

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

RECONSTITUTION HISTORIQUE DES FEUX ET DE LA DYNAMIQUE
FORESTIÈRE DANS LE SECTEUR DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR
DANIEL LESIEUR

DÉCEMBRE 2000

REMERCIEMENTS

Nous tenons sincèrement à remercier Cartons St.-Laurent pour leur participation financière et technique dans cette grande aventure sans qui, cette recherche n'aurait pas été rendue possible. L'échange et la permission d'utiliser les données d'archive de la compagnie à des fins de recherche scientifique démontrent leur intérêt et leur implication pour l'aménagement durable des forêts. Nous tenons à remercier plus particulièrement Denis Jutras (chef de la division Bois et Forêt), Denis Thibault (responsable en entreprise) pour le transfert des données d'archive et le suivi du projet ainsi que Paul Roberge pour le transfert et la production de cartes numériques et traditionnelles.

Cette recherche a été financée par Cartons St.-Laurent et le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (C.R.S.N.G) suite à l'octroi d'une bourse de recherche à incidence industrielle à M. Daniel Lesieur. De plus, le réseau des centres d'excellence en aménagement forestier durable m'a permis d'effectuer un stage au Centre de Foresterie du Nord à Edmonton en plus d'assurer du support financier pour le projet.

Je tiens à remercier ma co-directrice de recherche, Sylvie Gauthier, pour qui j'ai beaucoup d'admiration et avec qui j'ai pu découvrir l'écologie des feux. Ses conseils et surtout son énorme patience m'ont été précieux tout au long de cette recherche. Je tiens aussi à remercier mon directeur de recherche, Yves Bergeron, pour son intérêt, ses conseils judicieux et son support. Je remercie également Alain Leduc et Pierre Grondin pour leur support et leurs nombreux conseils statistiques, mes aides de terrain, France Conciatori et Eric Gingras ainsi que tous les nombreux amis au laboratoire. Finalement, je remercie Victor Kafka et Mike Flannigan pour leur accueil lors de mon stage au Centre de Foresterie du Nord (Edmonton, Alberta).

Je ne saurais terminer sans remercier *Annie Martel*, qui m'a toujours soutenu et encouragé dans les moments plus difficiles et qui a surtout cru en moi tout au long de ce grand périple.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES.....	III
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VI
LISTE DES ABBRÉVIATIONS ET SIGLES.....	X
RÉSUMÉ.....	XI
INTRODUCTION	1
RÉGION D'ÉTUDE	10
MÉTHODOLOGIE.....	13
2.1. RECONSTITUTION DE L'HISTORIQUE DES FEUX :.....	13
2.1.1. Récolte et analyse des échantillons :	17
2.1.2. Détermination du temps depuis le dernier feu.....	19
2.1.3. Calcul du cycle	20
2.2. RECONSTITUTION DE L'INDICE FORÊT MÉTÉO (IFM) :	22
2.3. RECONSTITUTION DE LA DYNAMIQUE FORESTIÈRE.....	23
2.3.1 Matrice de transition :	24
2.3.2 Ordination (analyse des correspondances) :	26
RÉSULTATS	28
3.2. RECONSTITUTION DE L'HISTORIQUE DES FEUX.....	28
3.2.1. Distribution des classes d'âge sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent.....	28
3.2.2. Carte et données synthèses des feux de Cartons St.-Laurent.....	30
3.2.3. Distribution cumulée du temps depuis le dernier feu pour l'ensemble du territoire. ..	32
3.2.4. Distribution du temps depuis le dernier feu pour le bloc Nord et Sud.	34
3.2.5. Distribution du temps depuis le dernier feu entre SAB-BOP-O et EPN-M-O.	36
3.2.6. Distribution du temps depuis le dernier feu en fonction des dépôts de surface.....	36
3.2.7. Changement temporel.....	39
3.3. RECONSTITUTION DE L'INDICE FORÊT MÉTÉO (IFM)	41
3.4. DYNAMIQUE ET TRANSITION FORESTIÈRE	44
3.4.1. Ordination sur dépôt fluvio-glaciaire.....	46
3.4.2. Transitions modélisées sur dépôt fluvio-glaciaire.....	52
3.4.3. Ordination sur dépôt glaciaire.....	53
3.4.4. Transition modélisée sur dépôt glaciaire.	61
DISCUSSION.....	63
4.1. CHANGEMENT DE LA DURÉE DU CYCLE.	63
4.2. COMPARAISON AVEC D'AUTRES RÉGIONS.....	67
4.3. CONSIDÉRATIONS MÉTHODOLOGIQUES	68
4.4. DYNAMIQUE ET TRANSITION FORESTIÈRE	69
4.5. AMÉNAGEMENT DURABLE	75

