

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

RECONSTITUTION DE L'HISTORIQUE DES FEUX DE FORÊT (1680-2003)
DANS LA RÉGION DE LA GASPÉSIE, DE L'EST CANADIEN.

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR

ÈVE LAUZON

OCTOBRE 2004

REMERCIEMENTS

Sans la collaboration de plusieurs personnes, ce projet ne ce serait jamais concrétisé. Tout d'abord, je voudrais remercier mon codirecteur Daniel Kneeshaw. Seule sa bonne humeur et son enthousiasme m'ont permis d'accomplir ce travail jusqu'au bout. Depuis le tout début, il m'a démontré son entière confiance, ce que j'ai beaucoup apprécié.

Ensuite, il y a toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet: mon directeur Yves Bergeron, qui est toujours là au bon moment, mes aides de terrains David Lagacé, Frédéric Lewis et Julie Messier, Sylvie Gauthier pour son aide avec les analyses de survie (*I survived to SAS !*), Patrick Lefort qui a collecter et compiler des données pour ce projet et qui était toujours... presque toujours là pour répondre à mes questions, Dan Grenier qui m'a également aidé avec les analyses de survie, André de Romer pour ses nombreuses réflexions, Mathieu Bouchard qui m'a déniché quelques articles, Dominique Sénécal parce que c'est « l'homme à tout faire » et Vincent D'Aoust pour les conversations enrichissantes.

Finalement, j'aimerais dire un très gros **MERCI** à Daniel «Tech» Lesieur qui m'a enduré jusqu'à la toute fin ! Il a fait preuve de beaucoup de patience en répondant à mes questions et en solutionnant des problèmes impossible à solutionner.

MERCI À TOUT LE MONDE !

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES ANNEXES.....	viii
RÉSUMÉ GÉNÉRAL.....	ix
SECTION I: Introduction générale.....	1
1.1 <i>Le cycle de feu</i>	2
1.2 <i>Les facteurs influençant le cycle de feu</i>	3
1.3 <i>Objectifs et hypothèses</i>	5
1.4 <i>Implication pour l'aménagement forestier durable</i>	7
SECTION II: Reconstitution de l'historique des feux de forêt (1680-2003) dans la région de la Gaspésie, dans l'est du Québec.....	9
2.1 <i>Résumé</i>	10
2.2 <i>Introduction</i>	11
2.2.1 <i>Région à l'étude</i>	15
2.2.2 <i>Sous-domaines à l'étude</i>	15
2.2.3 <i>Utilisation du territoire</i>	16
2.3 <i>Méthodologie</i>	17
2.3.1 <i>Reconstitution de l'historique des feux</i>	17
2.3.2 <i>Échantillonnage</i>	17
2.3.3 <i>Calcul du cycle de feu</i>	18
2.3.4 <i>Reconstitution de l'indice forêt météo (IFM)</i>	20
2.4 <i>Résultats</i>	21
2.4.1 <i>Somme des superficies brûlées entre 1920 et 2003</i>	21

2.4.2 <i>Distribution des classes d'âge</i>	22
2.4.3 <i>Estimation du cycle de feu</i>	22
2.4.4 <i>Reconstitution de l'indice forêt météo</i>	24
2.5 <i>Discussion</i>	25
2.5.1 <i>Variation spatiale et temporelle du cycle de feu</i>	25
2.5.2 <i>Les changements climatiques</i>	26
2.5.3 <i>Un cycle de feu naturel ?</i>	27
2.5.4 <i>Conséquence sur la composition forestière</i>	29
2.5.5 <i>Conclusion</i>	30
2.6 <i>Références</i>	43
SECTION III: <i>Conclusion générale</i>	49
RÉFÉRENCES GÉNÉRALES.....	51
ANNEXE.....	55

LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Le territoire à l'étude est divisé en 2 domaines bioclimatiques (sapinière à bouleau jaune et sapinière à bouleau blanc) et 5 unités de paysage (71, 72, 108, 109, 111, 112).....31
- Figure 2: Carte des feux répertoriés entre 1920 et 2003.....32
- Figure 3: Le territoire à l'étude est situé dans la région de la Baie-Des-Chaleurs en Gaspésie, dans l'est du Canada. L'échantillonnage a été effectué à l'aide de polygone de 40 km², séparant ainsi, le territoire de manière systématique.....33
- Figure 4: Distribution du nombre (N=33) et des tailles d'incendies (superficie totale : 241 893 ha) pour la région de la Baie-Des-Chaleurs en Gaspésie entre 1920 et 2003.....34
- Figure 5: La proportion de la superficie forestière par décennie qui se traduit par la distribution d'âge de la forêt à l'étude.....35
- Figure 6: La distribution cumulative du temps depuis le dernier feu pour le territoire à l'étude.....36
- Figure 7: Évolution du cycle de feu dans le temps. L'analyse séquentielle révèle que la distribution suit une distribution exponentielle négative pour les périodes marquées par les triangles noirs.....37
- Figure 8: Corrélation entre les superficies brûlées et les indices forêt météo entre 1920 et 2003 ; a) Sommes des superficies brûlées entre 1920 et 2003, b) tendance des

IFM moyens par année entre 1914 et 2003, c) tendance des IFM maximaux par année entre 1914 et 2003.....	38
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Année, superficie et cause des feux survenus entre 1920 et 2003.....	39
Tableau 2 : Estimation du cycle de feu pour les domaines bioclimatiques et les unités de paysage par périodes (avant 1850 et après 1850).....	40
Tableau 3 : Estimation du cycle de feu global pour les deux domaines bioclimatiques et les différentes unités de paysage.....	41
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des différentes périodes et méthodes utilisées pour calculer le cycle de feu.	42

LISTES DES ANNEXES

Annexe A: Abaque permettant d'évaluer la proportion désirée des différentes cohortes selon le cycle des perturbations naturelles et l'âge maximal d'exploitation.....	51
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RÉSUMÉ

Les feux de forêts constituent l'une des perturbations majeures affectant la dynamique forestière de la forêt boréale. Ces incendies sont responsables, de concert avec les caractéristiques physiques du territoire, de l'existence de peuplements d'âges et de compositions différentes. L'aménagement écosystémique basé sur une bonne connaissance du cycle des feux, vise à reproduire adéquatement la variété de classes d'âges, le type de peuplements et les composantes structurales qui sont rencontrés dans les forêts non aménagées. L'objectif de ce mémoire est de décrire le régime naturel des feux dans la forêt mixte de la Gaspésie. L'importance de facteurs spatio-temporels sur la fréquence des feux est également évaluée.

L'étude a été réalisée sur un territoire d'environ 6480 km² et couvre une période de 280 ans. Les archives du Ministère des Ressources Naturelles du Québec et des photographies aériennes ont été utilisées pour consigner la plupart des feux ayant eu lieu depuis le début du 20^e siècle. Le territoire non brûlé depuis le début du 20^e siècle a été échantillonné au moyen de techniques dendrochronologiques. Le territoire a d'abord été divisé en hexagones de 40 km² où des placettes ont été disposées le long de transects afin d'échantillonner les placettes de manière systématique. Nous avons prélevé de 5 à 10 carottes et/ou galettes d'arbre par transects. Par la suite, nous avons déterminé l'âge des ces arbres pour, par la suite, attribuer un *temps depuis le dernier feu* (TDDF) à chacun des hexagones. L'ensemble des données a été numérisé dans le système d'information géographique Arc View.

Suite à l'échantillonnage, la distribution incluant les superficies qui proviennent de différentes périodes après feu a été analysée en utilisant la distribution exponentielle négative et les analyses de survie. Contrairement à l'idée répandue, le cycle de feu, pour l'ensemble de la période étudiée, est assez court, soit d'environ 200 ans. Les deux domaines bioclimatiques et les différentes unités de paysage présents dans la région de la Baie-Des-Chaleurs n'influencent en aucun cas le régime des feux. La proportion de forêt incendiée reste constante jusqu'en 1850, pour ensuite diminuer de manière significative. En effet, un allongement dans le cycle de feu (108 à 182 ans) a été observé après la fin du Petit Âge Glaciaire (PAG) (~ 1850). Le calcul de l'indice forêt météo, effectué entre 1920 et 2003, démontre une diminution significative de l'indice d'inflammabilité extrême suggérant qu'une diminution de conditions climatiques menant à des périodes d'extrême sécheresse, pourrait être responsable de l'augmentation du cycle de feu, ici et ailleurs au Canada.

Nos résultats concordent donc avec d'autres études semblables, réalisées au Québec et au Canada. Ils démontrent une baisse de la fréquence des feux possiblement reliés aux changements climatiques survenus après la fin du PAG. La présence de long cycle de feu en Gaspésie suggère que le recours à l'aménagement

équien à rotation courte, inspiré des feux en forêt boréale, n'est pas bien adapté. Des pratiques alternatives devraient être envisagées par les aménagistes forestiers s'ils veulent atteindre leurs objectifs en matière de développement durable et de maintien de la biodiversité.

SECTION I : INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les incendies forestiers constituent l'une des principales perturbations affectant la dynamique forestière de la forêt boréale. Ils jouent un rôle essentiel dans le maintien de la biodiversité (Rowe et Scotter, 1973 ; Attiwil, 1994 ; Weber et Stocks, 1998 ; Peltzer, 2000 ; Gauthier et al. 2001). Il existe une grande variabilité dans la sévérité, la fréquence et la taille des feux entre les différentes régions de la forêt boréale (Rowe et Scotter, 1973 ; Weber et Stocks, 1998 ; Bergeron, 1998). Les cycles de feux varient donc grandement d'une région à l'autre (Bergeron et Dansereau, 1993 ; Johnson et al. 1998 ; Bergeron et al. 1999 ; Gauthier et al. 2001). Par exemple, au Canada le cycle des feux varie d'ouest en est. En Alberta, le cycle de feu est estimé à environ 50 ans tandis que dans les régions plus humides de l'est, tels que le Labrador et la Nouvelle-Écosse, le cycle varie entre 250 et 500 ans (Ross et Moore, 1979 ; Foster, 1983 ; Pham et al. 2004).

1.1 Le cycle de feu

Le cycle de feu est défini comme étant le temps requis pour brûler une superficie équivalente au territoire à l'étude (Johnson et al. 1990 ; Johnson et Gutsell 1994). S'il est constant dans le temps, le cycle est aussi équivalent à l'intervalle moyen entre les incendies forestiers dans un point donné, ou à l'âge moyen des forêts après feu, sur l'ensemble du territoire (Gauthier et al. 2001). Cependant, tandis que des portions d'un territoire peuvent être épargnées par le feu au cours d'une période donnée, d'autres, peuvent brûler plus d'une fois (Bergeron et al. 1999 ; Leduc et al. 2000 ; Gauthier et al. 2001). Par conséquent, les régions épargnées auront des peuplements ayant un âge supérieur au cycle de feu, tandis que les régions non épargnées auront des peuplements d'âge inférieur au cycle de feu. Le territoire devrait alors être constitué d'une multitude de peuplements d'âges et de compositions différentes (Bergeron et Harvey, 1997 ; Bergeron et al. 1999 ; Leduc et al. 2000 ; Gauthier et al. 2001 ; Harvey et al. 2002).

1.2 Les facteurs influençant la longueur du cycle de feux

Depuis quelques années, plusieurs études ont décelé un changement dans la durée du cycle de feux. Certaines d'entre elles ont démontré que le climat est responsable de ces changements (Flannigan et Van Wagner 1991 ; Stocks, 1993 ; Wotton et Flannigan 1993 ; Flannigan et al. 1998 ; Flannigan et al. 2000). Une augmentation de la température a pu être observée dans l'hémisphère nord depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (PGA) (~ 1850) (Stocks, 1993 ; Bergeron, 1998). Flannigan et Van Wagner (1991) ont évalué à l'aide d'un modèle de circulation générale de l'atmosphère, quel serait l'effet d'un doublement du CO₂ atmosphérique sur l'activité des feux. À partir de ce scénario, ils avaient prédit qu'au Canada il y aurait une augmentation de 46% de la fréquence des feux. La portion centrale du Canada a effectivement connu une augmentation de la fréquence des feux (Flannigan et al. 1998). Cependant, malgré cette prédiction et l'augmentation des températures, l'étude de Bergeron et Archambault (1993) a établi qu'il y avait eu une augmentation dans le cycle des feux et ce, depuis la fin du PGA. Le même type de résultats a été obtenu par Engelmark et al. (1994), qui ont eux aussi observé une diminution dans la fréquence des feux en Suède. Par la suite, Flannigan et al. (1998) ont également observé que, malgré l'augmentation des températures, la fréquence des feux de forêt a diminué dans plusieurs régions de l'Amérique du nord et du nord de l'Europe. À la lumière des études qui ont été réalisées, une augmentation de la température ne signifie pas nécessairement une diminution dans la durée du cycle de feu (Bergeron, 1998 ; Johnson et al. 1998 ; Flannigan et al. 2000).

