

Les conséquences des changements climatiques sur la fréquence des feux et la composition forestière au sud-ouest de la forêt boréale québécoise

Consequences of climate changes on fire frequency and forest composition in the southwestern boreal forest of Québec

Die Auswirkungen der klimatischen Wechsel auf die Häufigkeit der Brände und den Waldbestand im Südwesten des nördlichen Québecer Waldgürtels

Yves Bergeron

Volume 52, numéro 2, 1998

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/004768ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/004768ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Bergeron, Y. (1998). Les conséquences des changements climatiques sur la fréquence des feux et la composition forestière au sud-ouest de la forêt boréale québécoise. *Géographie physique et Quaternaire*, 52(2), 167–174. <https://doi.org/10.7202/004768ar>

Résumé de l'article

Nous présentons une synthèse des travaux réalisés sur la fréquence des feux et la composition forestière en relation avec les changements climatiques survenus au sud-ouest de la forêt boréale québécoise. Des études dendrochronologiques couvrant les 300 dernières années ont démontré une diminution de la fréquence des feux par suite du réchauffement climatique qui a suivi la fin du Petit Âge glaciaire (~ 1850). Des simulations basées sur le modèle canadien de la circulation générale de l'atmosphère prévoient une diminution de la fréquence des feux avec le réchauffement climatique à venir. La diminution de la fréquence des feux déjà observée au cours du XXe siècle est responsable d'une augmentation de l'abondance du sapin baumier (*Abies balsamea* L.) et du thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.). La faible fréquence des feux pourrait aussi expliquer la grande abondance du thuya occidental dans les peuplements forestiers pendant la période plus chaude de l'Holocène moyen (~6000 BP). Une augmentation de la fréquence des feux, associée au refroidissement qui a suivi et qui s'est poursuivi durant la période néoglaciale expliquerait l'augmentation de l'abondance du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et la diminution importante du thuya occidental. La concordance des résultats à diverses échelles temporelles indique que l'existence d'un climat plus chaud, au sud de la forêt boréale, serait associée à une diminution importante de la fréquence des feux. Ces résultats pourraient s'appliquer à une grande partie de la forêt boréale.

LES CONSÉQUENCES DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA FRÉQUENCE DES FEUX ET LA COMPOSITION FORESTIÈRE AU SUD-OUEST DE LA FORÊT BORÉALE QUÉBÉCOISE

Yves BERGERON, Groupe de recherche en écologie forestière, Université du Québec à Montréal, C. P. 8888, succursale Centre-ville, Montréal, Québec, H3C 3P8, bergeron.yves@uqam.ca.

Manuscrit reçu le 25 septembre 1996 ; manuscrit révisé et accepté le 10 juin 1997

RÉSUMÉ Nous présentons une synthèse des travaux réalisés sur la fréquence des feux et la composition forestière en relation avec les changements climatiques survenus au sud-ouest de la forêt boréale québécoise. Des études dendrochronologiques couvrant les 300 dernières années ont démontré une diminution de la fréquence des feux par suite du réchauffement climatique qui a suivi la fin du Petit Âge glaciaire (~ 1850). Des simulations basées sur le modèle canadien de la circulation générale de l'atmosphère prévoient une diminution de la fréquence des feux avec le réchauffement climatique à venir. La diminution de la fréquence des feux déjà observée au cours du XX^e siècle est responsable d'une augmentation de l'abondance du sapin baumier (*Abies balsamea* L.) et du thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.). La faible fréquence des feux pourrait aussi expliquer la grande abondance du thuya occidental dans les peuplements forestiers pendant la période plus chaude de l'Holocène moyen (~6000 BP). Une augmentation de la fréquence des feux, associée au refroidissement qui a suivi et qui s'est poursuivi durant la période néoglaciale expliquerait l'augmentation de l'abondance du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et la diminution importante du thuya occidental. La concordance des résultats à diverses échelles temporelles indique que l'existence d'un climat plus chaud, au sud de la forêt boréale, serait associée à une diminution importante de la fréquence des feux. Ces résultats pourraient s'appliquer à une grande partie de la forêt boréale.

ABSTRACT *Consequences of climate changes on fire frequency and forest composition in the southwestern boreal forest of Québec.* We present a synthesis of the research made on fire frequency and forest composition in relation to climate change in the southwestern boreal forest of Québec. Dendrochronological studies, for the last 300 years, showed a decrease of fire frequency since the end of the Little Ice Age (~1850). Simulations using the Canadian General Atmospheric Circulation Model predict a decrease in forest fire activity with future warming. The decrease in fire frequency is responsible for an increase in balsam fir (*Abies balsamea* L.) and white cedar (*Thuja occidentalis* L.) abundance during the twentieth century. A low fire frequency could also explain the high abundance of white cedar during the warmest period of the Holocene (~6000 BP) while its subsequent decrease, together with a significant increase in jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), may be explained by an increase in fire frequency following the cooling of the climate that has occurred through the Neoglacial period. The agreements between studies and at different time scales suggest that warming leads to an important decrease in fire activity in the southern boreal forest. These results may apply to a large part of the boreal forest.

