

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

**INFLUENCE DU CLIMAT ET DE LA COLONISATION CANADIENNE SUR
LE RÉGIME DES FEUX DE FORET DANS LA RÉGION DU LAC ABITIBI**

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN BIOLOGIE

PAR
PATRICK LEFORT

MARS 1998

REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier Dre Sylvie Gauthier, chercheure au Centre de Foresterie des Laurentides, pour m'avoir judicieusement guidé et appuyé tout au long de ce projet. Également, un merci au Dr Yves Bergeron, professeur titulaire à l'UQAM, pour ses précieux conseils.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance envers France Conciatori, Pierre Paquin et Mathieu "Snagy snag" St-Louis pour le travail sur le terrain mais surtout pour les amitiés développées au cours de mes études.

Le travail en laboratoire a été facilité par l'expérience de France Conciatori en dendrochronologie, les conseils de Victor Kafka pour la numérisation, du Dr. Mike Flannigan pour les données météorologiques, d'Alain Leduc pour l'analyse des données et de Jacques Tardif pour m'avoir évité des maux de tête avec SAS.

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce au support financier de la Forêt Modèle du Lac Abitibi, du Service Canadien des Forêts et du fonds FCAR. Je suis également reconnaissant envers le Ministère des Ressources Naturelles (Québec) et le Great Lake Forestry Center (Ontario) pour l'accessibilité aux rapports gouvernementaux sur les feux.

Enfin, je ne saurais terminer sans mentionner le soutien constant de Fanny Arbour, Loïc, Diane et Paul E. Lefort.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES	ix
RÉSUMÉ	x
INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE	1
AIRE D'ÉTUDE	7
DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE	12
1.1 Reconstitution de l'histoire des feux	12
1.2 Cycle de feux	16
1.3 Comparaison des paysages agricole et forestier	18
1.4 Données météorologiques	20
RÉSULTATS	23
2.1 Carte et historique des feux	23
2.1.1 Précision de la carte des feux	23
2.1.2 Nombre d'années de feux	23
2.1.3 Superficies incendiées	27
2.2 Comparaison des paysages agricole et forestier	32

2.2.1 Archives et rapports de feux	iv 32
2.2.2 Modèles mixtes	38
2.2.3 Taille moyenne des feux	44
2.3 Changement climatique	47
DISCUSSION.....	53
3.1 Régime des feux naturel	53
3.2 Comparaison du régime de feux des deux paysages.....	56
3.2.1 Occurrence des feux	56
3.2.2 Aires incendiées	60
3.2.3 Taille moyenne des feux	63
CONCLUSION.....	69
APPENDICE A	
Position géographique des 6 cantons du territoire québécois et année d'arrivée des premiers colons dans les villages	72
APPENDICE B	
Découverte et classification d'un gigantesque feu ayant eu cours en 1924 dans la partie nord du secteur forestier	74
BIBLIOGRAPHIE.....	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1. Répartition de la fréquence des essences pionnières échantillonnées dans le secteur forestier (n=114) et agricole (n=50)	24
2. Année de recrutement des cohortes de pins gris (Pba) pour la période précoloniale	26
3. Caractéristiques du régime de feux	30
4. Caractéristiques du régime de feux colonial pour les deux types d'utilisation du paysage, de 1910 à 1996	34
5. Comparaison, pour les deux types d'utilisation du paysage, de l'occurrence de feux et des aires incendiées (absolues et relatives) en fonction de 3 sources d'ignition pour la période de 1923-1996	35
6. Importance des effets fixes sur l'occurrence annuelle des feux selon le modèle saturé	39
7. Importance des effets fixes sur les aires incendiées annuelles selon le modèle retenu	42

8	Taille moyenne des feux (ha) selon les paysages et les périodes d'évolution, de 1923 à 1996	45
9	Distribution des fréquences observées et théoriques () des incendies de forêt selon 5 classes de taille (ha) pour la période de 1910 à 1996	46
10	Écarts de Freeman-Tukey en fonction de la valeur critique (1.84)	46
11	Corrélations (r de Pearson) entre la fréquence journalière (par année) des différents indices de danger d'incendie et les aires incendiées annuelles, de 1916-1996	49

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1. Situation géographique du paysage caractérisé par l'exploitation forestière (Ontario) et l'exploitation agricole (Québec). Les points gris indiquent l'extension maximale du lac Barlow-Objibway (Richard, 1980).	8
2. Carte des feux des paysages forestier (Ontario) et agricole (Québec).	25
3. Distribution du temps depuis le dernier feu des deux secteurs à l'étude pour les 235 dernières années.	29
4. Distribution du temps depuis le dernier feu (en %) par décennie des peuplements des paysages forestier et agricole.	31
5. Comparaison de l'évolution de l'occurrence de feux par décennie entre les deux paysages.	36
6. Comparaison de l'évolution des aires incendiées par décennie entre les deux paysages.	37
7. Distribution des moyennes marginales pour le modèle de l'occurrence des feux.	40
8. Distribution des moyennes marginales de l'interaction Paysage*Période pour les aires incendiées (ha).	43

9. Distribution des moyennes marginales de l'interaction Période*Mois pour les aires incendiées (ha).	43
10. Fréquence des valeurs journalières de l'IFM par saison de feux (mai à août) selon les 5 classes du danger d'incendie du système de la SOPFEU.	48
11. Évolution des valeurs moyennes de l'IFM par mois.	51
12. Comparaison des aires incendiées des paysages agricole et forestier en relation avec l'évolution de l'IFM, de 1916-1996.	52

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES

AA	Avant Actuel
GLFC	Great Lake Forestry Center
LAMF	Lake Abitibi Model Forest (Ontario)
MRN	Ministère des Ressources Naturelles
SIG	Système d'Information Géographique
SOPFEU	Société de Protection des Forêts contre le Feu
TBE	Tordeuse des bourgeons de l'épinette
UTM	Universal Transverse Mercator

RÉSUMÉ

Afin de déterminer l'influence respective du climat et de la colonisation des territoires abitibiens sur les régimes de feux, nous avons procédé à une reconstitution historique des incendies de forêt. Celle-ci s'étend sur 235 ans ce qui nous a permis d'étudier les fluctuations précoloniales et coloniales du régime de feux. En période coloniale, l'impact de l'homme blanc a été étudié à deux niveaux; nous avons comparé le régime de feux d'un secteur agricole (Québec) de 130 000 ha versus un secteur adjacent de 500 000 ha voué à l'exploitation forestière (Ontario).

Les résultats indiquent que les deux territoires présentent un régime de feux où les aires incendiées décroissent depuis 1760 pour s'accroître avec la fin du Petit Age Glaciaire vers 1850. Quant à l'occurrence de feux, elle semble demeurer relativement stable dans le temps.

Par ailleurs, l'influence humaine a été principalement analysée à deux niveaux: l'occurrence des feux et les aires incendiées. L'analyse utilisant des modèles mixtes fait clairement ressortir qu'il y a un effet significatif du type d'utilisation du paysage sur le régime de feux. Le secteur agricole a connu 7 fois plus de feux et près du double des aires incendiées que le secteur forestier, soit 28 400 ha contre 51 000 ha par 100 000 ha de territoire. Les modèles mixtes révèlent également que l'occurrence de feux et les aires incendiées varient selon la période d'évolution technologique et le mois de la saison de feux.

L'homme est la source d'ignition principale peu importe le type d'utilisation du territoire. Cependant, les feux d'origine humaine comptent pour 42% des aires incendiées dans le secteur agricole contre 12% dans le secteur forestier. D'autre part, la taille moyenne des incendies de forêt du paysage ontarien est plus grande que celle de l'Abitibi québécoise. Enfin, si les deux premières décennies du siècle ont expérimenté de très grands feux de forêt (>30 000 ha), il appert que les grands événements de feux sont pratiquement inexistants depuis 70 ans.

Les fluctuations du régime de feux s'expliqueraient par une diminution à long terme du danger d'incendie. Par ailleurs, l'impact de l'homme sur le régime de feux se définit principalement par des activités de défrichage utilisant le feu alors que la suppression active, le morcellement des territoires et la transformation des peuplements forestiers n'y auraient qu'une faible influence.

Mots clés:

Aménagement, Abitibi, climat, forêt boréale, incendies, exploitation agricole, exploitation forestière, LAMF, morcellement, Ontario, paysage, perturbation, Québec, régime de feux, suppression des feux

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

La dynamique forestière du domaine boréal est intimement liée à la présence des incendies de forêt qui structurent la composition végétale du paysage (Bergeron et Dubuc, 1989). En effet, le milieu boréal est caractérisé par la récurrence de feux de couronnes de hautes intensités qui initient une succession secondaire (Van Wagner, 1983). Il en résulte une végétation évoluant en fonction des conditions édaphiques, du climat, mais surtout du temps depuis le dernier feu ayant brûlé le territoire (Bergeron et Dubuc, 1989; Bergeron et Dansereau, 1993). Le régime de feux de la forêt boréale mixte définit une mosaïque forestière caractérisée par une association de parcelles de jeunes peuplements mixtes et de peuplements conifériens plus âgés. Pour cette étude, le régime de feux définira un ensemble de variables influençant la dynamique des incendies de forêt: occurrence des feux, superficies incendiées, tailles des feux et l'intensité des conflagrations.

Perturbation naturelle majeure, la dynamique des feux boréaux a été analysée à plusieurs niveaux. Des études ont fait état de variations dans les régimes de feux qui seraient influencés par la composante spatiale du paysage: la convexité des territoires, l'abondance des dépressions, l'élévation et la nature des dépôts de surface (Zackrisson, 1977; Foster, 1983; Agee 1991, Tande, 1979; Dansereau et Bergeron, 1993). Certains auteurs associent également la nature du couvert végétal à des régimes de feux distincts (Romme, 1982; Cogbill, 1985; Agee *et al.*, 1990). D'autres études ont davantage tenté de cerner les facteurs locaux responsables du patron de l'incendie de forêt et de la distribution des îlots de végétation résiduelle (Eberhart et Woodart, 1987; Kafka, 1997). Ces différents paramètres ont été abondamment étudiés et les connaissances de l'écologie des feux s'accroissent de plus en plus.

Par ailleurs, d'autres types de perturbations tendent à prendre de plus en plus d'importance au détriment des incendies de forêts. La diminution de la fréquence

des incendies au cours du 20^e siècle, due à la suppression des incendies et possiblement à un changement climatique global, entraînerait une hausse de l'étendue et de la sévérité des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) (Blais, 1983; Blais, 1985; Anderson *et al.*, 1987). Dans la région du Lac Duparquet, la forêt aurait ainsi été ravagée par trois épidémies majeures dont la dernière a sévi entre 1970-1987 (Morin *et al.*, 1993).

L'exploitation forestière et la venue des coupes à blanc mécanisées dans les années '60 représentent un autre type de perturbation forestière ayant bouleversé les patrons de régénération naturelle de la forêt (Brumelis et Carleton, 1988; Harvey et Bergeron, 1989). Le débardage mécanique aurait pour conséquence d'éradiquer la régénération de l'épinette noire au profit des feuillus comme le tremble (Carleton et MacLellan, 1994). Ward et Tithecott (1993) affirment, qu'en Ontario, l'exploitation forestière est devenue la perturbation principale en milieu forestier. Ainsi, il y aurait depuis quelques décennies un changement général dans la dynamique forestière résultant des activités humaines.

Cependant, les causes de ce changement demeurent litigieuses et aucun consensus n'a été établi à ce jour. Le régime de feux serait, selon plusieurs études, grandement tributaire des activités humaines. Cette influence anthropique a été principalement étudiée à deux niveaux: l'impact de la mise en place des programmes de suppression et l'impact de l'homme comme source d'ignition des feux de forêt.

Certains travaux ont associé une baisse de la fréquence des incendies de forêt au phénomène de la suppression active. Brown *et al.* (1994) ainsi que Brown et Bradshaw (1994) ont démontré, à l'aide de mesures d'émissions de particules contenues dans la fumée, qu'il y a avait davantage d'aires incendiées avant la mise en place d'un programme de suppression. Les travaux de Barrett *et al.* (1991) dans le Montana soulignent également que l'instauration des techniques de suppression a contribué à diminuer les aires incendiées. Plus près de nos latitudes, Wein et Moore (1979) signalent une augmentation du cycle de feux (temps requis pour brûler une surface égale à l'aire d'étude) de 65 à 1000 ans pour la forêt

acadienne alors que Woods et Days (1977) observent également une augmentation du cycle de feux à près de 900 ans dans un secteur ontarien. Toujours en Ontario, Ward et Tithecott (1993) avancent plutôt le fait que le cycle de feux a grimpé de 65 à 580 ans.

Au contraire, les travaux de Minnich (1983) et Chou *et al.* (1993) dans la région californienne rapportent que les efforts de suppression entraîneraient une diminution du nombre de feux mais non des superficies totales incendiées. Dans un même ordre d'idées, Johnson *et al.* (1990) affirment que la suppression n'a pas réduit les aires incendiées durant les périodes de susceptibilité aux incendies dans le Parc National du Glacier dans l'ouest canadien (C.-B.). De plus, les auteurs ajoutent qu'une activité humaine légère, telle la construction de routes, ne change pas significativement le régime de feux. À l'instar de l'étude précédente, Masters (1990) suggère que les politiques de suppression des feux n'ont, tout comme des activités anthropiques mineures, que peu d'influence sur la dynamique des feux qui reste tributaire du climat.

Toutefois, d'autres auteurs croient que les activités humaines sont directement responsables d'une hausse de la fréquence (taille et occurrence) des incendies (Hemstrom et Franklin, 1982). Une étude sur l'historique des feux dans le canton de Barron, en Ontario, suggère que la hausse observée de la fréquence des feux pourrait être due aux activités de coupe des bûcherons (Cwynar, 1977). Si la foudre représentait la source d'ignition première des incendies de forêt avant l'arrivée des européens (Ahlgren et Ahlgren, 1960; Spurr et Barnes, 1992), l'homme est maintenant à l'origine de la majorité des feux de forêt.

Les archives gouvernementales confirment l'importance de l'homme dans la définition du régime de feux. Ces archives compilent, entre autres, l'occurrence des feux par source d'ignition, les aires incendiées et les coûts de la suppression (Langlois, 1994). Toutefois, ces données sont associées à de très grandes zones, des districts ou sociétés de protection; la grande variabilité associée à ces districts restreint les possibilités de cerner l'importance de certains facteurs précis.

Outre le facteur humain, plusieurs études ont démontré que le régime de feux naturel subissait des changements importants en raison des fluctuations climatiques. Des travaux effectués dans les Montagnes Rocheuses associent les fluctuations du régime de feux à un changement climatique à long terme (Masters, 1990). D'autres études semblent confirmer l'importance d'un signal climatique global. Ainsi, Payette et Fillion (1985) ont noté une expansion de l'épinette blanche à la limite de son aire de distribution. L'étude dendroclimatique de vieux cèdres du Lac Duparquet confirme ce changement climatique dans la région de l'Abitibi (Archambault et Bergeron, 1992). Il semblerait que les précipitations soient plus importantes depuis la fin du Petit Age Glaciaire (ca 1850). Les résultats de Tardif et Bergeron (1997) indiquent également une hausse approximative de 100 cm, depuis 1850, dans la hauteur maximale des cicatrices de glace sur les thuyas en bordure du Lac Duparquet.

Si certains auteurs ont spéculé sur une hausse probable de l'intensité des feux et des aires incendiées due au réchauffement climatique (Flannigan et Van Wagner, 1991; Stocks, 1993), il semblerait plutôt que le nord-ouest québécois subisse une toute autre influence. En effet, dans un secteur de l'Abitibi, Bergeron (1991) a démontré qu'il y avait une diminution de la fréquence des incendies depuis environ 120 ans. Une autre étude menée dans la région du lac Duparquet rattache cette diminution des aires incendiées au réchauffement ayant suivi la fin du Petit Age Glaciaire, autour de 1850 (Bergeron et Flannigan, 1995; Bergeron et Archambault, 1993).

Ainsi, la plupart des études s'attaquent à une partie bien distincte de la problématique des feux de forêt; rares sont celles qui tentent de cerner à la fois l'impact climatique et l'impact des activités humaines. Cette situation rend les résultats entre divers travaux difficilement comparables.

De façon générale, les paramètres influençant le régime de feux présentent une grande variabilité temporelle. D'abord, l'efficacité de la suppression variera grandement selon la **période d'évolution technologique**, ce que ne manquent

pas de rappeler Barney et Stocks (1983). Les dernières décennies ont vu naître des réseaux de communications plus efficaces, des détecteurs automatiques de foudre ainsi que la mise en place d'attaques aériennes des incendies de forêt (Langlois, 1994). Ajoutons que ces moyens de lutte sont excessivement coûteux: pour la période de 1983 à 1993, il en a coûté, en moyenne, plus d'un million de dollars par saison de feux pour la seule société de l'Abitibi.

On peut penser, *a priori*, que la variabilité de l'impact de l'homme sur le régime de feux s'exprimera aussi en terme de **densité de population** et de type d'activité exercé sur l'environnement, cet impact n'étant toutefois pas uniforme dans le temps (Lyrintzis, 1996). La présence de coupe-feu naturels comme les lacs, rivières et tourbières influencera tout autant le régime de feux. Heinselman (1973) signale en effet que les patrons de feu se moulent aux barrières naturelles telles que les marais et autres milieux humides du paysage. Dans un même ordre d'idées, le morcellement anthropique du paysage par les routes, aires de coupe, champs agricoles et pâturages affectera également la dynamique des incendies de forêts.

Nous avons donc procédé à une reconstitution historique des feux de forêt afin d'évaluer les fluctuations du régime de feux abitibien. Les variations dans le régime de feux précolonial origineront vraisemblablement du climat puisqu'on estime généralement que les autochtones ont eu peu d'influence sur la dynamique des incendies de forêt (Lewis, 1982; Dansereau, 1991). En période coloniale, les changements seront fonction de deux facteurs: le climat et la colonisation canadienne de l'Abitibi.

De plus, l'aire d'étude est divisée en deux zones ayant des caractéristiques abiotiques et biotiques similaires mais ayant chacune un aménagement du paysage qui lui est propre. Nous comparerons -outre les effets de la colonisation, s'il en est un- l'impact de l'exploitation forestière (Ontario) *versus* l'exploitation agricole (Québec) sur la dynamique des feux.

Pour déterminer les différences de régime de feux, cette étude a évalué quelques paramètres tels l'occurrence des feux, la taille des incendies, la saison de feux ainsi que le degré de morcellement du paysage. Puisque l'exploitation des territoires remonte au début du 20^e siècle, nous avons également tenté d'intégrer l'effet de l'évolution des paysages dans le temps. Il s'agit donc de bien définir le cadre historique du développement parallèle de ces deux régions mitoyennes. Outre un article de Wein et Moore (1979) sur la forêt acadienne (N.-É.), il n'existe, à notre connaissance, aucune étude portant sur l'impact des activités humaines sur la dynamique des feux en milieu boréal.

Toutefois, il est essentiel d'établir au préalable le degré de similitude des territoires à comparer. Comme mentionné plus haut, certains auteurs ont démontré que des facteurs tels la topographie et le type de dépôts exercent une influence sur la récurrence des incendies (Rowe et Scotter, 1973). En procédant à la reconstitution précoloniale des feux de forêt, nous pouvons nous assurer que le régime de feux naturel ne diffère pas entre les deux territoires. Nous pouvons également vérifier quelle était la tendance de l'évolution à long terme du régime de feux lors de la colonisation des territoires à l'étude. Autrement dit, définir un régime de feux étalon pour mieux caractériser l'impact du type d'utilisation du paysage.

AIRE D'ÉTUDE

L'aire d'étude est majoritairement incluse dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc; seule la partie nord-ouest chevauche le domaine climacique de la pessière à mousses. La frontière Ontario/Québec divise le territoire à l'étude en deux secteurs ayant subi des types d'aménagement particuliers (figure 1). En Ontario (80°41'W à 79°31'W; 48°38'N à 49°15'N), le paysage modelé par l'exploitation forestière appartient à la portion sud de la Forêt Modèle du Lac Abitibi (LAMF). Il couvre environ 500 000 ha*, plan d'eau exclu. Du côté

québécois (79°31'W à 79°05'W; 48°34'N à 49°00'N), le paysage à vocation agricole présente une surface de 130 000 ha et couvre 6 cantons (Appendice A).

Les différences d'utilisation des territoires sont davantage le reflet de l'histoire socio-économique propre à chaque province que des caractères abiotiques des milieux. Sur ce plan, les territoires sont relativement homogènes. En effet, ils font partie d'une grande unité physiographique, la ceinture d'argile du nord. Elle est le résultat des dépôts lacustres laissés par le lac postglaciaire Barlow-Objibway (Vincent et Hardy, 1977). Celui-ci recouvrait le nord boréal du Québec et de l'Ontario (Richard, 1980) (figure 1).

Le territoire est surtout caractérisé par des sols argileux de types luvisol gris et gleysol. Le paysage est à topographie relativement plane et présente des collines de dépôts de tills dispersées dans le territoire (Bergeron *et al.*, 1982). La fréquence et la distribution de ces élévations sont indépendantes du type de paysage considéré. Notons toutefois que le secteur ontarien est davantage caractérisé par des dépôts de tills alors que le secteur québécois est plus riche en dépôts argileux et organiques.