D'autres études suggèrent que la diminution de la fréquence des feux depuis la fin du PAG pouvait être attribuée à la suppression des incendies. Par contre, la suppression des feux n'a commencé à être efficace qu'aux environs de 1970 (Bergeron, 1991 ; Lefort, 1997). Par ailleurs, certaines recherches ont été réalisées à des endroits probablement non affectés par l'homme. En effet, Bergeron (1991) a

observé une diminution dans la fréquence des feux tant sur les rives du lac Duparquet que sur les nombreuses îles, parsemées à l'intérieur du lac. Cette diminution est attribuable à une réduction de la période de sécheresse estivale. Pendant la période du PAG, le sud de la forêt boréale aurait été davantage soumis à des masses d'air froid et sec favorisant plus de sécheresse durant l'été. Après la fin du PAG, il y aurait eu un changement dans le climat qui aurait favorisé la présence de masses d'air plus chaud et plus humide favorisant moins de sécheresse en saison estivale (Bergeron et Archambault, 1993).

Des études révèlent que les amérindiens ont probablement eu une forte influence sur le régime des feux puisqu'ils brûlaient des parcelles de forêt pour favoriser leurs chasses ou pour faciliter leurs déplacements en forêt (Day, 1953 ; Lorimer, 2001). Cependant, certains auteurs ont suggéré que la présence, ainsi que l'influence des amérindiens sur le régime des feux pouvaient être considérées comme négligeables en forêt boréale (Dansereau 1991 ; Lefort, 1997). En ce qui concerne les premiers colons européens, ils ont, pour leur part, déclenché des incendies avec le défrichement des terres, ainsi qu'avec la construction de routes et de chemins de fer (Johnson et al. 1990). Dans l'ensemble du Québec, entre 1922 et 1984, plus de 80% des incendies forestiers résultaient de l'activité humaine (Lévesque, 1997). Toujours selon Lévesque (1997), il semble qu'au début du siècle, les feux d'abattis étaient la principale cause d'incendies forestiers. Toutefois, bien que les feux de causes humaines soient très importants en nombre, ils ne le sont pas en superficies. Les feux de foudre restent les principaux responsables de près de 85% des superficies incendiées (Weber et Stock, 1998). À grande échelle, les incendies forestiers résultant de l'activité humaine, ont très peu d'influence sur le régime des feux (Johnson et al. 1990 ; Weber et Stocks 1998).

Les feux peuvent également être influencés par divers facteurs et ce, à différentes échelles spatiales. À l'échelle continentale, les saisons et les conditions

météorologiques sont responsables du régime de précipitations et de perturbations naturelles (Ryan, 2002). À une échelle plus régionale, la topographie, la configuration du réseau hydrographique, le type et l'humidité du sol, le type de végétation et la quantité et la qualité du combustible représentent des caractéristiques biophysiques qui influencent le régime de perturbation d'une région (Rowe et Scotter, 1973 ; Johnson et al. 1998 ; Hély et al. 2000 ; Carcaillet et al. 2001). Par exemple, il est généralement reconnu qu'il existe des barrières naturelles contre les incendies, tels que les cours d'eau et les marais. Les endroits de hautes altitudes, ainsi que les versants sud et ouest sont plus chauds et plus secs et, par conséquent, brûlent plus souvent (Heinselman, 1973, Ryan, 2002). Ces différentes caractéristiques sont donc susceptibles d'influencer le régime des incendies (Barbour et al. 1999).

1.3 Objectifs et hypothèses

La forêt boréale est, depuis plusieurs années, largement exploitée par l'industrie forestière. La forêt gaspésienne est une des premières forêts à avoir été exploitée. Cependant, peu d'étude ont tenté de décrire la dynamique naturelle de cette forêt, et encore moins son régime de perturbation naturelle. Il semble que les chablis, les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et les feux de forêt soient les principaux processus naturels du renouvellement de la forêt gaspésienne (Lévesque, 1997). L'étude du cycle de feu représente une première étape importante qui permettra d'approfondir les connaissances sur le fonctionnement de la forêt gaspésienne. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un projet plus large visant à évaluer l'influence des régimes de perturbations naturelles sur la dynamique forestière. Nous voulons développer un système d'aménagement forestier durable qui s'inspire de la dynamique naturelle pour la forêt mixte dans la région de la Gaspésie. En ce sens, l'intégrité écologique de cette région pourrait être mieux préservée.

Le principal objectif de ce mémoire est donc de décrire le régime naturel des feux dans les sous domaines de la sapinière à bouleau jaune de l'est et de la sapinière à bouleau blanc de l'est, de la Gaspésie. Le but est de déterminer les pourcentages de forêt issus du feu pour, ensuite, déterminer l'âge et la structure actuels de la forêt. Bien qu'il y ait eu très peu d'étude sur le cycle des feux en Gaspésie, il est estimé qu'il devrait s'apparenter à celui des sapinières de l'est du Canada, soit de 250 à 500 ans (Saucier et al. 1998). Notre première hypothèse est que le cycle de feu devrait s'apparenter à ce qui a été mentionné dans la littérature.

La région de la Baie-des-Chaleurs en Gaspésie est caractérisée par un climat humide qui subit l'influence des maritimes et où les précipitations sont généralement abondantes (Robitaille, 1998). Le sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est présente un climat quelque peu différent de celui du sous-domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'est. En effet, les précipitations sont un peu plus abondantes et la température est un peu plus élevée dans la sapinière à bouleau jaune de l'est. Il y a une plus grande diversité d'arbres et d'essences feuillus, tels que du bouleau jaune, du bouleau blanc et de l'érable rouge (Saucier et al. 1998). Les forêts comportant davantage d'essences feuillues sont reconnues pour être moins inflammables que les forêts de conifères (Hély et al. 2000). Par conséquent, notre deuxième hypothèse est que le cycle de feu devrait être plus long dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est.

À l'échelle du paysage, il est possible d'observer des différences dans le régime des perturbations entre les différentes situations physiographiques ou géomorphologiques. Le relief et l'altitude sont des éléments susceptibles d'influencer la fréquence des feux (Bergeron, 1991 ; Dansereau et Bergeron, 1993). La région de la Baie-Des-Chaleurs en Gaspésie est séparée en 5 unités de paysage, soient les unités 71 et 72 au sud et 108, 109, 111 et 112 au nord. Ces différentes unités de paysage présentent des caractéristiques physiographiques différentes, dont des reliefs et des

altitudes moyennes très distincts. Notre troisième hypothèse est que les unités de paysage 108 et 111, qui présentent des altitudes moyennes très élevées ont un cycle de feux court, tandis que les unités de paysage 109 et 112, qui sont un peu moins élevées en altitude, ont un cycle de feux un peu plus long que le précédent. Les unités de paysage 71 et 72, pour leur part, présentent un relief plutôt plat et comportent plusieurs vallées, en ce sens le cycle de feu doit être plus long.

Plusieurs études ont démontré que le climat a une influence majeure sur le cycle des feux, (Flannigan et Van Wagner 1991 ; Stocks, 1993 ; Wotton et Flannigan 1993 ; Flannigan et al. 1998 ; Bergeron, 1998 ; Flannigan et al. 2000). Selon Bergeron et Archambault (1993), après la fin du PAG, il y aurait eu un changement dans le climat qui aurait favorisé la présence de masses d'air plus chaud et plus humide, qui aurait entraîné une diminution de la fréquence des feux. À partir de ces résultats, nous posons comme quatrième hypothèse que le cycle des feux en Gaspésie devrait lui aussi s'allonger après la fin du PAG.

1.4 Implication pour l'aménagement forestier

La caractérisation des feux de forêts, en forêt boréale, est encore trop généralisée. Les résultats obtenus lors de cette étude, nous permettront de faire certaines recommandations pour répondre aux critères de l'aménagement forestier durable. En théorie, si tous les peuplements possèdent la même probabilité de brûler, la distribution exponentielle négative des classes d'âges indique qu'environ un tiers des peuplements sont plus âgés que la durée du cycle de feux (Johnson et Van Wagner, 1985). Théoriquement pour un cycle de feu de 100 ans, 63% des peuplements se retrouvent dans les classes d'âge inférieur au cycle de feu et 37% dans les classes supérieures (Johnson et Van Wagner, 1985). Tandis que pour un cycle de feu se situant autour de 300 ans, par exemple, c'est environ 60% des peuplements qui sont plus âgés de 100 ans et 30% qui sont moins âgés de 100 ans.

Ceci nous indique qu'environ un tiers des peuplements devraient être aménagés de manière à reproduire le passage d'incendie, tandis que deux tiers des peuplements devraient être aménagés de façon à reproduire la succession naturelle. C'est-à-dire qu'ils devront reproduire l'effet des perturbations secondaires qui caractérisent les peuplements anciens et surannés ayant échappés aux feux depuis longtemps. L'allongement des révolutions et le recourt à des coupes alternatives est donc à envisager dans ces conditions. De nouvelles pratiques sylvicoles devraient être préconisées par les aménagistes forestiers s'ils veulent atteindre leurs objectifs en matière de développement durable et de maintien de la biodiversité.

**SECTION II : RECONSTITUTION DE L'HISTORIQUE DES FEUX DE
FORÊT (1680-2003) DANS LA RÉGION DE LA GASPÉSIE,
DE L'EST DU CANADA.**

Ève Lauzon, Daniel Kneshaw, Yves Bergeron

Groupe de recherche en écologie forestière

Université du Québec à Montréal

C. P. 8888, succursale Centre-Ville, Montréal, Québec

2.1 Résumé

Les feux de forêt constituent l'une des perturbations majeures affectant la dynamique forestière de la forêt boréale. L'objectif est de décrire le régime des incendies dans la région de la Gaspésie, dans le but d'avoir une bonne connaissance du cycle des feux et, dans nos aménagements, de reproduire adéquatement la variété de classes d'âges, le type de peuplements, et les composantes structurales, rencontrés dans les forêts non aménagées. L'importance de facteurs spatio-temporels sur la fréquence des feux est également investiguée. L'historique des feux a été reconstruit sur une superficie de 6480 km² avec l'aide d'archives du Ministère des Ressources Naturelles du Québec et de photographies aériennes. Ces résultats ont été jumelés à des analyses dendrochronologiques effectuées grâce à un échantillonnage systématique. Le cycle de feu global, calculé à l'aide d'analyses de survie, est d'environ 200 ans. Les deux domaines bioclimatiques et les différentes unités de paysage présents dans la région de la Baie-Des-Chaleurs n'influencent en aucun cas le régime des feux. La proportion de forêt incendiée reste constante jusqu'en 1850, pour ensuite diminuer significativement. En effet, un allongement dans le cycle de feu (108 à 182 ans) a été observé après la fin du Petit Âge Glaciaire (PAG) (~1850). Le calcul de l'indice forêt météo, effectué entre 1920 et 2003, démontre une diminution significative de l'indice d'inflammabilité extrême suggérant qu'une diminution de conditions climatiques menant à des périodes d'extrême sécheresse, pourrait être responsable de l'augmentation du cycle de feu, ici et ailleurs au Canada. La présence de long cycle de feu en Gaspésie suggère que l'aménagement équien à rotation courte, inspiré des feux en forêt boréale, est désuet.

2.2 Introduction

Le régime de perturbation affecte fortement la dynamique forestière (Pickett et White, 1985 ; Attiwil, 1994 ; Bergeron et al. 1999 ; Gauthier et al. 2001). En forêt boréale, le régime des incendies représente un des principaux facteurs affectant la structure, la composition et l'âge des forêts (Bergeron et Dansereau, 1993 ; Weber et Stocks, 1998 ; Gauthier et al. 2001). Cependant, les cycles de feux (période de temps requise pour brûler une portion de territoire équivalente au territoire à l'étude) varient grandement d'une région à l'autre de la forêt boréale (Bergeron et Dansereau, 1993 ; Johnson et al. 1998 ; Bergeron et al. 1999 ; Gauthier et al. 2001). Par exemple, au Canada, il existe une grande variabilité dans le cycle des feux entre les provinces de l'ouest et de l'est. En Alberta, le cycle de feu est estimé à environ 50 ans tandis que dans les régions plus humides de l'est, tels que le Labrador et la Nouvelle-Écosse, le cycle varie entre 250 et 500 ans (Ross et Moore, 1979; Foster, 1983 ; Pham et al. 2004).

Plusieurs études ont démontré que le climat a une influence majeure sur le cycle des feux (Flannigan et Van Wagner 1991 ; Stocks, 1993 ; Wotton et Flannigan 1993 ; Flannigan et al. 1998 ; Flannigan et al. 2000). En effet, depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (~ 1850) (PAG), un changement dans le cycle des feux a été observé et celui-ci a été attribué à un possible changement climatique (Stocks, 1993 ; Bergeron, 1998). Tout d'abord, Flannigan et Van Wagner (1991) ont évalué à l'aide d'un modèle de circulation générale de l'atmosphère, quel serait l'effet d'un doublement du CO₂ atmosphérique sur l'activité des feux. À partir de ce scénario, ils avaient prédit qu'au Canada il y aurait une augmentation de 46% de la fréquence des feux. En effet, la portion centrale du Canada a connu une augmentation des températures qui ont provoquées plus de sécheresse et ont, par le fait même, contribuées à l'augmentation de la fréquence des feux (Flannigan et al. 1998). Cependant, Bergeron et Archambault (1993) ont démontré que malgré l'augmentation des

températures, pendant la période du PAG le sud de la forêt boréale avait été davantage soumis à des masses d'air froid et sec favorisant plus de sécheresse durant l'été. Après la fin du PAG, il y aurait eu un changement dans le climat qui aurait favorisé la présence de masses d'air plus chaud et plus humide favorisant moins de sécheresse en période estivale. Ils ont démontré qu'à cause de ces masses d'air, la fréquence des feux avait diminuée dans la plupart des régions du Canada. Plusieurs autres études effectuées ailleurs en forêt boréale sont arrivées aux mêmes conclusions (Stocks, 1993 ; Engelmark et al. 1994 ; Flannigan et al. 1998 ; Bergeron, 1998 ; Bergeron et al. 2001).

