

Augmentation du couvert en peuplier faux-tremble dans les pessières noires du nord-ouest du Québec après coupe totale¹

SIMON LAQUERRE², Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 445 boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, Québec J9X 5E4, Canada, simon.laquerre@uqat.ca

Alain LEDUC, Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable, Centre d'étude sur la forêt et Département des sciences biologiques, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, Succ. Centre-Ville, Montréal, Québec H3C 3P8, Canada.

Brian D. HARVEY, Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 445 boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, Québec J9X 5E4, Canada.

Résumé : En forêt boréale de l'est du Canada, le terme enfeuilletement est généralement réservé au phénomène d'augmentation de la proportion relative de feuillus de lumière, notamment du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), qui survient après coupe forestière. Il est perçu comme un processus qui, bien qu'ayant cours à une échelle locale, a des répercussions à l'échelle régionale. L'objectif de cette étude était de caractériser l'augmentation du couvert de peuplier suite à la coupe totale dans la plaine argileuse de l'Abitibi, dans le nord-ouest du Québec. Les données de 3 inventaires forestiers provinciaux (1970, 1980 et 1990) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec ont été analysées pour 2 régions écologiques, la plaine de l'Abitibi (sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest) et la plaine du lac Matagami (sous-domaine de la pessière à mousses de l'Ouest). Un bilan des transformations qu'a subi le couvert forestier sous l'influence des coupes totales sur près de 3 décennies a été dressé en fonction du temps écoulé depuis la coupe, du dépôt/drainage et de la région écologique. Les résultats montrent que les argiles mésiques sont particulièrement sensibles à l'enfeuilletement par le peuplier et que le taux global d'enfeuilletement dans la sapinière et la pessière est d'environ 30 % entre les années 1970 à 1990. Par ailleurs, malgré une plus grande abondance de milieux humides et organiques peu propices à l'établissement du peuplier dans la région de la pessière, les 2 régions comparées semblent démontrer la même sensibilité (ou propension) à l'enfeuilletement. Sur les sites considérés sensibles, la pessière noire devrait donc faire l'objet de pratiques d'aménagement adaptées visant à limiter l'augmentation de la composante feuillue.

Mots-clés : coupe totale, enfeuilletement, pessière noire, peuplier faux-tremble, SIFORT.

Abstract: In the eastern Canadian boreal forest, the term hardwood expansion or encroachment (enfeuilletement in French) generally refers to the phenomenon of increasing cover of intolerant hardwoods, notably aspen (*Populus tremuloides*), following clearcutting. Such expansion is perceived as a local (stand-level) process that is reflected at a larger, regional scale. The objective of this study was to characterize the increase in aspen cover following clearcutting in the clay belt of Abitibi, in northwestern Quebec. Regional data from 3 province-wide forest inventories (1970, 1980, and 1990) conducted by the Quebec Ministry of Natural Resources and Wildlife were analyzed for 2 ecological regions, the Abitibi Plain (western balsam fir–white birch bioclimatic subdomain) and the Matagami Lake Plain (western black spruce–feathermoss bioclimatic subdomain). An assessment was done of forest cover transformations following clearcutting over 3 decades based on time since harvesting, surface deposit/drainage, and ecological region. Results show that mesic clay sites are particularly susceptible to aspen encroachment and that the overall rate of encroachment from the 1970s to the 1990s in the black spruce and balsam fir regions has been about 30%. Moreover, despite the greater abundance of poorly drained and organic sites, less favourable to hardwood establishment, in the more northerly black spruce region, the 2 regions appear to present the same sensitivity (or propensity) to intolerant hardwood expansion. On sensitive sites, management of black spruce forests should include adaptive practices to limit increases of the hardwood component.

Keywords: aspen, black spruce, clearcut, hardwood encroachment, SIFORT.

Nomenclature: Marie-Victorin, 1995.

Introduction

Le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) est une des espèces arborescentes les plus communes des forêts tempérées et boréales d'Amérique du Nord (Chen, Krestov

& Klinka, 2002), s'étendant d'ouest en est depuis l'Alaska jusqu'à Terre-Neuve et vers le sud, jusqu'en Ohio et en Arizona (Perala, 1990). Au Québec, Grondin *et al.* (2003) ont noté que la proportion de peuplements de feuillus de lumière (peuplier faux-tremble et bouleau blanc [*Betula papyrifera*]) est naturellement plus grande dans la forêt boréale de l'ouest (sapinière et pessière) que dans la forêt boréale de l'est de la province. Cette différence naturelle

¹Rec. 2009-01-05; acc. 2009-10-19.

Associate Editor: Hugo Asselin.

²Author for correspondence.

DOI 10.2980/16-4-3252

s'expliquerait par une augmentation des précipitations et un allongement du cycle de feu (donc plus de vieilles forêts) de l'ouest vers l'est.

Dans la forêt boréale du nord-ouest du Québec, la dynamique naturelle des peuplements et le régime de perturbations, dominé par des feux et des épidémies d'insectes défoliateurs, conduisent à des mosaïques forestières où s'entremêlent des pessières noires pures (*Picea mariana*), des pessières noires ponctuées de peupliers faux-trembles et des îlots de peupliers faux-trembles de dimensions variables (Grondin *et al.*, 2003). Depuis le début du XX^e siècle, la colonisation humaine du territoire et l'exploitation forestière ont considérablement rajouté et modifié la composition de la forêt de cette région (Bergeron *et al.*, 2002). Le morcellement du paysage par les feux d'origine humaine, les routes, les champs agricoles et les aires de coupe a entraîné une augmentation de la proportion des forêts de feuillus pionniers (Harvey & Bergeron, 1989; Drapeau *et al.*, 2000; Lefort, Gauthier & Bergeron, 2003). L'augmentation de la composante feuillue suite aux incendies fait partie de la dynamique naturelle, bien que ce phénomène soit observé davantage dans la sapinière que dans la pessière (Gauthier, De Grandpré & Bergeron, 2000). Le terme enfeuilletement est généralement réservé au phénomène d'augmentation de la proportion relative de feuillus de lumière, notamment du peuplier faux-tremble, après coupe totale. Il est perçu comme un processus agissant à l'échelle locale (du peuplement) qui se répercute à l'échelle régionale. Grondin *et al.* (2003) soulèvent la possibilité qu'avec la progression des coupes forestières vers le nord, le peuplier faux-tremble risque de poursuivre son expansion dans des territoires beaucoup plus nordiques favorisant ainsi un empiètement du sous-domaine bioclimatique de la sapinière (*Abies balsamea*) sur celui de la pessière.