CONCLUSION	78
RÉFÉRENCES	80
ANNEXE 1	94
ANNEXE 2	96
ANNEXE 3	101

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1. TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.....	11
FIGURE 2.1. CARTE SYNTHÈSE DES FEUX POUR LE BLOC NORD DU TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.	14
FIGURE 2.2. CARTE SYNTHÈSE DES FEUX POUR LE BLOC SUD DU TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.	15
FIGURE 3.1. DISTRIBUTION DES CLASSES D'ÂGE QUE L'ON DEVRAIT RETROUVER EN ABSENCE DE PERTURBATION ANTHROPIQUE SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.....	29
FIGURE 3.2. SUPERFICIE CUMULATIVE BRÛLÉE SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.	33
FIGURE 3.3. SUPERFICIE CUMULATIVE BRÛLÉE POUR LE BLOC SUD ET NORD SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.	35
FIGURE 3.4. SUPERFICIE CUMULATIVE BRÛLÉE POUR LE SOUS-DOMAIN DE VÉGÉTATION EPN-M-O ET SAB-BOP-O SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.	37
FIGURE 3.5. SUPERFICIE CUMULATIVE BRÛLÉE POUR LES DÉPÔTS FLUVIO-GLACIAIRES, GLACIAIRES ET ROCHEUX SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.	38
FIGURE 3.6. SUPERFICIE CUMULATIVE BRÛLÉE AVANT ET APRÈS LE PETIT ÂGE GLACIAIRE (~1850) SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.....	40
FIGURE 3.7. VALEUR MOYENNE ET MAXIMALE DE L'IFM POUR LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE DU BARRAGE GOUIN, QUÉBEC (1914-1981).	42
FIGURE 3.8. FRÉQUENCE DE JOURS PAR ANNÉE ET PAR CLASSE DE DANGER D'INCENDIE POUR LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE DU BARRAGE GOUIN, QUÉBEC (1914-1981).....	43
FIGURE 3.9. ORDINATION DE TOUTES LES PLACETTES SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC.	45
FIGURE 3.10. ORDINATION DES PLACETTES SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE.....	47
FIGURE 3.11. ORDINATION DES PLACETTES SUR DÉPÔT GLACIAIRE.	54