L'incidence de l'homme sur le régime des feux n'est pas facile à définir. Les premiers colons ont probablement déclenché des incendies avec le défrichement des terres, ainsi qu'avec la construction de routes et de chemins de fer (Johnson et al. 1990). Dans l'ère plus moderne, c'est la mécanisation forestière qui a probablement eu un impact important sur le paysage forestier. En effet, dans l'ensemble du Québec entre 1922 et 1984, plus de 80% des incendies forestiers résultaient de l'activité humaine (Lévesque, 1997). Néanmoins, même si les feux de cause humaine sont importants en nombre, les feux de foudre demeurent les principaux responsables de près de 85% des superficies incendiées (Weber et Stock, 1998). De plus, de nos jours, la plupart des feux peuvent être supprimés et/ou contrôlés. Cependant, ceux qui atteignent plus de 200 hectares, le sont rarement (Weber et Stocks, 1998). À grande échelle, les incendies forestiers résultant de l'activité humaine, ne représente qu'une infime portion de la superficie totale brûlée (Johnson et al. 1990 ; Weber et Stocks 1998).

En plus de facteurs climatiques et anthropiques, les feux peuvent être influencés par divers facteurs et ce, à différentes échelles spatiales. À l'échelle continentale, les saisons et les conditions météorologiques sont responsables du régime de précipitations et de perturbations naturelles. À l'échelle du paysage, la

topographie, l'altitude, le type de dépôt et le type de végétation représentent des caractéristiques biophysiques qui influencent également le régime de perturbation d'une région (Rowe et Scotter, 1973 ; Dansereau et Bergeron, 1993 ; Hély et al. 2000 ; Ryan, 2002). Les différentes caractéristiques physiques et biophysiques observées à l'échelle continentale et du paysage, peuvent donc influencer la durée du régime des incendies. Elles peuvent influencer le degré d'humidité du sol et des combustibles, la vitesse ainsi que la direction du vent, ce qui entraîne, par conséquent, une plus ou moins grande susceptibilité au feu (Row et Scotter 1973 ; Ryan, 2002).

La région de la Gaspésie présente un climat maritime humide. Les chablis, les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et les feux de forêt, représentent les processus naturels dominants du renouvellement des forêts gaspésiennes (Lévesque, 1997). De plus, il semble que les feux aient été peu fréquents en Gaspésie, mais qu'ils peuvent couvrir de vastes superficies (Lévesque, 1997). Puisque le cycle de feu semble jouer un rôle important dans la dynamique forestière gaspésienne et, puisque son rôle n'a été que très brièvement décrit dans la littérature, nous allons tenter d'approfondir les connaissances à ce sujet. En effet, avoir une connaissance approfondie du fonctionnement des processus naturels représente un premier pas dans la préservation de l'intégrité écologique d'un territoire.

L'objectif principal de ce travail est donc d'estimer le cycle de feu pour la région de la Baie-Des-Chaleurs en Gaspésie. Notre deuxième objectif est d'analyser l'influence de facteurs spatiaux à l'échelle continentale et du paysage, et l'influence de facteur temporel (décrit plus bas) sur le cycle de feu. Le territoire est compris à l'intérieur de deux grandes zones végétales, soient la sapinière à bouleau jaune de l'est et la sapinière à bouleau blanc de l'est (figure 1). Dans la sapinière à bouleau jaune, la présence de température et de précipitation plus élevée favorise davantage une végétation feuillue qui constitue un type de combustible moins inflammable qu'une forêt composée majoritairement de conifères. Par conséquent, notre première

hypothèse est que le cycle de feu devrait être plus long dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est. La région est aussi constituée de cinq unités de paysage (71, 72, 108, 109, 111 et 112) (figure 1) qui possèdent des caractéristiques biophysiques distinctes, tels que le relief et l'altitude. Ces différentes caractéristiques sont susceptibles d'influencer le régime des incendies. En effet, le rayonnement solaire est plus important en haute altitude, ainsi que le risque d'être frappés par la foudre. Les endroits de basse altitude, telles que les vallées, constituent souvent des barrières naturelles contre la propagation des incendies, puisqu'ils sont plus humides et on y retrouve souvent des cours d'eau (Rowe et Scotter, 1973 ; Heinselman, 1973 ; Dansereau et Bergeron, 1993 ; Ryan, 2002). La seconde hypothèse est que les unités de paysage 108 et 111, qui présentent des altitudes moyennes très élevées, ont un cycle de feux court, tandis que les unités de paysage 109 et 112, qui présentent des altitudes moyennes moins élevées, ont un cycle de feux intermédiaire. Les unités de paysage 71 et 72, qui sont représentées par des vallées et un relief plutôt plat, ont un cycle de feux plus long.

Finalement, il a été démontré que le climat peut influencer le cycle des feux de manière temporelle. Nous nous attendons donc à observer le même genre de changement qui s'est produit dans d'autres régions de la forêt boréale. Nous posons donc comme troisième hypothèse que le cycle n'a pas été constant dans le temps. Nous observerons une augmentation du cycle de feu et ce, depuis la fin du Petit Âge Glaciaire. Pour appuyer cette hypothèse, nous voulons également faire la reconstitution des indices forêt météo pour la période de 1920 à 2003. Nous ajoutons donc à la troisième hypothèse que les indices forêt météo sont à la baisse et qu'ils sont corrélés à la diminution de la fréquence des feux.

2.2.1 Région à l'étude

Le territoire à l'étude (figure 2) est situé en Gaspésie au sud-est du Québec, dans la région de la Baie-Des-Chaleurs entre 64° 22' et 67° 42' de longitude ouest et entre 47° 49' et 49° 15' de latitude nord. La région de la Baie-Des-Chaleurs se situe à l'intérieur de la zone tempérée nordique et de la zone boréale (Saucier et al. 1998). La superficie totale du territoire à l'étude est d'environ 6480 km². Le relief accidenté peut être composé de collines, de monts, de plateaux et de vallées. Les sommets varient entre 300 m et 900 m d'altitude. La majeure partie du territoire est couverte de dépôts d'altération et de colluvionnement. La portion nord-est du territoire comprend aussi des dépôts de tills, tandis que la portion sud présente des dépôts marins. Le terrain est composé à 95 % de sites mésiques et la superficie moyenne en eau atteint 1 %. La température annuelle moyenne est de 2,5°C et les précipitations annuelles moyennes varient entre 900 mm et 1200 mm, dont 35 % représentent des précipitations sous forme de neige. La partie sud du territoire est très peu utilisée pour l'agriculture tandis que la presque totalité du territoire est soumis à l'exploitation forestière (Robitaille et Saucier, 1998). Le réseau routier est plutôt limité avec la route 132 qui longe la baie et la route 299 qui traverse la péninsule entre New Richmond et Sainte-Anne-Des-Monts. Par contre, il existe de nombreux chemins forestiers parcourant la presque totalité du territoire.

2.2.2 Sous-domaines à l'étude

La région à l'étude se trouve à l'intérieur de deux domaines bioclimatiques, la portion sud étant située dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est et la portion centre et nord, dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'est (figure 1) (Saucier et al. 1998). Le domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est est composé d'essences tels que le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*), le sapin baumier (*Abies balsamea*), l'épinette blanche (*Picea glauca*), l'érable rouge (*Acer*

rubrum) et le cèdre de l'est (*Thuja occidentalis*). Le territoire à l'étude compris dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est est divisé en deux unités de paysage (71-72) (figure 1) (Grondin et al. 1999). La température annuelle moyenne varie entre 1°C et 2.5°C. Le domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'est est, pour sa part, composé d'essences tels que le bouleau blanc (*Betula papyrifera*), le sapin baumier, l'épinette blanche et l'épinette noire (*Picea mariana*). La température annuelle moyenne varie entre 0°C et 1°C (Saucier et al. 1998). Le territoire à l'étude compris dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'est est divisé en quatre unités de paysage (108-109-111-112) (Grondin et al. 2000).

2.2.3 Utilisation du territoire

Le territoire de la Baie-Des-Chaleurs est occupé depuis longtemps. En effet, les amérindiens étaient déjà présents dans les années 1600 (Wein et Moore, 1977). Par la suite, les premiers colons sont arrivés vers 1755-1760 et, déjà, à cette époque, ils pratiquaient l'agriculture. Il semble que le défrichement des terres se faisait couramment en incendiant des parcelles de forêt. Durant les mêmes années, l'exploitation forestière a également débuté. Les colons prélevaient essentiellement du pin, lequel était utilisé dans la fabrication de bateau. On rapporte qu'à cette époque, le pin blanc (*Pinus strobus*) a été remplacé principalement par l'épinette blanche puisque les colons prélevaient les arbres toujours aux mêmes endroits. Vers 1820, les premières licences de coupe ont été distribuées et les colons coupaient de plus en plus profondément dans la forêt, mais toujours le long des cours d'eau pour faciliter le transport des billots. En 1850, on rapporte la présence de 31 scieries et de 43 moulins à scie. Plus les années passent et plus l'exploitation forestière prend de l'ampleur. En 1920, il s'agit de la principale activité économique de la région et en 1950, on observe l'arrivée de la mécanisation forestière avec les scies mécaniques, les camions et la construction de routes (Desjardins et al. 1999).

2.3 Méthodologie

2.3.1 Reconstitution de l'historique des feux

La reconstitution de l'historique des feux dans la région de la Gaspésie a été réalisée avec l'analyse de photographies aériennes et des archives du Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRNQ) (Heinselman, 1973 ; Arno et Sneck, 1977 ; Johnson et Gutsell, 1994). Des analyses dendrochronologiques ont également été utilisées pour compléter les données obtenues à partir des photographies aériennes et des archives. Les photographies aériennes et les données d'inventaires forestiers ont été numérisées dans le système d'information géographique Arc View. (Dansereau et Bergeron, 1993 ; Bergeron et al. 2001). Elles ont permis de reconstituer l'historique des feux, ainsi qu'une carte des feux, entre 1920 et 2003 (figure 2). L'analyse dendrochronologique a permis, pour sa part, de dater des peuplements issus directement du feu et plus ancien (allant jusqu'en 1680).

2.3.2 Échantillonnage

Le territoire à l'étude a d'abord été séparé en hexagones (162 hexagones) d'aire équivalente de 40 km², pour assurer un échantillonnage systématique de l'ensemble du territoire. Par la suite, les sites d'échantillonnages ont été sélectionnés à partir des cartes écoforestières. Les hexagones dont la date du dernier feu avait été observée à l'aide des archives du MRNQ et des photographies aériennes n'avaient pas à être échantillonnés. Donc, seuls les hexagones (86 hexagones) dont la date du dernier feu était inconnue ont été échantillonnés. Des peuplements non perturbés par la coupe forestière ont été favorisés, en d'autres cas, des îlots résiduels plus restreints issus de la coupe forestière ou de l'épidémie de tordeuses ont été échantillonnés. Les données ont été récoltées sur le terrain le long de transects de 200 mètres. À chaque

20 mètres, l'essence, ainsi que le diamètre hauteur poitrine ont été échantillonnés à l'aide de la méthode du quadrat centré sur le point.

De 5 à 10 galettes et/ou carottes d'arbres ont été prélevés le plus bas possible sur l'arbre à des fins d'analyses dendrochronologiques (Phipps, 1986). Pour reconstituer l'historique des feux, il est intéressant de prélever des essences qui s'établissent suite à un feu. De cette façon, on peut présumer du temps qui s'est écoulé depuis le dernier feu et ainsi, recréer la distribution des âges des peuplements sur l'ensemble du territoire. Les essences qui ont été favorisées sont dans l'ordre, le bouleau blanc, l'épinette noire, le bouleau jaune et l'épinette blanche. L'âge a été déterminé par le comptage direct des anneaux de croissances sous une loupe binoculaire (Phipps, 1986). Dans chacun des polygones, l'année du feu a été déterminée lorsque au moins 5 individus sur 10, d'un même transect, s'étaient établis sur une période de 20 ans. Dans les autres cas, l'année du feu a été déterminée par l'âge du plus vieil individu échantillonné (Johnson et Gutsell, 1994 ; Bergeron et Dubuc, 1989). Comme dans ce dernier cas il s'agit d'un âge minimal, ces données étaient considérées comme censurées dans les analyses statistiques subséquentes (30 % des valeurs sont censurées). À partir de toutes ces données, c'est-à-dire les années de feu obtenues avec les archives du MRNQ, avec les photographies aériennes et celles obtenues par le comptage des cernes de croissance, nous avons pu déterminer le *temps écoulé depuis le dernier feu* (TDDF) pour chacun des hexagones. C'est à partir de ces dernières données que nous avons pu procéder au calcul du cycle de feu et aux analyses de survie.