Le but de cette étude était de déterminer l'ampleur du phénomène d'enfeuilletement dans 2 régions écologiques de la plaine argileuse de l'Abitibi, Québec, pendant une période d'environ 30 ans, soit entre les années 1970 et 1990. D'après Gauthier *et al.* (2000), l'établissement des essences intolérantes à l'ombre après le passage d'un feu est moins important dans la pessière à mousses du nord de l'Abitibi que dans la sapinière à bouleau blanc. Cette différence serait due à l'abondance des dépôts organiques et des tourbières dans la pessière, qui limite l'importance du peuplier faux-tremble à l'échelle du paysage. Nous posons donc comme première hypothèse que la sensibilité à l'enfeuilletement sera moindre dans la pessière que dans la sapinière.

Le peuplier faux-tremble est particulièrement sensible aux conditions de dépôt et de drainage. Brumelis et Carleton (1988), de même que Chen, Krestov et Klinka (2002), notent qu'après coupe, le peuplier faux-tremble colonise davantage les sites bien drainés. Selon Harvey, Leduc et Bergeron (1995), Lefort *et al.* (2002), ainsi que Grondin *et al.* (2003), le peuplier faux-tremble montre une bonne capacité à revenir après coupe et à se propager sur des dépôts fins tels les argiles glaciolacustres. Nous posons donc comme deuxième hypothèse que les sites mésiques (particulièrement les argiles) sont plus sensibles à l'enfeuilletement par le peuplier faux-tremble que les sites subhydriques.

Méthodes

RÉGION D'ÉTUDE

Selon Rowe (1972), la région à l'étude est localisée dans la région forestière B.4, Argiles du Nord, entre les basses terres de la baie de James et le bassin de l'Outaouais, sur la grande ceinture argileuse du nord-ouest du Québec (Figure 1). Il s'agit d'une vaste plaine d'argile située à environ 300 m d'altitude, qui s'incline faiblement vers la baie de James et dont les sédiments glaciolacustres constituent les vestiges de l'ancien lac proglaciaire Ojibway (Vincent & Hardy, 1977).

Aux fins de cette étude, la régionalisation écologique du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF, 2003b) a servi de base de comparaison pour 2 régions adjacentes. La région écologique 5a, qui correspond à la Plaine de l'Abitibi, appartient au sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest et couvre une superficie de 26 895 km² (Grondin, Blouin & Racine, 1998). Le relief y est ondulé dans la partie sud et plat dans la partie nord (Gauthier, De Grandpré & Bergeron, 2000). Les dépôts d'argiles glaciolacustres sont omniprésents, composant 46 % du territoire (Tableau I). Viennent ensuite les dépôts organiques (27 %) et les tills (13 %). La température moyenne annuelle est de 1 °C. La saison de croissance est de l'ordre de 160 jours et les précipitations totales annuelles sont de 800 à 900 mm (Grondin, Blouin & Racine, 1998). Ce territoire est sous l'influence des activités humaines (défrichement, agriculture, exploitations forestière

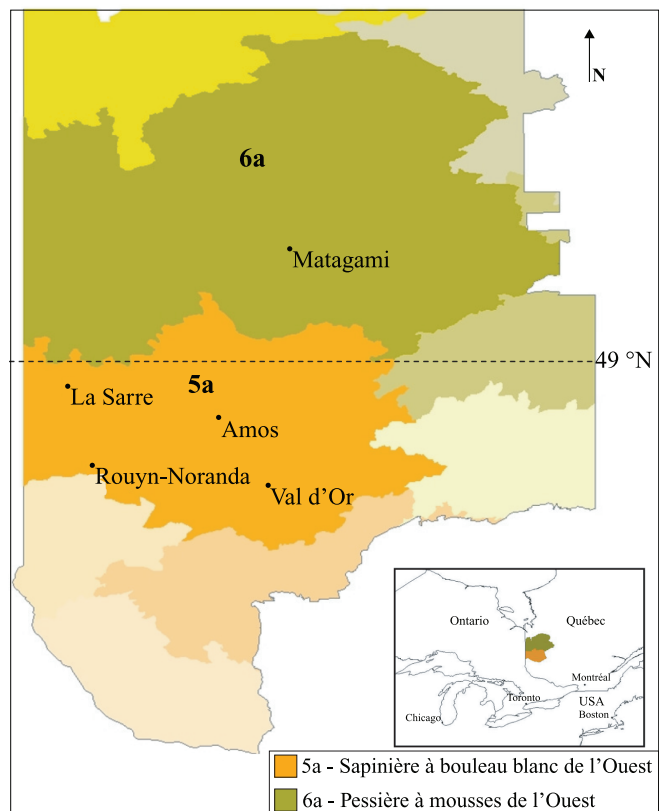


FIGURE 1. Territoire d'étude couvrant les régions écologiques 5a (Plaine de l'Abitibi) et 6a (Plaine du lac Matagami).

TABLEAU I. Pourcentage (%) des regroupements dépôt/drainage en fonction des régions écologiques.

Dépôt/drainage	Région 5a	Région 6a
Argile mésique	9	8
Argile subhydrique	37	30
Till mésique	11	12
Till subhydrique	2	3
Sable mésique	5	2
Sable subhydrique	2	1
Fluvioglaciale	2	1
Organique	27	42
Roc	5	1

et minière, construction d'infrastructures de transport et urbanisation) depuis le début des années 1910.

La région écologique 6a (Plaine du lac Matagami), située au nord de la 5a, appartient au sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'Ouest. Elle couvre une superficie de 49 099 km² (Bergeron, Grondin & Blouin, 1998). Le relief y est plat et les tourbières y abondent. Les sols organiques occupent près de 42 % du territoire tandis que les dépôts d'argiles glaciolacustres et les tills se trouvent sur 38 % et 15 % du territoire, respectivement (Tableau I). La température moyenne annuelle est de 0 à -2.5 °C, la saison de croissance est d'environ 150 jours et les précipitations totales annuelles sont de 700 à 800 mm (Robitaille & Saucier, 1998). Depuis le début des années 1930, la partie sud de ce territoire est sous l'influence d'activités humaines liées à la colonisation tandis que la partie nord fait l'objet d'une exploitation forestière industrielle depuis les années 1970.