*100 ha = 1 km²

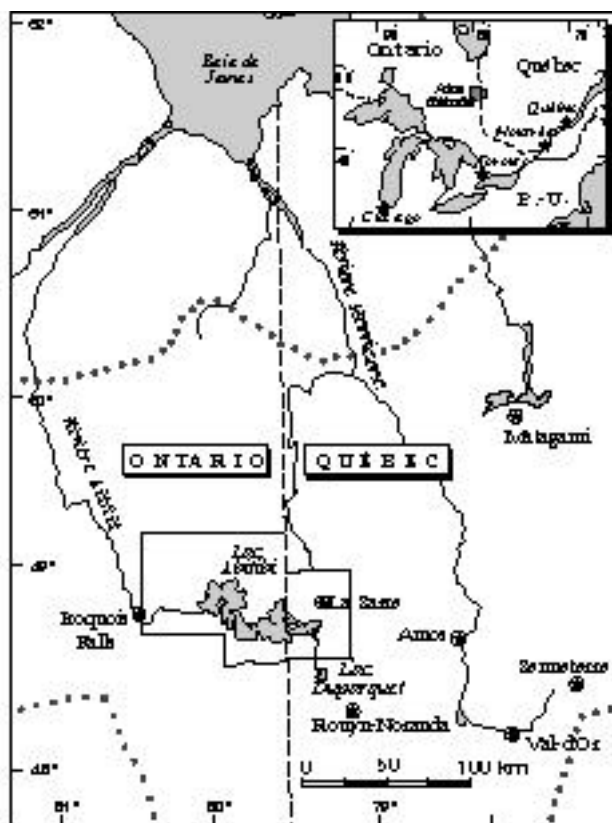


Figure 1. Situation géographique du paysage caractérisé par l'exploitation forestière (Ontario) et l'exploitation agricole (Québec). Les points gris indiquent l'extension maximale du lac Barlow-Objibway (Richard, 1980).

Les dépôts argileux présentent des peuplements forestiers dominés par l'épinette noire (*Picea mariana*), le sapin baumier (*Abies balsamea*) et en moindre partie par le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloïdes*) et le bouleau à papier (*Betula papyrifera*). Les sites bien drainés (sable et tills) sont, quant à eux, souvent associés à la présence de peuplements purs de pins gris (*Pinus banksiana*) issus de feu. D'autre part, on retrouve le cèdre blanc (*Thuja occidentalis*), l'épinette blanche (*Picea glauca*) et le sapin baumier dans les sites où la succession forestière est largement avancée (Bergeron et Dubuc, 1989).

La station météorologique d'Iroquois Falls (Ontario), située à l'extrême ouest de l'aire d'étude, est en fonction depuis 1913. La température moyenne annuelle se

chiffre à 0,9°C. La saison de feux s'étend de la fin avril à la mi-septembre. La température moyenne des mois de mai à août se situe à près de 14°C. La période sans gel est de 90 jours quoiqu'il y ait possibilité de gel à n'importe quel moment de la saison de feux. Les précipitations s'élèvent à 792,4 mm dont 572,7 sont sous forme de pluie. La plus grande partie de ces précipitations, 336,6 mm, tombe durant les mois de mai à août (Environnement Canada, 1993).

La zone d'étude a été ouverte à la colonisation vers 1910 grâce à la construction du chemin de fer transcontinental. Trois facteurs expliquent cette ouverture tardive. Tout d'abord, ce n'est qu'en 1898 que le territoire boréal est découpé entre le Québec et l'Ontario. Avant cette date, outre des carnets d'expéditions de missionnaires, il n'existe pas de relevé de l'énorme potentiel des ressources de la région. En second lieu, la ligne de partage des eaux, située à une vingtaine de kilomètres au sud des secteurs à l'étude, constituait une barrière naturelle à l'exploitation forestière qui utilisait les cours d'eau pour le flottage du bois vers les usines de sciage au sud de la province. De fait, le réseau hydrologique au sud du Lac Abitibi s'écoule vers le St-Laurent alors que celui au nord coule vers la Baie James. Enfin, l'éloignement de l'aire d'étude tout comme l'absence de réseau de communication terrestre gardera le territoire vierge et ce, jusqu'à la construction du chemin de fer transcontinental (Vincent, 1995). En effet, avant 1910, la présence des Canadiens était sporadique et restreinte aux activités de trappe et de missionariat.

Du côté ontarien, l'exploitation forestière commence rapidement, à petite échelle toutefois, après la construction du chemin de fer. Les premiers peuplements forestiers exploités se situaient à l'extrême ouest du territoire ainsi que dans la portion sud: autour du chemin de fer et du Lac Abitibi. Avec l'établissement de l'Abitibi Power and Paper en 1915 à Iroquois Falls, près du Lac Abitibi, l'exploitation des ressources forestières connaît une croissance fulgurante. D'autre part, dans l'Abitibi québécoise, les colons affluent plus que partout ailleurs dans la province (Vincent, 1995).

Le commerce du bois étant beaucoup plus lucratif que l'agriculture, les premiers temps de la colonisation font davantage du colon québécois un bûcheron qu'un agriculteur comme en témoigne l'exportation précoce du bois de pulpe vers Iroquois Falls en 1914 et la présence de 13 scieries québécoises dès 1919. Ce ne sera que vers 1927 que l'activité agricole prendra vraiment forme à grande échelle. Entre 1923 et 1936, 65 km² (5%) de terres sont mises en culture; en 1967, cette proportion grimpe à près de 400 km² (29%) pour demeurer relativement stable jusqu'à nos jours.

Par ailleurs, les Amérindiens étaient établis dans la région depuis plusieurs millénaires. Une étude menée au Lac Duparquet (79°16'W - 48°28'N) fait état, sans preuve directe toutefois, d'une présence remontant aussi loin que 6 225 (+/- 160) AA (Marois et Gauthier, 1989). Suivant cette hypothèse, il aurait fallu moins d'un millénaire entre la disparition du lac postglaciaire et l'établissement des premiers humains. D'autre part, un site situé au Lac Opasatica (79°19'W - 48°05'N), quelques 40 km au sud de l'aire d'étude, fait état hors de tout doute d'une présence amérindienne lors de l'Archaique supérieur, soit il y a 4920 AA (Vincent, 1995).

On estime que l'influence des Amérindiens sur le régime de feux était peu importante. Des rapports des Jésuites mentionnent que les clans du nord ne pratiquaient pas l'agriculture mais vivaient de la chasse et de la pêche. Dans leurs écrits, les religieux signalent l'absence de tout village sédentaire. Quant à leur importance démographique, Champlain constate en 1613 que les territoires du nord de l'Outaouais sont peu habités (Vincent, 1995). Un recensement de 1736 dénombre environ 100 guerriers pour une population totale d'environ 300 à 500 Abitibis.

Ainsi, la faible densité des populations tout comme leur habitude de nomade ne devraient pas avoir eu un impact important sur la dynamique des feux (Dansereau, 1991). Cependant, il est reconnu que les Amérindiens initiaient des feux de forêt près de leur campement dans des conditions de faible susceptibilité aux grands incendies (Lewis, 1982). Ces feux étaient de petite taille et de faible intensité.

Notons toutefois qu'il n'existe pas de littérature sur le sujet pour la région abitibienne. Ainsi, puisqu'il est impossible de définir précisément l'impact des Amérindiens dans les territoires à l'étude, ceux-ci seront considérés comme faisant partie du régime de feux naturel. Par ailleurs, leur impact serait vraisemblablement homogène de part et d'autre des territoires étudiés.

DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

1.1 Reconstitution de l'histoire des feux

L'histoire des feux a été reconstruite pour les 235 dernières années suivant les méthodes proposées par Heinselman (1973) et Johnson et Gutsell (1994). L'étude de photos aériennes de 1926, 1936 et 1952 de la Photothèque nationale de l'air à Ottawa a été la première étape dans la reconstitution de l'histoire des feux. En effet, les variations de tons et de textures des peuplements forestiers ont permis de délimiter de façon assez précise les limites d'incendies datant parfois de plus de 100 ans. Tous les contours de feux ont été reportés sur des cartes topographiques à l'échelle 1:250 000.

D'autre part, les îlots résiduels cartographiés présentaient deux caractéristiques: ils sont facilement discernables puisque associés à des incendies relativement récents, soit ceux du 20^e siècle, et ces îlots présentent une surface minimale de 1 km². Par la suite, la carte de feux a été raffinée par la datation de peuplements forestiers issus d'incendies de forêt.

Le plan d'échantillonnage visait à visiter au moins un peuplement par carré UTM (10 km X 10 km). L'accessibilité limitée des sites ainsi que la présence d'importants secteurs de coupe à blanc ont entraîné une sélection dirigée des peuplements forestiers à échantillonner. Des cartes forestières des années 1972 et 1987 ont servi de support pour choisir les sites présentant un haut potentiel informatif: accessibilité, absence de perturbation humaine, présence de peuplements de pins gris etc. Sur le terrain, la présence de traces de charbon dans le sol et le type de drainage ont été notés. Un portrait sommaire de la végétation a également été effectué par la méthode des quadrats centrés sur le point (Barbour *et al.*, 1987) de même qu'une description sommaire du type de sol.

Les peuplements forestiers ont été datés par le prélèvement basal, à chaque site visité, de 5 sections transversales ou carottes d'essences forestières de type pionnier. À chaque site, une recherche de chicots ou de cicatrices de feu a été effectuée. Les cicatrices de feu, rarement situées au-delà d'un mètre de hauteur, sont caractérisées par une forme triangulaire originant de la distribution isothermique des flammes (Schweingruber, 1989; Gutsell et Johnson, 1996). Elles présentent parfois des traces de charbon.

L'avantage de récolter des cicatrices tient au fait qu'elles permettent parfois de dater les vieux événements de feu à l'année près. Il est même possible, dans certains cas, de déterminer si le feu a eu lieu tôt au printemps ou tard en saison de feux. En effet, il suffit d'observer le niveau de la croissance du bois avant son arrêt dû à la mort des cellules cambiales. Ces cellules méristématiques ne peuvent supporter des températures au-delà de 60°C (McBride, 1983).

De façon générale, le pin gris était l'espèce échantillonnée. Cette espèce forme des peuplements issus de feu qui sont caractérisés par une structure d'âge équienne (Gauthier *et al.*, 1993). De plus, cette espèce est intimement associée à la dynamique des incendies de forêt de par le sérotinisme de ses cônes s'ouvrant sous l'effet de la chaleur des feux (Lamont *et al.*, 1991). Par ailleurs, la disponibilité d'une série dendrochronologique régionale de cette espèce a permis d'interdater les chicots de pins gris. Un chicot est défini dans cette étude comme étant un pin gris, mort depuis des années, qui se trouve toujours debout malgré les intempéries et l'attaque des insectes. Leur mort origine vraisemblablement de l'atteinte de leur longévité maximale ou d'un incendie de forêt. D'autres essences vivantes, telles l'épinette noire, le bouleau à papier et le peuplier faux-tremble ont aussi été échantillonnées.

Les échantillons recueillis ont été séchés puis sablés avec du papier émeri allant progressivement vers un grain de plus en plus fin. Le comptage des cernes de croissance sous le binoculaire des individus vivants lors de l'échantillonnage a permis de dater les événements de feu avec des intervalles de 5 à 10 ans. En effet, l'année du premier cerne de croissance d'une section transversale n'est, à

toute fin pratique, jamais associée à l'année de naissance des individus, donc à l'année de feu. La hauteur de prélèvement des échantillons, bien que basale, laisse supposer que les premiers cernes annuels sont plus bas que la hauteur de coupe (15 à 30cm).

De plus, pour couper à la hauteur du collet (année: 0), il aurait été nécessaire de creuser autour du tronc pour retirer la couche de dépôt organique entourant la base de l'arbre. Ainsi, si on établit l'année de naissance d'un pin gris à 1766, on peut estimer que sa naissance origine en fait d'un feu ayant eu lieu quelques années auparavant. S'il existe des preuves d'incendies telles que des cicatrices de feu datant de 1760 dans des sites adjacents, il est fort probable que le pin gris de 1766 soit issu du recrutement après-feu de 1760.

Les chicots de pin gris ont été interdatés à l'aide de deux techniques complémentaires. Tout d'abord, il y a la méthode visuelle des années repères. Il existe effectivement plusieurs années où la croissance des cernes annuels a été particulièrement difficile (1760, 1792, 1821, 1849, 1920) ou bonne (1778, 1819, 1834, 1881, 1958). La seconde procédure consistait à interdater la série inconnue avec une chronologie maîtresse régionale. Les cernes de croissance ont été mesurés au micromètre Henson (précision 1/100e de mm). L'interdatation a été vérifiée en utilisant le logiciel Cofecha (Holmes, 1983).

L'âge synchrone des cohortes de pins gris, vivants et morts, a servi à préciser la carte des feux à l'échelle de 1:250 000 établie auparavant par photointerprétation. Les vieilles limites de feux ont parfois été tracées en prenant la mi-distance entre deux points d'échantillonnage présentant des dates de feux différentes. Pour une meilleure fiabilité, seuls les sites qui présentaient plus de deux cicatrices de feu d'une même année -ou en correspondance avec un site d'échantillonnage adjacent- ont été retenus.

D'autre part, les archives gouvernementales du Ministère des Ressources Naturelles (Québec) et du Great Lake Forestry Center (Ontario) ont permis de

circonscrire les événements de feux pour la période coloniale (1923 à 1993). Les rapports d'archives mentionnent la cause du feu, la position géographique de celui-ci, l'étendue incendiée tout comme la date de l'incendie. Notons ici que les surfaces incendiées du secteur agricole sont restreintes aux feux de forêt, d'abatis, vieux brûlés et qu'elles excluent les feux associés à des champs agricoles ou des pâturages.

Les archives étant parfois incomplètes, des carnets d'expédition, des documents traitant de l'histoire abitibienne et le journal local ont également été consultés. La consultation de L'Abitibi (1920-1922) -renommé La Gazette du Nord en 1922- a permis de mesurer l'importance des incendies de forêt dans la vie des premiers colons.

L'histoire des feux depuis les débuts de la colonisation en 1910 jusqu'à la mise en place des premiers rapports de feux en 1923 a été complétée par l'étude de photos aériennes (1926 et 1936) de la Photothèque nationale de l'air à Ottawa. Les surfaces incendiées ont été circonscrites sur des cartes topographiques à l'échelle 1:250 000. D'une part, ces feux ont été datés en partie par la consultation d'ouvrages traitant de l'histoire de l'Abitibi et faisant mention de feux de forêts importants (La Gazette du Nord, 1924-1950; Trudelle, 1937 Dansereau, 1991). D'autre part, l'échantillonnage sur le terrain de peuplements issus de feu et la collecte de cicatrices de feu a également permis de déterminer certaines dates d'incendies ayant eu lieu entre 1910 et 1923.

Le plan d'échantillonnage pour cette reconstitution coloniale des feux de forêt visait principalement les peuplements matures issus de feux entre 1910 et 1923. De tels peuplements sont rares et des cartes forestières de 1987 ont servi de support dans la sélection dirigée des sites. La rareté de ces forêts matures peut être imputée au chevauchement des feux plus récents ainsi qu'à l'exploitation des boisés de fermes. Par conséquent, un effort d'échantillonnage a été déployé dans la recherche de chicots de pin gris reliques présents dans de jeunes forêts.

Après avoir établi la structure d'âge des peuplements forestiers, les limites des incendies ont été reportées sur les cartes topographiques à l'échelle du 1: 250 000. L'information a ensuite été numérisée avec le logiciel Arc/Info. Les cartes topographiques ont également permis de numériser les autres strates d'information -lacs, rivières, routes- liées à la carte des feux. Le logiciel Arc/View a été utilisé pour superposer les différentes couches et ainsi constituer la carte finale des incendies de forêt.

1.2 Cycle de feux

La production d'une carte du temps depuis le dernier feu permet d'estimer un paramètre qui résume le régime de feux prévalant dans le milieu. Ce paramètre, le cycle de feux, intègre les aires incendiées en relation avec l'occurrence des feux dans le temps. Il se définit comme le temps nécessaire pour brûler une surface égale à l'aire d'étude (Johnson et Van Wagner, 1985). Cette définition implique que certaines unités territoriales brûleront plus d'une fois alors que d'autres ne seront jamais incendiées.

L'estimation du cycle de feux se calcule à partir du taux de survivants $A(t)$ tel que défini par le modèle de Weibull: $A(t) = \exp[-(t/b)^c]$ où t est le temps, b le paramètre d'échelle et c le paramètre de la forme. Pour cette étude, nous utiliserons le modèle de l'exponentielle négative qui est un cas particulier du modèle de Weibull où $c=1$ (Johnson et Gutsell, 1994). Le calcul du cycle de feux est basé sur la procédure *lifereg* du logiciel SAS qui estime la fonction de probabilité à partir du maximum de vraisemblance (SAS, 1990).

Il est généralement admis que le modèle de l'exponentielle négative est le plus représentatif de la dynamique des perturbations en forêt boréale (Johnson *et al.*, 1995) puisqu'il assume que la probabilité de brûler d'une parcelle est constante dans le temps, donc indépendante de l'âge de la forêt. Ce modèle est couramment employé dans les études traitant des régimes de feux (Johnson *et al.*, 1990; Masters, 1990; Bergeron, 1991). Afin de diminuer les variations fortuites

dues aux structures d'âge, on peut tracer la courbe par classe d'âge ou utiliser une moyenne mobile (Finney, 1995). Pour cette étude, la distribution des survivants s'est faite par classe de 5 ans.

Selon Johnson et Van Wagner (1985), on peut estimer $A(t)$ avec cette méthode si les deux critères suivants sont respectés: 1-) la région à l'étude doit présenter une certaine stabilité dans le régime de feux, i.e. ne pas avoir une zone influencée par la suppression des feux alors qu'une autre partie est sans protection et 2-) le régime de feux doit être dans l'ensemble constant pour la période de temps à l'étude. Toutefois, si l'on observe une hétérogénéité temporelle ou spatiale dans le régime de feux, il est possible de partitionner celui-ci en périodes ou zones homogènes.

Pour la période sous colonisation canadienne (1910-1993), des variations importantes sont relevées à plusieurs niveaux: augmentation dans le temps de la densité de la population et de la proportion des coupe-feu, évolution des techniques de suppression et d'exploitation forestière ou agricole etc. Les fluctuations de ces divers paramètres invalident le premier critère de stabilité.

Par conséquent, le cycle de feux sous occupation humaine ne sera pas estimé avec la même approche. En effet, puisque le chevauchement des incendies pour la période coloniale (1910-1996) est relativement faible, les surfaces incendiées de tous les feux ont pu être déterminées avec précision. Ainsi, en estimant pour un paysage donné les superficies incendiées totales depuis 86 ans (1910 à 1996), on peut aisément calculer, à partir d'une règle de trois, le temps requis pour brûler une surface équivalente au paysage à l'étude.

1.3 Comparaison des paysages agricole et forestier

L'hypothèse de travail en période coloniale repose sur le fait que le type d'utilisation du territoire influence le régime de feux, cette influence étant synergique ou antagoniste au climat. Les variations du régime de feux entre les deux territoires ont été étudiées à deux niveaux: l'occurrence des feux et les aires incendiées. Ces deux variables réponses ont été mises en relation avec 4 modalités: le type de paysage (forestier ou agricole), les différents mois de la saison de feux (mai, juin, juillet, août) et les années (de 1923 à 1993), regroupées en trois périodes (1923-1943, 1944-1969, 1970-1996) marquant une évolution des pratiques d'aménagement des territoires.

La présence d'un grand nombre de variables à traiter nécessite l'application de tests statistiques particuliers pouvant résumer l'information contenue dans un tel jeu de données multidimensionnelles. Ainsi, l'analyse de ce tableau de contingence à plusieurs dimensions a été effectuée à l'aide de modèles mixtes d'analyse de variance. Les modèles mixtes sont l'équivalent des modèles généraux linéaires; ils visent à trouver les relations pouvant exister entre la variable dépendante (occurrence des feux ou aires incendiées) et l'ensemble des modalités retenues, les régresseurs (SAS, 1990). Les relations peuvent aller de l'effet direct d'une modalité sur la variable réponse à un effet résultant d'une somme d'interactions de plusieurs variables explicatives.

D'autre part, les modèles mixtes permettent d'assigner aux différentes modalités un effet fixe ou aléatoire, d'où originerait une partie de la variation inexpliquée inhérente à l'élaboration de tout modèle. Pour cette étude, les effets aléatoires concerneront les années -emboîtées dans les périodes- en relation avec le type de paysage et les mois.

Essentiellement, la méthode consiste à ajuster à la moyenne annuelle (d'occurrence des feux ou d'aires incendiées) la somme des effets et interactions des descripteurs. Pour un modèle saturé à trois descripteurs (A,B,C) où (D) représente l'effet aléatoire emboîté dans (C), l'équation est la suivante

$$Y = [A] + [B] + [C] + [AB] + [AC] + [BC] + [ABC] + [D(C)] + [DA(C)] + [DB(C)]$$

où Y est la variable dépendante. Il s'agit par la suite de trouver le modèle le plus parcimonieux. De préférence, on tentera d'éviter les modèles contenant les interactions triples puisqu'elles sont parfois difficiles à interpréter (Legendre et Legendre, 1984). L'ajustement des effets et interactions des variables explicatives du modèle est vérifié à partir d'une statistique F de Fischer, tout comme les analyses de variance. Une fois le modèle établi, on peut détailler l'effet d'une interaction à l'aide des analyses par tranche. Il s'agit de fixer n-1 modalités pour voir si la troisième a un effet significatif sur la variable réponse.

