. *Journal of Environmental Quality* 31 : 1993-2000.
- LABRECQUE, P., NOLET, P. et G.F. LESAGE, 2006. Projet de sylviculture par objectifs 2005-2006. Rapport final. 114 p.
- MOORE, J.D., CAMIRÉ, C. et R. OUIMET, 2000. Effects of liming on the nutrition, vigour, and growth of sugar maple at the Lake Clair Watershed, Québec, Canada. *Revue canadienne de recherche forestière* 30 : 725-732.
- MOORE, J.-D., DUCHESNE, L. et R. OUIMET, 2008. Soil properties and maple-beech regeneration a decade after liming in a northern hardwood stand. *Forest Ecology and Management* 255 : 3460-3468.
- NEG/ECP FOREST MAPPING GROUP, 2007. Mapping forest sensitivity to atmospheric acid deposition. 2006-2007 Annual Report. Committee on the Environment of the Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers, Halifax, NS.
- NOLET, P. et E. FORGET, 2004. Accroissement et mortalité 10 ans après jardinage dans la région des Hautes-Laurentides. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Québec, Canada. 26 p.
- NOLET, P., HARTMANN, H., BOUFFARD, D. et F. DOYON, 2007. Predicted and observed sugar maple mortality in Relation to site quality indicators. *Northern Journal of Applied Forestry* 24 : 258-264.
- OUIMET, R., 1995. Suivi forestier du programme de lutte contre le dépérissement des érablières : Résultats des suivis un, trois et cinq ans des opérations de fertilisation 1989 à 1992. Rapport interne no 402, Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles. 14 p.
- OUIMET, R., ARP, P.A., WATMOUGH, S.A., AHERNE, J. et I. DEMERCHANT, 2006. Determination and mapping critical loads of acidity and exceedances for upland forest soils in Eastern Canada. *Water Air and Soil Pollution* 172 : 57-66.
- OUIMET, R. et J.-M. FORTIN, 1992. Growth and foliar nutrient status of sugar maple : Incidence of forest decline and reaction to fertilization. *Revue canadienne de recherche forestière* 22 : 699-706.
- OUIMET, R., DUCHESNE, L. et C. CAMIRÉ, 2003. DELFES : diagnostic des éléments limitatifs selon le feuillage de l'érable à sucre et le sol. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. Version 1.0.
- OUIMET, R., MOORE, J.-D. et L. DUCHESNE, 2008. Long-term effects of acid, neutral, and basic amendments on a sugar maple stands of Québec, Canada. *Forest Ecology and Management* (sous presse).
- PÉRIÉ, C., OUIMET, R. et L. DUCHESNE, 2006. Évolution contemporaine des principales caractéristiques dendrométriques des stations du RÉSEF. Mémoire de recherche forestière n° 149, Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 161 p.
- ROY, G., LAROCQUE, G.R. et C. ANSSEAU, 2004. Retrospective evaluation of the onset period of the visual symptoms of dieback in five Appalachian sugar maple stand types. *Forestry Chronicle* 80 : 375-383.
- THIFFAULT, E., PARÉ, D., BÉLANGER, N., MUNSON, A.D. et F. MARQUIS, 2006. Harvesting intensity in the boreal forest : impacts on soil nutrient availability and tree nutrition. *Soil Science Society of America Journal*, 70(2) : 691-701. 🌳