La transition de la sapinière à la pessière, autour du 49° N, serait principalement attribuable à la dimension et à la sévérité des feux (Bergeron *et al.*, 2004), à une diminution vers le nord du potentiel reproducteur du sapin (Messaoud, Bergeron & Asselin, 2007) ainsi qu'à l'histoire postglaciaire (Messaoud, Bergeron & Leduc, 2007). Dans la sapinière, l'abondance des essences feuillues, la présence de plans d'eau, de routes et de terres agricoles agissent comme coupe-feu et contribuent à réduire la dimension et la sévérité des feux. À l'inverse, la pessière, dont la vocation agricole est demeurée marginale, présente un régime de feux peu altéré par l'homme.

BASES DE DONNÉES SIFORT

Le Système d'information forestière par tesselle (SIFORT) est une base de données géographique qui a été développée par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de l'environnement et de la protection des forêts (MRNF-DEPF), en partenariat avec la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU) et la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM) (Pelletier *et al.*, 2001). Il s'agit d'un système de représentation cartographique numérisé basé sur les cartes écoforestières (1:20 000) du MRNF dans lequel le territoire forestier du Québec est découpé en une mosaïque de polygones rectangulaires désignés sous le nom de tesselles (MRNF, 2003a). Chaque tesselle représente 15 secondes de latitude sur 15 secondes de longitude, ce qui équivaut à

une superficie moyenne de 14 ha. Les tesselles sont caractérisées par l'ensemble des attributs du polygone écoforestier se situant en leur centre. Parmi les attributs représentés pour chaque tesselle, on trouve le type de couvert, le groupement d'essences, les classes de densité, de hauteur et d'âge ainsi que des informations relatives à l'historique des peuplements, aux interventions forestières et aux perturbations naturelles. On trouve également des données du milieu physique, soit le type de dépôt de surface et la classe de drainage. Cette base de données couvre la totalité du Québec méridional. Les données SIFORT sont disponibles pour les 3 inventaires forestiers décennaux provinciaux correspondant aux années 1970, 1980 et 1990 (MRNF 2003c). L'avantage de SIFORT est sa capacité à décrire des changements dans le couvert forestier sur de vastes territoires au cours des 30 dernières années. Cependant, la faible résolution (un point tous les 14 ha) peut mener à des inconsistances lors de la superposition des différents inventaires (Pelletier *et al.*, 1996).

ANALYSES SIFORT

La base de données de tesselles a été triée en fonction de l'origine de la perturbation, la région écologique, les conditions de dépôt et drainage, la strate de retour et le temps écoulé depuis la coupe. Dans un premier temps, toutes les tesselles situées dans les régions 5a et 6a ayant subi une coupe totale (CT) ont été sélectionnées. Les tesselles qui ont subi une coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) ont été retirées du jeu de données en raison de leur trop petit effectif et du trop court temps écoulé depuis la coupe (l'application de la CPRS a débuté dans les années 1990 alors que le dernier inventaire décennal date de 1996). Afin d'isoler la réponse aux coupes totales, les tesselles comportant des traitements sylvicoles (plantation, ensemencement, dégagement, éclaircie précommerciale) ou ayant subi un feu avant ou après la coupe ont aussi été écartées.

Par la suite, l'échantillon créé a été divisé en 2 groupes, selon que la coupe datait d'avant ou d'après le premier inventaire décennal (antérieur à 1970). Pour les coupes datant d'avant le premier décennal, la composition d'origine et l'année de coupe sont inconnues. Toutefois, on peut supposer que la composition d'origine était principalement constituée de pessières noires pures (ou à dominance résineuse) étant donné que l'essence recherchée par l'industrie à cette époque était essentiellement l'épinette noire (Blanchard, 1954; Perron, 1989).

Le second groupe de tesselles comprend les peuplements coupés après le premier inventaire décennal. Leur composition d'origine est connue et identifiée sur les inventaires du premier décennal. Seules les tesselles dont la strate prélevée correspondait à des pessières noires ont été retenues, les autres types de peuplements ont été écartés du jeu de données en raison de leurs trop faibles effectifs.

Les données du troisième inventaire décennal ont été utilisées afin d'identifier la strate de retour issue des coupes totales. Pour les peuplements de plus de 7 m de hauteur, la variable « groupement d'essences » décrit la composition « arborescente » d'un peuplement selon l'importance relative

des essences principales qui le composent. Lorsque le peuplement fait moins de 7 m de hauteur, la distinction de groupement d'essences n'est pas possible sur les photos aériennes et le peuplement est associé au stade « arbustif ». Seulement 3 grands types de couverts forestiers sont alors distingués par le photo-interprète et désignés sur les cartes, soit résineux (≥ 75 % résineux), mélangé (26 à 74 % résineux) et feuillu (≤ 25 % résineux) (Saucier, 1994). Lorsque même ces types de couverts sont peu développés, ce qui est généralement le cas immédiatement après une coupe, le terme « dénudé » est employé. Cette distinction « arborescent – arbustif – dénudé » est importante pour l'interprétation du stade de développement des peuplements en fonction de l'âge des coupes

Les dépôts de surface et les classes de drainage ont été déterminés suivant la nomenclature du MRNF (Saucier, 1994). Dans l'ensemble des 2 régions écologiques, 21 types de dépôts de surface, 6 catégories d'épaisseur et 8 classes de drainage ont été répertoriés. Dans le cadre de cette étude, les dépôts, l'épaisseur des dépôts et les classes de drainage ont été regroupés en 9 types édaphiques (Appendice I). Ces regroupements ont été réalisés sur la base de la texture des dépôts. Selon la base SIFORT, 4 principaux profils édaphiques couvrent plus de 90 % des superficies : sols organiques, argiles subhydriques, argiles mésiques et tills mésiques (Tableau I).

Comme la conception des cartes forestières et écoforestières repose sur la photo-interprétation, il est possible de connaître précisément la date des prises de photos aériennes ayant servi au travail. En calculant la différence entre la date de coupe et la date des photos prises après coupe, on obtient le temps écoulé depuis la coupe. Pour le groupe de tesselles dont les peuplements ont été coupés avant le premier décennal, l'année précise de coupe demeure inconnue. Par contre, on peut estimer que ces coupes ont plus de 20 ans, car elles datent d'avant 1970 et que les photos aériennes du troisième décennal ont été prises après 1991.