Par ailleurs, la division des 73 années à l'étude en trois périodes a pour but de bien refléter les conditions de développement des territoires. Les travaux de Simpson *et al.* (1994) et Lyrantzis (1996) soulignent d'ailleurs la nécessité de tenir compte de l'évolution temporelle des patrons de développement des paysages.

Ainsi, la première période constitue la phase primitive d'établissement et d'exploitation des ressources durant laquelle il y eut un morcellement embryonnaire du territoire et une suppression peu efficace des feux (1923-1943). La seconde phase est caractérisée par une mécanisation du défrichement et de l'exploitation forestière; il y a consolidation des structures de développement, électrification du milieu rural (1944-1969) (Anonyme, 1989; Vincent, 1995). La dernière phase constitue la période de morcellement maximal des territoires et fait place à des techniques de suppression plus élaborées (1970-1993). Le choix de l'étendue des trois périodes reste arbitraire. Néanmoins, ce choix reflète bien la réalité et présente l'avantage de diviser le temps en périodes régulières d'une vingtaine d'années.

Intuitivement, on peut croire que la taille des incendies des débuts de la colonisation était plus grande que maintenant. On croit en effet que les changements climatiques, la suppression active et passive pourraient influencer l'étendue des incendies. Afin d'évaluer les fluctuations de la taille des feux dans le temps entre les deux secteurs à l'étude, nous avons procédé à une analyse de

variance à deux critères de classification. La variable dépendante est représentée par les superficies de chaque feu alors que les critères de classification sont le type de paysage et la période d'évolution des secteurs à l'étude.

Puisque l'analyse de variance se calcule à partir des moyennes des superficies des incendies, on peut estimer qu'une partie de l'information sur la taille des feux est perdue. Par le fait même, il peut être intéressant d'étudier ce paramètre par classes de surfaces. Les feux de chaque paysage ont donc été distribués selon les classes de tailles logarithmiques suivantes: 0.1, 1, 10, 100, 1000 et > 10 000 ha.

L'analyse des fréquences de ce tableau de contingence par un test du χ^2_p permet de préciser les différences de taille selon le type d'utilisation du territoire. Les fréquences de taille qui diffèrent significativement entre les deux paysages sont identifiables par un test de Freeman-Tukey $\{(O)^{1/2} + (O+1)^{1/2} - (4E+1)^{1/2}\}$ où le seuil critique est défini par l'équation $\{V \chi^2_{[1,\alpha]} / \text{nb cellules}\}^{1/2}$. Ajoutons que le critère de correction de Bonferonni ($\alpha' = \alpha/k$ essais indépendants) a été utilisé étant donné la multiplicité du test (Legendre et Legendre, 1998).

1.4 Données météorologiques

Le volet climatique a pour but de vérifier s'il y a des changements de conditions météorologiques depuis le début du siècle qui seraient susceptibles d'influencer le régime de feux au-delà de l'impact des activités humaines, s'il en est un. Ces changements potentiels seront étudiés au niveau de l'Indice Forêt-Météo (IFM). L'IFM représente un estimé du danger d'incendie. Il tient compte de 3 facteurs interreliés: les conditions météorologiques, les indices d'humidité du combustible ainsi que ceux du comportement du feu (Canadian Forestry Service, 1984). Des brûlages expérimentaux dans des pinèdes de pins gris immatures ont suggéré qu'il y avait une très bonne relation entre l'IFM et le comportement des incendies (Stocks, 1986).

Les données météorologiques proviennent de la station d'Iroquois Falls (Ontario) située à l'ouest du Lac Abitibi (48°45'N, 80°40'W). La station enregistre les données depuis 1913. Il a donc été possible de reconstituer l'IFM pour la saison de feux de mai à août à partir de la matrice de données journalières basée sur des mesures de température, de précipitations, d'humidité relative etc. Notons que l'absence de données météorologiques pour les mois d'avril et septembre reste sans conséquence puisque l'occurrence des feux et des aires incendiées de ces deux mois représentent moins de 5% des totaux.

Par ailleurs, puisque l'année 1914 est absente des registres météorologiques et que ce n'est seulement qu'à partir de 1916 qu'une partie des feux sont archivés, les années 1913 à 1915 ont été rejetées.

Les variations de l'IFM ont été analysées sous deux angles principaux. En premier lieu, les valeurs journalières de l'IFM ont été recodées en 5 classes selon le niveau du danger d'incendie tel que défini par le système de la SOPFEU: 0-4.6 Faible; 4.7-10.2 Modéré; 10.3-14.7 Haut; 14.8-20.2 Très haut, 20.3 et + Extrême.

Par la suite, les fréquences des différentes classes du danger d'incendie ont été compilées pour chaque année. Il devient alors possible de vérifier quelles années ont subi de nombreuses journées de danger extrême d'incendie et de définir quel est le patron de distribution de ces périodes de sécheresse (ou d'humidité) depuis les premiers temps de la colonisation jusqu'à nos jours. La tendance à long terme de ces dangers d'incendies sera définie à l'aide de droites de régressions linéaires alors qu'un test d'analyse de variance déterminera l'importance du signal.

D'autre part, des corrélations seront estimées entre la fréquence des journées des différents dangers d'incendies et les aires brûlées. Cette analyse permettra d'établir la force du lien entre les variations climatiques et les superficies incendiées.

En second lieu, il s'agit de démontrer s'il y a des changements du danger de susceptibilité aux incendies dans le temps à l'intérieur d'un même mois. Autrement dit, vérifier si le mois de juin des débuts de la colonisation présente des valeurs d'IFM plus hautes que lors des dernières décennies. Les valeurs de l'IFM ont été moyennées pour chaque mois de chaque année pour ensuite être reportées sur une échelle temporelle. Des équations de régressions linéaires illustreront les tendances à long terme. Un test d'analyse de variance déterminera si cette tendance est significative.

RÉSULTATS

2.1 Carte et historique des feux

2.1.1 Précision de la carte des feux

L'histoire des incendies de forêt de l'Ontario et du Québec est résumée par la carte des feux (figure 2). Celle-ci s'avère essentielle à l'étude de la dynamique des feux de forêt à une époque où les rapports gouvernementaux d'incendies étaient absents. La carte des feux illustre la structure d'âge de la mosaïque forestière issue d'incendies que l'on retrouverait actuellement dans le paysage si ce dernier n'avait pas subi d'autres types de perturbations telles que le défrichage, la coupe forestière et les épidémies de la TBE. Par souci de clarté, seuls les feux ayant brûlé plus de 500 ha ont été reportés sur la carte.

Les limites de feux ont été circonscrites, outre par photointerprétation, à partir d'une collecte de données sur le terrain ayant eu lieu lors des étés 1994 à 1996. La visite de plus de 160 sites a permis d'obtenir une grille d'échantillonnage relativement fine: en moyenne 1 point par 39 km² de territoire. Dû à des contraintes d'accessibilité, 3 carrés UTM n'ont pas été visités. Puisque la structure d'âge des peuplements forestiers repose en grande partie sur le pin gris (tableau 1), lequel est réputé pour coloniser rapidement un site après un incendie, il en résulte une chronologie des années de feux affichant une précision intéressante.

2.1.2 Nombre d'années de feux

Le plus vieux feu circonscrit remonte probablement à l'an 1760 bien qu'aucune cicatrice de feu de l'année 1760 n'ait été trouvée dans la zone à l'étude. Toutefois, les travaux de Dansereau sur l'histoire des feux du canton d'Hébécourt, zone adjacente à l'aire d'étude, révèlent l'existence de cicatrices de feu datant de

1760 (Dansereau, 1991). La carte des feux présente un nombre appréciable de sites présentant un recrutement de cohortes de pins gris dont l'origine varie de 1765 à 1775. On estime que ces peuplements originent vraisemblablement du feu de 1760. Ajoutons qu'un seul peuplement forestier plus vieux que 1760 a été trouvé dans une cédrière humide. Celle-ci se situe au-delà de la limite nord de l'aire d'étude de la LAMF; l'âge minimum du site est de 316 ans.

Outre le feu de l'année 1760, on dénombre 16 autres incendies pour la période allant de 1760 à 1910. Sur l'ensemble de ces 17 feux, 7 incendies ont été datés à l'année grâce à l'analyse des cicatrices de feu (tableau 2). De ce nombre, 6 cicatrices de feu ont été trouvées en Ontario: 1818, 1844, 1853, 1869, 1903, 1909 contre 1 pour le Québec, 1796. Le faible nombre de cicatrices de feu ne nous a pas permis de constituer une carte des feux qui soit précise à l'année. Ainsi, les feux sont classés par intervalles de temps variant en fonction de l'information recueillie et des besoins de présentation d'une carte des feux qui soit claire. De plus, plusieurs petits feux n'ont sans doute pu être repérés dû au chevauchement des incendies plus récents et à la maille d'échantillonnage utilisée.

Tableau 1. Répartition de la fréquence des essences pionnières après-feu échantillonnées dans le secteur forestier (n=114) et agricole (n=50 sites)

Espèces échantillonnées	Forestier	Agricole	Total (%)	
	(Ontario)	(Québec)		
	Nombre	Nombre		
<i>Pinus Banksiana</i> vivants	284	106	390	(40.5)
chicots	156	145	301	(31.2)
<i>Picea mariana</i>	100	36	136	(14.1)
<i>Betula papyrifera</i>	32	29	61	(6.3)
<i>Populus tremuloïdes</i>	12	39	51	(5.3)
Autres	17	8	25	(2.6)
Total	601	363	964	(100)

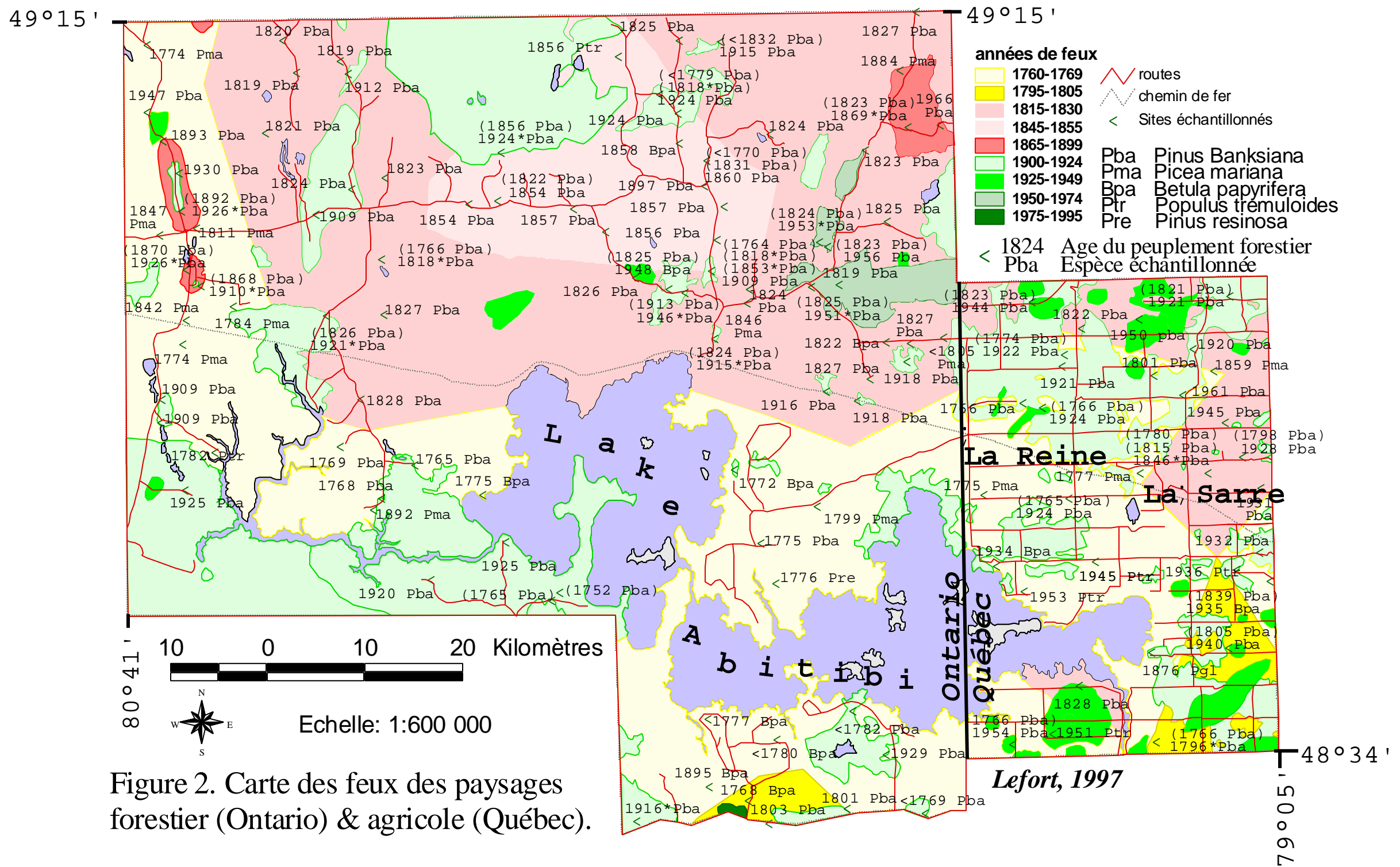


Figure 2. Carte des feux des paysages forestier (Ontario) & agricole (Québec).

Tableau 2. Année de recrutement des cohortes de pins gris (Pba)
pour la période précoloniale

Paysage	Cicatrice	Cohorte
Forestier		
<1764 *	Non	Pba
1801	Non	Pba
1818	Oui	Pba
1844	Oui	Pba
1853	Oui	Pba
1868	Non	Pba
1869	Oui	Pba
1875	Non	Pba
1892	Non	Pba
1903	Oui	Pba
1909	Non	Pba
1909	Non	Pba
1909	Non	Pba
1909	Oui	Pba
Agricole		
1765 *	Non	Pba
1796	Oui	Pba
1819	Non	Pba
1828	Non	Pba

* vraisemblablement relié au
feu de 1760, Dansereau (1991)

Avec la venue de l'homme blanc dans la région abitibienne en 1910, le nombre d'années de feux, tout comme le taux de détection de ceux-ci, augmentent de façon importante. L'étude des archives historiques et des rapports gouvernementaux fait état d'incendies de forêt ayant eu cours sur près de 75 années de feux pour la période de 86 ans sous colonisation humaine. Ces mêmes sources permettent non seulement d'établir le nombre d'années de feux mais également le nombre de feux ayant eu cours durant une saison de feux (mai à août). Si certaines saisons de feux sont exemptes d'incendies (1915, 1917, 1925, 1940, 1958, 1959, 1960, 1963, 1964, 1966, 1969, 1974), d'autres présentent plus de 20 conflagrations (1932, 1933, 1941, 1972, 1975). Pour la période de 1910 à 1996, on observe ainsi un total de 498 feux. Ceux-ci étant pour la plupart très petits, la carte des feux ne présente pas une résolution assez fine qui permette d'illustrer ces incendies.

2.1.3 Superficies incendiées

La carte des feux indique qu'il est fort probable que les années de feux de 1760 et 1818 incendièrent en entier le territoire de la LAMF ainsi qu'une bonne partie de l'Abitibi (figure 2). On retrouve des chicots de pins gris datant de cette époque sur l'ensemble des territoires à l'étude. D'autres travaux décrivant des régimes de feux dans les cantons de Duparquet et d'Hébécourt, au sud de la zone agricole, font mention de feux ayant eu cours en 1760 (Bergeron, 1991; Dansereau et Bergeron, 1993). L'étude d'un transect nord/sud à l'ouest de l'aire d'étude confirme également le recrutement de peuplements forestiers originant également de 1760 et 1818 (Bergeron, Gauthier et Kafka, 1997).

Par ailleurs, en 1910, la tradition orale des Amérindiens faisait état d'un gigantesque feu ayant brûlé le bassin hydrologique abitibien dans son entier, 100 ans auparavant (Pollock, 1995); cet incendie serait probablement lié au feu de l'année 1818.

Depuis le feu de 1853, qui a brûlé la zone centrale de l'aire d'étude (figure 2), il faut attendre les débuts de la colonisation pour que des incendies de tailles

importantes balayent à nouveau le territoire. En effet, de 1853 à 1910, les feux ne couvrent pas plus de 6 500 ha.

Comme mentionné précédemment, les débuts de la colonisation des territoires s'accompagnent d'incendies ayant brûlé de grandes superficies. Les années de feux de 1916, 1921 et 1924 furent particulièrement touchées, certains incendies atteignant plus de 10 000 ha. Par la suite, on assiste à un retour des petits feux. Bien que ceux-ci soient beaucoup plus nombreux que lors des débuts de la colonisation, les superficies totales incendiées par année demeurent faibles. De plus, la taille moyenne de ces feux est souvent très petite, d'où leur absence sur la carte des feux.

Par ailleurs, les changements dans le régime des feux peuvent être analysés à l'aide d'une distribution du temps depuis le dernier feu basée sur le modèle de l'exponentielle négative (figure 3). La figure 3 présente une brisure dans le régime de feux vers 1855-1860, soit une période concordant avec la fin du Petit Age Glaciaire (ca 1850). La pente aiguë entre 1760 et 1855 est associée à un cycle de feux de 62 ans. Il s'agit d'une estimation grossière puisqu'elle n'est basée que sur la présence de quatre classes de feu (1760-5, 1795-1800, 1815-20, 1850-55).

De 1855 jusqu'au début de la colonisation, le régime de feux est caractérisé par de petits incendies de forêt peu fréquents; le cycle de feux subit ainsi un changement important: il s'élève approximativement à 2 500 ans. Cependant, la période de temps considérée pour cet estimé du cycle de feux, 55 ans, apparaît trop courte pour obtenir une estimation fiable de la périodicité des incendies. En incluant la période sous influence humaine (1855-1996), on obtient un cycle de feux de 321 ans.

Bien que le régime de feux de la période coloniale ne semble pas se distinguer de celui de la période précédente, nous avons tout de même estimé, à titre indicatif, le cycle de feux. Sur la base des superficies totales brûlées depuis 1910, nous avons calculé le temps nécessaire pour brûler une surface équivalente à 630 000

ha, soit la somme des aires des paysages québécois et ontarien. Le cycle de feux s'élève, tout paysage confondu, à 278 ans pour la période de 1910-1996.

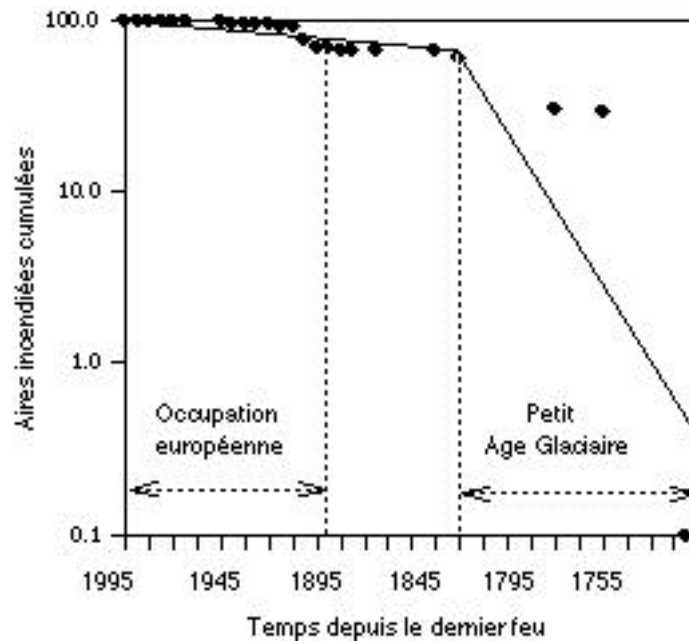


Figure 3. Distribution du temps depuis le dernier feu des deux secteurs à l'étude pour les 235 dernières années.

Le tableau 3 résume les caractéristiques du régime de feux pour la période allant de 1760 à 1996. Il présente les tailles moyennes des feux, le nombre d'années de feux ainsi que le cycle de feux. De façon générale, l'évaluation des superficies incendiées demeure conservatrice. Par conséquent, la taille moyenne des feux l'est tout autant.

En effet, il est possible que certaines zones n'aient été brûlées que par des feux de surface n'entraînant pas de recrutement après-feu. De plus, certains incendies n'ont probablement pas atteint les sites échantillonnés alors qu'en d'autres endroits il n'y avait aucun chicot présent sur les lieux malgré la présence de débris de charbon dans le sol.