ZUSAMMENFASSUNG *Die Auswirkungen der klimatischen Wechsel auf die Häufigkeit der Brände und den Waldbestand im Südwesten des nördlichen Québécoiser Waldgürtels.* Wir geben eine Synthese der Arbeiten über die Häufigkeit der Brände und die Walddensität in Verbindung mit den klimatischen Wechsellagen, die im Südwesten des nördlichen Québécoiser Waldgürtels aufgetreten sind. Dendrochronologische Studien über die vergangenen 300 Jahre haben eine Abnahme der Häufigkeit von Bränden gezeigt, infolge der klimatischen Erwärmung, die auf das Ende der kleinen Eiszeit (~ 1850) folgte. Auf das kanadische Modell der allgemeinen atmosphärischen Strömung gestützte Simulationen sehen eine Abnahme der Häufigkeit der Brände mit der kommenden klimatischen Erwärmung voraus. Die Abnahme der Häufigkeit der Brände, die schon im Laufe des 20. Jahrhunderts beobachtet wurde, führte zu einer Zunahme des Auftretens der Balsamtanne (*Abies balsamea* L.) und der westlichen Thuja (*Thuja occidentalis* L.). Das geringe Vorkommen von Bränden könnte auch die große Häufigkeit der westlichen Thuja in den Waldbeständen während der wärmeren Periode des mittleren Holozäns erklären (~ 6000 v.u.Z.). Eine Zunahme der Häufigkeit der Brände, zurückgeführt auf die nachfolgende Abkühlung, die während der ganzen neoglazialen Periode andauerte, könnte die Zunahme des Vorkommens von Graukiefer (*Pinus banksiana* Lamb.) erklären sowie die starke Abnahme von westlicher Thuja. Die Übereinstimmung der Ergebnisse zu verschiedenen Zeitmaßstäben zeigt, dass das Vorhandensein eines wärmeren Klimas im Süden des nördlichen Waldgürtels mit einer starken Abnahme der Brandhäufigkeit assoziiert wird. Diese Ergebnisse könnten für einen großen Teil des nördlichen Waldgürtels zutreffen.

INTRODUCTION

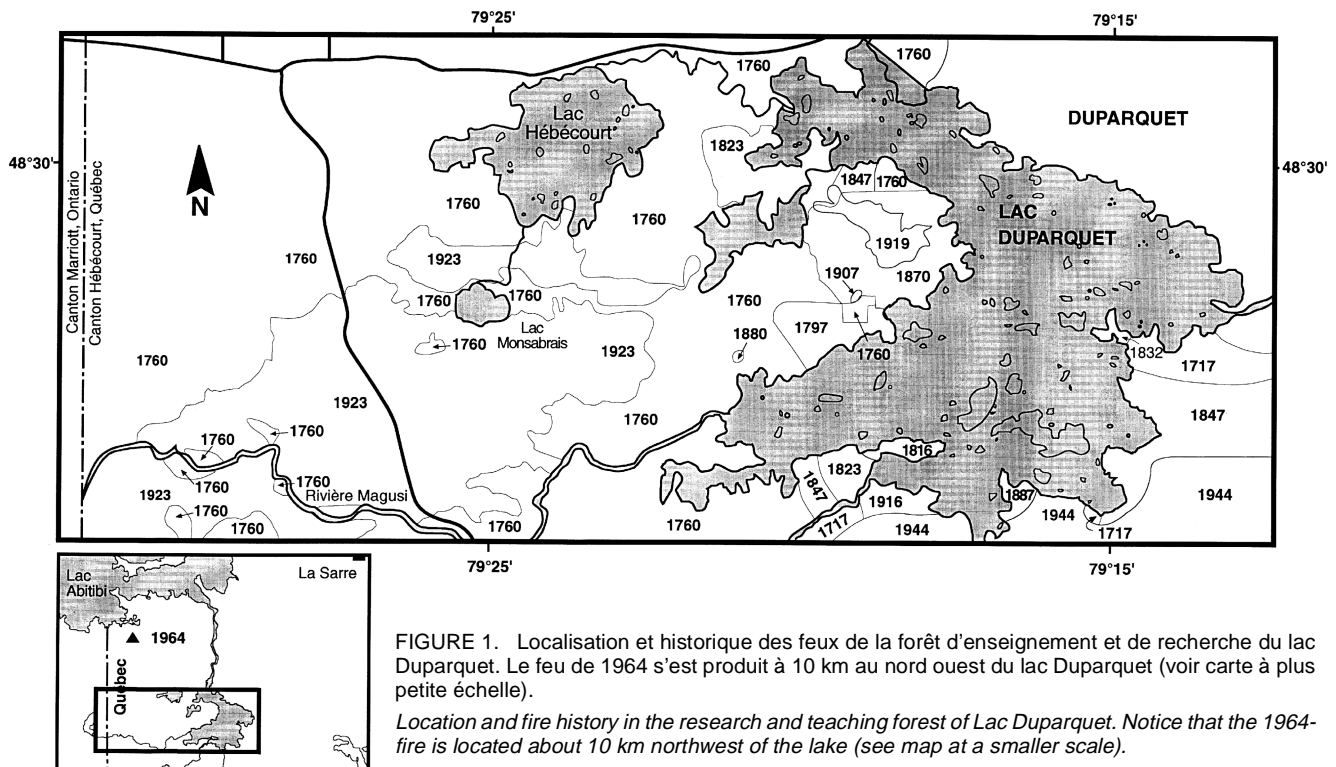
La forêt boréale constitue un écosystème fortement dépendant des perturbations par le feu (Johnson, 1992, Payette, 1992 ; Engelmark *et al.*, 1993) et les espèces forestières y sont bien adaptées (Heinselman, 1981 ; Zasada *et al.*, 1992). Dans la zone nordique dominée par l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) et le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) les cycles de feux sont courts et favorisent le maintien de peuplements semblables à ceux présents avant les feux (Gagnon, 1989). Plus au sud, la présence de cycles de feux plus longs favorise le remplacement des espèces bien adaptées au feu par des espèces plus tolérantes à l'ombre et se régénérant sous couvert (Bergeron et Dubuc, 1989). La composition forestière et les propriétés des écosystèmes sont donc dépendants des changements possibles dans la fréquence des feux. Dans ce contexte, nous avons postulé que l'effet indirect du climat, qui influence le régime des feux, est plus important que son effet direct sur la croissance et la régénération des espèces forestières (Davis, 1989). Cette constatation revêt une grande importance si on tient compte de la possibilité que le réchauffement climatique puisse entraîner des modifications importantes au régime des perturbations naturelles tels les feux (Overpeck *et al.*, 1990 ; Bergeron et Flannigan, 1995).