En ce qui a trait aux coupes réalisées entre le premier et le troisième inventaire décennal, elles présentaient un âge variant entre 1 et 28 ans. Un faible nombre de tesselles (correspondant aux anciennes coupes) ne présentent pas de spécification quant à l'année de coupe. Dans ce cas, un temps écoulé depuis la coupe de plus de 20 ans leur a été attribué.

ANALYSES STATISTIQUES

Chaque tesselle a été classée selon qu'elle témoignait d'un cas d'enfeuillement par le peuplier ou non. Un cas d'enfeuillement était noté lorsque la strate de retour présentait du peuplier en proportion plus grande (25 % et plus) que la strate d'origine. Le peuplier baumier (*Populus balsamifera*) a été inclus dans les cas d'enfeuillement étant donné que les cartes forestières ne permettent pas de différencier cette essence du peuplier faux-tremble. La catégorie cartographique de « feuillu d'essences intolérantes » n'a pas été classée comme un enfeuillement par le peuplier, car la proportion en bouleau blanc contenue dans ce groupement d'essences est inconnue et risque d'influencer les résultats.

Les effets des facteurs potentiellement explicatifs de variations de la susceptibilité à l'enfeuillement (types de

dépôt/drainage, régions écologiques, temps écoulé depuis la coupe) ont été analysés à l'aide de tableaux de contingence. Ces tableaux permettent de comparer les fréquences de cas d'enfeuillement sous divers contextes environnementaux. La statistique d'écart de Neu *et al.* (1974) a permis de déterminer quels étaient les contextes environnementaux produisant des déviations significatives (Legendre & Legendre, 1998). La déviance renvoie à la différence entre la fréquence observée (Obs.) et la fréquence espérée (Esp.) selon l'hypothèse d'indépendance ou d'homogénéité des effets.

La fréquence espérée s'obtient par le produit des probabilités inconditionnelles des événements lignes (ex. : enfeuillement) et colonnes (ex. : argile mésique) du tableau de contingence. La valeur de la statistique de Neu *et al.* (1974) peut être comparée à une valeur critique de Z permettant ainsi de déterminer le degré de signification de la déviance à un niveau de probabilité donné.

$$Z \text{ de Neu} = |\text{Obs.} - \text{Esp.}| / \text{racine} [\text{Obs.} (1 - \text{Obs.} / n)]$$

Résultats

STRATE DE RETOUR VERSUS TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LA COUPE

Pour les coupes réalisées après 1970, la strate de retour recensée lors du troisième inventaire décennal correspond à des temps écoulés depuis la coupe variant de 1 an à plus de 20 ans. Nous avons donc dans un premier temps analysé la relation entre le temps écoulé depuis la coupe et le stade de développement de la strate de retour, soit arborescent, arbustif ou dénudé, tel qu'interprété sur les photos aériennes et exprimé sur les cartes écoforestières et par SIFORT. L'analyse des déviations de la dynamique de développement des strates de retour dans le temps a permis de classer les coupes totales en 3 sous-populations selon le temps écoulé depuis la récolte : les jeunes coupes (1 à 14 ans) caractérisées par une dominance du stade dénudé, les coupes d'âge intermédiaire (15 à 19 ans) dans lesquelles le stade arbustif connaît son apogée et les vieilles coupes totales (20 ans et plus) où le stade arborescent prend plus d'importance et les groupements d'essences se distinguent davantage sur les photos aériennes (Figure 2). Le changement de la proportion relative des stades dénudé et arborescent avec l'âge de la coupe reflète la tendance attendue que les superficies dénudées diminuent avec le temps tandis que celles du stade arborescent augmentent. Il demeure tout de même que 62 % des vieilles coupes (≥ 20 ans) n'aient toujours pas atteint la hauteur de 7 m, nécessaire pour se voir attribuer une appellation arborescente.

Pour les jeunes coupes et les coupes d'âge intermédiaire, le stade arborescent atteint des proportions de 3 % et 7 %, respectivement. Ces effectifs étant trop faibles pour quantifier l'incidence du phénomène d'enfeuillement, tel qu'exprimé par une identification des groupements d'essences, les jeunes coupes et les coupes d'âge intermédiaire ont donc été retirées des analyses subséquentes.

Comme les coupes totales précédant le premier inventaire décennal (antérieur à 1970) sont âgées de plus de 20 ans, elles ont été combinées aux vieilles coupes totales réalisées après le premier inventaire décennal afin d'en augmenter l'effectif.

ENFEUILLEMENT PAR LE PEUPLIER *VERSUS* DÉPÔT/DRAINAGE

L'analyse de la fréquence de cas d'enfeuillement par couplet dépôt/drainage pour les 2 régions écologiques confondues (Figure 3) indique que le peuplier revient plus fortement sur les sites modérément drainés (argiles mésiques, tills mésiques, sables mésiques, dépôts fluvio-glaciaires) que sur les sites à drainage imparfait, exception faite des argiles subhydriques. Selon la statistique d'écart de Neu, les déviations des argiles mésiques et subhydriques sont significatives, démontrant ainsi leur grande sensibilité à l'enfeuillement. Les déviations des tills subhydriques, des sables subhydriques, des sols organiques et des affleurements rocheux ressortent également comme significatives, montrant une résistance à la colonisation par le peuplier.

ENFEUILLEMENT PAR LE PEUPLIER *VERSUS* RÉGIONS ÉCOLOGIQUES

L'analyse globale révèle que la fréquence des cas d'enfeuillement est semblable dans les 2 régions écologiques, soit 29 % dans la sapinière (Plaine d'Abitibi) et 31 % dans la pessière (Plaine du lac Matagami). Les effectifs croisés entre la fréquence des cas d'enfeuillement et les régions écologiques ont été calculés spécifiquement pour les argiles mésiques, les argiles subhydriques et les tills mésiques. Il s'agit des profils édaphiques qui couvrent les plus grandes superficies de territoire et qui ont les plus fortes chances de subir l'enfeuillement. La Figure 4 montre que 56 % des argiles mésiques, 33 % des argiles subhydriques et 27 % des tills mésiques ont subi un enfeuillement dans la sapinière comparativement à 51 %, 28 % et 39 %, respectivement, dans la pessière. L'analyse des tests d'écart de Neu montre une différence significative pour les tills mésiques de la pessière, indiquant que ces derniers sont plus sensibles à l'enfeuillement que ceux de la sapinière.

Discussion

RETARD DU DÉVELOPPEMENT FORESTIER APRÈS COUPE TOTALE?