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1.1. SUPERFICIES* DES GRANDS GROUPES DE DÉPÔTS DE SURFACE SUR LE TERRITOIRE DE CARTONS ST.-LAURENT, QUÉBEC.	12
TABLEAU 2.1 . NOMBRE MOYEN D'INVENTAIRE ET TEMPS MOYEN ENTRE LE 1^{ER} ET LE DERNIER INVENTAIRE PAR PLACETTE.....	24
TABLEAU 3.1.. ANNÉES ET SUPERFICIES DES FEUX (HA) SUR LE TERRITOIRE PRIVÉ DE CARTONS ST.-LAURENT DANS LA RÉGION DU RÉSERVOIR GOUIN, QUÉBEC	30
TABLEAU 3.2. ESTIMATION DU CYCLE EN FONCTION DES DIVERSES MÉTHODES UTILISÉES POUR LA PÉRIODE DEPUIS 1923.....	31
TABLEAU 3.3. RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE SURVIE ET COEFFICIENT DE LAGRANGE POUR LES DIFFÉRENTES COMPARAISONS DE LA DISTRIBUTION DU TDF	34
TABLEAU 3.4. CORRÉLATIONS DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES ET DESCRIPTIVES AVEC LES DEUX PREMIERS AXES DE L'ORDINATION	44
TABLEAU 3.5. FRÉQUENCES ABSOLUES ET RELATIVES DES TRANSITIONS RÉELLES ET MODÉLISÉES POUR LES PLACETTES SUR LES DÉPÔTS FLUVIO-GLACIAIRES	48
TABLEAU 3.6. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER ET DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS GROUPEMENTS POUR LES PLACETTES SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE ET GLACIAIRE.....	49
TABLEAU 3.7. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER ET DERNIER INVENTAIRE ET DE L'ACCROISSEMENT ANNUEL MOYEN EN ÉPINETTE NOIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE.....	50
TABLEAU 3.8. COMPARAISONS MULTIPLES DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU NOMBRE DE TIGES ET DE LA SURFACE TERRIÈRE TOTALE EN FONCTION TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER ET AU DERNIER INVENTAIRE POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE N'AYANT PAS FAIT TRANSITION SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE.....	52
TABLEAU 3.9. FRÉQUENCE ABSOLUE ET RELATIVE DES TRANSITIONS RÉELLES ET MODÉLISÉES POUR LES PLACETTES SUR LES DÉPÔTS GLACIAIRES.	56
TABLEAU 3.10. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES DIFFÉRENTS GROUPEMENTS SUR DÉPÔT GLACIAIRE	57

TABLEAU 3.11. COMPARAISONS MULTIPLES DU TAUX D'ACCROISSEMENT ANNUEL MOYEN (M²/HA) EN ÉPINETTE NOIRE ENTRE LE SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 59

TABLEAU 3.12. COMPARAISONS MULTIPLES DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU NOMBRE DE TIGES ET DE LA SURFACE TERRIÈRE TOTALE EN FONCTION DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER ET AU DERNIER INVENTAIRE POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE N'AYANT PAS FAIT TRANSITION SUR DÉPÔT GLACIAIRE 61

TABLEAU A.2. LISTE DES SIX GRANDES CLASSES DE GROUPEMENTS FORESTIERS 96

TABLEAU A.3.1. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS GROUPEMENTS POUR LES PLACETTES SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE..... 101

TABLEAU A.3.2. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS GROUPEMENTS POUR LES PLACETTES SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE..... 102

TABLEAU A.3.3. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE 103

TABLEAU A.3.4. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE 104

TABLEAU A.3.5. COMPARAISONS MULTIPLES DU TAUX D'ACCROISSEMENT ANNUEL MOYEN EN ÉPINETTE NOIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 105

TABLEAU A.3.6. COMPARAISONS MULTIPLES DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU NOMBRE DE TIGES ET DE LA SURFACE TERRIÈRE TOTALE EN FONCTION TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE ET N'AYANT PAS FAIT TRANSITION SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE. 106

TABLEAU A.3.7. COMPARAISONS MULTIPLES DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU NOMBRE DE TIGES ET DE LA SURFACE TERRIÈRE TOTALE EN FONCTION TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE ET N'AYANT PAS FAIT TRANSITION SUR DÉPÔT FLUVIO-GLACIAIRE. 107

TABLEAU A.3.8. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS GROUPEMENTS ET ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION SUR DÉPÔT GLACIAIRE. 108

TABLEAU A.3.9. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS GROUPEMENTS ET ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION SUR DÉPÔT GLACIAIRE. 109

TABLEAU A.3.10. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LES FEUILLUS (BOULEAU BLANC SEULEMENT) SUR DÉPÔT GLACIAIRE 110