Le climat a beaucoup varié au cours de l'Holocène (COHMAP Members, 1988) créant des conditions qui ont périodiquement été plus ou moins favorables aux incendies forestiers (Payette, 1992). En se fondant sur des modèles climatiques nous pensons généralement qu'une augmenta-

tion de la température devrait entraîner des conditions plus favorables aux incendies forestiers (Overpeck *et al.*, 1990 ; Clark, 1988 ; Flannigan et van Wagner, 1991). Cependant, comme les feux dépendent d'un ensemble complexe de conditions météorologiques (van Wagner, 1987), notamment l'abondance et de la régularité des précipitations (Flannigan et Harrington, 1988), il est difficile de faire le lien direct entre des variations de la température à l'échelle continentale et le comportement des feux à l'échelle régionale. La plupart des études empiriques montrent une diminution de la fréquence des feux au cours du XX^e siècle (Flannigan *et al.*, 1998), qui a généralement été attribuée à l'intervention humaine. Les études réalisées dans le secteur du lac Duparquet dans le nord-ouest du Québec semblent toutefois montrer que cette décroissance aurait vraisemblablement une cause climatique (Bergeron et Archambault, 1993). À partir d'une synthèse des travaux réalisés à différentes échelles temporelles dans ce secteur, nous présentons des arguments montrant que la diminution importante de la fréquence des feux est attribuable au réchauffement climatique. Les conséquences de cette décroissance sur la composition forestière passée et future sont aussi discutées.

LA RÉGION À L'ÉTUDE

Le territoire d'étude est localisé au nord-ouest du Québec dans la forêt d'enseignement et de recherche du lac Duparquet (fig. 1). La région est couverte par les dépôts d'argiles en provenance du Lac pro-glaciaire Ojibway (Vincent et Hardy, 1977). La plaine argileuse faiblement ondulée est



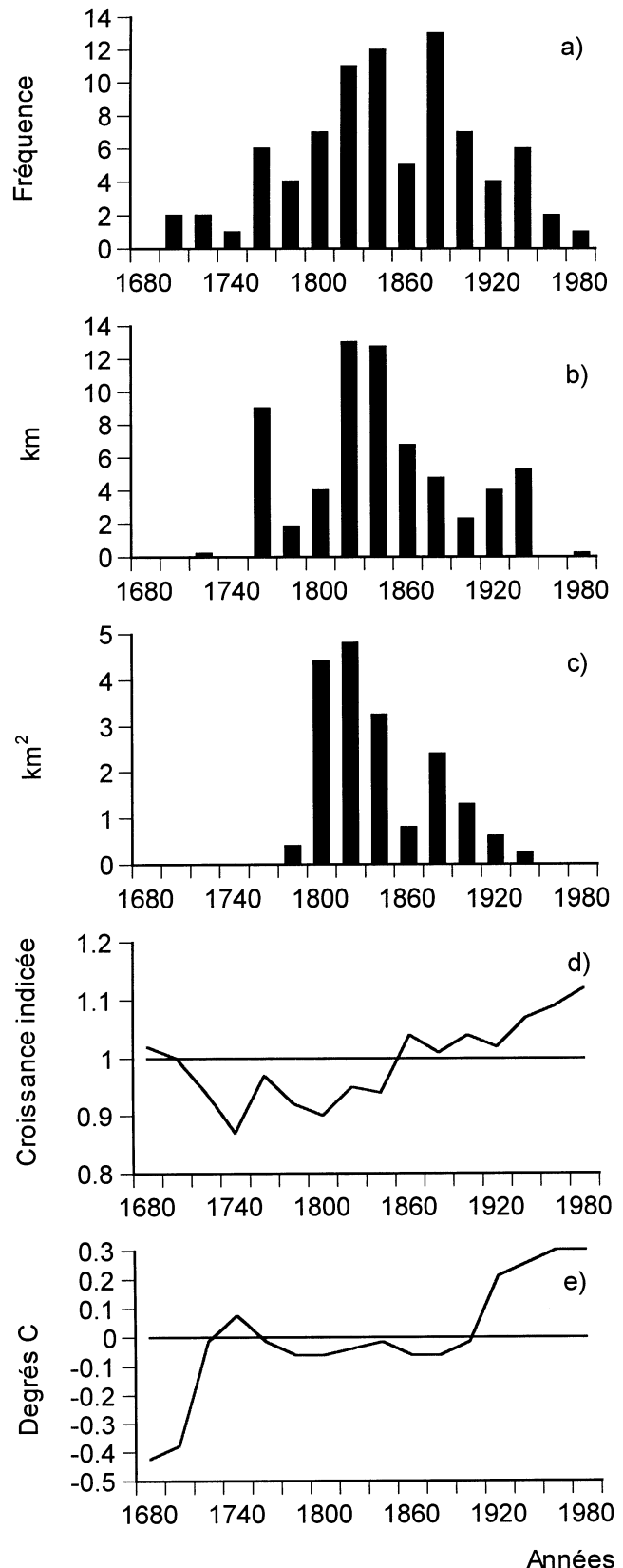
parsemée de quelques petites collines rocheuses (maximum : 400 m) sur le versant desquelles s'accrochent des tills délavés (Bergeron *et al.*, 1983). La température et les précipitations annuelles moyennes entre 1961 et 1990 (mesurées à La Sarre, 42 km au nord) sont respectivement de 0,8 °C et de 856,8 mm (Environnement Canada, 1993). La région se situe à la marge sud de la forêt boréale dans la section forestière Misinaibi-Cabonga de Rowe (1972) et le domaine climacique de la sapinière à bouleau blanc (Richard, 1987). Le sapin baumier (*Abies balsamea* L.) et le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.) accompagnés par le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.), l'épinette noire et l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss.) dominent les forêts matures. Des peuplements monospécifiques de pins gris, de bouleaux blancs et trembles (*Populus tremuloides* Michx.) caractérisent les jeunes peuplements issus de feux. L'occupation humaine et l'exploitation forestière datent du début du XX^e siècle, mais ce n'est que depuis 1978 que des coupes à blanc de grande superficie sont réalisées sur le territoire (Bergeron et Harvey, 1997).