Un résultat plutôt inattendu de notre démarche d'analyse avec SIFORT est le constat d'un apparent retard dans le développement d'une portion importante des peuplements issus de vieilles coupes (Figure 2). Malgré que ce constat découle d'une analyse qui inclut l'interprétation de photos aériennes, la cartographie écoforestière au 1:20 000 et la tessellation de la cartographie par SIFORT, le fait demeure que seulement 38 % des coupes de plus de 20 ans ont été classifiées en termes de leur composition arborescente. La proportion élevée des superficies identifiées comme arbustives (résineux - mélangé - feuillu) laisse planer de l'incertitude quant à l'avenir de presque 2/3 des vieilles aires de coupe. Puisque la croissance initiale du peuplier est généralement rapide, il semblait réaliste que la hauteur de 7 m soit atteinte à l'intérieur de 20 ans. Or, ce constat ouvre la possibilité que des espèces arbustives hautes, comme les aulnes (*Alnus* spp.) et les saules (*Salix* spp.) constituent une composante feuillue importante de ces strates de retour. Une analyse plus fine à l'aide d'outils ayant une meilleure résolution que SIFORT serait nécessaire pour documenter le phénomène.

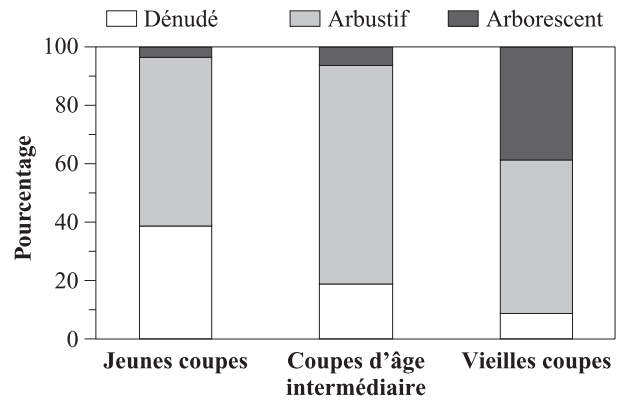


FIGURE 2. Proportion des stades de développement (selon l'appellation cartographique du MRNF) *versus* âge des coupes totales réalisées entre le 1^{er} et le 3^e inventaire forestier décennal (jeunes coupes : 1 à 14 ans; coupes d'âge intermédiaire : 15 à 19 ans; vieilles coupes : ≥ 20 ans).

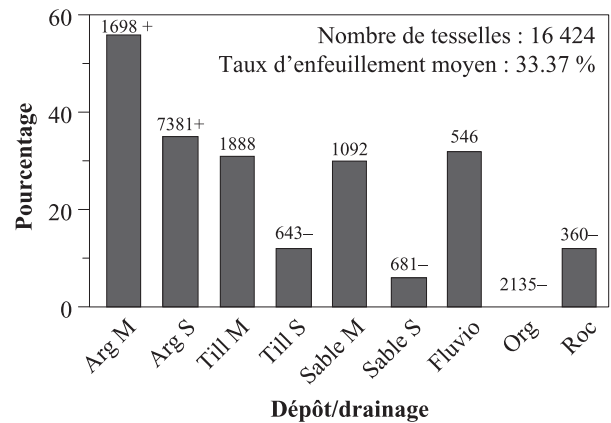


FIGURE 3. Taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble *versus* dépôt/drainage pour 2 régions écologiques. Arg M = argile mésique; Arg S = argile subhydrique; Till M = till mésique; Till S = till subhydrique; Sable M = sable mésique; Sable S = sable subhydrique; Fluvio = fluvio-glaciaire; Org = organique; (+) déviation positive; (-) déviation négative; les nombres au-dessus des barres réfèrent au nombre de tesselles.

EFFET DE LA RÉGION ÉCOLOGIQUE ET DU DÉPÔT/DRAINAGE SUR L'ENFEUILLEMENT

Les résultats des analyses SIFORT réfutent l'hypothèse selon laquelle la sapinière (Plaine d'Abitibi) soit plus susceptible à l'enfeuillement par le peuplier que la pessière (Plaine du lac Matagami). Le fait d'observer quelques différences de la dynamique des 2 régions ne peut être attribué uniquement à des raisons climatiques, car les espèces arborescentes sont présentes dans les 2 régions, loin de leur limite nordique de répartition (Gauthier, De Grandpré & Bergeron, 2000; Bergeron *et al.*, 2004). Toutefois, il est connu que le peuplier faux-tremble est naturellement plus abondant dans la sapinière (Bergeron, Grondin & Blouin, 1998). Ces différences pourraient être en partie attribuables au fait qu'il y a légèrement plus de sites vulnérables à l'enfeuillement (argiles et tills mésiques) au sud qu'au nord (57 % *versus* 50 %, Tableau I). De plus, étant donné que la région de la sapinière est plus urbanisée (routes, villages, terres agricoles adjacentes), elle a connu un plus long historique de perturbations d'origine anthropique conduisant

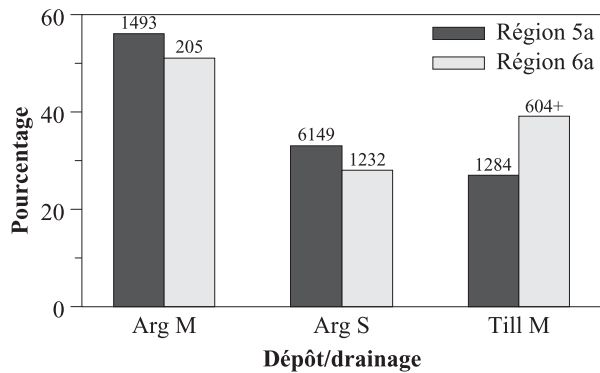


FIGURE 4. Taux d'enfeuillement par le peuplier faux-tremble *versus* région écologique. Arg M = argile mésique; Arg S = argile subhydrique; Till M = till mésique; (+) = déviance positive; les nombres au-dessus des barres réfèrent au nombre de tesselles.

à une augmentation probable du couvert en peuplier faux-tremble. À l'inverse, la région de la pessière, située plus au nord, bien qu'ayant été exploitée pour ses ressources forestières et minières, est demeurée relativement peu occupée. Par conséquent, le réseau routier y est beaucoup moins développé et l'exploitation agricole pratiquement absente.