Tableau 3. Caractéristiques du régime de feux

Paramètres du régime de feux	Période		
	1760 à 1855	1855 à 1910	1910 à 1996
Taille moyenne des feux (ha)	120 000	1 700	391
Nombre d'années de feux	8	9	76
Cycle de feux (ans) &	62 ¹	321* ¹	278 ²
Intervalle de Confiance à 95%	52.5 à 74.3	255.0 à 404.1	-----

¹ Calcul effectué par la procédure *lifereg* du logiciel SAS

² Calcul effectué à partir d'une règle de trois

*Cycle de feux basé sur l'intervalle de temps 1855-1996 (figure 3)

À titre de prélude à la comparaison du régime de feux des territoires ontarien et québécois, la distribution du temps depuis le dernier feu des peuplements a été estimée à partir de l'état actuel du paysage (1996) en éliminant l'effet des coupes et autres perturbations (figure 4). On observe entre les deux paysages une distribution similaire des peuplements résiduels originant de feux. Dans les deux cas, plus de 50% des peuplements forestiers actuels sont issus d'incendies ayant eu cours avant 1855. De plus, l'histoire des incendies de forêt présente des années synchrones de grands feux entre l'Ontario et le Québec. Les événements de feu de 1760 et 1818 en régime précolonial et ceux de 1916 et des débuts des années '20 en période coloniale ont brûlé de grandes portions de forêt dans les deux territoires.

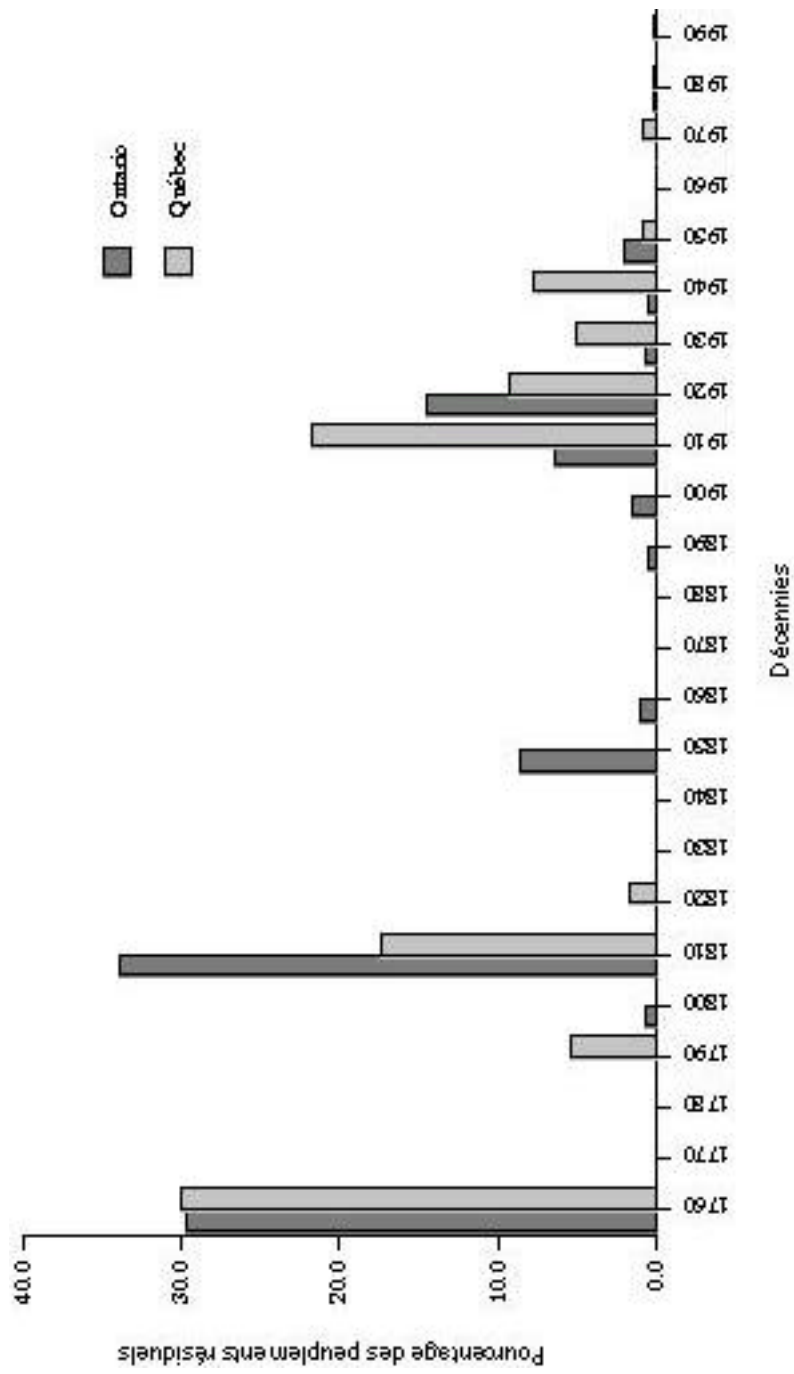


Figure 4. Distribution du temps depuis le dernier feu (en %) par décennie des peuplements des paysages forestier et agricole.

2.2 Comparaison des paysages agricole et forestier

2.2.1 Archives et rapports de feux

À partir de 1910, les colons affluent dans la région abitibienne. La consultation du journal L'Abitibi (1920-1922) -renommé La Gazette du Nord en 1922- a permis dans un premier temps de relever l'importance des feux de forêt en Abitibi. La mention de notes relevant la présence de dizaines de feux, voire de centaines, dans la région de l'Abitibi québécoise laisse supposer que les archives n'ont pas circonscrit de façon exhaustive les incendies de forêt ayant eu cours dans la région. Néanmoins, elles restent un support de choix pour relever les événements de feu. Dans un deuxième temps, la Gazette du Nord a permis de dater, à quelques jours près, deux feux absents des archives et ayant brûlé d'importantes surfaces en 1941 dans les cantons de Roquemaure et Desméloiszes (figure 2, Appendice A).

D'autre part, les ouvrages de Trudelle (1937) et Anonyme (1989) font mention d'un feu gigantesque ayant dévasté les cantons septentrionaux du secteur québécois agricole. Ce feu, le plus gros du siècle sur le territoire agricole, aurait eu cours le 29 juillet 1916 (figure 2). La datation d'essences pionnières issues de ce feu n'apporte, au mieux, que la date minimale de 1921; toutefois, une cicatrice de feu associée à cet incendie de 1916 a été retrouvée. Enfin, un autre grand feu ayant ravagé la portion sud-est de l'aire d'étude québécoise a été relié à l'an 1919 grâce à l'ouvrage de Trudelle (1937).

Du côté ontarien, les cartes de feu de Donnelly et Harrington (1978) situent deux feux dans la LAMF durant les années '50 qui sont, étonnamment, absents des archives gouvernementales. Les travaux de Shafi et Yarranton (1973) et Yarranton et Yarranton (1975) dans le même secteur ont permis de circonscrire deux autres feux ayant eu lieu en 1912 et 1915.

Conjointement au dépouillement d'archives, la recherche de rapports de feux gouvernementaux, de 1910 à 1996, totalise 171 feux dans les 500 000 ha de territoire caractérisé par l'exploitation forestière. Ces 171 feux ont brûlé une surface totale de 127 150 ha pour une superficie moyenne de feux de 744 ha (tableau 4). Puisque les deux paysages sont de tailles différentes, l'occurrence des feux et les superficies brûlées ont été reportées sur une échelle commune de 100 000 ha de surface. Ainsi, il y a eu dans la LAMF pour cette période 34 feux et 25 430 ha brûlés par 100 000 ha de surface; le tableau 4 présente aussi les valeurs en terme annuel, soit 0.4 feux/100 000 ha/an et 330 ha incendiés/100 000 ha/an. Le cycle de feux s'élève à 338 ans.

D'autre part, le paysage à vocation agricole a subi pour la même période, en chiffres réels, 327 feux et 67 813 ha de surfaces incendiées dans un territoire d'environ 130 000 ha. Par 100 000 ha de territoire, on obtient 6 fois plus de feux et près du double des aires incendiées, soit 207 feux pour 50 911 ha de forêts incendiées. Ces chiffres se traduisent par un taux de 2.9 feux/100 000 ha/an et 593 ha incendiés/100 000 ha/an. D'autre part, le cycle de feux est deux fois plus court que le secteur forestier, soit 165 ans.

Bien que les aires totales brûlées soient plus importantes dans le secteur agricole, la surface moyenne des feux de ce territoire est 4 fois plus petite que dans la LAMF. Par ailleurs, l'écart-type associé à la taille de tous les feux de chaque paysage indique une amplitude de superficie des feux plus prononcée dans le secteur forestier.

Par ailleurs, la compilation des rapports de feux gouvernementaux permet également de relier l'occurrence des feux et les superficies incendiées à des sources d'ignition particulières. Ainsi, on constate que dans le secteur à vocation agricole, l'homme crée une pression importante étant responsable de 87% des feux contre 59% pour le secteur de la LAMF (tableau 5).

Notons que le tableau inclut cinq grands incendies qui étaient absents des rapports de feux gouvernementaux. Ces feux ont été classés dans la catégorie

inconnue puisqu'il s'est avéré impossible d'en déterminer la cause. Par ailleurs, si l'homme présente également un impact au niveau des aires brûlées dans le secteur agricole (41%), cet impact est mineur dans le secteur forestier où la foudre brûle davantage de territoire (60%).

Tableau 4. Caractéristiques du régime de feux colonial pour les deux types d'utilisation du paysage, de 1910 à 1996

	Forestier (Ontario)	Agricole (Québec)
Données descriptives		
Surface des territoires (ha)	500 000	130 000*
Nombre de feux	171	327
Aires incendiées totales (ha)	127 150	67 813
Taille des feux (ha): médiane/minimum	0.1 / 0.01	6.0 / 0.10
Données comparatives		
Nombre total de feux ¹	34	252
Occurrence annuelle ¹	0.4	2.9
Surfaces totales incendiées (ha) ¹	25 430	52 164
Aires brûlées annuelles (ha) ¹	296	607
Surface moyenne des feux (ha)	748	207
Écart-type de la taille moyenne des feux	4024	1668
Cycle de feux (ans) ²	338	165

* Surface forestière au début des années 1930

¹ calculé par 100 000 ha de territoire

² calculé par une règle de trois

Tableau 5. Comparaison, pour les deux types d'utilisation du paysage, de l'occurrence de feux et des aires incendiées (absolues et relatives) en fonction de 3 sources d'ignition pour la période de 1923-1996

Sources d'ignition	Occurrence des feux	Aires incendiées
Secteur agricole		
Homme	264 / 87%	9 259 / 41%
Foudre	0 / 0%	0 / 0%
Inconnue	39 / 13%	13 404 / 59%
Total	303	22 663 (ha)
Secteur forestier*		
Homme	92 / 59%	5 249 / 12%
Foudre	35 / 22%	26 465* / 60%
Inconnue	29 / 19%	12 127 / 28%
Total	156	43 841 (ha)

* Inclus un feu de 1924, absent des rapports gouvernementaux (voir Appendice B)

L'analyse des données par décennie permet d'illustrer l'évolution du régime des feux. De façon générale, l'occurrence des feux par décennie se traduit par une distribution quelque peu chaotique pour le paysage agricole. Plus de 50% des feux de ce territoire ont eu lieu lors des trois dernières décennies (figure 5). Contrairement, le secteur forestier de la LAMF présente une distribution de l'occurrence des feux qui est relativement régulière dans le temps et beaucoup moins importante que dans le paysage québécois. Ajoutons qu'il est fort probable que le faible nombre de feux des premières décennies soit attribuable à un inventaire incomplet des feux ayant balayé le territoire, relativement vierge à ce moment.

D'autre part, on observe une diminution à long terme des aires incendiées pour les deux paysages (figure 6). Le territoire québécois présente des superficies brûlées qui sont importantes pour les 4 premières décennies. Dans le territoire ontarien, les surfaces incendiées diminuent dès les années 1930. Outre la décennie 1920 et 1950, le secteur agricole présente toujours des superficies brûlées plus importantes que dans le secteur forestier.

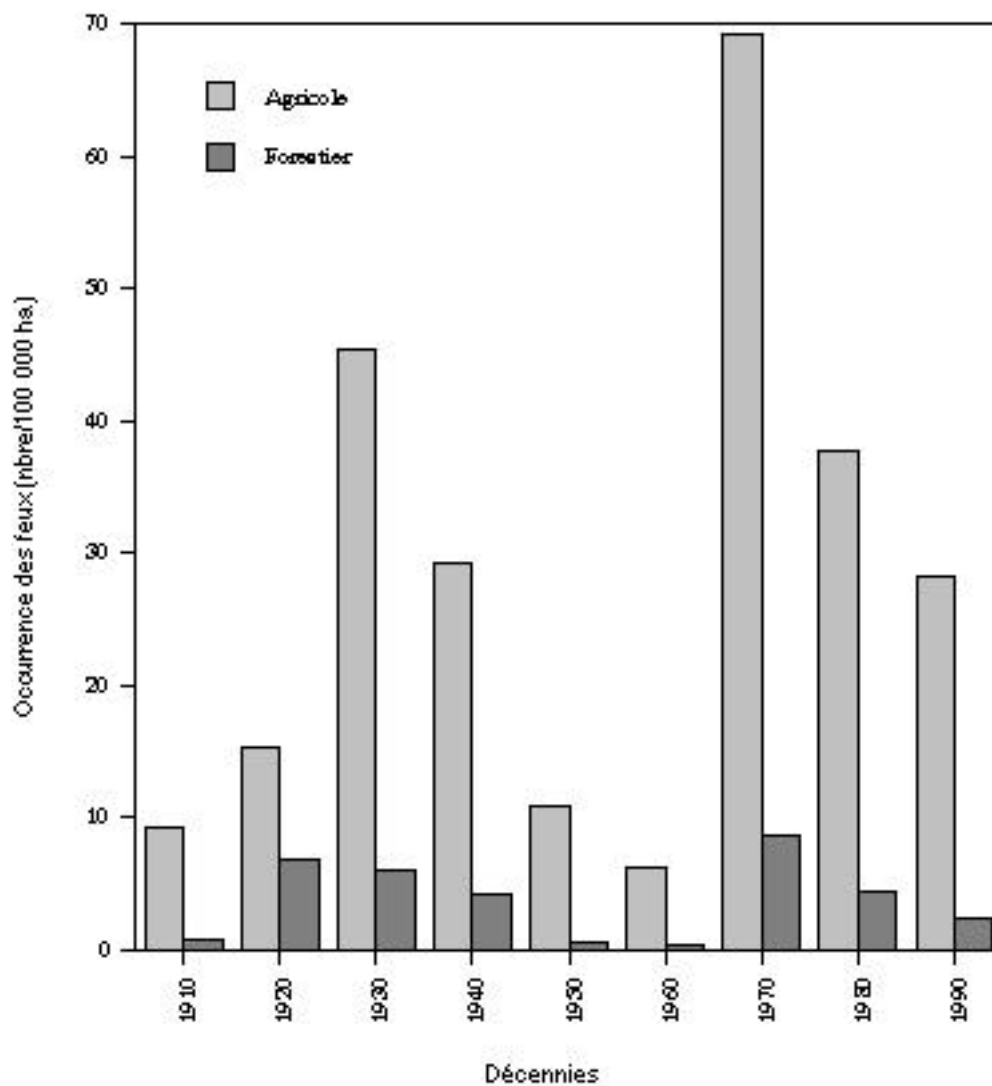


Figure 5. Comparaison de l'évolution de l'occurrence de feu par décennie entre les deux paysages.

*Seules les 7 premières années de la décennie '90 sont considérées.

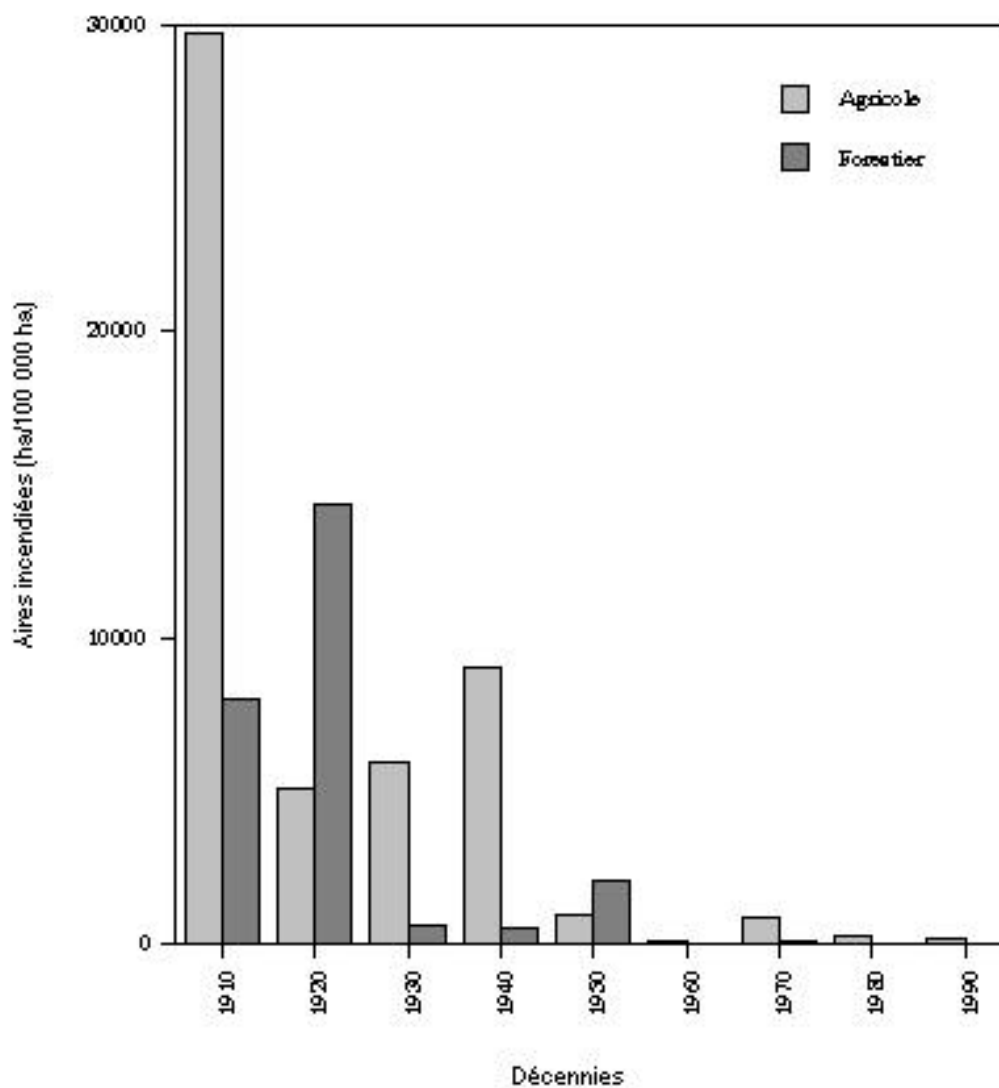


Figure 6. Comparaison de l'évolution des aires incendiées par décennie entre les deux paysages.

*Seules les 7 premières années de la décennie '90 sont considérées.

2.2.2 Modèles mixtes

Par ailleurs, l'utilisation des modèles mixtes présente l'avantage de raffiner cette comparaison générale de l'évolution du régime des feux. D'entrée de jeu, on doit mentionner que cette comparaison de l'évolution du régime de feux des paysages est incomplète. La colonisation débuta en 1912 alors que les rapports de feux n'existent que depuis 1923. L'origine et la date d'ignition inconnue des grands feux ayant eu lieu avant 1923 ne permettent pas une analyse exhaustive de l'information totale associée à la dynamique des feux. La comparaison des régimes de feux à l'aide des modèles mixtes s'échelonne donc sur la période allant de 1923 à 1996.

La première étape dans le choix judicieux d'un modèle mixte consiste à utiliser un modèle saturé contenant tous les effets principaux et interactions possibles entre les variables explicatives. Les résultats d'un tel modèle pour l'occurrence moyenne annuelle des feux indiquent que tous les effets sont significatifs (tableau 6):

$$\begin{aligned} \text{Occurrence moyenne annuelle} = & [\text{Paysage}] + [\text{Période}] + [\text{Mois}] + \\ & [\text{Période*Mois}] + [\text{Paysage*Mois}] + [\text{Paysage*Période}] + \\ & [\text{Paysage*Période*Mois}] \end{aligned}$$

Le test de Type III permet de mesurer l'augmentation de la somme des carrés lorsque l'on introduit successivement les variables dans le modèle (Sall, 1980). Il s'applique bien aux données non balancées de cette étude. Pour leur part, les valeurs de F et leur probabilité associée équivalent au test de Student testant l'hypothèse nulle d'une contribution au modèle de la part de chacun des régresseurs ou ensemble de régresseurs. Le modèle retenu est expliqué par

l'interaction triple: il stipule qu'il y a un effet du mois sur l'occurrence annuelle de feux qui varie en fonction de la période et du paysage.