L'HISTOIRE DES FEUX

La chronologie des incendies survenues au cours des 300 dernières années a été établie pour 43 îles (35 %) et la presque totalité des rives du lac Duparquet (fig. 1 ; Bergeron, 1991 ; Dansereau et Bergeron, 1993). Elle est fondée sur la découverte de 273 cicatrices de feux surtout en provenance de thuyas occidentaux, de pins gris et de pins rouges (*Pinus resinosa* Ait.). L'étude dendrochronologique de ces cicatrices a révélé qu'il y a eu 76 années de feux depuis 1688 ap. J.-C.. Le nombre d'années de feux a décliné constamment depuis 1870 passant de 40 feux, entre 1770 à 1870, à 20 feux au cours du siècle suivant (fig. 2a). Le faible nombre de feux au XVIII^e siècle est probablement lié à une probabilité plus faible d'observation de cicatrices à mesure que la longévité maximale des arbres est atteinte. Nous avons aussi déterminé la superficie brûlée par le feu le plus récent en déterminant l'âge d'établissement des cohortes d'arbres issues des feux. Dans la majorité des cas, l'établissement d'une cohorte correspondait à des années de feux déterminées avec précision à l'aide des cicatrices. Dans les autres cas, il s'agit de l'âge de la cohorte mise en place après le feu. La majorité des peuplements sont issus de feux ayant eu cours avant 1850 ; on observe, depuis, une décroissance régulière des superficies brûlées tant dans les îles que sur les rives du lac (fig. 2b et 2 c).

FIGURE 2. Nombre d'années de feux dans la région du lac Duparquet depuis 1680 ap. J.-C. (a). Périmètre des berges issus des feux (b) et superficie brûlée sur les îles du lac Duparquet (c). Changement à long terme de la croissance radiale de 38 thuyas localisés dans les îles du lac Duparquet (d). Sommaire des variations globales de température depuis 1680 ap. J.-C. selon le Groupe intergouvernemental d'experts pour l'étude des changements climatiques (Folland *et al.*, 1990) (e).

Number of fire years in the Lac Duparquet area since 1680 AD (a). Burned area on shore perimeter (b) and burned area on islands (c). Long term change of radial growth for 38 eastern white cedar from the Lac Duparquet islands (d). Summary of global deviation to average temperature since 1680 AD according to the Intergovernmental Expert Group for the Study of Climate Change (Folland *et al.*, 1990) (e).



La décroissance observée tant dans le nombre que dans la superficie des feux s'explique difficilement par des causes autres que climatiques. En effet, l'occupation du territoire par les Blancs de même que l'avènement d'un contrôle efficace des feux sont postérieurs au changement constaté. De plus, le changement s'observe aussi dans les îles qui connaissent un régime des feux indépendant de celui du pourtour du lac, endroits où les feux n'ont jamais été combattus (Bergeron, 1991). Avant l'arrivée des Européens, une population autochtone occupait le territoire depuis 7000 ans, mais le petit nombre de familles (Côté, 1993) et la façon rationnelle avec laquelle elles utilisaient le feu n'expliquent pas l'importance de la décroissance observée (Marc Côté, communication personnelle). Par ailleurs, plusieurs autres éléments tendent à appuyer la thèse d'un changement climatique. Le changement observé est synchrone avec les fluctuations climatiques rapportées pour l'ensemble de l'hémisphère nord (Folland *et al.*, 1990, fig. 2e) et il correspondrait au réchauffement qui a suivi la fin du Petit Âge glaciaire vers 1850 (Lamb, 1982). Ce réchauffement correspond aussi à une augmentation importante de la croissance radiale du thuya occidental dans la région du lac Duparquet (fig. 2d). Une étude dendroclimatique a permis d'associer cette augmentation à une diminution des périodes de sécheresse estivale (Archambault et Bergeron, 1992) qui jouent aussi un rôle important sur le déclenchement des incendies forestiers (Flannigan et Harrington, 1988). Nous avons donc supposé que le réchauffement climatique qui a suivi la fin du Petit Âge glaciaire a entraîné un déplacement de la circulation générale de l'atmosphère favorisant, au sud de la forêt boréale, la présence plus fréquente durant la période estivale, des masses d'air plus humide en provenance du sud (Bergeron et Archambault, 1993).