Les résultats tirés des bases SIFORT appuient par contre l'hypothèse selon laquelle les sites mésiques sont plus sensibles à l'enfeuillement par le peuplier que les sites subhydriques. Les argiles mésiques sont nettement sensibles à l'envahissement par le peuplier et cela autant au nord qu'au sud. Les argiles subhydriques apparaissent toutefois moins enclines à l'enfeuillement. La différence entre les argiles mésiques et subhydriques est encore plus grande dans la pessière (Plaine du lac Matagami). Un régime hydrique déficient ainsi qu'une mauvaise oxygénation et une température ambiante du sol plus froide affectent négativement l'établissement et la production de drageons de peuplier faux-tremble (Frey *et al.*, 2003). De plus, les peuplements d'épinette noire dominent les dépôts organiques qui sont d'ailleurs plus abondants dans le nord (Gauthier, De Grandpré & Bergeron, 2000; Harper *et al.*, 2003; Lecomte & Bergeron, 2005). L'épinette noire se régénère relativement bien sur des sites pauvres et mal drainés, où la compétition avec les essences à croissance rapide telle le peuplier faux-tremble est moins forte. À l'inverse, le peuplier faux-tremble montre une agressivité particulière à se propager sur des dépôts riches, fins et bien drainés tels les argiles mésiques (Brumelis & Carleton, 1988; Harvey, Leduc & Bergeron, 1995; Lefort *et al.*, 2002; Grondin *et al.*, 2003).

IMPORTANCE DE LA COMPOSITION DU COUVERT D'ORIGINE

Le processus d'enfeuillement est conditionné par la composition du couvert forestier avant coupe. Bien que le peuplier faux-tremble puisse s'établir sur un site récemment perturbé par voie sexuée (graines), son principal mode de régénération locale est asexué (drageons) et nécessite la présence de tiges mères dans le peuplement d'origine (Schier, 1981). Les graines du peuplier faux-tremble sont petites, avec une viabilité éphémère, et s'établissent surtout sur des lits de germination sur sol minéral humide (Burns & Honkala, 1990). Par conséquent, la fenêtre de colonisation

par dispersion de graines est relativement étroite, particulièrement dans les régions à climat continental et sec ou sur les sites où les dépôts organiques dominent. L'observation de Fortin (2008) du phénomène d'expansion linéaire du peuplier le long de chemins et d'emprises électriques en Gaspésie, Québec, par dispersion de graines, est sans doute partiellement attribuable au niveau de précipitations plus favorable à la régénération sexuée dans cette région. Bien que l'établissement du peuplier puisse être observé le long des routes de l'Abitibi, les traits vitaux du peuplier lui permettant de faire face aux perturbations et l'étendue de sites peu propices à son établissement font en sorte de limiter les cas d'invasion réelle résultant de la dispersion de graines (Laquerre, Leduc & Harvey, sous presse). La plus grande vulnérabilité des buttes de till de la pessière à mousses serait vraisemblablement le reflet d'un héritage passé de mise en place des compositions forestières. La composition du couvert forestier des tills de la sapinière à bouleau blanc comporte une bonne part de bouleau blanc alors que celle des tills de la pessière à mousses présente une plus forte proportion de peuplier. C'est ce que révèle l'analyse du réseau de placettes d'échantillonnage temporaires établi par le MRNF au cours des 30 dernières années. Les peuplements d'épinette noire situés dans la sapinière à bouleau blanc sont plus fréquemment accompagnés de bouleau blanc (25 % d'entre elles) alors que seulement 5 % des pessières du nord recèlent du bouleau blanc à titre d'essence compagne. En comparaison, le peuplier occupe 17 % des pessières sur till au nord, alors que 11 % des pessières du sud comportent du peuplier comme espèce compagne.

RAJEUNISSEMENT DU COUVERT FORESTIER

Nos résultats permettent d'affirmer que suite à la coupe totale, le peuplier prend de l'expansion à l'échelle régionale. D'ailleurs, plusieurs auteurs ont noté le même phénomène, affirmant même que la coupe favorise davantage l'enfeuillement que ne le fait le feu (Carleton & MacLellan, 1994; Weir & Johnson, 1998; Lefort, Gauthier & Bergeron, 2003). En raison du trop faible effectif de tesselles ayant été perturbées par le feu (sans récupération), nous n'avons pu utiliser SIFORT pour évaluer le degré d'enfeuillement suite aux incendies forestiers. Malgré l'absence de cette référence, l'envahissement rapide d'aires brûlées par des feuillus intolérants en forêt boréale a été rapporté ailleurs dans la littérature (Greene *et al.*, 2004; Johnstone & Chapin, 2006). Nous sommes donc devant un phénomène naturel d'augmentation des essences de lumière suite à une perturbation majeure, habituellement décrit comme un stade de développement transitionnel. D'ailleurs, d'autres perturbations naturelles comme la dernière épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette pourraient également être responsables de changements de composition du couvert forestier, comme le suggèrent Duchesne et Ouimet (2008).

Les analyses polliniques indiquent que le peuplier faux-tremble fait partie de la composition du couvert forestier de l'Abitibi-Témiscamingue depuis plusieurs milliers d'années (Richard, 1980; Carcaillet *et al.*, 2001). L'expansion récente du peuplier apparaît donc davantage comme une conséquence des pratiques forestières actuelles, caractérisées par des coupes à courtes révolutions (par rapport au cycle de feu)

et de faible rétention (Bergeron *et al.*, 2002) qu'à une dynamique relevant de l'arrivée d'une espèce envahissante, tel que suggéré par Fortin (2008). En effet, le rajeunissement du couvert forestier d'origine et l'expansion de feuillus de lumière tel le peuplier faux-tremble constituent une partie de l'héritage issu de l'aménagement de cette région de la forêt boréale. Bien qu'à court terme cette expansion du peuplier ne semble pas être accompagnée d'une régression de l'épinette noire (Bujold, 2005), rien ne permet de prévoir ce qui pourrait résulter, à moyen terme, du maintien d'un régime d'aménagement essentiellement équié à courte révolution sans recours à des pratiques visant à rétablir les proportions historiques des couverts feuillus, mixtes et résineux dans la matrice forestière. Soulignons également l'incertitude quant à l'avenir des anciennes coupes (≥ 20 ans) classifiées au troisième inventaire décennal comme étant en stade arbustif (< 7 m de hauteur). L'actualisation de ces strates lors du prochain inventaire décennal devrait permettre de préciser l'envergure du problème.