2.3.3 Calcul du cycle de feu

Les superficies incendiées entre 1920 et 2003 nous ont permis d'établir le cycle des feux pour cette période, à l'aide d'une règle de trois. Par la suite, pour calculer le cycle de feu pour l'ensemble de la période à l'étude (1680-2003), une

distribution des classes d'âge a d'abord été tracée à partir des TDDF obtenus. Par la suite, une distribution cumulée a été tracée suivant le modèle de l'exponentielle négative puisqu'il est généralement admis que ce modèle est représentatif de la dynamique des perturbations en forêt boréale (Van Wagner, 1978). La distribution exponentielle négative¹ est un cas particulier du modèle de Weibull² où « c » est égal à 1, ce qui indique que la probabilité de brûler est constante dans le temps (Johnson et Gutsell, 1994) :

$$1- A(t) = \exp(-t/b)$$

$$2- A(t) = \exp(-(t/b)^c)$$

A (t) étant la proportion des forêts ayant survécu jusqu'au temps t, b étant le paramètre d'échelle et c, le paramètre de la forme. Dans une distribution exponentielle négative, le cycle est égal à b, c'est-à-dire à la moyenne de la distribution (Johnson et Gutsell, 1994).

Les différents cycles de feu ont été estimés à l'aide d'analyses de survie selon la procédure lifereg (qui utilise les modèles de régression) (Proc LIFEREG, SAS Institute Inc. 1990 ; Johnson et Gutsell, 1994 ; Allison, 1995). L'analyse de survie est utilisée pour déceler les différences entre les distributions et les différents paramètres, et pour estimer les cycles de feu. Elle tient également compte du fait que certaines données (TDDF) sont minimales (c'est-à-dire que le TDDF est censuré, qu'on connaît uniquement l'âge minimum auquel le peuplement a survécu). D'abord, l'ensemble des données (distribution cumulée des TDDF) est soumis à une analyse de survie sous une distribution exponentielle négative. La même procédure a été répétée de manière séquentielle tout en éliminant les décennies les plus récentes. Le cycle a donc d'abord été évalué pour la période qui est couverte par l'étude, c'est-à-dire entre 2003 et 1680. Par la suite, une décennie a été éliminée (2003-1993) par la censure, et le cycle a été réévalué. La même procédure a été répétée en éliminant 2, 3 et 4 décennies et ainsi de suite jusqu'en 1783 (au-delà de cette date, les intervalles de confiance deviennent presque exponentiels).

Puisque nous voulions tester l'hypothèse d'un changement climatique survenu à la fin du Petit Âge Glaciaire, nous avons testé les périodes de temps suivantes (toujours selon le modèle de l'exponentielle négative) : 1680-1850 et 1850-2003. L'année 1850 a été d'abord choisie puisqu'elle correspond à la fin du Petit Âge Glaciaire (Archambault et Bergeron, 1992). Dans l'évaluation de la période « avant la fin du Petit Âge Glaciaire » (avant 1850), la période 1680 à 1850 est censurée vers le passé. Tandis que dans l'évaluation de la période « après la fin du Petit Âge Glaciaire » (après 1850), la période 1850 à 2003 est censurée vers le présent.

Nous avons utilisé la même approche pour comparer les différents paramètres spatiaux (domaine de la sapinière à bouleau jaune vs domaine de la sapinière à bouleau blanc, les cinq unités de paysage). Nous avons d'abord séparé le territoire en deux domaines bioclimatiques (BOP et BOJ). Par conséquent, un groupe de donnée (TDDF) étaient associés à BOP et un autre groupe a été associé à BOJ. Nous avons ensuite comparé les deux (distributions) séries de données. La même procédure a été utilisée pour comparer les unités de paysage. Par contre, puisque certains échantillons étaient trop faibles, les unités ont été regroupées ensemble. Par conséquent, trois (distributions) séries de données ont été comparées (71-72 n=40, 108-111 n=65, 109-112 n=57). Par la suite, les mêmes séries (BOP et BOJ) et (71-72, 108-111, 109-112) ont été comparées mais, en incluant la variable temporelle, c'est-à-dire en séparant les périodes avant 1850 et après 1850.

2.3.4 Reconstitution de l'indice forêt météo (IFM)

La reconstitution de l'indice forêt météo a pour but de vérifier s'il y a des changements de conditions météorologiques depuis le début du siècle, qui pourraient influencer le régime des feux ou expliquer des variations observées dans le cycle de feu. Les données des indices forêt météo (IFM) ont été reconstituées à partir de 1920

jusqu'en 2003. Les données ont été obtenues à partir de la station météorologique de Gaspé (48° 8' N 64° 5' W), localisée à 88 km de la limite ouest du territoire, ainsi qu'à partir de la station Causapscal (48° 22' N 67° 13' W), localisée à 48 km de la limite est du territoire. Ces stations ont été choisies puisqu'elles sont entrées en fonction très tôt comparativement aux autres stations météorologiques retrouvées sur la péninsule. L'IFM est un indice développé par le Service Canadien des Forêts et représente un procédé uniforme pour évaluer le danger d'incendie dans tout le Canada (Service Canadien des Forêts, 1984). La reconstitution de l'indice forêt météo a été fait avec les données journalières des stations de Gaspé et de Causapscal, suivant la méthode développée par Lefort et al. (2003). Différents paramètres sont utilisés pour le calcul de IFM, ces paramètres étant : précipitation, température, humidité relative et vitesse/direction du vent. Les tendances des IFM moyens et maximaux ont été analysées à l'aide de régressions linéaires. Les données ont été compilées pour chaque année et elles ont été classées selon le niveau de danger d'incendie. En effet, la Société de Protection des Forêts contre les Feux du Québec possède un système de classification qui permet de séparer les différents niveaux de risque associé au danger d'incendie : danger faible = IFM 0-4.6, danger modéré = IFM 4.7-10.2, danger haut = IFM 10.3-14.7, danger très haut = IFM 14.8-20.2 et finalement, danger extrême = 20.3 et plus. Par la suite, les IFM ont été corrélés, à l'aide de régression, avec les années où l'occurrence des feux et/ou les superficies incendiées ont été importantes.

2.4 Résultats

2.4.1 Superficies brûlées entre 1920 et 2003

La superficie totale brûlée entre 1920 et 2003 est de 269 030 hectares. Le feu de 1924, qui couvre une très large portion du territoire, a été d'une envergure exceptionnelle en atteignant près de 199 155 hectares (figure 3). Les années 1930 et

1995 ont également connu plusieurs incendies. En 1930, la somme des superficies incendiées, a atteint 14 260 hectares et en 1995, presque 30 000 hectares (figure 3). Les causes de ces incendies demeurent pour la plupart inconnues à part pour les feux datant de la décennie de 1990 (tableau 1). La figure 4 nous permet de voir que moins de 10% des feux sont responsables d'un peu plus de 50% de la superficie totale brûlée. Les grands incendies (+ 1000 ha) sont ceux qui ont le plus d'impact sur le paysage. La carte des feux entre 1920 et 2003 (figure 3) nous permet de voir que ce sont les feux de 1924, 1930 et 1995 qui sont responsable de la majorité de la superficie brûlée.

2.4.2 Distribution des classes d'âge.

La figure 5 présente la distribution des classes d'âge observées sur le territoire de la Gaspésie. La distribution révèle qu'approximativement 48% de la forêt est âgée de plus de 100 ans. Entre les années 1680 et 1880, la proportion de la superficie forestière reste sensiblement constante, tandis qu'après 1880, on remarque une diminution de la proportion de la superficie forestière incendiée (figure 5). Par la suite, l'année 1924 a connu un feu atteignant environ 36% de la superficie du territoire à l'étude. À cause de cet incendie, un peu plus de 40% de la forêt à l'étude est âgée de moins de 80 ans.

2.4.3 Estimation du cycle de feu

La distribution cumulative présentée à la figure 6, montre un changement au niveau de sa pente. L'absence d'une ligne droite suggère donc que le cycle de feu n'a pas été constant pour la période à l'étude. Toutefois, il ne faut pas confondre la soudaine baisse du y qui est dû au grand feu de 1924 avec un changement dans la pente. On aperçoit plutôt un léger changement de pente aux alentours de 1860.

Le cycle de feu a, en effet, varié dans le temps au cours de la période à l'étude (figure 7). Le cycle atteint un plateau vers 1840 et augmente par la suite après 1860. Il atteint un maximum vers 1920 et chute de manière drastique, pour ensuite remonter jusqu'à aujourd'hui. L'analyse séquentielle révèle également que la distribution ne suit pas une exponentielle négative sauf pour les périodes <1920, <1850 et <1840. La figure 7 illustre en quelque sorte l'âge moyen pour chaque décennie, tout en tenant compte des données censurées et du fait que le cycle de feu a changé au cours du temps. Ainsi, l'âge moyen estimé à partir de l'analyse séquentielle est de 166 ans en 2003.

Les feux ont brûlé en moyenne $2\,879 \pm 27\,623$ ha de superficie forestière par année et les superficies incendiées représentent 0,4% du territoire à l'étude. À partir de ces résultats, le cycle de feu calculé pour la période 1920 à 2003 est de 225 ± 23 ans. Le cycle de feu, calculé avec les analyses de survie, pour les périodes avant et après 1850, montre une augmentation significative du cycle depuis 1850 ($p=0,0230$) (tableau 2). Pour la période de 1680 à 1850, le cycle est estimé à 108 ans, tandis qu'entre 1850 et 2003, il est estimé à 182 ans (tableau 2). Pour ce qui est des cycles de feu observés dans chacun des domaines bioclimatiques et des différentes unités de paysage, ils ne présentent pas de différences significatives (BOP et BOJ $p=0,6483$) (71-72 $p=0,3583$; 108-111 $p=0,3539$; 109-112 $p=0,1757$) (tableau 3). Suite à ces analyses, les cycles ont été réévalués pour les domaines bioclimatiques et les unités de paysage, selon les différentes périodes de temps précédemment utilisées (1680-1850 et 1850-2003). Les résultats ne montrent, cependant, pas de variations significatives entre les deux domaines bioclimatiques et les différentes unités de paysage avant et après 1850 (AVANT : BOP et BOJ $p=0,2245$) (71-72 $p=0,2501$; 108-111 $p=0,0962$; 109-112 $p=0,4591$) (APRÈS : BOP et BOJ $p=0,9924$) (71-72 $p=0,2914$; 108-109 $p=0,6815$; 109-112 $p=0,4770$) (tableau 2). Les cycles de feux diffèrent selon les périodes de temps, ainsi que selon la méthode qui est utilisée pour le calculer (tableau 4).

2.4.4 Reconstitution de l'indice forêt météo

Les IFM moyens et les IFM maximaux (figure 8b et 8c), décroissent significativement entre 1920 et 2003 (IFM moyen $R^2=0,2961$ $p=0,0001$; IFM maximal $R^2=0,116$ $p=0,0017$). Les IFM maximaux passent de la catégorie d'indice « très haut » à la catégorie d'indice « haut », tandis que les IFM moyens passent de la catégorie « modéré » à « bas ». La figure 8 montre que les grands incendies qui ont été répertoriés au cours du dernier siècle (1924, 1930 et 1995), peuvent être corrélés de manière significative au IFM moyen, mais non de manière significatives au IFM maximal (IFM moyen $R^2=0,1711$ $p=0,01$; IFM maximal $R^2=0,1079$ $p=0,06$).

2.5 Discussion

2.5.1 Variation spatiale et temporelle du cycle de feu

Les résultats obtenus démontrent qu'il a eu une variation temporelle dans le cycle de feu entre 1680 et 2003 pour la région à l'étude (figure 7). Le changement de pente observé dans la distribution cumulée (figure 6) confirme, par ailleurs, qu'il s'est produit un changement dans le cycle des feux (Johnson et Gutsell, 1994 ; Bergeron et al. 2001). Tout comme dans plusieurs autres études, le cycle de feu a augmenté depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (Bergeron et al. 2001 ; Lesieur 2002 ; Lefort et al. 2003). Les masses d'air plus chaud et plus humide ont provoqué une diminution de la fréquence des incendies (Bergeron et Archambault 1993). Il existe, cependant, une période durant laquelle les superficies incendiées ont augmenté drastiquement. En effet, entre 1920 et 1930, il y a eu quelques incendies dont un particulièrement important, en 1924. Cette même tendance a été observée dans d'autres études portant

sur le cycle des feux. Plusieurs évènements de feu ont été rapportés dans les années 1920 et il semble que ces évènements aient tous provoqué le même genre de variations dans les cycles de feu, et ce dans plusieurs régions du Québec (Bergeron et al. 2001 ; Lefort et al. 2003 ; Bergeron et al. 2004).