TABLEAU A.3.11. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LES FEUILLUS (BOULEAU BLANC SEULEMENT) SUR DÉPÔT GLACIAIRE 111

TABLEAU A.3.12. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LES FEUILLUS INTOLÉRANTS À TENDANCE RÉSINEUSE SUR DÉPÔT GLACIAIRE 112

TABLEAU A.3.13. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LES FEUILLUS INTOLÉRANTS À TENDANCE RÉSINEUSE SUR DÉPÔT GLACIAIRE 113

TABLEAU A.3.14. COMPARAISONS MULTIPLES DU TAUX D'ACCROISSEMENT ANNUEL MOYEN (M²/HA) EN ÉPINETTE NOIRE ENTRE LE SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT GLACIAIRE 114

TABLEAU A.3.15. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 115

TABLEAU A.3.16. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR LE PIN GRIS SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 116

TABLEAU A.3.17. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LE SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES CO-DOMINÉES PAR LE PIN GRIS ET L'ÉPINETTE NOIRE SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 117

TABLEAU A.3.18. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LE SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES CO-DOMINÉES PAR LE PIN GRIS ET L'ÉPINETTE NOIRE SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 118

TABLEAU A.3.19. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE SUR DÉPÔT GLACIAIRE. 119

TABLEAU A.3.20. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE SUR DÉPÔT GLACIAIRE. 120

TABLEAU A.3.21. COMPARAISONS MULTIPLES DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU NOMBRE DE TIGES ET DE LA SURFACE TERRIÈRE TOTALE EN FONCTION TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE ET N'AYANT PAS FAIT TRANSITION SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 121

TABLEAU A.3.22. COMPARAISONS MULTIPLES DE L'EFFET DU CHANGEMENT DU NOMBRE DE TIGES ET DE LA SURFACE TERRIÈRE TOTALE EN FONCTION TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE POUR LES PLACETTES DOMINÉES PAR L'ÉPINETTE NOIRE ET N'AYANT PAS FAIT TRANSITION SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 122

TABLEAU A.3.23. COMPARAISONS MULTIPLES SUR LES RANGS DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU PREMIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES OU CO-DOMINÉES PAR LE SAPIN SUR DÉPÔT GLACIAIRE 123

TABLEAU A.3.24. COMPARAISONS MULTIPLES DU TEMPS DEPUIS LE DERNIER FEU AU DERNIER INVENTAIRE ENTRE LES DIFFÉRENTS SUCCÈS DE TRANSITION POUR LES PLACETTES DOMINÉES OU CO-DOMINÉES PAR LE SAPIN SUR DÉPÔT GLACIAIRE..... 124

LISTE DES ABBRÉVIATIONS ET SIGLES

AAM	Accroissement annuel moyen
CSL	Cartons St.-Laurent
EPN-M-O	Pessière à mousses de l'Ouest
MRNQ	Ministère des Ressources Naturelles du Québec
PEP	Placette échantillon permanente
PNG	Parc National Glacier
SAB-BOP-O	Sapinière à bouleau blanc de l'Ouest
SOPFEU	Société de Protection des Forêts contre le Feu
TBE	Tordeuse des bourgeons de l'épinette
TDF	Temps depuis le dernier feu
VP	Virée permanente
PNWB	Parc National Wood Buffalo

RÉSUMÉ

L'historique des feux et de la dynamique forestière naturelle a été reconstruite pour les 300 dernières années sur le territoire privé de CSL situé dans le centre-sud de la forêt boréale québécoise. La caractérisation du cycle des feux a été basée sur un échantillonnage aléatoire du territoire ainsi qu'à partir de données d'archives de CSL sur la superficie et l'année des feux depuis 1923. Conjointement aux inventaires de CSL pour la saison estivale de 1997 et 1998, 157 points d'échantillonnage ont été utilisés pour caractériser le cycle des feux sur leur territoire. Lorsque l'année du dernier feu était inconnue, l'analyse dendrochronologique a été utilisée.