En résumé, le phénomène d'enfeuillage pourrait être exacerbé par un ensemble de facteurs agissants de pair : 1) un fort taux d'établissement du peuplier faux-tremble et d'autres essences feuillues suite à la coupe totale; 2) un taux de perturbation (superficie annuelle moyenne) plus élevé que le taux naturel menant à un rajeunissement du couvert; 3) une moins grande proportion de forêts atteignant le stade suranné et permettant au sous-étage résineux d'émerger suite à la sénescence du peuplier faux-tremble.

Conclusion

Nos résultats confirment les observations faites par d'autres auteurs selon lesquelles les pessières noires sur argile mésique se révèlent particulièrement sensibles à l'enfeuillage (Brumelis & Carleton, 1988; Harvey & Bergeron, 1989; Carleton & MacLellan, 1994; Lefort *et al.*, 2002 et Grondin *et al.*, 2003). On constate de plus que, malgré une abondance plus soutenue des milieux organiques humides, la pessière à mousses de la Plaine du lac Matagami apparaît aussi encline à un envahissement par le peuplier que la sapinière à bouleau blanc de la Plaine d'Abitibi. Puisque les argiles et les tills mésiques comptent pour 20 % de la superficie de la pessière, le potentiel d'expansion du peuplier demeure présent dans cette région. Il faut toutefois reconnaître que l'utilisation de SIFORT comporte des limites. L'information contenue dans les bases de données provient d'une photo-interprétation réalisée en amont de l'élaboration de cartes écoforestières. La typologie retenue sur les cartes écoforestières fait donc en sorte que la présence d'essences compagnes comme le peuplier, lorsque ce dernier est peu dominant, demeure souvent non rapportée. De plus, la faible résolution permet rarement de déterminer la composition du couvert forestier lorsque celui-ci est inférieur à 7 m de hauteur. Malgré tout, SIFORT est l'un des rares outils permettant d'effectuer une étude spatio-temporelle du couvert forestier à moyen terme et sur de vastes territoires.

Remerciements

Le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les

technologies (FQRNT) et la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable ont contribué au financement de cette étude. Merci à la Direction de l'environnement et de la protection des forêts du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF-DEPF) qui nous a permis d'avoir accès aux bases SIFORT et à Annie Belleau, Suzanne Brais et Daniel Lesieur pour les conseils et l'aide apportée dans la gestion de bases de données. Nous sommes également reconnaissants aux deux réviseurs anonymes et au rédacteur adjoint d'Écoscience, Hugo Asselin, pour leurs nombreuses suggestions qui nous ont permis d'améliorer le manuscrit original.

Références

- Bergeron, J.-F., P. Grondin & J. Blouin, 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.
- Bergeron, Y., S. Gauthier, M. Flannigan & V. Kafka, 2004. Fire regime at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Quebec. *Ecology*, 85: 1916–1932.
- Bergeron, Y., A. Leduc, B. D. Harvey & S. Gauthier, 2002. Natural fire regime: A guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica*, 36: 81–95.
- Blanchard, R., 1954. L'Ouest du Canada français. Publications de l'Institut Scientifique Franco-Canadien, Montréal.
- Brumelis, G. & T. J. Carleton, 1988. The vegetation of post-logged black spruce lowlands in central Canada. I. Trees and tall shrubs. *Canadian Journal of Forest Research*, 18: 1470–1478.
- Bujold, M.-C., 2005. Changement de la composition forestière après opérations sylvicoles: une analyse des facteurs prédisposant à une conversion de la strate forestière prélevée. Thèse M.Sc., Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.
- Burns, R. M. & B. H. Honkala, 1990. *Silvics of North America*. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 654. Washington, DC.
- Carcaillet, C., Y. Bergeron, P. J. H. Richard, B. Frechette, S. Gauthier & Y. T. Prairie, 2001. Change of fire frequency in eastern Canadian boreal forests during the Holocene: Does vegetation composition or climate trigger the fire regime? *Journal of Ecology*, 89: 930–946.
- Carleton, T. J. & P. MacLellan, 1994. Woody vegetation responses to fire *versus* clear-cutting logging: A comparative survey in the central Canadian boreal forest. *Écoscience*, 1: 141–152.
- Chen, H. Y. H., P. V. Krestov & K. Klinka, 2002. Trembling aspen site index in relation to environmental measures of site quality at two spatial scales. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 112–119.
- Drapeau, P., A. Leduc, J.-F. Giroux, J.-P. Savard, Y. Bergeron & W. L. Vickery, 2000. Landscape-scale disturbances and changes in bird communities of boreal mixed-wood forests. *Ecological Monographs*, 70: 423–444.
- Duchesne, L. & R. Ouimet, 2008. Population dynamics of tree species in southern Quebec, Canada: 1970–2005. *Forest Ecology and Management*, 255: 3001–3012.
- Fortin, S. 2008. Expansion postcoloniale du tremble (*Populus tremuloides*) dans le bassin de la rivière York, en Gaspésie. Thèse Ph.D., Université du Québec à Chicoutimi, Québec.
- Frey, B. R., V. J. Lieffers, S. M. Landhäusser, P. G. Comeau & K. J. Greenway, 2003. An analysis of sucker regeneration of trembling aspen. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 1169–1179.