En ce qui concerne les deux domaines bioclimatiques et les différentes unités de paysage, aucune différence significative n'a été observée (tableau 2 et 3), tant durant la totalité de la période à l'étude (1680-2003) que durant les périodes prédéfinies (1680-1850 et 1850-2003). Cependant le fait que nous n'ayons pas observé de différence significative ne signifie pas, hors de tout doute, qu'il n'existe pas de différence entre les variables spatiales. D'autres études ont déjà fait mention de l'importance de différents facteurs spatiaux (Bergeron, 1993 ; Bergeron, 1999 ; Ryan, 2002). En effet, il est reconnu que le relief et l'altitude peuvent influencer le régime des feux. Un lien important existe entre ces variables et : la vitesse et la direction du vent, le rayonnement solaire et le degrés d'humidité, qui représentent eux-mêmes des facteurs qui entraînent une plus ou moins grande susceptibilité au feu (Row et Scotter, 1973, Ryan, 2002). De plus, la méthode d'échantillonnage n'a peut-être pas permis de révéler l'influence de ces variables spatiales. En effet, lors de cette étude, contrairement à plusieurs études qui portent sur le cycle des feux, un important pourcentage de données a été censuré. Ceci a pour effet de créer plus de variabilité à l'intérieur même des distributions, et pas seulement entre les différentes distributions. Par conséquent, l'élément qui semble avoir le plus influencé le cycle de feu pour la région à l'étude, c'est le climat.

2.5.2 Les changements climatiques

Les changements climatiques sont, en effet, ce qui semble avoir eu le plus d'influence sur le cycle de feu dans la région de la Gaspésie. Plusieurs études ont démontré que le climat est le facteur le plus important et le plus fortement lié au

risque d'incendie (Clark, 1988 ; Johnson et al. 1990 ; Bessie et Johnson, 1995 ; Johnson et al. 1998 ; Carcaillet et al. 2001). Les IFM moyen et maximal décroissent depuis 1920 (figure 8b et 8c). La baisse des IFM observés pourrait très bien expliquer la diminution de la fréquence des feux. De plus, il est possible de corréler les années de grands feux (1924, 1930 et 1995), avec des IFM moyens élevés (figure 8).

Les études sur les feux de forêts et le climat, montrent qu'il existe un lien important entre de longue période de sécheresse et les très grands feux (Clark, 1988 ; Bessie et Johnson, 1995 ; Lefort et al. 2003). Selon une étude plus récente de Girardin et al. (2004), l'augmentation des cycles de feux depuis 1850 dans l'est du Canada, serait due à une diminution de la fréquence de conditions météorologiques menant à des périodes d'extrême sécheresse. Les résultats de cette études semblent traduire de manière juste plusieurs facteurs : les indices d'inflammabilité « haut », « très haut » et « extrême » correspondent à des années de grands feux ; les IFM moyen et maximal sont tous deux à la baisse, ce qui appuis d'autres études qui obtiennent les mêmes résultats (Lesieur, 2000 ; Lefort et al. 2003) ; les résultats obtenus corroborent avec une diminution de conditions menant à des périodes d'extrême sécheresse et ils peuvent être directement relié aux masses d'air plus chaud et plus humide qui sont apparues après la fin du PAG.

2.5.3 Un cycle de feu naturel ?

À première vue, la carte des feux de 1920 à 2003 (figure 2) permet de constater que les feux ne semblent pas être aussi rares qu'on le croyait, puisqu'une assez grande portion du territoire a brûlé. De plus, les résultats du calcul de cycle de feu permettent d'établir que le cycle n'est pas aussi long que ce qui était généralement rapporté dans la littérature, c'est-à-dire 250 à 500 ans (Lévesque, 1997 ; Saucier et al. 1998 ; Gauthier, 2001). Cependant, il est important de tenir compte de

la façon dont le cycle est calculé. Avec les analyses de survie, un grand pourcentage des données utilisées est censuré. Ainsi, les cycles de feu qui ont été obtenus (tableau 4) sont de 166 ans (analyse séquentielle de survie, 1680-2003) et de 182 ans (analyse de survie, 1850-2003), tandis que celui qui a été calculé sans aucune donnée censurée, est de 225 ans (superficie brûlée, 1920-2003). Les données censurées permettent une plus grande flexibilité dans les analyses statistiques. Toutefois, les données utilisées représentent uniquement l'âge minimum auquel le peuplement a survécu, ce qui peut sous-estimer la valeur du cycle.

Pour les périodes allant de 1680 à 2003 et de 1850 à 2003, il est impossible de dire avec assurance si le cycle de feu est représentatif d'un cycle de feu naturel, puisque les analyses de survie n'ont pas permis d'évaluer l'influence anthropique sur la fréquence des feux. En effet, le territoire a été colonisé aux alentours de 1755-60, ce qui a pour effet de ne laisser pratiquement plus de territoire non-incendié ou non-exploité pour y voir une influence humaine datant de cette époque (Desjardins et al. 1999). L'utilisation du territoire aurait pu faire diminuer le cycle (au moins avant que la lutte pour contrer les incendies ne devienne efficace), mais on observe plutôt l'effet contraire, c'est-à-dire une augmentation du cycle de feu. La distribution obtenue a démontré qu'il s'est produit un changement autour de 1850 et que nous pouvons l'attribuer à un changement climatique survenu à la fin du Petit Âge Glaciaire. Aucun autre changement n'est survenu, si ce n'est une période de feu intense dans les années 1920-30, qui est d'ailleurs observé dans plusieurs autres régions du Québec. Donc cette période de feu intense ne peut pas être attribué à la colonisation dans ce cas-ci. De plus, comme la presque totalité des feux répertoriés entre 1920 et 1990 sont de nature inconnue, il est difficile de mesurer l'ampleur de l'influence anthropique.

Par ailleurs, la Gaspésie présente un régime de feu assez semblable à celui observé au Nouveau-Brunswick par Wein et Moore (1977). En effet, ces auteurs

estiment le cycle de feu global à 340 ans. Cependant, selon les différentes régions du Nouveau-Brunswick, le cycle varie beaucoup. Dans les peuplements du nord de la province (une région très rapprochée du territoire à l'étude), le cycle de feu est estimé à 230 ans (Wein et Moore, 1977). Dans les peuplements de la côte est, le cycle de feu est très élevé, c'est-à-dire autour de 1000 ans, comme pour la côte est de la Gaspésie (Wein et Moore, 1977 ; Le Groupe Dryade, 1986 ; Lévesque, 1997). Finalement le cycle de feu est aussi très élevé dans les peuplements de hautes altitudes et, il semble que le même type de régime ait prévalu dans les hauts sommets gaspésiens (Lévesque, 1997).

2.5.4 Conséquence sur la composition forestière

La découverte d'un cycle de feu se situant autour de 200-225 ans est importante pour la compréhension de la dynamique naturelle de la forêt gaspésienne. Ceci peut nous révéler quelques indices quant à la végétation susceptible d'être retrouvée sur le territoire, ainsi que sur l'évolution des espèces végétales dans le temps. Les résultats obtenus démontrent que cette région a été soumise à des variations importantes dans son cycle de feu. Il semble qu'il y ait eu de grande période sans feu, ainsi que de petites périodes possiblement plus courtes avec des feux plus importants. Lévesque (1997) mentionne que les feux avaient été peu fréquents par le passé sur le territoire gaspésien, mais qu'ils pouvaient couvrir de vastes superficies. Au Labrador, Foster (1983) parle également d'une répartition inégale des feux importants dans le temps et l'espace.

Ce type de régime de feu pourrait expliquer la présence et l'absence de certaines espèces sur le territoire. Il existe plusieurs peuplements d'épinettes noires pures en Gaspésie. L'épinette noire se régénère bien suite à un feu grâce à sa banque de graines emmagasinée dans ses cônes (Barbour et al. 1999). Cependant en absence

de feu, et avec le temps, elle est remplacée par le sapin baumier et le thuya occidental (Le Groupe Dryade, 1986 ; De Grandpré et al. 2000 ; Gauthier et al. 2000). Le fait que certains peuplements d'épinettes pures persistent toujours pourrait indiquer que les feux jouent un rôle important dans cette portion du territoire. De plus, plusieurs études portant sur la composition forestière en forêt boréale, notent l'établissement d'espèces tels que le bouleau blanc et le peuplier faux-tremble suite aux passages d'incendies. Avec le temps, ces espèces sont remplacées par des espèces plus tolérantes à l'ombre. Néanmoins, le feu permet d'abord aux espèces moins tolérantes de s'établir (Bergeron et Dansereau, 1993 ; Gauthier et al. 2000). Cependant, lorsqu'il se passe beaucoup de temps entre le passage des incendies, les perturbations secondaires prennent de l'importance. En Gaspésie, les tempêtes de vent sont fréquentes et, selon Lévesque (1997), les chablis ont toujours été une perturbation naturelle prépondérante. Elles contribuent au renouvellement et au maintien des sapinières de structures irrégulières. Les épidémies récurrentes de la tordeuse des bourgeons de l'épinette favorisent également le renouvellement de ces peuplements (Lévesque, 1997). Toutefois, les feux de forêts demeurent un des facteurs importants au maintien de la diversité des espèces végétales retrouvées sur le territoire gaspésien.

2.5.5 Conclusion

Il semble que le feu soit un acteur plus important qu'on le croyait dans la région de la Gaspésie. En effet, le cycle de feu a été estimé à environ 200-225 ans, et non entre 250 et 500 ans. Le type particulier du régime, c'est-à-dire de longues périodes sans feu interrompue par de petite période de feux intenses, assure le maintien de certaines espèces végétales dans le milieu. Ces résultats permettent une meilleure compréhension de la dynamique actuelle de la forêt boréale mixte. Cependant, l'étude n'a pas permis d'affirmer hors de tout doute qu'il s'agit d'un cycle de feu naturel, malgré qu'aucun résultat ne démontre le contraire.

Par ailleurs, il a été démontré que le cycle de feu avait augmenté et ce, depuis la fin du Petit Âge Glaciaire. Le cycle pourrait encore augmenter si les périodes de sécheresse se font de plus en plus rares. Si les aménagistes veulent répondre au critère de l'aménagement durable et au maintien de la biodiversité, ils devront modifier leurs pratiques sylvicoles. En effet, il a également été démontré qu'environ 50% de la forêt est âgée de plus 100 ans. Le recours exclusif à un aménagement équié à rotation courte doit être remis en question et des pratiques sylvicoles beaucoup plus diversifiées doivent être envisagées.

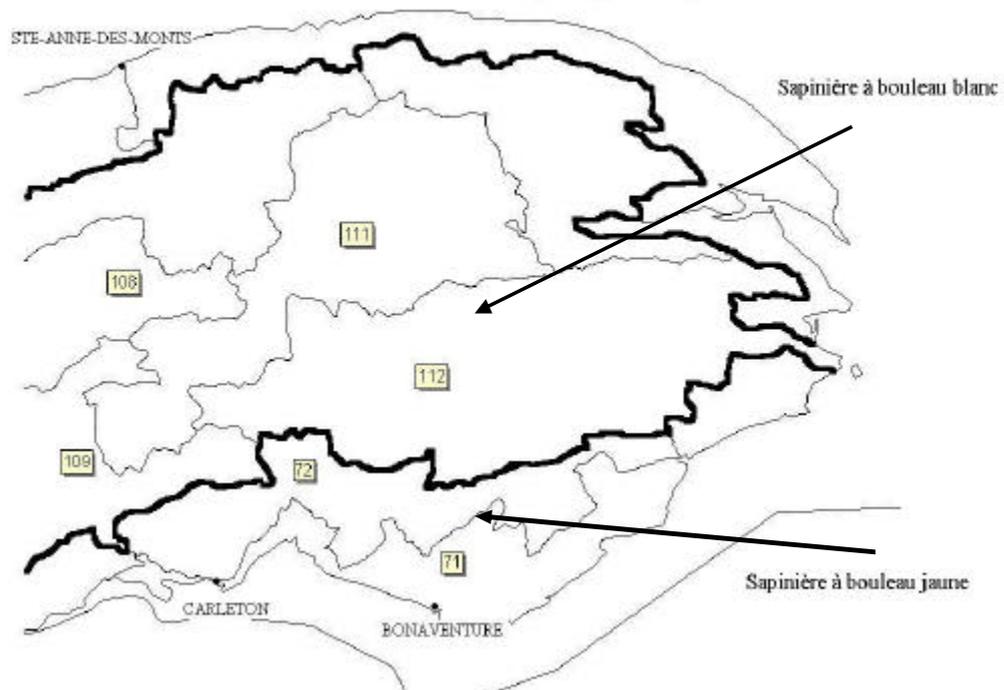


Figure 1 : Le territoire à l'étude est divisé en 2 domaines bioclimatiques (sapinière à bouleau jaune et sapinière à bouleau blanc) et 5 unités de paysage (71, 72, 108, 109, 111, 112).