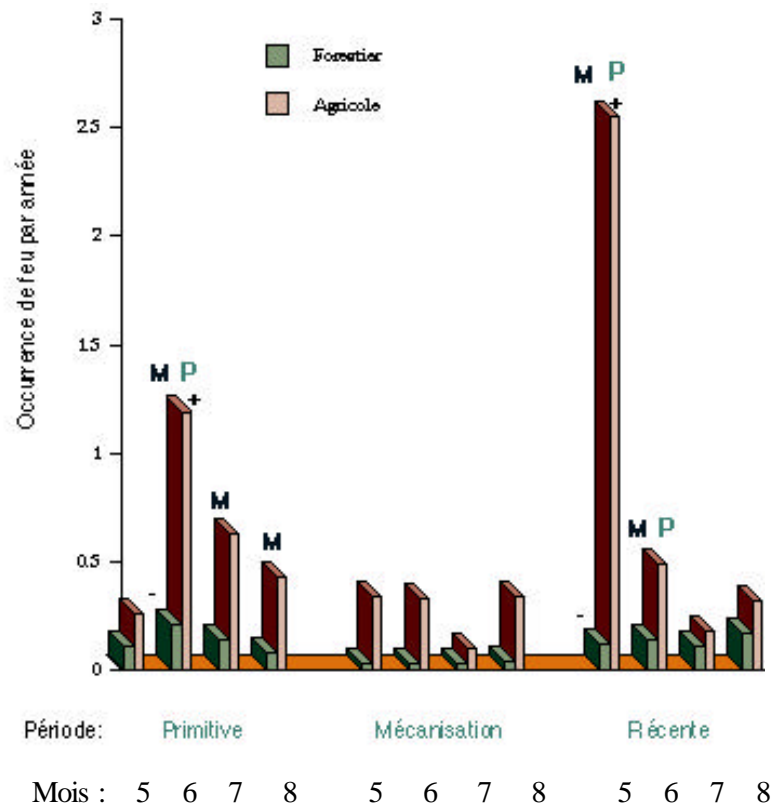
Tableau 6. Importance des effets fixes sur l'occurrence des feux selon le modèle saturé

Source	DL*	Type III F	Pr > F
Paysage	1	45.17	0.0001
Période	2	6.40	0.0028
Mois	3	6.52	0.0003
Période*Mois	6	10.52	0.0001
Paysage*Mois	3	7.62	0.0001
Paysage*Période	2	4.92	0.0100
Paysage*Période*Mois	6	11.83	0.0001

* DL: degrés de liberté

L'analyse des effets par tranche indique qu'il y a un effet significatif du paysage sur l'occurrence annuelle de feux pour une période et un mois donnés: le secteur agricole présente plus de feux que le secteur forestier pour le mois de juin de la période primitive (1923-1943) et le mois de mai de la période récente (1970-1993) (figure 7).

Par ailleurs, on note qu'il y a, pour la période primitive du secteur agricole, un effet significatif des mois de juin, juillet et août sur l'occurrence annuelle des feux, beaucoup plus importante qu'en mai. Cet effet est également présent en mai et juin de la période récente où on observe de hautes occurrences de feux par rapport à juillet et août. Enfin, la figure 7 indique un effet de la période pour les mois de mai et juin du secteur québécois. On observe en effet beaucoup plus de feux en mai de la période récente que dans les deux premières; de plus, la période primitive et récente présentent davantage de feux en juin que la période de mécanisation (1944-1969).



Légende

M : effet significatif du mois pour un paysage et une période données

P : effet significatif de la période pour un paysage et un mois données

+ : Significativement plus de feux d'un paysage par rapport à l'autre pour un mois d'une période donnée

- : Significativement moins de feux d'un paysage par rapport à l'autre pour un mois d'une période donnée

Figure 7. Distribution des moyennes marginales pour le modèle de l'occurrence des feux.

Dans le secteur forestier, les moyennes annuelles d'occurrences des feux étant relativement constantes, aucune période, mois ou interaction n'a d'effet significatif sur la variable réponse.

Par ailleurs, les résultats du modèle saturé pour les aires incendiées annuelles indiquent que l'interaction triple Paysage*Période*Mois et l'interaction double Paysage*Mois sont non significatives. Par conséquent, elles sont éliminées du modèle. Le modèle retenu prend donc la forme (tableau 7):

$$\text{Aires moyennes incendiées annuellement} = [\text{Paysage}] + [\text{Période}] + [\text{Mois}] + [\text{Période*Mois}] + [\text{Paysage*Période}]$$

Deux interactions doubles expliquent le modèle des aires incendiées annuelles. D'une part, il y a un effet du mois sur les aires incendiées qui varie en fonction de la période et, d'autre part, un effet de la période sur les superficies brûlées qui varie selon le type de paysage. L'analyse des effets par tranche précise ces interactions doubles.

Pour l'interaction Paysage*Période, on remarque des aires incendiées annuelles plus importantes dans le paysage agricole que forestier pour la période primitive (figure 8). Il y a également, pour le secteur québécois, significativement plus de superficies incendiées annuellement durant la première période que dans les deux autres. Du côté forestier, il n'y a pas de différence entre les périodes pour les aires incendiées.

Par ailleurs, la figure 9 présente l'interaction Période*Mois. On observe un effet significatif du mois sur les aires incendiées annuelles, effet restreint à la première période. Le mois de juin affiche significativement plus d'aires incendiées que le mois d'août. On observe également davantage de surfaces brûlées dans le mois de juin de la période primitive que dans le même mois des deux autres périodes.

Tableau 7. Importance des effets fixes sur les aires incendiées selon le modèle retenu

Source	DL*	Type III F	Pr > F
Paysage	1	5.58	0.0201
Période	2	4.55	0.0122
Mois	3	2.12	0.0984
Période*Mois	6	2.16	0.0476
Paysage*Période	2	3.73	0.0275

* DL: degrés de liberté

Généralement, un territoire est balayé par quelques feux qui sont responsables de plus de 95% des aires incendiées (Strauss *et al.*, 1989). Les deux paysages à l'étude ne semblent pas déroger à cette règle empirique. 5% des feux du secteur agricole sont responsables de 83% des aires totales brûlées alors que du côté du secteur forestier ce chiffre augmente à 89%.

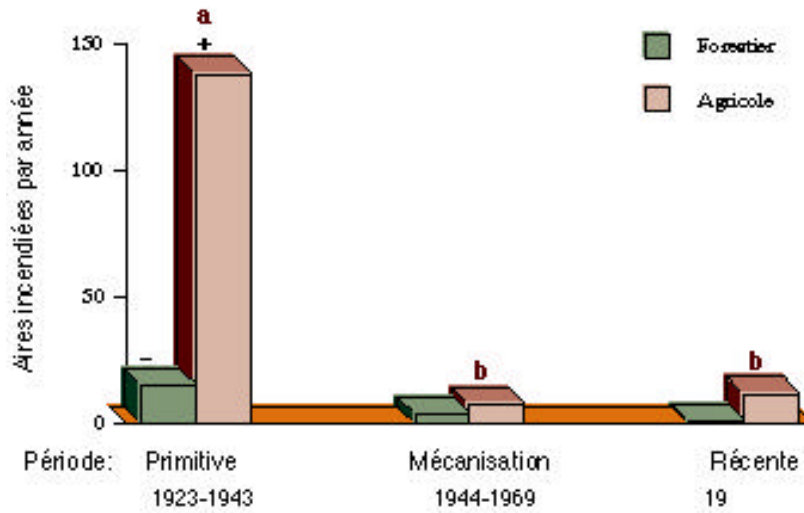


Figure 8. Distribution des moyennes marginales de l'interaction Paysage*Période pour les aires incendiées (ha).

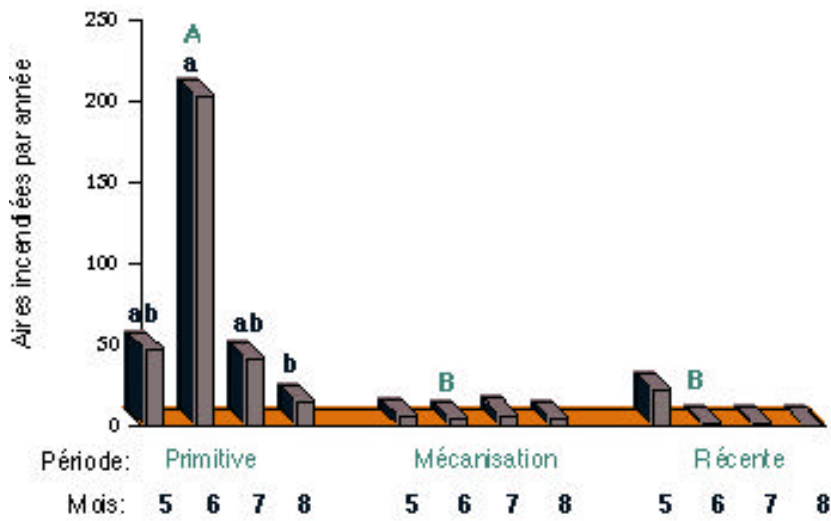


Figure 9. Distribution des moyennes marginales de l'interaction Période*Mois pour les aires incendiées (ha).

2.2.3 Taille moyenne des feux

L'analyse de variance à deux critères de classification établit qu'il y a un effet significatif de la période ($p=0.0421$) sur la taille des feux. Un test de Tukey a été réalisé afin de détailler les différences des moyennes à l'intérieur du critère de classification «périodes». Il en ressort que la période primitive affiche, tout paysage confondu, des feux de tailles moyennes significativement ($p<0.05$) plus importantes que ceux de la période récente (tableau 8); la taille moyenne des incendies passe de 334 ha à 8 ha.

Le tableau 8 présente les valeurs moyennes de la taille des feux selon les différentes modalités en jeu: paysages et périodes d'évolution technologique. Bien que certaines d'entre elles ne soient pas significatives, elles sont tout de même détaillées pour faciliter la discussion ultérieure des résultats sur la taille moyenne des feux. Même si les différences ne sont pas significatives, on observe des tailles moyennes d'incendies qui sont plus grandes dans le secteur forestier pour les périodes primitive et de mécanisation. Ajoutons que ce tableau exclut la période initiale de colonisation allant de 1910 à 1923.

Dans un même ordre d'idées, le tableau 9 présente, pour les deux paysages, la distribution de la fréquence des feux selon des classes logarithmiques de taille. Les classes de taille de 1 000 et 10 000 ha ont été fusionnées puisque leur effectif n était petit. L'analyse de ce tableau de contingence par un test de χ^2_p révèle qu'il y a une relation hautement significative ($p<0.001$) entre le type d'utilisation du paysage et la taille des incendies de forêt.

La réalisation d'un test de Freeman-Tukey a permis de déterminer quelles cellules du tableau de contingence dépassaient le seuil critique. Le tableau 10 indique que les deux premières classes de taille d'incendie sont à l'origine des différences. Le paysage agricole subit significativement moins de feux de la classe 0.1-0.9 ha que ce qui est prédit mais plus de feux de la classe 1-9 ha. Contrairement, le secteur

forestier connaît plus de feux de la première classe de taille que ce qui est prédit mais moins de feux de la seconde classe.

Tableau 8. Superficies moyennes des feux (ha) selon les paysages et les périodes d'évolution, de 1923 à 1996

Paysage	Paramètres descriptifs	Période			
		Primitive 1923-1943	Mécanisation 1944-1969	Récente 1970-1996	3 périodes 1923-1996
Forestier	Nb de feux	62	17	77	156
	Moyenne	512	684	6	281
	Écart-type	3303	2075	13	2194
Agricole	Nb de feux	84	43	176	303
	Moyenne	202	93	10	75
	Écart-type	513	262	16	298
Forestier & Agricole	Nb de feux	146	60	253	459
	Moyenne	334*	260	8*	145
	Écart-type	2183	1135	15	1303

Le signe * souligne les différences significatives à partir du test de Tukey (p=0.05)

Tableau 9. Distribution des fréquences observées et théoriques () des incendies de forêt selon 5 classes de taille (ha) pour la période de 1910 à 1996

Type de paysage	0.1-0.9	1-9	10-99	100-999	1000 et +	Total
Forestier	69 (34)	41 (67)	31 (41)	19 (22)	11 (7)	171
Agricole	31 (66)	154 (128)	88 (78)	44 (41)	10 (14)	327
Total	100	195	119	63	21	498

Tableau 10 Écart de Freeman-Tukey en fonction de la valeur critique (1.84)

Type de paysage	0.1-0.9	1-9	10-99	100-999	1000 et +
Forestier	4.97	-3.52	-1.63	-0.60	1.39
Agricole	-5.06	2.21	1.12	0.49	-1.07

2.3 Changement climatique

La relation paradoxale entre les hautes occurrences de feux des dernières décennies et la diminution des surfaces incendiées peut s'expliquer par des stress climatiques importants au début de la colonisation, à l'occupation humaine -par la suppression et autres activités- ou bien à un effet synergique de ces facteurs. Cette section s'attardera davantage à définir des changements possibles du climat pouvant affecter la diminution des aires incendiées malgré une occurrence élevée des feux.

La figure 10 présente l'évolution des fréquences des différents niveaux de danger d'incendie selon les 5 classes établies par la SOPFEU. La distribution à long terme des fréquences journalières des classes «Faible», «Modéré» et «Haut» est relativement stable dans le temps; les droites de régressions sont de pentes à peu près nulles et elles ne sont pas significatives.

Contrairement, l'examen de la distribution des fréquences journalières par saison de feux de la classe de danger d'incendie «Très haut» et «Extrême» présente une diminution importante dans le temps. On observe des droites de régressions négatives qui sont significatives: il y a une baisse du nombre de journées présentant des conditions hautement propices aux incendies.

La classe de danger «Très haut» présente de 1916 à 1925 des fréquences journalières qui sont importantes. D'autre part, on observe similairement que la classe de danger «Extrême» présente un grand nombre de journées hautement susceptibles aux incendies pour les années 1916, 1920, 1921, 1922, 1923 et 1924. Or, ces périodes de danger d'incendie critique sont directement associées aux années de grandes surfaces incendiées. En effet, les importantes superficies brûlées de la décennie de 1910 originent de la saison de feux 1916 et celles de la décennie de 1920 ont brûlé en majorité durant les quatre premières années.

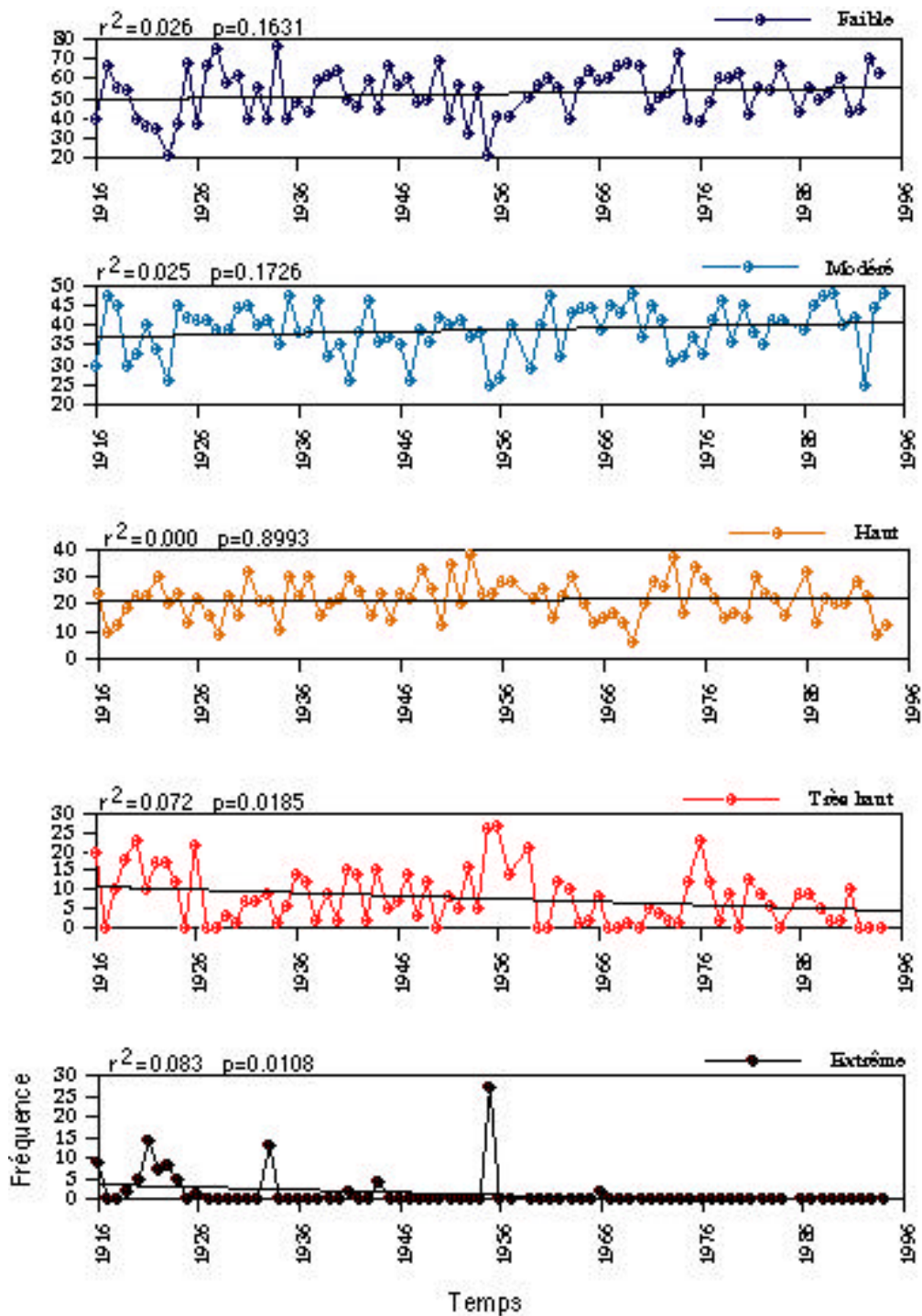


Figure 10. Fréquences des valeurs journalières de l'IFM par saison de feux (mai à août) selon les 5 classes du danger d'incendie du système de la SOPFEU.

Par la suite, on observe que l'année 1933 a subi des sécheresses importantes tout comme le milieu des années 1950. Ces périodes ne sont toutefois pas reliées à de grandes superficies brûlées. Depuis 1955, une seule journée a enregistré un IFM de la classe «Extrême».

D'autre part, l'examen des corrélations entre les fréquences des différentes classes de danger d'incendie et les aires incendiées (en échelle log) par paysage permettent de préciser l'importance du climat (tableau 11). On observe des relations synchrones pour les deux territoires. Les corrélations sont positives et significatives pour les classes de danger d'incendie «Extrême», «Très haut» et «Haut». D'autre part, la classe de danger d'incendie «Modéré» et «Faible» montre plutôt une relation négative avec les superficies incendiées. Toutefois, seule la classe «Faible» présente une relation qui soit statistiquement significative. Les corrélations du secteur forestier, plus fortes que celle du paysage agricole, suggèrent une relation intrinsèque plus importante avec le climat. Les différences entre les corrélations des deux paysages ne sont toutefois pas significatives.

Tableau 11. Corrélations (r de Pearson) entre la fréquence journalière (par année) des différents indices de danger d'incendie et les aires incendiées annuelles, de 1916-1996

Classes de danger	Paysage	
	Forestier	Agricole
Extrême	0.36*	0.34*
Très haut	0.36*	0.16*
Haut	0.33*	0.28*
Modéré	-0.17	-0.20
Faible	-0.48*	-0.37*

* significatif au seuil $\alpha=0.05$

Le second volet consiste à comparer les fluctuations climatiques intragroupes de la variable mois dans le temps. La figure 11 illustre l'évolution de l'IFM par mois et par année. La distribution des valeurs moyennes d'IFM suggère que le mois de mai subit une augmentation des risques d'incendies depuis le début de la colonisation bien que cette tendance ne soit pas significative. L'évolution des valeurs moyennes de l'IFM de juin présente une tendance contraire à mai: une diminution significative de la valeur moyenne de l'IFM dans le temps. Les stress climatiques étaient particulièrement intenses au début des années 1920 pour ensuite diminuer graduellement.

D'autre part, les mois de juillet et août présentent également une diminution de la valeur moyenne de l'IFM par saison de feux depuis les débuts de la colonisation. Toutefois, ces relations ne sont pas significatives. On notera que l'IFM moyen du mois de juillet 1916 a été exceptionnellement élevé; les archives historiques rapportent d'ailleurs que c'est le 29 juillet 1916 (Trudelle, 1937), qu'eut lieu l'incendie ayant brûlé les plus grandes surfaces dans le secteur agricole. C'est également en juillet 1916 que débuta l'incendie de Matheson ayant dévasté la portion sud-ouest du secteur ontarien. Une autre période très propice aux incendies a eu lieu en juillet de l'année 1955 sans effet direct, toutefois, sur les aires incendiées.

La figure 12 précise et résume l'évolution des superficies incendiées annuelles (i.e. des 4 mois de la saison de feux) des deux types de paysage en relation avec l'IFM moyen annuel. L'IFM moyen annuel a été calculé par saison de feux puisque le poids d'une période de sécheresse intense reste visible malgré les aléas climatiques du reste de la saison de feux. Les aires incendiées ont été rapportées en échelle log puisque la distribution de celles-ci est très disparate. La corrélation entre les aires incendiées annuelles et l'IFM s'établit à 0.51 ($p < 0.01$) pour le secteur forestier et à 0.36 ($p < 0.01$) pour le secteur agricole. La relation entre les conditions climatiques et les aires incendiées est beaucoup plus étroite pour le secteur forestier qu'elle ne l'est pour le secteur québécois, cette différence n'est toutefois pas significative.