- Gauthier, S., L. De Grandpré & Y. Bergeron, 2000. Differences in forest composition in two boreal forest ecoregions of Quebec. *Journal of Vegetation Science*, 11: 781–790.
- Greene, D. F., J. Noël, Y. Bergeron, M. Rousseau & S. Gauthier, 2004. Recruitment of *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, and *Populus tremuloides* across a burn severity gradient following wildfire in the southern boreal forest of Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 1845–1857.
- Groncin, P., L. Bélanger, V. Roy, J. Noël & D. Hotte, 2003. Envahissement des parterres de coupe par les feuillus de lumière (enfeuillage). Pages 131–174 dans P. Groncin & A. Cimon (coordonnateurs). Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Québec.
- Groncin, P., J. Blouin & P. Racine, 1998. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Québec.
- Hardy, L., 1977. La déglaciation et les épisodes lacustre et marin sur le versant québécois des basses terres de la baie de James. *Géographie physique et Quaternaire*, 31: 261–273.
- Harper, K., C. Boudreault, L. De Grandpré, P. Drapeau, S. Gauthier & Y. Bergeron, 2003. Structure, composition and diversity of old-growth black spruce boreal forest of the Clay Belt region in Québec and Ontario. *Environmental Reviews*, 11: S79–S98.
- Harvey, B. D. & Y. Bergeron, 1989. Site patterns of natural regeneration following clearcutting in northwestern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 1458–1469.
- Harvey, B. D., A. Leduc & Y. Bergeron, 1995. Early postharvest succession in relation to site type in the southern boreal forest of Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 25: 1658–1672.
- Johnstone, J. F. & F. S. Chapin III, 2006. Fire interval effects on successional trajectory in boreal forests of Northwest Canada. *Ecosystems*, 9: 268–277.
- Laquerre, S., A. Leduc & B. D. Harvey, sous presse. Spatial analysis of response of trembling aspen patches to clearcutting in black spruce-dominated stands. *Forestry Chronicle*.
- Lecomte, N. & Y. Bergeron, 2005. Succession pathways on different surficial deposits in the coniferous boreal forest of the Quebec Clay Belt. *Canadian Journal of Forest Research*, 35: 1984–1995.
- Lefort, P., S. Gauthier & Y. Bergeron, 2003. The influence of fire weather and land use on the fire activity of the lake Abitibi area, Eastern Canada. *Forest Science*, 49: 509–521.
- Lefort, P., B. D. Harvey, J. Parton & G. K. M. Smith, 2002. Synthesizing knowledge of the Claybelt to promote sustainable forest management. *Forestry Chronicle*, 78: 665–671.
- Legendre, P., & L. Legendre, 1998. *Numerical Ecology*. Second English Edition. Elsevier Science, Amsterdam.
- Marie-Victorin, F. É. C., 1995. *Flore laurentienne*. 3^e édition. Les presses de l'Université de Montréal, Montréal, Québec.
- Messaoud, Y., Y. Bergeron & H. Asselin, 2007. Reproductive potential of balsam fir (*Abies balsamea*), white spruce (*Picea glauca*), and black spruce (*P. mariana*) at the ecotone between mixedwood and coniferous forests in the boreal zone of western Quebec. *American Journal of Botany*, 94: 746–754.
- Messaoud, Y., Y. Bergeron & A. Leduc, 2007. Ecological factors explaining the location of the boundary between the mixedwood and coniferous bioclimatic zones in the boreal biome of eastern North America. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 90–102.
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2003a. Le système SIFORT. Site Internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. En ligne [URL] www.mrnfp.gouv.qc.ca/forets/fimaq/information/fimaq-information-sifort.jsp
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2003b. Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec. Site Internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune. En ligne [URL] <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire-zones.jsp>
- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 2003c. L'inventaire forestier au Ministère. Site Internet du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. En ligne [URL] <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-inventaire.jsp>
- Neu, C. W., C. R. Byers, J. M. Peek & V. Boy, 1974. A technique for analysis of utilization availability data. *Journal of Wildlife Management*, 38: 541–545.
- Pelletier, G., Y. Dumont, M. Bédard & J. Bergeron, 1996. SIFORT. *Arpenteur Géomètre*, 23: 8–9.
- Pelletier, G., J. St-Onge, J.-F. Roy, G. Therriault & P. Bordeleau, 2001. Classification des peuplements forestiers en tant que combustibles, selon la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.
- Perala, D. A., 1990. Quaking aspen. Pages 555–569 dans R. M. Burns & B. H. Honkala (eds). *Silvics of North America*. Volume 2. Hardwoods. Department of Agriculture, Washington, DC.
- Perron, M., 1989. L'histoire de l'exploitation forestière dans la région de La Sarre de 1910 à 1980. *Capitale forestière du Canada*, LaSarre, Québec.
- Richard, P., 1980. Histoire postglacière de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 24: 77–94.
- Robitaille, A. & J. P. Saucier, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Les Publications du Québec, Québec.
- Rowe, J. S., 1972. *Les Régions forestières du Canada*. Ministère de l'Environnement, Service canadien des forêts. Publication n° 1300F, Ottawa.
- Saucier, J.-P., 1994. Le point d'observation écologique : normes techniques. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.
- SAS Institute, Inc., 1988. *SAS/STAT User's Guide*. Release 6.03 Edition. Cary, North Carolina.
- Schier, G. A., 1981. Physiological research on adventitious shoot development in aspen roots. USDA Forest Service General Technical Report INT-107.
- Vincent, J.-S. & L. Hardy, 1977. L'évolution et l'extension des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois. *Géographie physique et Quaternaire*, 30: 357–372.
- Weir, J. M. H. & E. A. Johnson, 1998. Effects of escaped settlement fires and logging on forest composition in the mixedwood boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 28: 459–467.

APPENDICE I. Regroupements dépôt/drainage.

Argile mésique mésique	Argile subhydrique	Till mésique	Till subhydrique	Sable mésique	Sable subhydrique	Fluvioglaciare	Organique	Roc
1AA30	1AA40	1A20	1A40	4GS20	4GS40	2A10	3AN60	RO
1AAY30	1AA50	1A30	1A41	4GS30	4GS41	2A20	7E50	R10
3AN20	3AE41	1A31	1A50	4GS31	4GS50	2A30	7E60	R16
3AN30	3AE50	1AM16	1A53	4GS33	4GS51	2A31	7E61	R20
4GA13	3AE51	1AM20	1AM40	4GSM20	9S40	2A40	7T50	R30
4GA20	3AN40	1AM30	1AY40	4GSY20	R4GS40	2AE10	7T51	R1A10
4GA21	3AN50	1AY20	1AY50	4GSY30		2AE20	7T53	R1A16
4GA30	3AN51	1AY21	1BD40	9S16		2AE30	7T60	R1A20
4GA31	4A50	1AY30	1BG40	9S20		2AE40	7T61	R1A21
4GA40	4GA40	1AY31		9S30		2BD20	7T63	R1A30
4GAM20	4GA41	1BD20		R4GS20		2BD30	7TM50	R7T16
4GAM30	4GA50	1BD30		R4GS30		2BD40	7TY50	
4GAY20	4GA51	1BF20				2BE20	R7T50	
4GAY30	4GA53	1BF30				2BE30		
R4GA16	4GA54	1BG20				2BE40		
R4GA20	4GAM40	1BG30						
R4GA30	4GAY40	1BI10						
4GAY50	1BI20							
R4GA40	1BI30							
	M1A20							