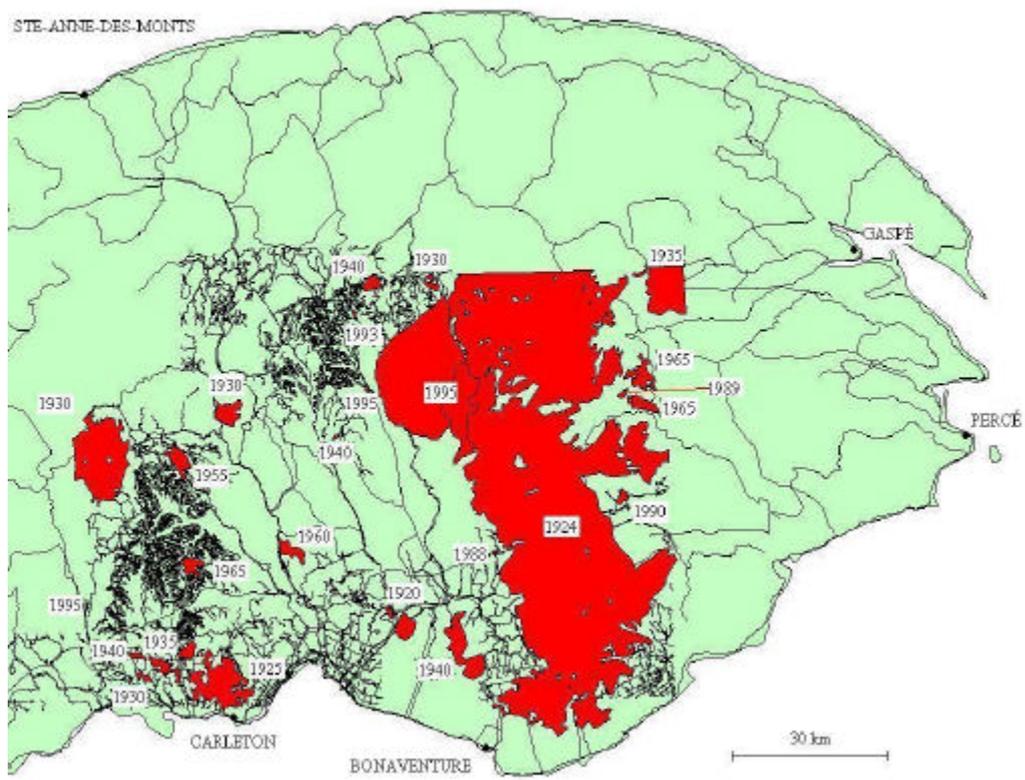


Figure 2 : Carte des feux répertoriés entre 1920 et 2003.

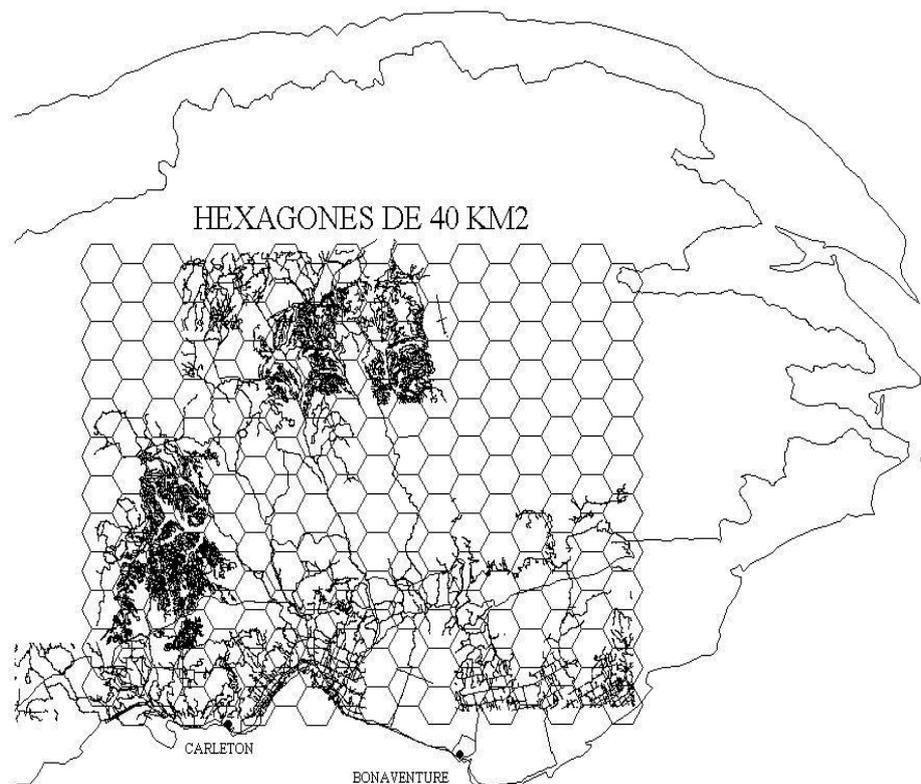


Figure 3 : Le territoire à l'étude est situé dans la région de la Baie-Des-Chaleurs en Gaspésie, dans l'est du Canada. L'échantillonnage a été effectué à l'aide de polygone de 40 km², séparant ainsi, le territoire de manière systématique.

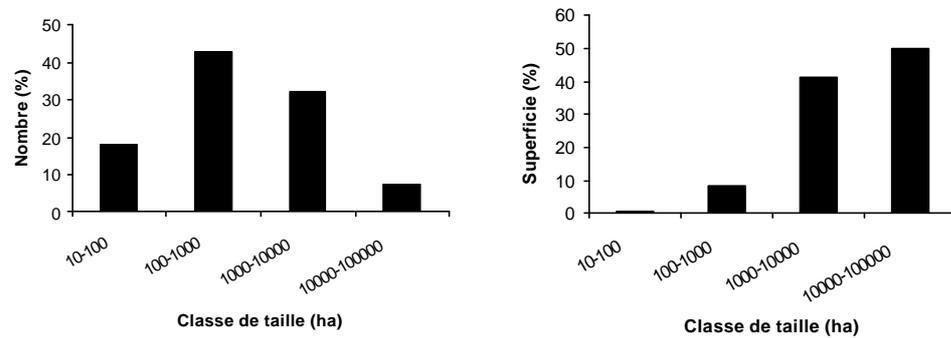


Figure 4 : Distribution du nombre (N=33) et des tailles d'incendies (superficie totale : 241 893 ha) pour la région de la Baie-Des-Chaleurs en Gaspésie entre 1920 et 2003.

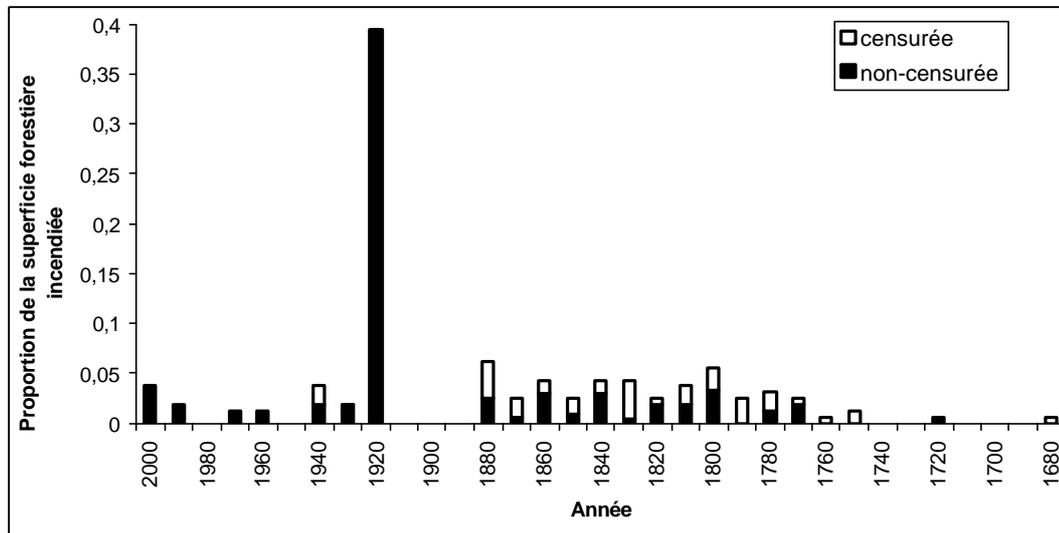


Figure 5 : La proportion de la superficie forestière par décennie qui se traduit par la distribution d'âge de la forêt à l'étude.

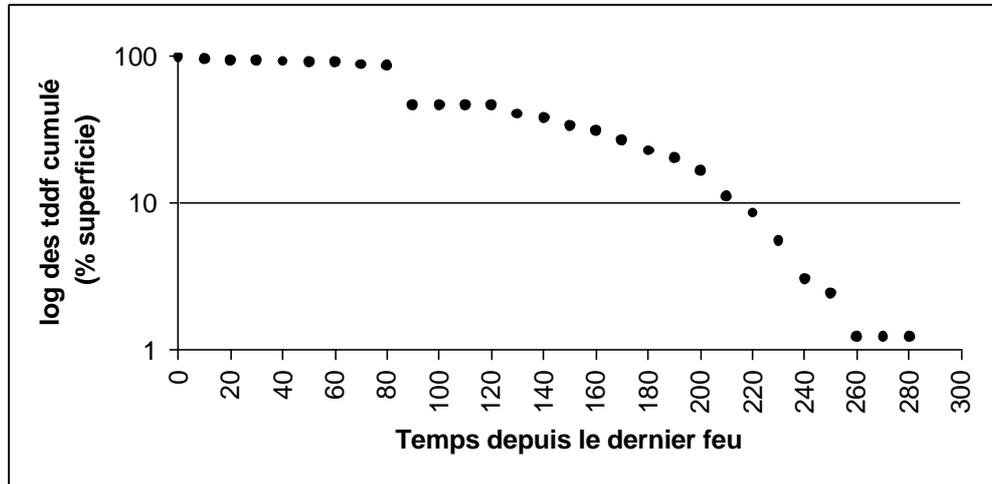


Figure 6 : La distribution cumulative du temps depuis le dernier feu pour le territoire à l'étude.

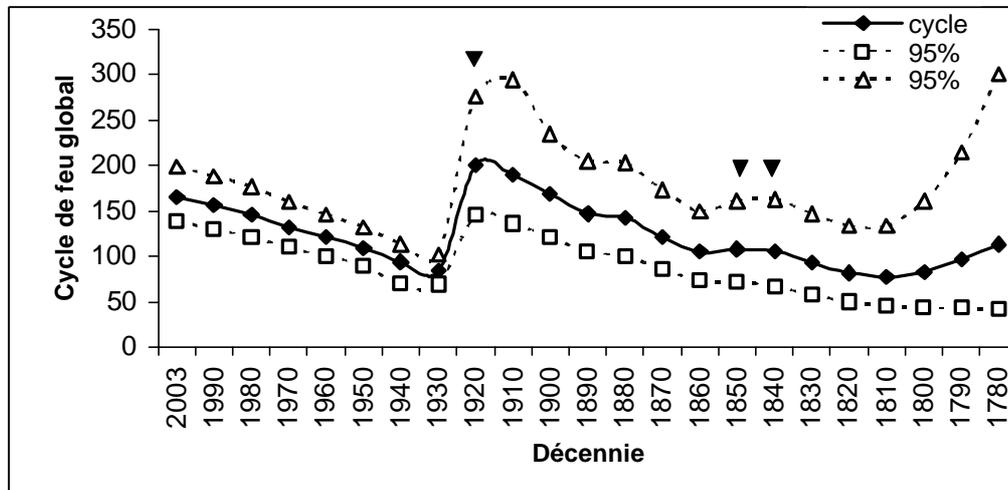


Figure 7 : Évolution du cycle de feu dans le temps. L'analyse séquentielle révèle que la distribution suit une distribution exponentielle négative pour les périodes marquées par les triangles noirs.

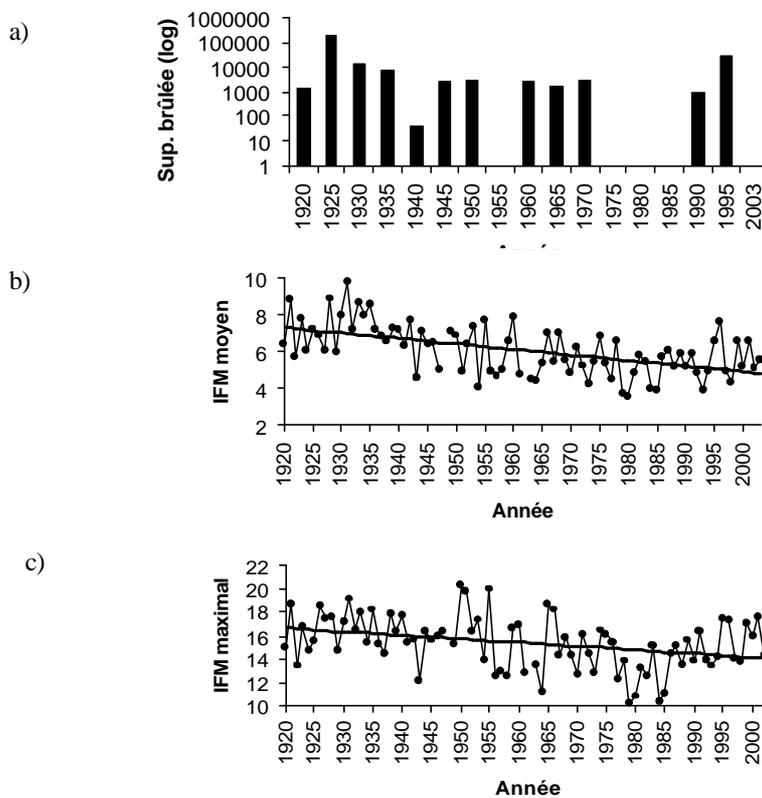


Figure 8: Corrélation entre les superficies brûlées et les indices forêt météo entre 1920 et 2003 ; a) Sommes des superficies brûlées entre 1920 et 2003, b) tendance des IFM moyens par année entre 1920 et 2003, c) tendance des IFM maximaux par année entre 1920 et 2003.