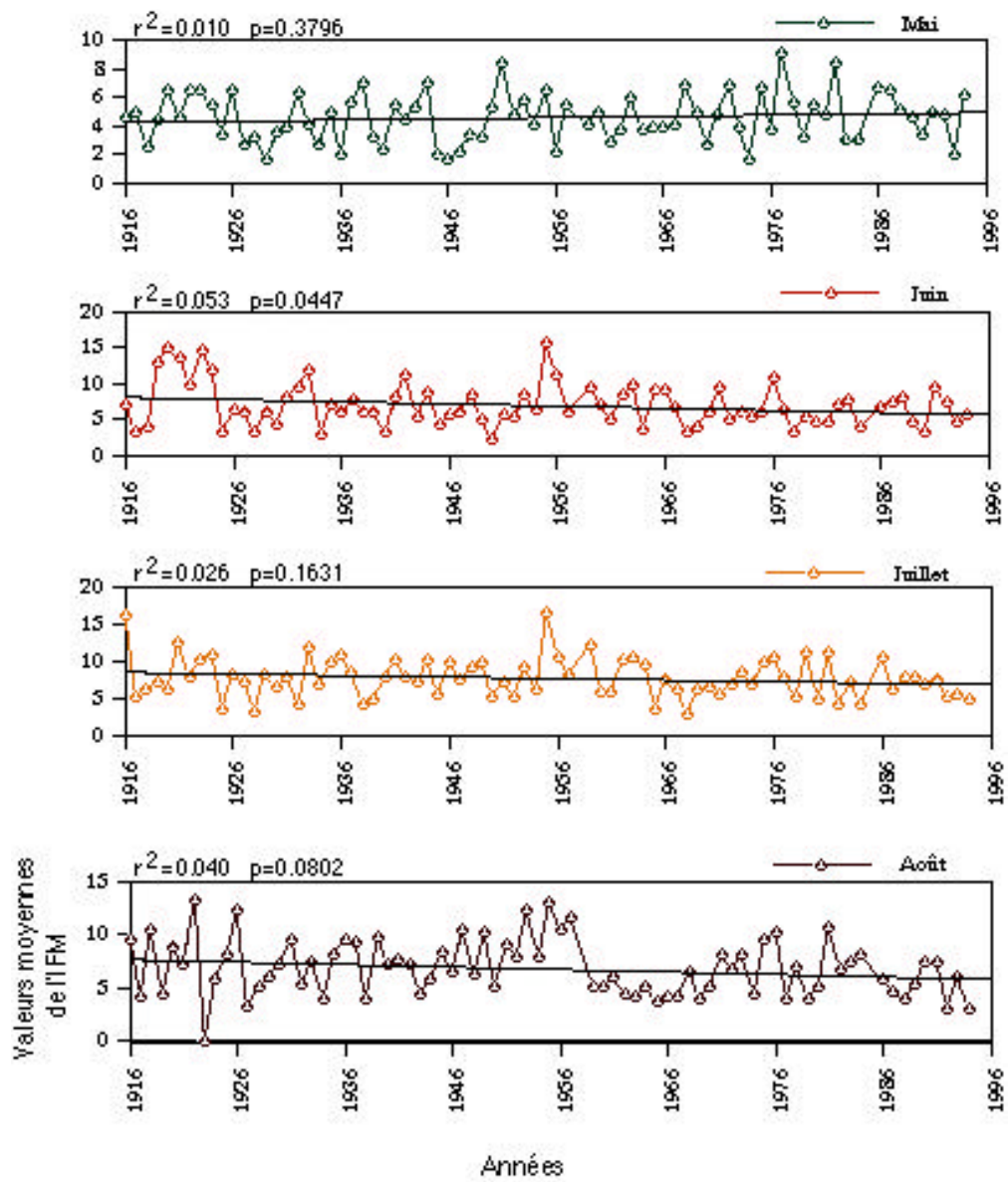


Figure 11. Évolution des valeurs moyennes de l'IFM par mois.

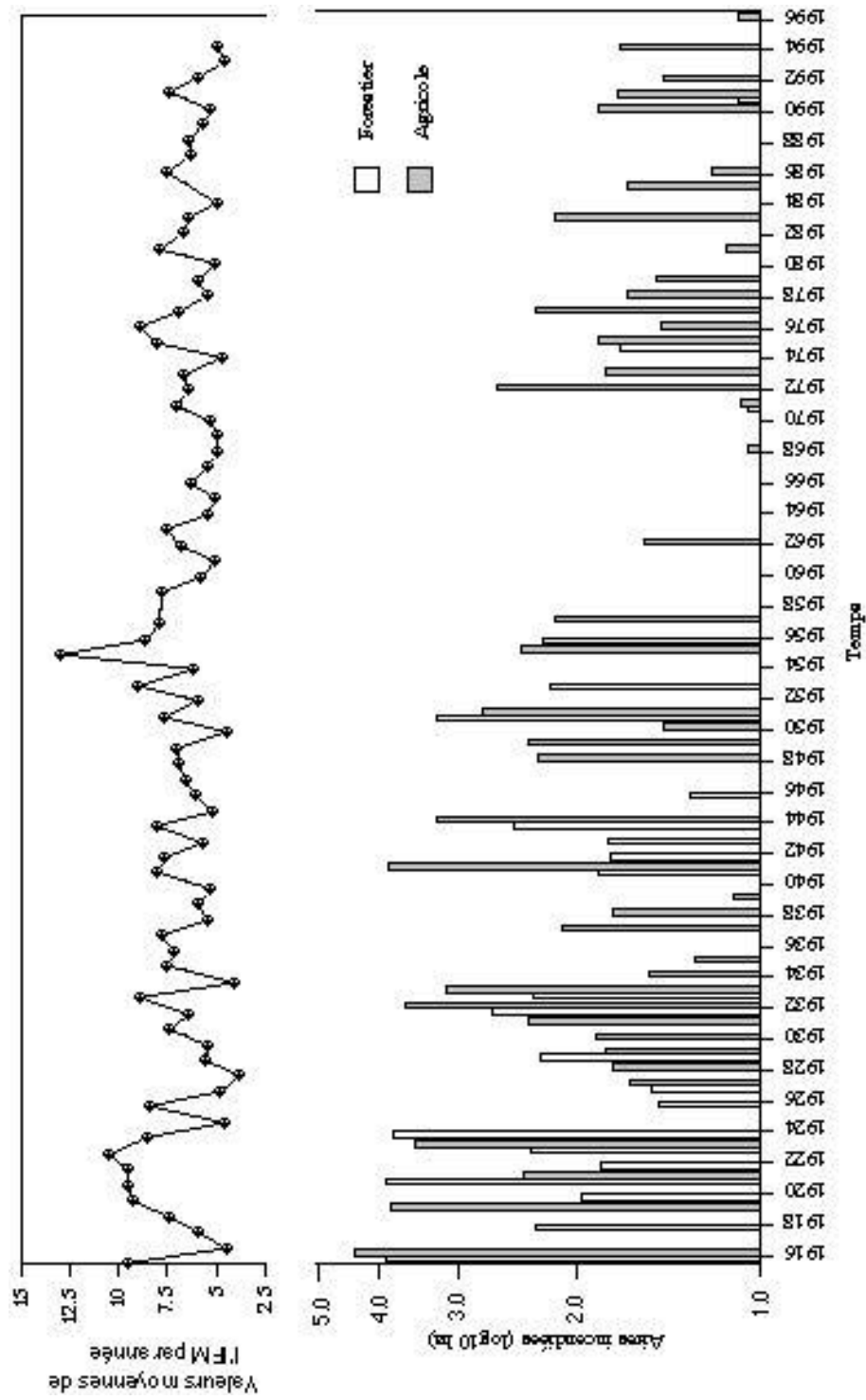


Figure 12. Comparaison des aires incendiées des paysages agricole et forestier en relation avec l'évolution de l'IFM, de 1916-1996.

DISCUSSION

3.1 Régime des feux naturel

La carte des feux (figure 2) permet d'appuyer la thèse, qu'en l'absence de l'homme blanc, les feux constituent la perturbation majeure en forêt boréale. Ces incendies sont responsables du façonnement de la mosaïque forestière. À cet effet, plusieurs chicots de pins gris datant du début de 1760 et des périodes subséquentes ont été retrouvés dans des forêts originant nécessairement de perturbations après feu.

Les années de feux sont peu nombreuses entre 1760 et 1855. Par la suite, elles semblent augmenter pour la période allant de 1855 à 1910. Il est probable que cela soit relié au fait que ces feux récents, de très petites surfaces pour la plupart, n'ont pas été effacés par des incendies subséquents. À partir de nos résultats, il est impossible de conclure à un changement de l'occurrence des feux depuis la fin du Petit Age Glaciaire.

Par ailleurs, la présence et l'abondance des vieilles forêts dans le district de Cochrane (secteur ontarien à l'étude) avaient été mises en évidence par les relevés forestiers de MacLean et Bedell (1955). Ces auteurs faisaient mention que de grands pans forestiers équivaient originaient d'incendies ayant eu cours autour de 1820, entre 1850 et 1865, 1895 et 1923 alors que pour cette étude on observe les années d'incendies suivantes: 1818, 1853, 1868, 1869, 1892, 1921 et 1924.

Le régime de feux naturel semble être caractérisé par deux périodes distinctes coïncidant avec un changement climatique à long terme. Ainsi, durant la période du Petit Age Glaciaire (avant 1860), le climat froid et sec serait à l'origine d'incendies disproportionnés brûlant parfois plus de 300 000 ha; le cycle de feux est relativement court, 62 ans. L'étude de Bergeron (1991) indique un cycle de

feux de 63 ans pour la forêt abitibienne en bordure du lac Duparquet. La proximité des deux territoires et l'existence d'années de feux communes, comme celle de 1760, pourraient être à l'origine de cette similitude entre les deux cycles de feux.

Les feux de forêt de cette période devaient être d'une grande intensité, donc typiques du milieu boréal (Van Wagner, 1983). On sait en effet que l'abondance du pin gris est positivement corrélée à l'intensité des feux (Weber *et al.*, 1987). Or, la structure d'âge des populations de pins gris démontre la présence de vieilles forêts datant de 1760, 1818 et 1853 dans des endroits transgressant les limites associées aux différents régimes hydriques des sols. On retrouve en effet des pins gris (vivants ou chicots) dans des endroits xériques, mésiques et hydriques. Sachant que cette espèce nécessite optimalement un lit de germination qui soit minéral (Cayford, 1966), on peut croire que les incendies de forêt durant le Petit Age Glaciaire brûlaient en grande partie la couche d'humus forestier.

Par ailleurs, deux autres arguments suggèrent que les incendies de forêt de cette période étaient de grandes intensités et probablement associés à des déficits hydriques importants. En effet, peu de sites échantillonnés présentent des peuplements forestiers ayant survécu à l'incendie. Or, on estime que seuls des feux de haute intensité ($> 1\ 500\ \text{kW/m}$) peuvent initier une succession secondaire (Van Wagner, 1983). D'autre part, on peut faire le parallèle entre les grandes superficies incendiées de 1760 à 1855 et celles du début de la colonisation. L'étude de photos aériennes démontre que les grands incendies ($>10\ 000\ \text{ha}$) du début du siècle étaient de haute intensité: la présence d'îlots résiduels de plus de $2\ \text{km}^2$ est très faible, voire inexistante.

Avec le réchauffement progressif du climat depuis la fin du Petit Age Glaciaire vers 1850, il aurait été possible de croire à des feux de forêt encore plus dévastateurs. Au contraire, la figure 3 montre un ralentissement général des surfaces incendiées, le cycle de feux grimpe à plus de 300 ans. Ainsi, par rapport à l'état du paysage actuel, il y a 67% de la forêt qui origine d'incendie ayant eu

lieu avant 1853. Cette proportion n'augmente que de 2.7% entre 1854 et 1912, année d'établissement des premiers colons.

Les résultats de cette étude sont en accord avec les travaux de Bergeron (1991) sur le régime de feux du milieu insulaire et terrestre du lac Duparquet. Cet auteur mentionne un changement dans la dynamique des feux qui se situerait autour de 1870.

Par ailleurs, des études suggèrent qu'une hausse des précipitations estivales, en Abitibi, contrebalancerait la hausse de la température (Archambault et Bergeron, 1992; Bergeron et Archambault, 1993) . Il en résulte des feux d'une petite taille, variant entre 100 et 6 000 ha, les périodes de grande sécheresse étant plus rares. Cette raréfaction des périodes de grandes sécheresses pourrait également être due à une distribution plus uniforme des précipitations durant la saison de feux. Flannigan et Harrington (1988) ont d'ailleurs trouvé une relation significative entre la fréquence des précipitations et les périodes de grands incendies.

Pour cette étude, la caractérisation d'un régime de feux intense -par des preuves indirectes- et la présence d'années de feux synchrones entre les deux territoires supportent l'idée qu'en période précoloniale les secteurs québécois et ontarien présentaient un régime de feux semblable. Bergeron (1991) observe par ailleurs, dans une zone adjacente, un cycle de feux très près de celui qui a été estimé pour cette étude. Les différences des proportions cumulées des peuplements forestiers surannés de la figure 4 entre les deux secteurs seraient dues davantage à la petite surface du territoire abitibien étudiée qu'à une dynamique de perturbation divergente.

3.2 Comparaison du régime de feux des deux paysages

Les résultats de cette étude démontrent que l'homme influence le régime de feux, autant au niveau de l'occurrence de feux que des aires incendiées. Cette influence commence bien avant l'élaboration d'aménagement spécifique à chaque territoire. Lee (1974), rapporte que l'arpentage du territoire avant la construction du chemin de fer fut associé à plusieurs feux d'origine humaine. Par la suite, avec la mise en place après 1912 des structures de développement propre à chaque territoire, l'effet du type d'utilisation du paysage se fait rapidement sentir.

3.2.1 Occurrence des feux

Il est bien connu que les colons utilisaient le feu pour défricher les lots qui leur étaient attribués et brûler les déchets de coupe: les abatis (Asselin, 1982; Laliberté, 1983). Cette transformation radicale d'un territoire forestier vierge à un paysage plus agricole s'est réalisée dans un contexte où les feux d'abatis étaient omniprésents et nécessaires compte tenu des outils technologiques disponibles pour la *période primitive (1923-1943)*.

La littérature rapporte que le défrichage des terres se prolongeait bien au-delà du mois de mai. Cette situation a entraîné une forte occurrence annuelle des feux durant les mois de juin, juillet et août, ce qui est reflété dans le modèle mixte par une contribution significative de ces trois mois. Les fortes occurrences de feux de juin, propices aux incendies, entraînent également un effet de la période sur la fréquence des feux.

Outre le recours à l'utilisation du feu pour expliquer qu'il y ait significativement plus de feux en juin dans le secteur agricole que forestier, on peut croire que la présence permanente de l'homme en territoire québécois y est pour beaucoup. L'homme étant la principale source d'ignition des feux, les différences de densité de population ont certainement joué un rôle prépondérant dans la caractérisation d'un régime de feux propre à chaque paysage.

Au tout début, la colonisation des territoires du secteur agricole s'est manifestée par des villages installés le long de l'axe du chemin de fer. Par la suite, le développement rural s'est progressivement étendu de part et d'autre de cette voie centrale. Trois des six cantons à l'étude, soit les cantons de La Reine, La Sarre et Desméloizes, ont été colonisés avant 1920, un en 1921 et deux autres seront habités durant les années 1930 (Appendice A) (Ministère de la colonisation, 1950; Asselin, 1982; Vincent, 1995). En 1915, la population rurale des cantons à l'étude se chiffre à 241 personnes, elle grimpe à 3 489 individus en 1921, à 10 874 âmes en 1937 et autour de 15 000 en 1950 (Trudelle, 1937; Paquin, 1981; Asselin, 1982).

A l'instar de cette étude, Martell (1994) rapporte que la zone la plus densément peuplée est celle où l'occurrence des feux par 1 000 km² est la plus élevée. La densité humaine représente donc un facteur non-négligeable influençant le régime de feux. Ces résultats concordent avec la littérature gouvernementale qui témoigne de l'importance du facteur anthropique (Langlois, 1994).

Fait surprenant, les rapports gouvernementaux québécois ne mentionnent aucun feu d'origine naturelle dans les 6 cantons québécois pour la période s'étendant de 1923 à 1996. On peut croire qu'une partie des incendies d'origine inconnue a en fait été initiée par la foudre. En effet, l'étude de Bergeron (1991), dans le canton de Duparquet, mentionne la présence de 6 feux de foudre depuis 1972 dans une zone six fois plus petite que le secteur agricole à l'étude. Notons que les rapports de feux gouvernementaux d'une autre étude attribuent seulement 1% des incendies à la foudre contre 83% d'origine humaine et 16% d'origine inconnue (Wein et Moore, 1979). L'absence de données plus précises contraint les possibilités de comparaison de l'impact de la foudre selon le type de paysage.

Du côté du secteur caractérisé par l'exploitation forestière, les feux de forêt de la période primitive sont associés à une pléiade de raisons: cigarettes, voyageurs, feux de camp, chasseurs et bûcherons. Généralement, ces incendies se manifestent davantage le long des routes et du chemin de fer. La faible occurrence annuelle de feux de la LAMF, qui est non significative pour cette

période primitive, pourrait s'expliquer par des activités de coupe concentrées depuis la fin de la saison de feux au début de celle-ci; ce cycle étant intimement lié au fait que les colons québécois défrichaient leur terres durant la belle saison pour migrer vers les chantiers de coupe lors de la période froide (Anonyme, 1989). Ajoutons que le secteur de la LAMF n'a jamais abrité de village ou autre établissement d'importance.

Durant la *période de mécanisation (1944-1969)*, l'utilisation des tracteurs pour défricher le territoire a progressivement remplacé le feu vers le milieu des années '40 alors qu'à la même période, l'électricité envahit le territoire abitibien (Vincent, 1995). En ce qui concerne l'exploitation forestière, la scie mécanique fait son apparition au milieu des années '40 (Anonyme, 1989). On observe par ailleurs une absence de contribution significative au modèle de l'occurrence annuelle des feux pour les mois des deux paysages. De plus, il ne subsiste aucune différence dans les variations d'amplitude d'occurrence des incendies entre les deux secteurs durant cette phase de mécanisation. L'abandon de l'utilisation du feu, la venue de nouveaux outils de développement des territoires ainsi que la stabilisation de la colonisation pourraient expliquer ces résultats.

Toutefois, cette tendance vers une baisse de l'occurrence des feux se manifeste également à l'échelle du Canada (Van Wagner, 1988) ce qui soulève la possibilité d'un phénomène qui pourrait avoir une origine climatique. On observe en effet, à partir des données météorologiques de la station d'Iroquois Falls, des valeurs d'IFM qui présentent un danger d'incendie relativement bas pour la décennie des années 1960.

Un autre point doit être soulevé en rapport avec les résultats de la phase de mécanisation. En effet, celle-ci semble être reliée à une période où les rapports de feux ontarien et québécois sont incomplets, voire inexistantes sur des incendies qui ont pourtant brûlé de grandes surfaces. Ainsi, en 1951, -53 et -56, le territoire de la LAMF enregistre trois feux dont deux sont reportés sur la carte des feux de Donnelly et Harrington (1978) mais qui sont tout de même absents

des archives du GLFC. Il faut donc interpréter avec prudence la diminution de l'occurrence annuelle de feux associée à cette période.

La dernière phase de développement des territoires, la *période récente (1970-1993)*, est caractérisée au Québec par l'abandon du défrichage de nouveaux territoires forestiers. Il subsiste quelques activités de coupes sélectives associées aux boisés de fermes. Toutefois, l'utilisation du feu par l'homme reprend. Les rapports de feu indiquent que les citoyens du territoire agricole utilisent maintenant le feu pour brûler l'herbe et les broussailles. Conséquence: la perte de contrôle de ces feux se traduit par le brûlage des peuplements forestiers voisins des résidences, essentiellement de jeunes forêts et des peuplements en régénération.

Il s'ensuit une hausse significative de l'occurrence annuelle des feux pour les deux premiers mois de la saison de feux (mai et juin) du paysage agricole. Ces deux mois amènent également un effet de la période sur l'occurrence des feux. Cette hausse est concentrée au mois de mai ce qui a pour effet d'entraîner une différence significative d'occurrence de feux entre les deux paysages.

Du côté du secteur ontarien, on assiste à la naissance de nouvelles pratiques d'exploitation du potentiel forestier: la coupe à blanc sur de grandes superficies. Celle-ci aurait débuté dans les années '60 pour se déployer à une grande échelle dans les décennies subséquentes, ce que confirment des indications inscrites sur les cartes forestières. La mise en place de telles pratiques a permis d'augmenter les activités forestières durant la saison de feux (Anonyme, 1989).

Néanmoins, la présence de camps de bûcherons élaborés a pour effet de diminuer l'utilisation du feu en forêt. Il en résulte que les opérations forestières sont loin d'être à l'origine de la majorité des incendies se déclarant en Ontario. Ils sont toujours d'origines diverses -cigarettes, pêcheurs, cueilleurs de fruits, voyageurs- et la distribution régulière des feux initiés ne contribue jamais à la significativité du modèle retenu. Le nombre de feux de forêt du secteur ontarien demeure toujours bas, peu importe le mois. Ces incendies de forêt ne sont jamais

initiés sciemment pour brûler la végétation; ces feux sont davantage le reflet de la négligence des divers utilisateurs de la forêt.