Les résultats suggèrent que le cycle des feux n'est pas constant dans cette région de la forêt boréale. L'utilisation anthropique du territoire, la différence de composition à l'échelle des sous-domaines de végétation et des dépôts de surface n'ont pu expliquer les changements dans la durée du cycle. Des cycles constants ont toutefois pu être calculés pour les périodes avant et après 1850. Les changements climatiques depuis la fin du *Petit Âge Glaciaire* (~1850) auraient favorisé un climat moins propice aux incendies forestiers dans l'Est de la forêt boréale et seraient principalement responsables de l'allongement du cycle. Cette interprétation corrobore les prédictions faites quant à une décroissance de la fréquence des feux dans le futur.

Une reconstitution de l'Indice Forêt Météo (IFM) pour la période de 1915 à 1981 appuie également l'hypothèse des changements climatiques responsables de l'allongement de la durée du cycle des feux. Le danger d'incendie moyen par année et le danger d'incendie maximal atteint par année ont décliné significativement au cours de cette période.

La caractérisation de la dynamique naturelle a été réalisée à l'aide d'analyses canoniques et d'analyses de transition sur 344 PEP de CSL. Les PEP ont été mesurés environ à tous les 15 ans au cours des 40 dernières années. Sur les dépôts fluvio-glaciaires, la dynamique est principalement dominée par l'épinette noire et le pin gris. En absence de perturbation, les résultats d'ordination et de transitions suggèrent le remplacement du pin gris par l'épinette noire. Les résultats de transitions modélisées sur une période supplémentaire de 30 ans suggèrent également une augmentation du nombre de peuplements forestiers dominés par l'épinette noire en absence de perturbation. Sur les dépôts glaciaires, la dynamique est beaucoup plus variable, le sapin occupant une plus grande importance que sur les dépôts fluvio-glaciaires. À long terme (ordination, transition et transitions modélisées), les résultats suggèrent un remplacement des essences par le sapin et l'épinette noire. L'analyse de ces PEP a permis de confirmer qu'il y a, dans plusieurs cas, un remplacement des espèces en

fonction du temps depuis le dernier feu en plus de mettre en évidence l'importance du substrat et l'impact d'autres perturbations comme les épidémies d'insectes.

Cette étude a permis de vérifier l'utilité des données d'archives de CSL pour caractériser le régime des feux et la succession naturelle pour leur territoire. Dans un contexte de gestion durable des forêts, les résultats de cette étude suggèrent que les vieilles forêts devraient constituer une composante importante du paysage et que cette proportion devrait s'accroître avec l'allongement du cycle des feux. La connaissance de la dynamique naturelle pourrait permettre d'établir de nouvelles stratégies sylvicoles économiquement et écologiquement viables afin de pouvoir les maintenir dans le paysage.

INTRODUCTION

En forêt boréale, les incendies forestiers constituent la perturbation la plus importante (Engelmark et al. 1993; Johnson 1992; Heinselman 1981). Toutefois, il existe une grande variabilité dans la sévérité, l'occurrence et la superficie des feux entre les différentes régions (Stock 1993; Flannigan & Van Wagner 1991). Ces différences font en sorte que le cycle des feux varie grandement d'une région à l'autre de la forêt boréale (Bergeron et al. 2000; Weir et al. 1999; Larsen 1997; Brown et al. 1994; Brown & Bradshaw 1994; Engelmark et al. 1993; Ward & Tithecott 1993; Barrett et al. 1991; Bergeron 1991; Johnson et al. 1990; Tande 1979; Wein & Moore 1979; Wood & Days 1977).