LES SIMULATIONS

Afin de mettre en lumière les liens entre le réchauffement climatique et les conditions météorologiques ayant une influence sur la propagation des feux, nous avons simulé l'effet d'une augmentation de la température à l'aide du modèle canadien de la circulation générale de l'atmosphère (Bergeron et Flannigan, 1995). Les données journalières simulées par le modèle ont permis d'établir l'indice forêt-météo (van Wagner, 1987) pour des conditions correspondant d'une part à la situation actuelle et d'autre part à celles d'un CO₂ atmosphérique deux fois plus élevé. L'indice forêt-météo intègre les variables météorologiques responsables de la propagation des feux et constitue un très bon indicateur de la superficie potentiellement brûlée lorsque les conditions de l'allumage des feux ne sont pas limitatives.

La simulation indique que pour une concentration atmosphérique en CO₂ deux fois plus forte, la température augmenterait de 3 à 4 °C (moyenne d'avril à octobre) dans la région du lac Duparquet (tabl. I), tandis que les précipitations pourraient augmenter de 15 mm. Les indices forêt-météo moyen et maximal qui combinent ces deux variables décroissent de 14 et 22 % respectivement, laissant ainsi entrevoir la possibilité d'une diminution importante de la fréquence des incendies. L'augmentation de la température

seule devrait, en permettant un assèchement plus rapide des combustibles, augmenter les risques d'incendies. Cependant, les résultats des simulations montrent que cet effet est plus que compensé par une augmentation de l'abondance et de la répartition temporelle des précipitations. Les données simulées confirment donc les relations empiriques observées entre l'augmentation de la température et la diminution de la superficie potentielle des incendies forestiers.

TABLEAU I

Changements dans les conditions météorologiques et l'indice forêt-météo en fonction d'un scénario impliquant un dédoublement du CO₂ atmosphérique dans la région du lac Duparquet. Les valeurs sont calculées pour la saison des feux (213 jours soit du 1^{er} avril au 31 octobre).

	1 x CO ₂	2 x CO ₂	Différence	%
Température (degrés Celcius)	11,58	15,16	3,58	+30,9
Précipitations (mm)	379	394	15	+4,0
Indice forêt-météo moyen	0,493	0,423	-0,07	-14,2
Indice forêt-météo maximum	11,36	8,91	-2,45	-21,6

LES CHANGEMENTS DANS LA COMPOSITION FORESTIÈRE

Afin d'illustrer les conséquences de la diminution de la fréquence des feux sur la composition forestière, nous avons eu recours à l'historique des feux récents pour faire ressortir les changements de la composition des forêts en fonction du temps écoulé depuis le dernier feu (Leduc *et al.*, 1995). La végétation arborescente a été échantillonnée dans 624 quadrats de 16 m sur 16 m répartis le long de transects à l'intérieur des limites des feux de 1760, 1797, 1823, 1847, 1870, 1916, 1944 et 1964 (fig. 1). Les variations de l'abondance relative de chaque espèce ont par la suite été exprimées en fonction du temps écoulé depuis le dernier feu, ce qui a permis l'établissement d'une chronoséquence de plus de 230 ans après feu (fig. 3). Sur les dépôts argileux qui couvrent plus de 75 % du territoire (fig. 3a) nous observons, pour les sites modérément bien drainés, la dominance du tremble jusqu'à plus de 150 ans après feu, puis du sapin baumier par la suite. L'épinette blanche et le bouleau sont présents tout au long de la succession alors que le thuya occidental n'est abondant que dans les peuplements les plus âgés. Les escarpements rocheux et les tills minces (fig. 3b) sont beaucoup moins abondants sur le territoire, mais leur composition s'apparente à celle de la zone nordique de la pessière qui couvre la majeure partie de la forêt boréale québécoise. Nous observons ainsi un remplacement graduel du pin gris, du tremble et du bouleau par l'épinette noire selon l'augmentation de la durée après un feu, le sapin et le thuya devenant plus abondants dans les peuplements les plus âgés.