3.2.2 Aires incendiées

De prime abord, on aurait pu directement associer la diminution des aires incendiées annuelles depuis les débuts de la colonisation à plusieurs facteurs: une meilleure suppression active des incendies à mesure que progresse la technologie, à l'effet de la suppression passive résultant du morcellement du territoire ou encore à des changements de pratiques d'aménagement des territoires.

L'analyse des données climatiques pour la période sous occupation canadienne permet de tempérer cette supposition initiale. Il semble plutôt que ce soit les fluctuations climatiques qui soient responsables de la baisse des superficies incendiées, du moins en partie. En effet, la figure 12 montre un certain synchronisme dans les aires incendiées annuelles des deux paysages malgré une différence d'utilisation de ceux-ci.

Comme mentionné précédemment, le feu était couramment utilisé dans le secteur québécois pour défricher le territoire durant la *période primitive (1923-1944)*. Afin d'éviter les catastrophes, les règles à suivre pour allumer un abatis étaient strictes. Mettre en tas les combustibles, nettoyer tous les débris dans un rayon de 50 pieds, obtenir un permis de brûlage et procéder à l'allumage dans des conditions de faible susceptibilité d'incendies, i.e. à la tombée du jour lorsque le vent perd de son intensité (Lafleur *et al.*, 1976). Malgré toutes ces précautions, les archives mentionnent que plusieurs feux d'abatis, parfois en dormance, ont été à l'origine de grands incendies lorsque des conditions climatiques de sécheresse intense sévissaient sur la région (La Gazette du Nord). On assiste alors durant cette période à d'importantes superficies brûlées annuellement.

La littérature rapporte que les longues périodes de sécheresse sont corrélées à de grandes surfaces incendiées (Johnson et Wowchuk, 1993; Harrington et

Flannigan, 1993). Notre étude fait également état de corrélations significatives qui sont positives entre les aires incendiées par saison de feux et les hauts niveaux de susceptibilité aux incendies.

L'utilisation du feu à outrance au Québec lors de cette phase d'établissement a entraîné des aires brûlées totales beaucoup plus importantes qu'en milieu forestier. Par le fait même, la période primitive québécoise présente des superficies incendiées supérieures aux deux autres périodes de ce même paysage.

Contrairement au secteur québécois, les activités de coupe dans la LAMF visent à protéger les peuplements forestiers de toute conflagration. Toutefois, le territoire ontarien subit ses plus importantes surfaces incendiées annuelles durant cette période; bien que les feux soient peu nombreux, ils sont d'une grande taille.

Tout paysage confondu, la première période a subi ses plus importantes superficies brûlées durant le mois de juin (figure 12) ce qui n'est guère étonnant si l'on examine les fluctuations de l'IFM de ce mois pour la phase d'établissement.

Avec la *période de mécanisation (1944-1969)*, on observe pour chaque paysage des aires incendiées annuelles qui sont plus faibles que lors de la période précédente. Étonnamment, la présence d'un stress climatique important au milieu des années 1950 n'entraînera pas de grandes surfaces incendiées. Des changements technologiques dans les pratiques d'exploitation des territoires pourraient expliquer une partie de ces résultats. De plus, les paysages ont subi de profondes perturbations masquant le caractère original de ceux-ci: une matrice continue de forêt propice à des incendies étendus.

Lors de la *période récente (1970-1996)*, les stress climatiques sont à leur plus bas niveau: la fréquence des journées de hautes susceptibilité aux incendies est très faible alors que les valeurs moyennes de l'IFM pour les mois de juin, juillet et août diminuent. Tout paysage confondu, les aires incendiées annuelles de ces mois diminuent également. Cependant, ces résultats ne sauraient être entièrement

expliqués par les conditions climatiques qui prévalaient lors de cette période. On note en effet que, contrairement à la phase primitive, le défrichage de la forêt par le feu est à peu près inexistant.

Or, un fait illustre l'importance d'activités humaines précises pouvant entraîner un changement particulier dans le régime des feux. Ainsi, on note pour le secteur québécois une augmentation des aires incendiées annuelles au mois de mai. Cette augmentation est assujettie à l'utilisation soutenue du feu pour brûler l'herbe et les broussailles autour des résidences; certains de ces feux brûlant parfois les forêts adjacentes. Malgré des conditions plus propices aux incendies que dans les premiers temps de la colonisation, on estime que le mois de mai peut difficilement supporter des grands feux de forêt. Il demeure un mois relativement frais où le sol est encore imprégné de l'humidité printanière. Notons toutefois que ces nouvelles pratiques d'utilisation du territoire n'entraînent aucun effet de la période récente sur les superficies brûlées.

En Ontario, les nouvelles technologies de la période récente permettent d'augmenter les activités d'exploitation forestière durant la saison de feux. Toutefois, les nouvelles techniques de coupe impliquent la construction d'un réseau routier étendu et un dénuement important du sol (Brumelis et Carleton, 1988; Anonyme, 1989) qui amènent des conditions peu propices à la propagation des incendies. L'utilisation de débusqueuses expose un sol minéral compact dont la réduction des macropores entraîne une percolation difficile des précipitations (Campbell *et al.*, 1973; Dickerson, 1976). Durant cette période, les aires incendiées annuelles du secteur de la LAMF sont à leur plus bas niveau bien qu'aucune différence significative ne soit décelée par rapport aux deux périodes précédentes.

De façon globale, le type d'utilisation du territoire entraîne des différences entre les cycles de feux des paysages. Celui du secteur québécois est deux fois plus court que celui du paysage ontarien même si ce dernier présente des dépôts de surface mieux drainés et plus propices aux incendies.

3.2.3 Taille moyenne des feux

Durant la période primitive (1923-1943), la taille moyenne des feux de l'ensemble des deux paysages était de 334 ha. Elle se chiffre maintenant à 8 ha pour la période récente (1970-1996). Les travaux de Wein et Moore (1979) présentent des résultats similaires pour une période étant sous l'influence de la suppression active; la superficie moyenne des feux de la forêt acadienne passe de 100 ha (en 1915) à environ 6 ha (1975).

Outre le climat, on ne saurait oublier la mention de trois autres facteurs, d'origine humaine, ayant pu contribuer à long terme à la diminution significative de la taille moyenne des feux entre la période primitive et récente. Ces facteurs sont les suivants: la suppression active, la suppression passive et la transformation des peuplements conifériens vers des peuplements décidus.

L'impact de ces facteurs sur la taille moyenne des incendies est beaucoup plus difficile à quantifier que les changements climatiques traduits par l'IFM. Néanmoins, une description de l'évolution des techniques de suppression, du morcellement du territoire et de la transformation des peuplements forestiers permet de mieux comprendre les interactions existantes entre la taille moyenne des incendies, la période technologique et le type d'utilisation du territoire. En effet, bien que non significatives, on observe également des différences dans la taille moyenne des feux entre les trois périodes des deux paysages.

Tout d'abord, on peut croire que la *suppression active* de la période primitive (1923-1943) était d'une efficacité mineure. Les rapports de feux gouvernementaux rapportent que les principaux outils de combat étaient restreints à la pelle, la hache et le sceau. Le combat contre l'incendie de forêt prenait rarement la forme d'une attaque directe contre le feu. L'influence de la suppression active sur la superficie moyenne des feux durant cette période fut probablement mineure.

Avec la période de mécanisation (1944-1969), on assiste à une détection des incendies et une suppression active plus efficaces. En 1940, la radio remplace les lignes téléphoniques dans les communications alors que l'utilisation d'avions de détection remplacera graduellement les tours d'observation, moins efficaces (Langlois, 1994). De plus, outre les traditionnels outils de combat, on assiste à la venue de la charrue pour creuser des tranchées ainsi qu'à l'apparition de la pompe à eau motorisée et du camion-citerne (Bernier, 1948). Plus tard, au début des années '60, les premières attaques aériennes apparaîtront grâce à une flotte d'avions de type CANSO avec des réservoirs extérieurs (SOPFEU, communication personnelle).

Les attaques contre le feu sont plus agressives et on peut estimer qu'elles ont eu pour conséquence de diminuer la taille moyenne des feux de façon synergique à un climat moins propice aux incendies. La présence d'un réseau routier bien développé dans le secteur agricole ainsi qu'une alerte rapide des autorités ont probablement contribué à une meilleure efficacité d'intervention au Québec. Il est reconnu que les possibilités d'utilisation de la machinerie lourde sont fonction de la structure édaphique et des facilités de transport jusqu'au feu (Lefebvre, 1973).

Graduellement, les programmes et les techniques de suppression se raffineront durant la période récente (1970-1993). Les nouveaux apports technologiques auront pour effet d'homogénéiser l'efficacité de la suppression, peu importe le type de paysage considéré. En effet, l'utilisation des détecteurs de foudre permet de situer rapidement les incendies potentiels, même dans les endroits reculés. Avec la venue des avions-citernes de type CL-215 en 1970, la suppression active prend tout son sens.

La *suppression passive* est le second facteur ayant pu limiter les superficies moyennes des feux de forêt en fonction des périodes et du type de paysage. Outre l'avantage d'avoir eu initialement une efficacité d'intervention rapide, les routes ont contribué, tout comme les zones agricoles, à une suppression passive plus importante dans le secteur québécois. L'intensité de la suppression passive

est le résultat du degré de morcellement du paysage étudié. Les routes agissent comme coupe-feu alors que les zones agricoles créent une chute de combustible qui affecte l'intensité du feu et par le fait même sa progression (Lefebvre, 1973). L'étude des photos aériennes confirme le phénomène: les incendies se délimitent en fonction de barrières telles que les zones agricoles, les routes et le chemin de fer.

Au début des années '30 il y avait 14.2 km de routes par 100 km² de territoire agricole alors que cette proportion monte à 45.8 à partir de 1967 pour demeurer sensiblement la même jusqu'à nos jours. En outre, le patron de distribution des rangs résulte en une grille relativement régulière qui isole des portions rectangulaires de paysage d'environ 35 km².

De son côté, le paysage forestier de la LAMF n'a pas supporté un développement routier aussi intense que dans le paysage agricole. L'absence de vieilles photos aériennes couvrant tout le secteur de la LAMF a rendu impossible l'évaluation du nombre de kilomètres de routes dans les premiers temps de l'exploitation forestière. Néanmoins, de nos jours cette proportion se situerait autour de 15 à 20 km de routes carrossables par 100 km². Il existe bien entendu un second réseau de routes secondaires très développé mais peu efficace en tant que coupe-feu.

En rapport avec le morcellement du territoire, Turner et Romme (1994) ont simulé des feux de couronnes dans différents types de paysages. Il en ressort qu'il y a une différence dans l'étendue de la perturbation selon que le paysage est fragmenté ou continu. Les données empiriques de notre étude semblent confirmer ce phénomène bien qu'il n'y ait aucune différence significative dans la taille des feux entre les paysages à l'étude.

Troisièmement, on estime que la *transformation des paysages* a également influencé la diminution de la taille moyenne des feux selon la période

technologique et le type de paysage. L'augmentation de la fréquence des perturbations (feux, coupes) sous la colonisation canadienne a entraîné, dans certaines conditions, le remplacement des peuplements conifériens par une forêt de décidus. Dans le secteur agricole, le défrichage des surfaces boisées entraînait la vente des arbres de diamètre important aux scieries (de l'Abitibi ou d'Iroquois Falls) alors que les plus petits individus étaient utilisés comme bois de chauffage. Après la coupe, l'agriculteur/bûcheron initiait un feu d'abatis.

Cette façon de procéder, propre au secteur abitibien québécois, a contribué à une transformation des peuplements forestiers plus importante que dans le secteur forestier. Si au début du siècle l'étude de photos aériennes du territoire abitibien présentait une dominance des résineux à l'échelle du paysage, la proportion des feuillus a par la suite radicalement grimpé. La colonisation des terres, laissées en jachères, par des essences pionnières telles que le tremble et le bouleau a contribué à augmenter la superficie des forêts de décidus. La proportion des feuillus, beaucoup moins inflammables (Van Wagner, 1983), étant plus importante, on peut croire que ce facteur a influencé la diminution de l'étendue des incendies. Ajoutons que les décidus sont davantage susceptibles aux incendies au printemps qu'à l'été.

Du côté forestier, cette transformation radicale de la forêt est relativement récente. Avant la mise en place des coupes à blanc dans les années '70, la coupe forestière était surtout caractérisée par la récolte des plus gros individus. L'utilisation des chevaux pour ce travail lors de la période primitive laissait les jeunes individus intacts alors que les semis étaient protégés par la couche nivale (Anonyme, 1989). Ces techniques d'exploitation entraînaient une régénération rapide du milieu tout en laissant une matrice continue de végétation, souvent coniférienne. Les travaux sur la régénération après coupes et/ou feux de Carleton et MacLellan (1994) abondent dans le même sens.

De façon générale, aucun des trois facteurs énumérés ci-haut n'est plus important que les deux autres. C'est plutôt leurs interactions qui influencent de façon importante la diminution des superficies moyennes des incendies. Toutefois, on

note que les conditions générales de suppression active, de morcellement du territoire et de la transformation des peuplements forestiers devraient exercer davantage d'influence dans le secteur agricole. Or, bien que l'on observe de façon générale des superficies moyennes de feux plus petites par période dans le secteur agricole, l'analyse de variance n'établit aucun effet significatif du type de paysage sur la superficie moyenne des incendies. On peut croire que cette diminution générale de la taille moyenne des feux tire son origine d'un autre facteur synergique aux précédents: un climat moins propice aux incendies.

Par ailleurs, on peut difficilement expliquer les différences des fréquences de feux des classes de taille 0.1-0.9 ha et 1-9 ha entre les deux paysages. On peut davantage conclure à la surabondance de petits feux dans les deux secteurs qu'à des divergences importantes entre les fréquences d'incendies de taille supérieure. Des différences méthodologiques entre les deux provinces au niveau du recensement des incendies de forêt peut être à l'origine de ces variations.

CONCLUSION

Cette étude avait pour but de vérifier quelles étaient les causes des changements du régime de feux à long terme. Ce travail a approfondi la connaissance des interactions qui existent entre les activités humaines et les feux de forêts; la littérature à ce sujet est souvent beaucoup trop générale pour en tirer des relations de causes à effets. Il s'agissait de bien définir le contexte d'évolution des deux secteurs à l'étude et de caractériser l'influence de facteurs précis sur le régime de feux: utilisation du feu, densité de population, évolution des pratiques d'aménagement, suppression active et passive etc.

La reconstitution historique des incendies de forêt précoloniale a permis de constater que, depuis 1760, il semble y avoir une diminution graduelle des surfaces incendiées. Cette tendance s'est accrue depuis la fin du Petit Age Glaciaire (autour de 1850). Les fluctuations de ce régime de feux précolonial appuient la thèse d'un signal d'origine climatique. Étonnamment, seuls des feux de très petites superficies ont eu lieu entre 1855 et 1910 malgré une aire d'étude couvrant 630 000 ha.

Les premiers temps de la colonisation sont caractérisés par quelques saisons de feux exceptionnellement sèches qui se traduisent par des incendies d'une violence inouïe. Ces conflagrations entraîneront la mort de plusieurs centaines de colons. Le désastre de l'incendie de Matheson en 1916 sera à l'origine de l'élaboration d'une organisation structurée combattant le feu (Alexander, 1980; Stocks et Simard, 1993).

Depuis les débuts de l'aménagement des deux types de paysage, les aires incendiées sont en baisse malgré une hausse générale de l'occurrence des feux. Les résultats indiquent qu'une absence accrue dans le temps de stress climatique intense contribuerait à ce phénomène. Ce fait a d'ailleurs été avancé dans les études de Flannigan et Harrington (1988) et Johnson et Wowchuk (1993) qui suggèrent que le climat est le facteur premier influençant le régime de feux. Les résultats de cette étude suggèrent, comme les précédentes, qu'un signal climatique

serait à l'origine de ce changement dans le régime des feux. Il serait opportun de vérifier si les variations de l'IFM sont aussi fortes dans le centre de l'Ontario et du Québec qu'elles ne l'ont été dans la région abitibienne à l'étude.

Conjointement à un climat moins propice aux incendies de forêt, à une meilleure suppression active, à un morcellement du territoire et à la transformation des peuplements forestiers, le feu n'est plus une perturbation dominante à l'échelle du paysage. Néanmoins, le secteur agricole exerce une pression assez forte pour être caractérisé par un régime de feux qui le distingue du secteur forestier. Il est reconnu que des aménagements particuliers du territoire résulteront en une hétérogénéité spatiale propre à chaque paysage (Forman et Godron, 1986).

Cette fragmentation de l'habitat, entraîné par le régime de feux colonial, n'est pas sans conséquence sur la flore et la faune. Plusieurs études ont souligné des bouleversements dans l'équilibre écologique des milieux perturbés par les activités humaines. L'impact de ces pratiques a surtout été étudié au niveau de l'avifaune et des mammifères (Oxley *et al.*, 1974; Small et Hunter, 1988; Rudnicky et Hunter, 1993; Hansson, 1994).

Pour cette étude, il résulte des activités humaines une dynamique des incendies de forêt caractérisée par des feux plus fréquents et plus petits qu'en régime précolonial. Alors qu'il y a eu adaptation graduelle des espèces animales et végétales à un régime de feux particulier, le changement brusque et rapide (moins de 100 ans) affectera vraisemblablement la biodiversité de la forêt. L'impact de tels changements de régime de feux a été étudié par des simulations. Les activités humaines influenceraient ainsi l'indice de diversité (Shannon), la richesse, la forme des parcelles et quelques autres facteurs (Baker, 1992).

Par ailleurs, les activités humaines impliquent un autre facteur important: la suppression des feux. L'homme tente de supprimer activement les incendies de forêt ce qui demeure économiquement impossible à soutenir tout en n'étant point souhaitable à un niveau écologique (Stocks et Simard, 1993). Certaines études,

notamment dans la région californienne, ont souligné les effets néfastes à longue échéance de la suppression des feux (Minnich, 1983; Minnich et Bahre, 1995).

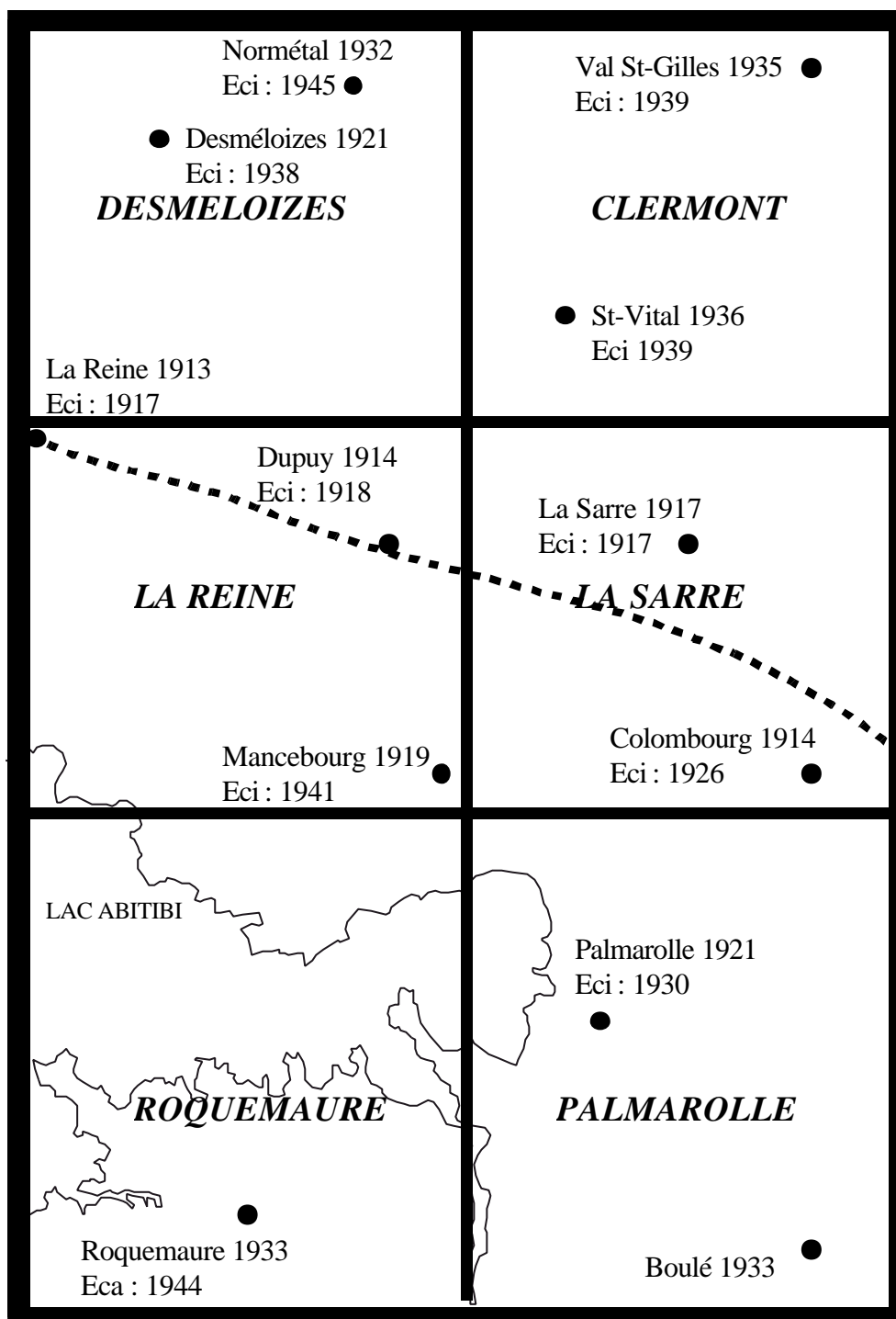
De plus, la suppression contribue à la formation d'une mosaïque forestière homogène de stade successional avancé. On estime que la diminution de la fréquence des incendies entraîne, entre autres, un ensapinement de la forêt qui résulte en une hausse de la fréquence des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Blais, 1983). D'autre part, l'absence de feu peut également affecter la qualité des habitats forestiers ainsi que l'abondance des plantes adaptées à cette perturbation.