Le cycle de feux est défini comme le temps requis pour brûler un territoire équivalent en superficie, à celui à l'étude (Johnson & Gutsell 1994; Johnson et al. 1990). C'est donc l'inverse du pourcentage de superficie moyenne brûlée annuellement d'un territoire donné (Johnson & Van Wagner 1985). Cette définition implique que certaines parties du territoire seront épargnées des flammes alors que d'autres parties brûleront à plusieurs reprises au cours d'un même cycle (Johnson et al. 1990; Heinselman 1981; Van Wagner 1978; Rowe & Scotter 1973). Par conséquent, les régions du territoire épargnées par le feu auront des peuplements dont l'âge sera supérieur à celui du cycle pour la région à l'étude. En somme, si le territoire observé est assez grand par rapport à la superficie des feux, il devrait alors être constitué d'une multitude de peuplements d'âges et de stades de succession distincts, créant une mosaïque forestière hétérogène et diversifiée.

Des études dendroécologiques de cycle de feu effectuées dans diverses régions nord-américaines (Larsen 1997; Brown et al. 1994; Brown & Bradshaw 1994; Bergeron & Archambault 1993; Dansereau & Bergeron 1993; Engelmark et al.

1993; Ward & Tithecott 1993; Barrett et al. 1991; Bergeron 1991; Johnson et al. 1990; Tande 1979; Wein & Moore 1979; Wood & Days 1977) ont cependant démontré des changements récents dans la durée du cycle, la plupart du temps, un allongement. Toutefois les auteurs ne s'entendent pas sur les causes de ces changements : climatiques ou humaines.

Certains auteurs s'entendent pour dire qu'avant l'arrivée des premiers colons, la présence et l'influence des autochtones sur le régime des feux étaient négligeables et pouvaient être confondues avec le régime naturel (Lefort 1997; Dansereau 1991). Or, depuis la colonisation européenne, il est souvent présumé que l'homme supprime les conditions naturelles d'allumages des feux (Hemstrom & Franklin 1982). Une étude effectuée dans l'Ouest de la forêt boréale québécoise (Lefort 1997) semble également appuyer cette hypothèse, les régions rurales étant affectées par l'allumage de feu dû aux hommes. Dans l'Ouest Canadien, Johnson et al. (1990) ont rapporté une recrudescence des superficies brûlées en plus du nombre accru d'incendies pour le parc national Glacier (PNG) depuis la construction du chemin de fer transcontinental. Encore de nos jours, il semble que les régions où la présence humaine est importante (activités récréatives et économiques), soient des régions où l'occurrence des incendies forestiers est accrue. Néanmoins, les feux de foudre demeurent la cause la plus importante en terme de superficie incendiée (Weber & Stocks 1998; Larsen 1997), totalisant même parfois plus de 85% des surfaces brûlées. De plus, les feux d'origines anthropiques ont souvent une incidence locale n'affectant pas, ou très peu, le cycle des feux d'une grande région (Weber & Stocks 1998; Johnson et al. 1990).

Toutefois, Barrett et al. (1991), Tande (1979) et Wein & Moore (1979) ont clairement démontré une différence dans le régime des feux depuis le début de la suppression active des feux (~1900) pour la région du Montana (USA), pour l'Alberta

et pour la Nouvelle-Écosse, respectivement. Dans tous ces cas, il semble que l'extinction active des incendies ait permis un allongement du cycle des feux. Au contraire, Larsen (1997) estime que le combat des incendies forestiers n'a pas engendré une différence significative dans les superficies brûlées annuellement depuis son instauration dans les années cinquante pour le parc national Wood Buffalo (PNWB) de même que Johnson et al. (1990) pour le PNG. Au Québec, ce n'est que depuis le début des années 1970 que l'efficacité à combattre les feux est considérée comme étant vraiment efficace et ce, depuis son instauration en 1920 (Lefort 1997; Langlois 1994; Bergeron 1991). Le morcellement du paysage (suppression passive) peut également être considéré comme un facteur pouvant perturber le cycle des feux, résultant généralement en un allongement de ce dernier. En effet, l'accroissement du réseau routier et des aires de coupe à blanc sont autant de facteurs pouvant limiter la propagation et/ou la progression d'un incendie. De plus, le développement du réseau routier permet un meilleur déploiement des équipes de lutte terrestre, optimisant davantage les efforts d'attaque contre les feux (Weber & Stocks 1998).