Tableau 1 : Année, superficie et cause des feux survenus entre 1920 et 2003.

Année de feu	Superficie (ha)	Cause
1920	173	inconnue
1920	1240	inconnue
1923	17545	inconnue
1924	158459	inconnue
1930	272	inconnue
1930	1582	inconnue
1930	12004	inconnue
1930	402	inconnue
1935	954	inconnue
1935	725	inconnue
1935	6048	inconnue
1940	40	inconnue
1944	2649	inconnue
1947	711	inconnue
1947	447	inconnue
1947	698	inconnue
1947	37	inconnue
1947	886	inconnue
1960	1386	inconnue
1960	1047	inconnue
1965	1469	inconnue
1968	2034	inconnue
1968	686	inconnue
1988	55	foudre
1989	106	humaine
1990	292	foudre
1990	375	foudre
1993	60	humaine
1995	27	foudre
1995	5861	foudre
1995	36	foudre
1995	482	foudre
1995	23105	humaine

Tableau 2 : Estimation du cycle de feu pour les domaines bioclimatiques et les unités de paysage par périodes (avant 1850 et après 1850).

Estimation du cycle de feu		
	Avant 1850	Après 1850
Domaine bioclimatique BOP	92 (58-144)	182 (144-230)
Domaine bioclimatique BOJ	169 (70-407)	181 (121-271)
Unités de paysage 71-72	200 (75-534)	175 (117-261)
Unités de paysage 108-109	75 (18-308)	236 (118-472)
Unité de paysage 111	102 (56-185)	245 (159-376)
Unité de paysage 112	73 (35-154)	143 (105-194)
total	108 (72-161)	182(148-222)

Tableau 3 : Estimation du cycle de feu global pour les deux domaines bioclimatiques et les différentes unités de paysage.

Facteurs spatiaux	Estimation du cycle de feu
Domaine bioclimatique BOP	162 (132-199)
Domaine bioclimatique BOJ	178 (122-257)
Unité paysage 71-72	178 (122-257)
Unité paysage 108-111	192 (138-267)
Unité paysage 109-112	143 (110-186)

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des différentes périodes et méthodes utilisées pour calculer le cycle de feu.

<u>Estimation du cycle selon les différentes méthodes et périodes</u>		<u>Cycle de feu (ans)</u>
Analyse de survie (1680-1850)		108 (72-161)
Analyse de survie (1850-2003)		182 (148-222)
Superficie brûlée (1920-2003)		225 (202-248)
Analyse séquentielle de survie (1680-2003)		166 (139-199)

2.6 Références

- Allison, P.D. 1995. Survival analysis using the SAS system: A practical guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 292 pp.
- Arno, S.F. et Sneck, K.M. 1977. A method for determining fire history in coniferous forest in the mountain west. Gen. Tech. Rep. Ogden, UT: U.S. Department of Agri., For. Ser., Intermountain Forest and Range Experiment Station. p 28.
- Attiwil, P. M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservation management. *For. Ecol. Manage.* 63: 247-300.
- Barbour, M.G., Burk, J. H., Pitts, W.D., Gilliam, F.S., Schwartz, M.W. 1999. *Terrestrial plant ecology*. Third Edition. Benjamin Cummings. p.577.
- Bergeron, Y. 1991. The influence of island and mainland lakeshore landscape on boreal forest fire regimes. *Ecology*. 72 (6): 1980-1992.
- 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. *Géogr. Phys. Quat.* 52 (2): 167-173.
- Bergeron, Y., Archambault, S. 1993. Decreasing frequency of forest fires in the southern boreal zone of Québec and its relation to global warming since the end of the "Little Ice Age". *Holocene*. 3 (3): 255-259.
- Bergeron, Y., Dansereau, P.-R. 1993. Predicting the composition of Canadian southern boreal forest in different fire cycles. *J. Veg. Sci.* 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., Gauthier, S., Flannigan, M., Kafka, V. 2004. Fire regimes at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Quebec. *Ecology* 85 (7): 1916-1932.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Kafka, V., Lefort, P., Lesieur, D. 2001. Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest: consequences for sustainable forestry. *Can. J. For. Res.* 31: 384-391.
- Bergeron, Y., Harvey, B., Leduc, A., Gauthier, S. 1999. Forest management guidelines based on natural disturbance dynamics: Stand and forest level considerations. *For. Chron.* 75 (1): 49-54.

- Bergeron, Y., Leduc, A., Harvey, B.D., Gauthier, S. 2002. Natural fire regime: a guide to sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fennica* 36 (1): 81-95.
- Bessie, W.C. et Johnson, E.A. 1995. The relative importance of fuels and weather on fire behavior in subalpine forests. *Ecology* 76 (3): 747-762.
- Carcaillet, C., Bergeron, Y., Richard, P. J. H., Fréchette, B., Gauthier, S., Prairie, Y. T. 2001. Change of fire frequency in the eastern Canadian boreal forest during the Holocene, does vegetation composition or climate trigger the fire regime? *J. Ecol.* 89: 930-946.
- Clark, J. 1998. Effect of climate change on fire regime in Northwestern Minnesota. *Nature* 334: 233-234.
- Dansereau, P.-R., Bergeron, Y. 1993. Fire history in the southern boreal forest of northwestern Quebec. *Can. J. For. Res.* 23: 25-32.
- De Grandpré, L., Morissette, J., Gauthier, S., 2000. Long-term post-fire changes in the northeastern boreal forest of Quebec. *J. Veg. Sci.* 11: 781-800.
- Desjardins, M., Frenette, Y., Bélanger, J., Héту, B. 1999. Histoire de la Gaspésie. Nouvelle Édition. Les Presses de l'Université Laval. pp768.
- Engelmark, O., Kullman, L., Bergeron, Y. 1994. Fire and age structure of Scots pine and Norway spruce in northern Sweden during the past 710 years. *New Phytologist.* 126: 163-168.
- Flannigan, M.D., Bergeron, Y., Engelmark, O., Wotton, B.M. 1998. Future wildfire in circumboreal forest in relation to global warming. *J. Veg. Sci.* 9: 469-476.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Wotton, B.M. 2000. Climate change and forest fires. *Sci. Tot. Enviro.* 262: 221-229.
- Flannigan, M.D., Van Wagner, C.E. 1991. Climate change and wildfire in Canada. *Can. J. For. Res.* 21: 66-72.
- Foster, D.R., 1983. The history and pattern of fire in the boreal forest of southeastern Labrador. *Can. J. Bot.* 61 (9): 2459-2471.
- Gauthier, S., De Grandpré, L., Bergeron, Y., 2000. Differences in forest composition in two boreal forest ecoregions of Quebec. *J. Veg. Sci.* 11: 781-790.

Gauthier, S., Leduc, A., Harvey, B., Bergeron, Y., Drapeau, P. 2001. Les perturbations naturelles et la diversité écosystémique. *Nat. Can.* 125: 10-17.

Girardin, M-P., Tardif, J., Flannigan, M.D., Wotton, B.M., Bergeron, Y. Trends and periodicities in the Canadian Drought Code and their relationships with atmospheric circulation for the southern Canadian Boreal Forest. *Can. J. For. Res.* 34: 103-119.

Grondin, P., Blouin, J., Racine, P., d'Avignon, H., Tremblay, S. 2000. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'est. Service de l'évaluation de l'offre/Service de la recherche appliquée. Direction des inventaires forestiers/Direction de la recherche forestière. Forêt Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec.

Grondin, P., Blouin, J., Racine, P. 1999. Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'est. Service de l'évaluation de l'offre/Service de la recherche appliquée. Direction des inventaires forestiers/Direction de la recherche forestière. Forêt Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec.

Harvey, B.D., Leduc, A., Gauthier, S., Bergeron, Y. 2002. Stand-Landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest. *For. Ecol. Manag.* 155: 369-385.

Heinselman, M.L. 1973. Fire in the virgin forest of the Boundary waters Canoe Area, Minnesota. *Quat. Res.* 3: 329-382.

Hély, C., Bergeron, Y., Flannigan, M.D. 2000. Effects of stand composition on fire hazard in mixed-wood Canadian boreal forest. *J. Veg. Sci.* 11: 813-824.

Johnson, E.A. et Van Wagner, C.E. 1985. The theory and use of two fire history models. *Can. J. For. Res.* 15: 214-220.

Johnson, E.A., Fryer, G.I., Heathcott, M.J. 1990. The influence of man and climate on frequency of fire in the interior wet belt forest, *British Columbia Journal.* 78: 403-412.

Johnson, E.A. et Gutsell, S.L. 1994. Fire frequency, models, methods and interpretations. *Adv. Ecol. Res.* 25: 239-287.

Johnson, E.A., Miyanishi, K., Weir, J.M.H. 1998. Wildfires in the western Canadian boreal forest: Landscape patterns and ecosystem management. *J. Veg. Sci.* 9: 603-610.

- Leduc, A., Bergeron, Y., Drapeau, P., Harvey, B., Gauthier, S. 2000. Le régime naturel des incendies forestiers: un guide pour l'aménagement durable de la forêt boréale. *L'Aubelle*. 135: 13-16, 22.
- Lefort, P., Gauthier, S., Bergeron, Y. 2003. The influence of fire weather and land use on the fire activity of the laka Abitibi area, eastern Canada. *For. Sci.* 49 (4): 509-521.
- Lesieur, D. 2000. Reconstruction historique des feux et de la dynamique forestière dans le secteur du Réservoir Gouin, Québec. Thèse de Maîtrise. UQAT.
- Lévesque, F. 1997. Conséquence de la dynamique de la mosaïque forestière sur l'intégrité écologique du Parc National Forillon. Thèse de Maîtrise. Université Laval.
- Pham, A. T., De Grandpré, L., Gauthier, S., Bergeron, Y., 2004, Gap dynamics and replacement patterns in gaps of the northeastern boreal forest of Quebec. *Can J. For. Res.* 34: 353-364.
- Phipps, R.L. 1986. Collecting, preparing, crossdating and measuring tree increment cores, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Rep. 85-4148. Lakewood, CO. pp.5-35.
- Pickett, S.T.A. et White, P.S. 1985. The ecology of nature disturbance and patch dynamics. Academic Press. New York.
- Robitaille, A. et Saucier, J.P. 1998. Paysage régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, Québec. pp 2 à 8, 117-118 et 156 à 159.
- Ross, W.W. et Moore, J. M. 1979. Fire history and recent fire rotation periods in the Nova Scotia Acadian Forest. *Can. J. For. Res.* 9: 166-178.
- Rowe, J.S., Scotter, G.W. 1973. Fire in the Boreal Forest. *Quat. Res.* 3: 444-464.
- Ryan, K.C. 2002. Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica* 36 (1): 13-39.
- Saucier, J.P., Bergeron, J-F, Grondin, P., Robitaille, A. 1998. Les régions écologiques du Québec méridional (3^e version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources Naturelles du Québec. Supplément de *L'Aubelle*. Février-Mars 1998.
- Service Canadien des Forêts. 1984. Table de l'Indice Forêt-Météo de la méthode canadienne. Environ. Can., Serv. Can. Forêts. Rapp. Tech. For 25F (4^e ed.)

Stocks, B. J. 1993. Global warming and forest fires in Canada. *For. Chron.* 69 (3): 290-293.

Van Wagner, C.E. 1978. Age class distribution and the forest cycle. *Can. J. For. Res.* 8: 220-227.

Weber, M.G., Stocks, B.J. 1998. Forest Fires and Sustainability in the Boreal Forest of Canada. *Ambio.* 27 (7): 545-550.

Wein, R.W. et Moore, J.M. 1977. Fire history and rotation in the Acadian Forest of New Brunswick. *Can. J. For. Res.* 7: 285-294.

Wotton, B.M. et Flannigan, M.D. 1993. Length of fire season in changing climate. *For. Chron.* 69: 187-192.

SECTION III : CONCLUSION GÉNÉRALE

Depuis quelques années, on assiste à un engouement pour l'aménagement forestier durable s'inspirant de la dynamique naturelle de la forêt (Attiwil, 1994 ; Bergeron et Harvey, 1997). Les feux de forêts constituent l'une des perturbations majeures affectant la dynamique forestière de la forêt boréale. L'aménagement écosystémique basé sur une bonne connaissance du cycle des feux, vise à reproduire adéquatement la variété des classes d'âge, des types de peuplement et des composantes structurales, qui sont rencontrés dans les forêts non aménagées (Bergeron et al. 1999 ; Gauthier et al. 2001 ; Harvey et al. 2002).