Pour plusieurs, la solution réside dans l'application des brûlages dirigés. Ainsi, un feu d'intensité contrôlé pourrait contribuer à éradiquer une partie du sapin baumier, moins résistant que l'épinette noire et de moindre valeur commerciale (Morissette, 1995) alors que les sites incendiés entraîneraient un retour des plantes assujetties à cette perturbation (Carlson *et al.*, 1993; Lehtonen et Huttunen, 1997). Des modèles théoriques émettent toutefois une mise en garde: la réintroduction des brûlages dirigés pourrait altérer le territoire de la même façon que la colonisation, par plusieurs petits feux de petite taille (Baker, 1994).

D'autre part, dans le cadre d'un aménagement durable de la forêt, on peut croire qu'il serait écologiquement rentable de mimer les patrons spatiaux des incendies de forêt à ceux des coupes forestières, tel que suggéré par certains auteurs (Hunter, 1993; Hunter, 1996). Concilier la biodiversité et l'impact des pratiques forestières ou agricoles constitue certainement le problème de l'heure pour les écologistes.

APPENDICE A

Position géographique des 6 cantons du territoire québécois et année d'arrivée des premiers colons dans les villages.



1933 : année d'arrivée des premiers colons

Eca : 1944 année de l'érection canonique (Eca) ou civile (Eci) du village

APPENDICE B

Découverte et classification d'un gigantesque feu ayant eu cours en 1924 dans la partie nord du secteur forestier.

Ce grand feu, ayant brûlé environ 26 000 ha dans le secteur à l'étude et près de deux fois plus à l'extérieur de la zone, a été relié à une ignition naturelle (foudre). Ce secteur, passablement isolé, nous laisse croire que l'activité humaine dans cette portion de territoire est fort probablement ultérieure à 1924. En effet, ce secteur est caractérisé par une absence de voies de navigation importantes le reliant aux zones d'exploitations forestières situées plus au sud autour du Lac Abitibi et du chemin de fer. La présence d'une route au sud de la zone brûlée est récente tout comme la coupe des peuplements matures entourant ce secteur.

D'autre part, il est étonnant que les archives gouvernementales du GLFC ne fassent pas mention de ce feu qui a couvert plus de 70 000 ha en incluant les surfaces incendiées situées au-delà de la zone d'étude. De plus, aucune note, carnet d'expédition ou autres sources ne fait état d'un incendie ayant eu lieu dans ce secteur. Ceci appuie le fait que ce territoire était éloigné de toute présence humaine.

Ajoutons que l'année de feu provient de la présence de deux cicatrices de feu dont le développement cambial indique que la saison de croissance était bien avancée lors de l'incendie. On observe en effet la présence d'une quantité importante de bois de printemps. Ce niveau de croissance suggère un feu ayant eu cours au milieu de la saison des feux. Sachant que 76% des feux de foudre ont lieu en juillet et en août dans la LAMF, il y a lieu d'inclure ce feu (tableau 5) dans la catégorie "Foudre". Une autre étude en Ontario souligne également la forte occurrence des feux d'origine naturelle durant le mois de juillet (Cwynar, 1977).

Ajoutons que les rapports de feu du gouvernement ontarien procèdent souvent de cette façon pour classer les incendies. Sachant qu'une zone est éloignée de toute civilisation, ils associent ces feux à la foudre avec la mention E pour 'Estimated' ou estimé. Lorsque la source est confirmée, on observe la mention K pour 'Known' ou connu.

BIBLIOGRAPHIE

- Agee, J. K., M. Finney et R. De Gouvenain. 1990. Forest fire history of Desolation Peak, Washington. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 350-356.
- Agee, L. K. 1991. Fire history along an elevational gradient in the Siskiyou Mountains, Oregon. *Northwest Science* 65: 188-199.
- Ahlgren, I. F. et C. E. Ahlgren. 1960. Ecological effects of forest fires. *Botanical Review* 26: 483-533.
- Alexander, M. E. 1980. Forest fire history research in Ontario: a problem analysis. *In Proc. Fire History Workshop*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. Rep. RM-82. Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn., Fort Collins, Colorado.
- Anderson, L, C. E. Carlson et R. H. Wakimoto. 1987. Forest fire frequency and western spruce budworm outbreaks in Western Montana. *Forest Ecology and Management* 22: 251-260.
- Anonyme. 1989. L'histoire de l'exploitation forestière dans la région de LaSarre de 1910 à 1980. Capitale forestière du Canada inc., La Sarre, 45 p.
- Archambault, S. et Y Bergeron. 1992. An 802-year tree-ring chronology from the Quebec boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 674-682.
- Asselin, M. 1982. La colonisation de l'Abitibi: un projet géopolitique. Collège de l'Abitibi-Témiscamingue, Travaux de Recherche no 4, Rouyn, 171 p.
- Baker, W. L. 1992. Effects of settlement and fire suppression on landscape structure. *Ecology* 73: 1879-1887.

_____. 1994. Restoration of landscape structure altered by fire suppression. *Conservation Biology* 8: 763-769.

Barbour, M. G., J. H. Burk et W. D. Pitts. 1987. *Terrestrial plant ecology*. 2nd edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. p.204.

Barney, R. J. et B. J. Stocks. 1983. Fire frequencies during the suppression period. pages 45-62 *in* R. W. Wein and D. A. MacLean editors. *Fire in the northern circumpolar ecosystems*. John Wiley & Sons, New York, New York, USA.

Barrett, S. W., S. F. Arno et C. H. Key. 1991. Fire regimes of western larch-lodgepole pine forests in Glacier National Park, Montana. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 1711-1720.

Bergeron, Y., C. Camiré, A. Bouchard et P. Gangloff. 1982. Analyse et classification des sols pour une étude écologique intégrée d'un secteur de l'Abitibi, Québec. *Géographie Physique et Quaternaire* 36: 291-305.

Bergeron, Y. et M. Dubuc. 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio* 79: 51-63.

Bergeron, Y. 1991. The influence of island and mainland lakeshore landscapes on boreal forest fire regimes. *Ecology* 72: 1980-1992.

Bergeron, Y. et S. Archambault. 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: 255-259.

Bergeron, Y. et P.-R. Dansereau. 1993. Predicting the composition of Canadian southern boreal forest in different fire cycles. *Journal of Vegetation Science* 4: 827-832.

Bergeron, Y. et M. D. Flannigan. 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., S. Gauthier et V. Kafka. 1997. Fire history for the last 300 years in Quebec's southern boreal forest. *Bulletin of the Ecological Society of America*, p.222.

Bernier, G.-H. 1948. Manuel de protection des forêts contre le feu. Département des Terres et Forêts. Québec.

Blais, J. R. 1983. Trends in the frequency, extent, and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 539-547.

_____. 1985. Epidemiology of the spruce budworm in western Ontario: A discussion. *Forestry Chronicle* December: 494-498.

Brown, J. K. et L. S. Bradshaw. 1994. Comparisons of particulate emissions and smoke impacts from presettlement, full suppression, and prescribed natural fire periods in the Selway-Bitterroot Wilderness. *International Journal of Wildland Fire* 4: 143-155.

Brown, J. K., S. F. Arno, S. W. Barrett et J. P. Menakis. 1994. Comparing the prescribed natural fire program with presettlement fires in the Selway-Bitterroot wilderness. *International Journal of Wildland Fire* 4: 157-168.

Brumelis, G. et T. J. Carleton. 1988. The vegetation of postlogged black spruce lowlands in central Canada. Trees and tall shrubs. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1470-1478.

Campbell, R. G., J. R. Willis et J. T. May. 1973. Soil disturbance by logging with rubber-tired skidders. *Journal of Soil and Water Conservation* sept-oct: 218-220.

Canadian Forestry Service. 1984. Tables for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Fourth edition Environment Canada, Canadian Forestry Service, Ottawa, Ontario. Forest Technical Report 25, 48 p.

Carleton, T. J. et P. MacLellan. 1994. Woody vegetation responses to fire versus clear-cutting logging: A comparative survey in the central Canadian boreal forest. *Ecoscience* 1: 141-152.

Carlson, P. C., G. W. Tanner, J. M. Wood et S. R. Humphrey. 1993. Fire in key deer habitat improves browse, prevents succession, and preserves endemic herbs. *Journal of Wildlife Management* 57: 914-928.

Cayford, J. H. 1966. Operational trials of regeneration methods for jack pine in southeastern Manitoba. Department of forestry publication no.1165, 23p.

Chou, Y. H., R. A. Minnich et R. J. Dezzani. 1993. Do fire sizes differ between southern California and Baja California? *Forest Science* November: 835-844.

Cogbill, C. V. 1985. Dynamics of the boreal forests of the Laurentian Highlands, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 252-261.

Cwynar, L. C. 1977. The recent fire history of Barron Township, Algonquin Park. *Canadian Journal of Botany* 55: 1524-1538.

Dansereau, P.-R. 1991. La reconstitution historique des feux dans un secteur forestier au sud du lac Abitibi, Québec. Mémoire de maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal, Montréal.

Dansereau, P.-R. et Y. Bergeron. 1993. Fire history in the southern boreal forest of northwestern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 25-32.

Dickerson, B. P. 1976. Soil compaction after tree-length skidding in northern Mississippi. *Journal of Soil Science Society of America* 40: 965-966.

Donnelly, R. E. et J. B. Harrington. 1978. Forest fire history maps of Ontario. Forest Fire Research Institute, Canadian Forestry Service, Department of the Environment. Ottawa, Ontario.

Eberhart, K. E. et P. M. Woodard. 1987. Distribution of residual vegetation associated with large fires in Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 1207-1212.

Environment Canada. 1993. Canadian climate normals. Canadian climate program. Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario.

Finney, M. A. 1995. The missing tail and other considerations for the use of fire history models. *International Journal of Wildland Fire* 5: 197-202.

Flannigan, M. D. et J. B. Harrington. 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-1980). *Journal of Applied Meteorology* 27: 441-452.

Flannigan, M. D. et C. E. Van Wagner. 1991. Climate change and wildfire in Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 66-72.

Forman, R. T. T. et M. Godron. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York, USA, 619 p.

Foster, D. R. 1983. The history and pattern of fire in the boreal forest of southeastern Labrador. *Canadian Journal of Botany* 61: 2459-2471.

Gauthier, S., J. Gagnon et Y. Bergeron. 1993. Population age structure of *Pinus banksiana* at the southern edge of the Canadian boreal forest. *Journal of Vegetation Science* 4: 783-790.

Gutsell, S. L. et E. A. Johnson. 1996. How fire scars are formed: coupling a disturbance process to its ecological effect. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 166-174.

Hansson, L. 1994. Vertebrate distributions relative to clear-cut edges in a boreal forest. *Landscape Ecology* 9: 105-115.

Harrington, J. et M. Flannigan. 1993. A model for frequency of long periods of drought at forested stations in Canada. *American Meteorological Society* 32: 1708-1716.

Harvey, B. D. et Y. Bergeron. 1989. Site patterns of natural regeneration following clear-cutting in northwestern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1458-1469.

Heinselman, M. L. 1973. Fire in the virgin forest of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quaternary Research* 3: 329-382.

Hemstrom, M. A. et J. F. Franklin. 1982. Fire and other disturbances of the forests in Mount Rainier National Park. *Quaternary Research* 18: 32-51.

Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin* 43: 69-78.

Hunter, M. L. Jr. 1993. Natural fire regimes as spatial models for managing boreal forests. *Biological Conservation* 65: 115-120.

Hunter, M. L. Jr. 1996. Benchmarks for managing ecosystems: Are human activities natural?. *Conservation Biology* 10: 695-697.

Johnson, E. A. et C. E. Van Wagner. 1985. The theory and use of two fire history models. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 214-220.

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

Johnson, E. A. et D. R. Wowchuk. 1993. Wildfires in the southern Canadian Rocky Mountains and their relationship to mid-tropospheric anomalies. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1213-1222.

Johnson, E. A. et S. L. Gutsell. 1994. Fire frequency models, methods, and interpretations. *Advanced in Ecological Research* 25: 239-287.

Johnson, E. A., K. Miyanishi et J. M. H. Weir. 1995. Old-growth, disturbance, and ecosystem management. *Canadian Journal of Botany* 73: 918-926.

Kafka, V. 1997. Etude de la distribution spatiale et des facteurs ayant affecté la sévérité d'un feu dans la région de la pessière noire à mousses de l'ouest du Québec. Rapport de Recherche de maîtrise en sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, Montréal.

Lafleur, N., M. Donat et A. Descoteaux. 1976. La vie quotidienne des premiers colons en Abitibi-Témiscamingue. Léméac, Montréal, 197 p.

L'Abitibi. 1920-1922. Hebdomadaire publié à Amos.

La Gazette du Nord. 1923 à 1950. Hebdomadaire publié à Amos.

Laliberté, J. 1983. Agronome-colon en Abitibi. Littérature quotidienne No1, Institut québécois de recherche sur la culture. 153 p.

Lamont, B. B., D. C. LeMaître, R. M. Cowling et N. J. Enright. 1991. Canopy seed storage in woody plants. *Botanical Review* 57: 277-317.

Langlois, M. 1994. Recueil d'information sur les incendies forestiers au Québec de 1922 à 1993. Ministère des Ressources Naturelles, Direction de la conservation des forêts, 21p.

Lee, T. 1974. The Fort Abitibi mystery. Edité par le Centre d'Études Nordiques de l'Université Laval à Québec, Québec, 172 p.

Lefebvre, P. 1973. Manuel de lutte contre les feux de forêt. Éditeur officiel du Québec, Québec, Canada, 437p.

Legendre, L. et P. Legendre. 1984. Écologie Numérique. Tome 1: Le traitement multiple des données écologiques. Presses de l'Université du Québec, Québec, Canada.

Legendre, P. et L. Legendre. 1998. Numerical ecology. Second English edition, Elsevier, Oxford, England (sous presse).

Lehtonen, H. et P. Huttunen. 1997. History of forest fires in eastern Finland from the fifteenth century AD - the possible effects of slash-and-burn cultivation. *Holocene* 7: 223-228.

Lewis, H. T. 1982. A time of burning. Occasional publication number 17. Boreal Institute for Northern Studies, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Lyrantzis, G. A. 1996. Human impact trend in Crete: a case of Psilorites Mountain. *Environmental Conservation* 23: 140-148.

MacLean, D. W. et G. H. D. Bedell. 1955. Northern Clay Belt growth and yield survey. Forest Research Division, Technical Note No.20, Ottawa, Canada, 31p.

Marois, R. et P. Gauthier. 1989. Les Abitibis. Commission archéologique du Canada, Musée canadien des civilisations, 253p.

Martell, D. L. 1994. The impact of fire on timber supply in Ontario. Forestry Chronicle 70: 164-173.

Masters, A. M. 1990. Changes in forest frequency in Kootenay National Park, Canadian Rockies. Canadian Journal of Botany 68: 1763-1767.

McBride, J. R. 1983. Analysis of tree rings and fire scars to establish fire history. Tree-Ring Bulletin 43: 51-67.

Ministère de la colonisation. 1950. Un royaume vous attend: L'Abitibi. Québec, 83 p.

Minnich, R. A. 1983. Fire mosaics in Southern California and Northern Baja California. Science 219: 1287-1294.

Minnich, R. A. et C. J. Barhe. 1995. Wildland fire and chaparral succession along the California-Baja California Boundary. International Journal of Wildland Fire 5: 13-24.

Morin, H., D. Laprise et Y Bergeron. 1993. Chronology of spruce budworm outbreaks near Lake Duparquet, Abitibi region, Quebec. Canadian Journal of Forest Research 23: 1497-1506.

Morissette, J. 1995. L'«ensapinage» des pessières de la forêt boréale québécoise: conséquence de la protection contre les feux? L'Aubelle février 9-12.

- Oxley, D. J., M. B. Fenton et G. R. Carmody. 1974. The effects of roads on populations of small mammals. *Journal of Applied Ecology* 11: 51-59.
- Paquin, N. 1981. Histoire de l'Abitibi-Témiscamingue. Collège du Nord-Ouest. Cahiers du Département d'histoire et de géographie, Rouyn, 172 p.
- Payette, S. et L. Filion. 1985. White spruce expansion at the tree line and recent climatic change. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 241-251.
- Richard, P. 1980. Histoire postglaciaire de la végétation au sud du lac Abitibi, Ontario et Québec. *Géographie Physique et Quaternaire* 34: 77-94.
- Romme, W. H. 1982. Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park. *Ecological Monographs* 52: 199-221.
- Rowe, J. S. et G. W. Scotter. 1973. Fire in the boreal forest. *Quaternary Research* 3: 444-464.
- Rudnický, T. C. et M. L. Hunter Jr. 1993. Reversing the fragmentation perspective: effects of clearcut size on bird species richness in Maine. *Ecological Applications* 3: 357-366.
- Sall, J. P. 1983. Régression. Pages 67-80 in *Guide d'introduction à SAS*. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- SAS/STAT. 1990. User's guide. Version 6, 4th edition, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- Schweingruber, F. H. 1989. *Tree Rings*. Dordrecht, Boston, London. Kluwer Academic Publishers. 276p.
- Shafi, M. I. et G. A. Yarranton. 1973. Vegetational heterogeneity during a secondary (postfire) succession. *Canadian Journal of Forest Research* 1: 73-90.

Simpson, J. W., R. E. J. Boerner, M. N. DeMers, L. A. Berns, F. J. Artigas et A. Silva. 1994. Forty-eight years of landscape change on two contiguous Ohio landscapes. *Landscape Ecology* 9: 261-270.

Small, M. F. et M. L. Hunter. 1988. Forest fragmentation and avian nest predation in forested landscapes. *Oecologia* 76: 62-64.

Spurr, S. H. et B. V. Barnes. 1992. *Forest ecology*. 3th edition, Krieger publishing company, Malabar, Florida. 687 p.

Stocks, B. J. 1986. Fire behavior in immature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 80-86.

_____. 1993. Global warming and forest fires in Canada. *Forestry Chronicle* 69: 290-293.

Stocks, B. J. et A. J. Simard. 1993. Forest fire management in Canada. *Disaster management* 5: 7p.

Strauss, D., L. Bednar et R. Mees. 1989. Do one percent of forest fires cause ninety-nine percent of the damage? *Forest Science* 35: 319-328.

Tande, G. F. 1979. Fire history and vegetation pattern of coniferous forests in Jasper National Park, Alberta. *Canadian Journal of Botany* 57: 1912-1931.

Tardif, J. et Y. Bergeron. 1997. Ice-flood history reconstructed with tree-rings from the southern boreal forest limit, western Québec. *Holocene* (sous presse).

Trudelle, P. 1937. *L'Abitibi d'autrefois, d'hier et d'aujourd'hui*. Amos, Imprimerie Modèle, 385 p.

Turner, M. G. et W. H. Romme. 1994. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landscape Ecology* 9: 59-77.

Van Wagner, C. E. 1983. Fire behavior in northern conifer forests and shrublands. Pages 65-80 *in* R. W. Wein and D. A. MacLean, editors. *Fire in northern circumpolar ecosystems*. John Wiley & Sons, New York, New York, USA.

_____. 1988. The historical pattern of annual burned area in Canada. *Forestry Chronicle* June: 182-185.

Vincent, J. S. et L. Hardy. 1977. L'Évolution et l'extension des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois. *Géographie physique et Quaternaire* 31: 357-372.

Vincent, O. 1995. *Histoire de l'Abitibi-Témiscamingue*. Institut québécois de recherche sur la culture. Louiseville, Canada, 759 p.

Ward, P. C. et A. G. Tithecott. 1993. The impact of fire management on the boreal landscape of Ontario. Aviation, Flood and Fire Management Branch Publication No.305.

Weber, M. G., M. Hummel et C. E. Van Wagner. 1987. Selected parameters of fire behavior and *Pinus Banksiana* Lamb. regeneration in eastern Ontario. *Forestry Chronicle* Octobre: 340-346.

Wein, R. W. et J. M. Moore. 1979. Fire history and recent fire rotation periods in the Nova Scotia Acadian Forest. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 166-178.

Woods, G. T., et R. J. Day. 1977. A summary of the fire ecology study of Quetico Provincial Park, Ont. Min. Nat. Resour., Quetico Provincial Park Fire Ecol. Stud. Rep. 8. 39 p.

Yarranton, M. et G. A. Yarranton. 1975. Demography of a jack pine stand. *Canadian Journal of Botany* 53: 310-314.

Zackrisson, O. 1977. Influence of forest fires on the North Swedish boreal forest. *Oikos* 29: 22-32.