Dans un deuxième temps, nous avons utilisé ces résultats pour évaluer l'abondance relative de chaque espèce à l'échelle du paysage et selon des cycles de feux de durée variable (Bergeron et Dansereau, 1993 ; Gauthier *et al.*, 1995) ; le cycle de feu représente le temps nécessaire pour

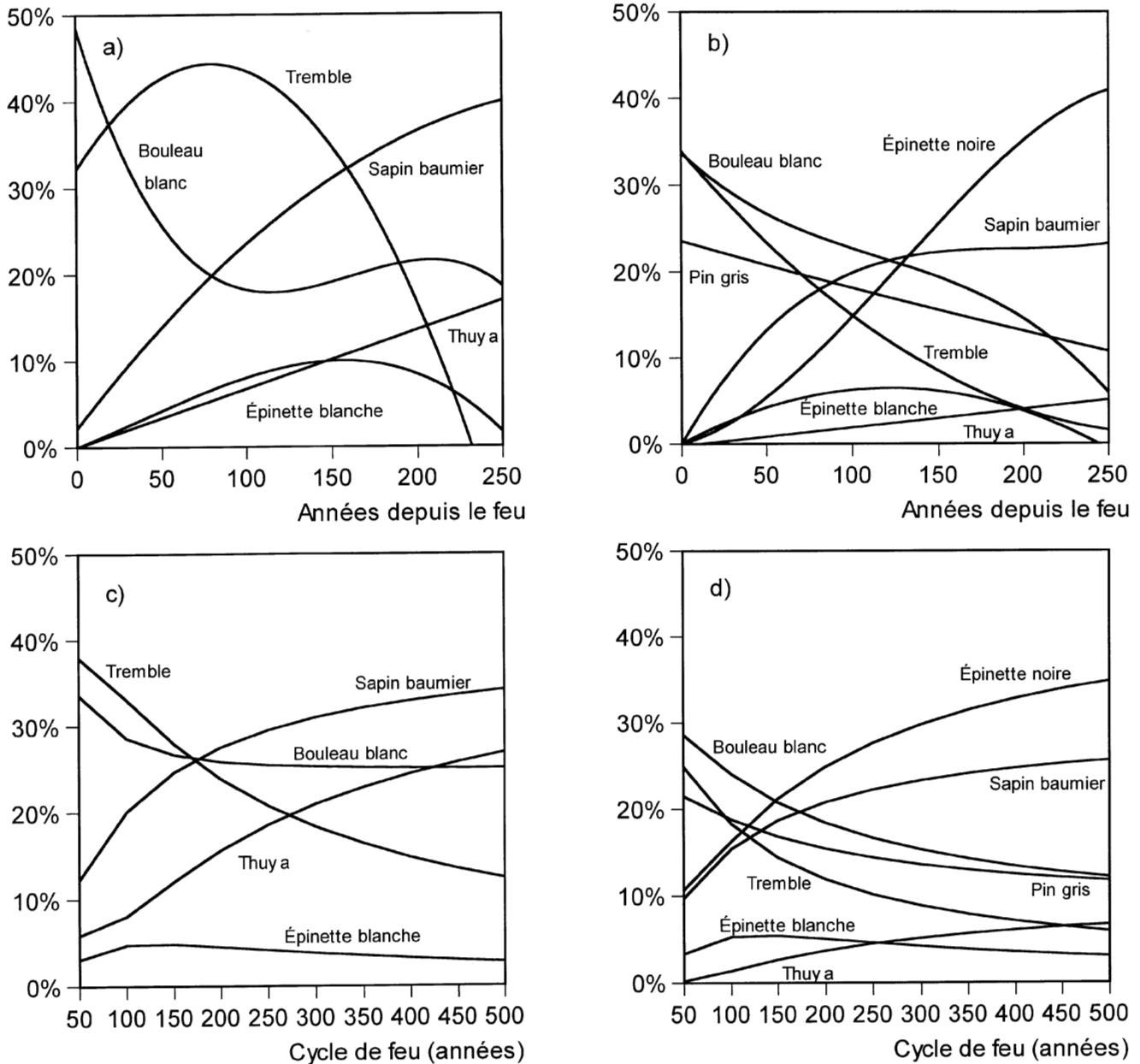


FIGURE 3. Surface terrière relative moyenne des espèces arborescentes en fonction du temps écoulé depuis le dernier feu dans les dépôts argileux mésiques (a) et les escarpements rocheux avec tills minces (b). Changements dans l'abondance des espèces en fonction du cycle des feux dans des territoires dominés par des dépôts d'argiles mésiques (c) et les escarpements rocheux avec tills minces (d).

Changes in relative basal areas of tree species in relation with time since the last fire for mesic clay deposits (a) and rock outcrops with shallow tills (b). Changes in tree species abundance in relation with fire cycle for mesic clay deposits (c) and rock outcrops with shallow tills (d).

qu'une superficie égale à la superficie du territoire ait été brûlée. En supposant que les peuplements sont susceptibles de brûler quel que soit leur âge (ce qui est vraisemblable pour la forêt boréale canadienne [Johnson, 1992]), un territoire présentant un cycle de feu constant devrait avoir une distribution des classes d'âges des peuplements selon une fonction exponentielle négative, dans laquelle 63,7 % des peuplements sont plus jeunes que le cycle des feux. En appliquant cette distribution théorique et en associant à cha-

cune des classes d'âge la composition observée en fonction du temps écoulé depuis le dernier feu, il est possible d'évaluer l'effet d'un changement dans le cycle des feux sur un territoire couvert par des dépôts d'argiles mésiques ou des escarpements rocheux avec des tills minces (fig. 3c et d). On observe les espèces abondantes après les feux (tremble, bouleau et pin gris) jusqu'à des cycles de feux de 150 ans, les espèces de fin de succession (sapin, épinettes et thuya) devenant dominantes sur les territoires ayant des

cycles de feux de plus de 200 ans. Bergeron (1991) estime le cycle des feux durant le Petit Âge glaciaire à environ 60 ans, le cycle s'allongeant constamment depuis. Ces résultats illustrent bien comment la diminution graduelle de la fréquence des feux a pu entraîner une augmentation importante de l'abondance du sapin et du thuya au XX^e siècle. Inversement la faible abondance du pin gris, notamment dans les sites mésiques, pourrait aussi s'expliquer par l'allongement récent du cycle des feux (Bergeron et Dansereau, 1993).