Par ailleurs, Bergeron & Archambault (1993), Bradshaw & Zackrisson (1990) et Clark (1988) ont démontré l'influence évidente du climat sur le régime des feux. Alors qu'une recrudescence des feux était envisagée avec les changements climatiques depuis la fin du *Petit Âge Glaciaire* (~1850)(Clark 1988), Bergeron (1991), Larsen (1997) et Weir et al. (1999) ont plutôt noté une diminution de la fréquence des incendies forestiers depuis cette époque. Dans l'Est de la forêt boréale, un changement dans la distribution des précipitations aurait occasionné une baisse dans la fréquence des sécheresses amenant par le fait même une baisse dans la fréquence des feux (Bergeron & Archambault 1993). Malgré que les conditions climatiques puissent varier d'une région à l'autre, l'allongement synchrone du cycle des feux dans trois régions différentes de la forêt boréale corrobore bien les hypothèses d'un changement climatique responsable. Étonnamment, ce signal

climatique a également été rapporté en Suède (Engelmark et al. 1994) où un allongement dans le cycle des feux depuis la fin de cette période a également été observé, démontrant l'ampleur de ce phénomène climatique qui semble avoir des répercussions à l'échelle de la planète. Les récents travaux de Flannigan et al. (1998) suggèrent aussi une diminution de la fréquence des incendies forestiers dans la plupart des régions du Nord de l'Europe et de l'Amérique du Nord.

À une échelle plus régionale, on estime que divers autres facteurs affectent également le régime des feux de la forêt boréale : sous-domaine de végétation, topographie, altitude, dépôts de surfaces, etc.(Gauthier et al. 1996; Turner & Romme 1994; Johnson et al. 1990; Fryer & Johnson 1988; Cogbill 1985; Foster 1983). Par exemple, on croit que les incendies forestiers sont plus intenses et plus grands dans des territoires dont la composition forestière est principalement résineuse que dans des territoires à composition mixte (Rowe & Scotter 1973). Mutch (1970) avance même qu'en présence de feux cycliques, certaines communautés de plantes auraient évolué de manière à être plus inflammables afin de se perpétuer, notamment le pin gris (Rouse 1986). D'ailleurs, Larsen (1997) a calculé un cycle de feu significativement plus court dans les sites où il y avait du pin gris tandis que Wein & Moore (1979) ont calculé des cycles plus longs lorsqu'il y avait prédominance de feuillus.

D'autre part, plusieurs chercheurs ont reconnu l'importance des conditions abiotiques sur le régime des feux. Par exemple, la présence d'individus plus âgés retrouvés en bordure de cours d'eau suggère un effet d'écran des plans d'eau sur la propagation des incendies (Bergeron 1991; Foster 1983; Hemstrom & Franklin 1982). Inversement, certaines conditions du milieu semblent favoriser le passage des incendies. Ainsi, il est généralement reconnu que les versants sud et ouest, qui sont plus chauds et secs, brûlent avec une périodicité plus courte que les versants nord et

est (Agee, Finney & De Gouvenain 1990; Clark 1990). Quoique l'effet du feu sur la composition en espèce varie selon la fréquence et l'intensité (Attiwill 1994), il appert que les divers facteurs biotiques et abiotiques peuvent influencer le régime des feux de plusieurs régions de façon similaire.