La caractérisation des feux, en forêt boréale, est quelques fois trop généralisée. Les pratiques forestières, comme la coupe à blanc, s'inspirent de la dynamique des peuplements d'épinettes pures du nord du Québec. Ces peuplements sont soumis à des grands feux de forêt très fréquents et très sévères, produisant ainsi de jeunes peuplements équiens (Bergeron et al. 1998 ; Gauthier et al. 2000). Par contre, plusieurs études portant sur le cycle des feux, ont démontré que de courts cycles de feux s'appliquent uniquement à certaines portions de la forêt boréale, et qu'il est impossible de généraliser les connaissances à l'échelle provinciale. De plus, la présente étude, ainsi que d'autres travaux, ont démontré que près de 50 % de la forêt boréale est constituée de peuplements surannés et anciens (Bergeron et Harvey, 1997 ; Bergeron et al. 1999 ; Bergeron et al. 2001, Pham et al. 2004).

Plusieurs études portant sur le cycle de feu ont été réalisées avec le modèle exponentiel négatif. Le modèle exponentiel négatif prédit que si tous les peuplements possèdent la même probabilité de brûler, la distribution des classes d'âges indique qu'environ un tiers des peuplements est plus âgé que la durée du cycle de feux (Johnson et Van Wagner, 1985). À partir de ce modèle, Bergeron et al. (1999) ont développé le modèle des trois cohortes. La première cohorte, issu du feu, serait remplacée par la coupe totale suivis d'une régénération naturelle ou artificielle. Une bonne connaissance du cycle de feu et de la distribution des différentes classes d'âge,

couplée à l'âge maximale d'exploitation, nous permet de déterminer: 1) quel pourcentage de la forêt devrait être aménagé de façon à reproduire le passage d'incendie (1^{ère} cohorte, coupe à blanc) et 2) quel pourcentage devrait être aménagé de façon à reproduire la succession naturelle ou l'effet des perturbations secondaires, qui caractérise les peuplements anciens et surannés ayant échappés aux feux depuis longtemps (2^e et 3^e cohorte, coupes alternatives) (Annexe A).

Les résultats obtenus lors de cette étude démontrent que le cycle de feu est d'environ 200-225 ans. Avec un âge maximal d'exploitation de la forêt se situant autour de 80 ans, 33% des peuplements se retrouvent dans la première cohorte, 22% dans la deuxième cohorte et 45% dans la troisième cohorte (Annexe A). De cette façon, 33% de la forêt se situe dans la première cohorte, ce qui signifie qu'un tiers de la forêt devrait être aménagé de façon à reproduire le passage d'incendies. L'aménagement équié à révolution courte pourrait donc être envisagé sur un tiers du territoire. Cependant, les perturbations secondaires, comme les épidémies de la tordeuse des bourgeons d'épinette et les chablis, demeurent des perturbations très importantes en Gaspésie. Les deux tiers restant de la forêt se retrouve dans les classes d'âge supérieur au cycle de feux, ce qui signifie que l'allongement des révolutions et le recourt à des coupes alternatives est à envisager sur 67% du territoire. De plus, il ne faut pas oublier qu'environ 50 % de la forêt est constituée de forêts anciennes et surannées. Parallèlement à l'augmentation du cycle de feu observée depuis la fin du Petit Âge Glaciaire, la diminution de conditions menant à des périodes d'extrême sécheresse depuis les 150 dernières années, laissent supposer qu'un allongement encore plus prononcé pourrait se produire. Les perturbations naturelles contribuent au maintien de la biodiversité. Pour préserver l'intégrité écologique du territoire gaspésien et atteindre les objectifs en matière de développement durable, les aménagistes forestiers doivent revoir et repenser leurs pratiques sylvicoles.

RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

- Attiwil, P. M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservation management. *For. Ecol. Manage.* 63: 247-300.
- Barbour, M.G., Burk, J.H., Pitts, W.D., Gilliam, F.S., Schwartz, M.W. 1999. *Terrestrial Plant Ecology*. Third Edition. Benjamin Cummings. p.441-464
- Bergeron, Y. 1991. The influence of island and mainland lakeshore landscape on boreal forest fire regimes. *Ecology*. 72 (6): 1980-1992.
- 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. *Géogr. Phys. Quat.* 52 (2): 167-173.
- Bergeron, Y., Archambault, S. 1993. Decreasing frequency of forest fires in the southern boreal zone of Québec and its relation to global warming since the end of the "Little Ice Age". *Holocene*. 3 (3): 255-259.
- Bergeron, Y., Dansereau, P.-R. 1993. Predicting the composition of Canadian southern boreal forest in different fire cycles. *J. Veg. Sci.* 4: 827-832.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Kafka, V., Lefort, P., Lesieur, D. 2001. Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest: consequences for sustainable forestry. *Can. J. For. Res.* 31: 384-391.
- Bergeron, Y., Harvey, B. 1997. Basing silvicultural on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixwood forest of Quebec. *For. Ecol. Manage.* 92: 235-242.
- Bergeron, Y., Harvey, B., Leduc, A., Gauthier, S. 1999. Forest management guidelines based on natural disturbance dynamics: Stand and forest level considerations. *For. Chron.* 75 (1): 49-54.
- Carcaillet, C., Bergeron, Y., Richard, P. J. H., Fréchette, B., Gauthier, S., Prairie, Y. T. 2001. Change of fire frequency in the eastern Canadian boreal forest during the Holocene, does vegetation composition or climate trigger the fire regime? *J. Ecol.* 89: 930-946.
- Dansereau, P.-R. 1991. La reconstitution historique des feux dans un secteur forestier au sud du lac Abitibi, Quebec. Thèse de Maîtrise, UQAM.

- Dansereau, P.-R., Bergeron, Y. 1993. Fire history in the southern boreal forest of northwestern Quebec. *Can. J. For. Res.* 23: 25-32.
- Day, G.M. 1953. The indian as an ecological factor in the northeastern forest. *Ecology*. 34 (2): 329-346.
- Engelmark, O., Kullman, L., Bergeron, Y. 1994. Fire and age structure of Scots pine and Norway spruce in northern Sweden during the past 710 years. *New Phytologist*. 126: 163-168.
- Flannigan, M.D., Bergeron, Y., Engelmark, O., Wotton, B.M. 1998. Future wildfire in circumboreal forest in relation to global warming. *J. Veg. Sci.* 9: 469-476.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Wotton, B.M. 2000. Climate change and forest fires. *Sci. Tot. Enviro.* 262: 221-229.
- Flannigan, M.D., Van Wagner, C.E. 1991. Climate change and wildfire in Canada. *Can. J. For. Res.* 21: 66-72.
- Foster, D.R., 1983. The history and pattern of fire in the boreal forest of southeastern Labrador. *Can. J. Bot.* 61 (9): 2459-2471.
- Gauthier, S., De Grandpré, L., Bergeron, Y., 2000. Differences in forest composition in two boreal forest ecoregions of Quebec. *J. Veg. Sci.* 11: 781-790.
- Gauthier, S., Leduc, A., Harvey, B., Bergeron, Y., Drapeau, P. 2001. Les perturbations naturelles et la diversité écosystémique. *Nat. Can.* 125 : 10-17.
- Harvey, B.D., Leduc, A., Gauthier, S., Bergeron, Y. 2002. Stand-Landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest. *For. Ecol. Manag.* 155: 369-385.
- Hély, C., Bergeron, Y., Flannigan, M.D. 2000. Effects of stand composition on fire hazard in mixed-wood Canadian boreal forest. *J. Veg. Sci.* 11: 813-824.
- Johnson, E.A. et Van Wagner, C.E. 1985. The theory and use of two fire history models. *Can. J. For. Res.* 15: 214-220.
- Johnson, E.A., Fryer, G.I., Heathcott, M.J. 1990. The influence of man and climate on frequency of fire in the interior wet belt forest, *British Columbia Journal*. 78: 403-412.

- Johnson, E.A. et Gutsell, S.L. 1994. Fire frequency, models, methods and interpretations. *Adv. Ecol. Res.* 25: 239-287.
- Johnson, E.A., Miyanishi, K., Weir, J.M.H. 1998. Wildfires in the western Canadian boreal forest: Landscape patterns and ecosystem management. *J. Veg. Sci.* 9: 603-610.
- Leduc, A., Bergeron, Y., Drapeau, P., Harvey, B., Gauthier, S. 2000. Le régime naturel des incendies forestiers: un guide pour l'aménagement durable de la forêt boréale. *L'Aubelle*. 135: 13-16, 22.
- Lefort, P. 1997. Influence du climat et de la colonisation canadienne sur le régime des feux de forêt dans la région du lac Abitibi. Thèse de Maîtrise. UQAM.
- Lesieur, D. 2000. Reconstruction historique des feux et de la dynamique forestière dans le secteur du Réservoir Gouin, Québec. Thèse de Maîtrise. UQAT.
- Lévesque, F. 1997. Conséquence de la dynamique de la mosaïque forestière sur l'intégrité écologique du Parc National Forillon. Thèse de Maîtrise. Université Laval.
- Lorimer, Craig G. 2001. Historical ecological roles of disturbance in eastern North American forests: 9000 years of change. *Wild. Soc. Bul.* 29 (2): 425-439.
- Peltzer, D.A., Bast, M.L., Wilson, S.D., Gerry, A.K. 2000. Plant diversity and tree responses following contrasting disturbances in boreal forest. *For. Ecol. Manage.* 127: 191-203.
- Pham, A. T., De Grandpré, L., Gauthier, S., Bergeron, Y., 2004, Gap dynamics and replacement patterns in gaps of the northeastern boreal forest of Quebec. *Can J. For. Res.* 34: 353-364.
- Phipps, R.L. 1986. Collecting, preparing, crossdating and measuring tree increment cores, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Rep. 85-4148. Lakewood, CO. pp.5-35.
- Robitaille, A. et Saucier, J.P. 1998. Paysage régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec, Sainte-Foy, Québec. pp 2 à 8, 117-118 et 156 à 159.
- Ross, W.W. et Moore, J. M. 1979. Fire history and recent fire rotation periods in the Nova Scotia Acadian Forest. *Can. J. For. Res.* 9: 166-178.
- Rowe, J.S., Scotter, G.W. 1973. Fire in the Boreal Forest. *Quat. Res.* 3: 444-464.

Ryan, K.C. 2002. Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica* 36 (1): 13-39.

Saucier, J.P., Bergeron, J-F, Grondin, P., Robitaille, A. 1998. Les régions écologiques du Québec méridional (3^e version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources Naturelles du Québec. Supplément de L'Aubelle. Février-Mars 1998.

Stocks, B. J. 1993. Global warming and forest fires in Canada. *For. Chron.* 69 (3): 290-293.

Van Wagner, C.E. 1978. Age class distribution and the forest cycle. *Can. J. For. Res.* 8: 220-227.

Wallenius, T. 2002. Forest age distribution and traces of past fires in natural boreal landscape dominated by *Picea abies*. *Silva Fennica*. 36 (1): 201-211.

Weber, M.G., Stocks, B.J. 1998. Forest Fires and Sustainability in the Boreal Forest of Canada. *Ambio*. 27 (7): 545-550.

Wotton, B.M. et Flannigan, M.D. 1993. Length of fire season in changing climate. *For. Chron.* 69: 187-192.

Cycle des perturbations																		
	50			75			100			125			150			200		
Âge maximal d'exploitation	Cohorte (%)																	
	I	II	III															
50	63	23	14	49	25	26	39	24	37	33	22	45	28	20	51	22	17	61
60	70	21	9	55	25	20	45	25	30	38	24	38	33	22	45	26	19	55
70	75	19	6	61	24	15	50	25	25	43	24	33	37	23	39	30	21	50
80	80	16	4	66	23	12	55	25	20	47	25	28	41	24	34	33	22	45
90	83	14	3	70	21	9	59	24	17	51	25	24	45	25	30	36	23	41
100	86	12	2	74	19	7	63	23	14	55	25	20	49	25	26	39	24	37
110	89	10	1	77	18	5	67	22	11	59	24	17	52	25	23	42	24	33
120	91	8	1	80	16	4	70	21	9	62	24	15	55	25	20	45	25	30
130	93	7	1	82	15	3	73	20	7	65	23	12	58	24	18	48	25	27
140	94	6	0	85	13	2	75	19	6	67	22	11	61	24	15	50	25	25
150	95	5	0	86	12	2	78	17	5	70	21	9	63	23	14	53	25	22
160	96	4	0	88	10	1	80	16	4	72	20	8	66	23	12	55	25	20
170	97	3	0	90	9	1	82	15	3	74	19	7	68	22	10	57	24	18
180	97	3	0	91	8	1	83	14	3	76	18	6	70	21	9	59	24	17
190	98	2	0	92	7	1	85	13	2	78	17	5	72	20	8	61	24	15
200	98	2	0	93	6	0	86	12	2	80	16	4	74	19	7	63	23	14

Annexe A : Abaque permettant d'évaluer la proportion désirée des différentes cohortes selon le cycle des perturbations naturelles et l'âge maximal d'exploitation.
 Note : La troisième cohorte constitue la sommation des proportions de toutes les cohortes subséquentes (Tiré de: Bergeron et al. 1999. For. Chron.).