Transposés aux études paléoécologiques, ces résultats pourraient expliquer pourquoi la végétation à l'Holocène moyen était caractérisée par la dominance du pollen de thuya (Richard, 1980 ; Liu, 1990). En effet, cette période correspondrait aux températures maximales enregistrées durant l'Holocène (COHMAP Members, 1988 ; Wright *et al.*, 1993). En supposant que les effets d'un réchauffement sur la fréquence des feux aient été à l'époque similaires à ceux observés à la fin du Petit Âge glaciaire, cette période devait être caractérisée par des cycles de feux longs favorables à la présence du thuya. À l'opposé, le refroidissement climatique qui a caractérisé le début de la période néoglaciale vers 3400 BP (COHMAP Members, 1988 ; Wright *et al.*, 1993) pourrait avoir entraîné une augmentation de la fréquence des feux et une augmentation notable de l'abondance pollinique du pin gris (Richard, 1980, 1993). Ces résultats concordent avec ceux d'études réalisées plus au nord dans la région subarctique, qui montrent que durant la période plus froide du Néoglaciale on observe une fréquence plus élevée des feux et de l'activité éolienne (Filion *et al.*, 1991) de même que l'expansion maximale du pin gris (Despons et Payette, 1993).

CONCLUSION

L'hypothèse selon laquelle il existe une relation entre le réchauffement climatique et la décroissance des incendies forestiers semble être confirmée à plusieurs échelles temporelles. Cette conclusion remet en cause l'hypothèse généralement émise selon laquelle il y a une relation universellement positive entre l'incidence des feux et l'augmentation de la température (Overpeck *et al.*, 1990 ; Clark, 1988a ; Flannigan et van Wagner, 1991). En fait, une confrontation des données empiriques et de simulation pour le Canada et le nord de l'Europe montre que la décroissance générale observée dans la fréquence des feux depuis 150 ans pourrait s'expliquer par le réchauffement climatique (Flannigan *et al.*, 1990). Cette relation entre le climat et la fréquence des feux est primordiale si on tient compte du rôle des feux dans la détermination de la composition des peuplements forestiers (Green, 1982 ; Heinselman, 1981). Dans ce contexte, les changements de la composition forestière, tant dans l'avenir qu'au cours de la période holocène, dépendent tout autant, sinon plus, de la réponse indirecte des écosystèmes forestiers aux changements dans la fréquence des feux que de leur réponse directe aux changements climatiques. Cette constatation vaut aussi pour

plusieurs autres propriétés des écosystèmes. Par exemple, Kurtz et Apps (1995) ont montré qu'une modification relativement faible du régime des perturbations a des conséquences énormes sur le bilan du carbone à l'échelle du Canada.

REMERCIEMENTS

Nous tenons d'abord à remercier l'ensemble des collègues, des étudiants et des stagiaires au post-doctorat qui ont collaboré aux travaux qui sont synthétisés dans cet article. Les organismes suivants ont participé au financement de cette recherche : le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada, le Fonds pour la formation des chercheurs et l'aide à la recherche, le ministère des Ressources naturelles du Québec et le Service canadien des forêts. Enfin, nous voulons remercier les organisateurs du colloque d'Aussois (Centre de coopération universitaire franco-québécois) pour nous avoir donné l'occasion de préparer cette contribution.

RÉFÉRENCES

- Archambault, S. et Bergeron, Y., 1992. A 802 yr tree-ring chronology from the Quebec boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 : 674-682.
- Bergeron, Y., 1991. The influence of island and mainland lakeshore landscapes on boreal forest fire regimes. *Ecology*, 72 :1980-1992.
- Bergeron, Y. et Archambault, S., 1993. Decrease of forest fires in Quebec's southern boreal zone and its relation to global warming since the end of the Little Ice Age. *The Holocene*, 3 : 255-259.
- Bergeron, Y., Bouchard, A., Gangloff, P. et Camiré, C., 1983. La classification écologique des milieux forestiers de la partie ouest des cantons d'Hébertcourt et de Roquemaure, Abitibi, Québec. *Études écologiques* 9, Université Laval, Québec, 169 p.
- Bergeron, Y. et Dansereau, P.R. 1993. Predicting forest composition under different fire cycles in the southeastern boreal forest of Canada. *Journal of Vegetation Science*, 4: 827-832.
- Bergeron, Y. et Dubuc, M., 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio*, 79: 51-63.
- Bergeron, Y. et Flannigan, M., 1995. Predicting the effects of climate change on fire frequency in the southeastern Canadian boreal forest. *Water, Air and Soil Pollution*, 82 : 437-444.
- Bergeron, Y. et Harvey, B., 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: An approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *Forest Ecology and Management*, 92 :235-242.
- Clark, J.S., 1988. Effect of climate change on fire regimes in north-western Minnesota. *Nature*, 334 : 233-235.
- COHMAP Members, 1988. Climatic changes of the last 18 000 years: Observations and model simulations. *Science*, 241 : 1043-1052.
- Côté, M., 1993. Préhistoire de l'Abitibi-Témiscamingue. *Recherches amérindiennes au Québec*, 23 : 5-24.
- Dansereau, P.R. et Bergeron, Y., 1993. Fire history in the southern boreal forests of northwestern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 23 : 25-32.
- Davis, M.B., 1989. Lags in vegetation response to greenhouse warming. *Climatic Change* 15 : 75-82.
- Despons, M. et Payette, S., 1993. The Holocene dynamics of jack pine at its northern limit in Québec. *Journal of Ecology*, 81 : 719-727.
- Engelmark, O., Bradshaw, R. et Bergeron, Y., 1993. Disturbance dynamics in boreal forest: Introduction. *Journal of Vegetation Science*, 3 : 729-732.
- Environnement Canada, 1993. Canadian climate normals 1961-90. Canadian climate program. Environment Canada. Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario.

- Filion, L., Saint-Laurent, D., Despons, M. et Payette, S., 1991. The late Holocene record of aeolian and fire activity in northern Quebec, Canada. *The Holocene*, 1 : 201-208.
- Flannigan, M., Bergeron, Y., Engelmark, O. et Wotton, M., 1998. Future wildfire in the northern forests : Less than global warming would suggest ? *Journal of Vegetation Science* (sous-presses).
- Flannigan, M. et Harrington, J.B., 1988. A study of the relation of meteorology variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada 1953-1980. *Journal of Applied Meteorology*, 27 : 441-452.
- Flannigan, M. et van Wagner, C. E., 1991. Climate change and wildfire in Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 21 : 66-72.
- Folland, C.K., Karl, T.R. et Vinnikov, K.Y.A., 1990. Observed climate variations and change, p. 194-238. *In* J.T. Houghton, G.J. Jenkins et J.J. Ephraums, édit., *Climate change- the IPCC assessment*.
- Gagnon, R., 1989. Maintien de limites abruptes entre des peuplements équiens d'épinette noire (*Picea mariana*) et des formations de feuillus intolérants (*Populus tremuloides* et *Betula papyrifera*) dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. *Naturaliste canadien*, 116 : 117-124.
- Gauthier, S., Leduc, A. et Bergeron, Y., 1995. Forest dynamics modelling under a natural fire cycle: A tool to define natural mosaic diversity in forest management. *Environmental Monitoring Assessment*, 39 : 417-434.
- Green, D.G., 1982. Fire and stability in the post-glacial forests of southwest Nova-Scotia. *Journal of Biogeography*, 9 : 29-40.
- Heinselman, M.L., 1981. Fire and succession in the conifer forests of North America, p. 374-406. *In* D.C. West, H.H. Shugart, et D.B. Botkin, édit., *Forest succession: Concepts and Application*, Springer-Verlag, New York.
- Johnson, E.A., 1992. Fire and vegetation dynamics-studies from the North American boreal forest. *Cambridge Studies in Ecology*, Cambridge University Press.
- Kurtz, W. A. et Apps, M. J., 1995. An analysis of future carbon budgets of Canadian boreal forests. *Water Air and Soil Pollution*, 82 :321-331.
- Lamb, H.H., 1982. *Climate history and the modern world*. Methuen, New York.
- Leduc, A., Gauthier, S. et Bergeron, Y., 1995. Prévission de la composition d'une mosaïque forestière naturelle soumise à un régime des feux : proposition d'un modèle empirique pour le nord-ouest du Québec, p. 197-205. *In* G. Domon et J. Falardeau, édit., *Méthodes et réalisations de l'écologie du paysage pour l'aménagement du territoire*. Polyscience publication, Morin Heights, 227 p.
- Liu, K.-B., 1990. Holocene paleoecology of the boreal of the boreal forest and Great Lake-St. Lawrence forests in northern Ontario. *Ecological Monographs*, 60 : 179-212.
- Overpeck, J.T., Rind, D. et Goldberg, R., 1990. Climate-induced changes in forest disturbances and vegetation. *Nature*, 343 : 51-53.
- Payette, S., 1992. Fire as a controlling process in the North American boreal forest, p. 144-169. *In* H.H. Shugart, R. Leemans et G.B. Bonan, édit., *A systems analysis of the boreal forest*. Cambridge University Press.
- Richard, P.J.H., 1980. Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 34 : 77-94.
- _____, 1987. Le couvert végétal au Québec-Labrador et son histoire postglaciaire. Notes et Documents. Département de Géographie. Université de Montréal.
- _____, 1993. Origine et dynamique postglaciaire de la forêt mixte au Québec. *Review of Paleobotany and Palynology*, 79 : 31-68.
- Rowe, J.S., 1972. *Forest regions of Canada*. Environment Canada, Ottawa.
- van Wagner, C.E., 1987. Development and structure of the Canadian Forest fire Weather Index System. *Canadian Forest Service Technical Report*, 35, 37 p..
- Vincent, J.-S. et Hardy, L., 1977. L'évolution et l'extinction des grands lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois. *Géographie physique et Quaternaire*, 31 : 357-372.
- Wright, H.E., Kutzbach, J.E., Street-Perrott, F.A., Ruddiman, W.F. et Webb III, T., 1993. *Global Climates since the Last Glacial Maximum*. University of Minnesota Press, Minneapolis, 569 p.
- Zasada, J., Sharik, T.L. et Nygren, M., 1992. The reproductive process in boreal forest trees, p. 85-125. *In* H.H. Shugart, R. Leemans et G.B. Bonan, édit., *A systems analysis of the boreal forest*. Cambridge University Press.