En forêt boréale, la notion du “*temps depuis le dernier feu*” (Johnson & Gutsell 1994) permet de jauger l'âge d'une forêt en terme de succession. Il est ainsi assumé que l'année de la dernière perturbation majeure dans le milieu, soit l'année d'un feu en forêt boréale, corresponde au stade d'initiation ($t = 0$) (Gauthier et al. 1996; Bergeron & Dansereau 1993; Bergeron & Dubuc 1989; Van Cleve & Viereck 1981). Plus le temps entre deux perturbations majeures sera long, plus le milieu aura la chance d'atteindre un stade successional avancé (De Grandpré et al. 1993). Alors que la périodicité à laquelle survient une perturbation permet d'envisager les séquences successionales possibles, d'autres facteurs jouent également un rôle très important sur la présence éventuelle des espèces. Entre autres, le type de dépôt de surface limitera grandement à lui seul la prédisposition des essences dans un environnement donné et ce, pour un cycle de perturbation équivalent (Gauthier et al. 1996; Bergeron & Dubuc 1989).

En forêt boréale mixte, l'établissement et le remplacement des essences forestières ont été largement étudiés (Simard et al. 1998; Galipeau et al. 1997; Gauthier et al. 1996; Bergeron & Charron 1994; Bergeron & Dansereau 1993; De Grandpré et al. 1993; Bergeron & Dubuc 1989; Cogbill 1985; Van Cleve & Viereck 1981; Dix & Swan 1971; Heinselman 1973). Il ressort de ces études un patron général de succession suivant la dernière perturbation par le feu. Tôt après la perturbation, on observe l'établissement des essences intolérantes, tel le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) et le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.). À mesure que le couvert forestier se referme, la

proportion d'essences tolérantes à l'ombre augmente dans la canopée au détriment des espèces pionnières (Gauthier et al. 1996; Bergeron & Dubuc 1989; Dix & Swan 1971). Le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill) et l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) bénéficient, entre autres, de l'accumulation de la matières organiques au sol et de l'humidité qui s'en dégage pour augmenter leur établissement (Simard et al. 1998; Galipeau et al. 1997). Durant les étapes suivantes, les peuplements de fin de succession se maintiendront jusqu'à la prochaine perturbation par le feu bien que des perturbations moins sévères comme des épidémies d'insectes et des trouées puissent également initier une succession secondaire (Kneeshaw & Bergeron 1999; Morin et al. 1993; Batzer & Popp 1985). Bien que plusieurs études portant sur la succession suggèrent un remplacement successif des espèces selon leur tolérance à l'ombre dans le temps, Van Cleve & Viereck (1981) et Bergeron & Charron (1994) suggèrent néanmoins que la prépondérance des espèces intolérantes dans l'étage supérieur suivant une perturbation soit due à un taux de croissance différentiel plutôt que d'un manque de semences d'essences tolérantes. Cette dernière peut toutefois être également en cause.

En ayant des connaissances sur le cycle des perturbations et sur la succession naturelle, il est possible de prédire la composition et la structure d'âge dont devrait être composée la mosaïque forestière (Gauthier et al. 1996; Leduc et al. 1995). En effet, la prépondérance des espèces pionnières et de fin de succession dans le paysage est fonction de la durée du cycle (Gauthier et al. 1996; Leduc et al. 1995). À partir de ces informations, de nouvelles approches d'exploitation s'inspirant des perturbations et de la dynamique naturelle peuvent alors être élaborées (Bergeron et al. 1999a, 1999b; Bergeron & Harvey 1997), permettant de répondre à un besoin de plus en plus pressant du public pour une gestion et une exploitation saine des écosystèmes forestiers.

Ainsi, dans le but d'aider CSL à développer des stratégies d'aménagement durable, la première étape de cette étude consiste à caractériser le cycle de perturbation dominante, soit celui des feux, afin de comprendre, dans un deuxième temps, comment la mosaïque forestière change suivant cette perturbation (Leduc et al. 1995; Bergeron & Dansereau 1993; Dix & Swan 1971).

Afin de déterminer si le cycle des feux est constant dans cette région, 1) la distribution du temps depuis le dernier feu pour l'ensemble du territoire de Cartons St.-Laurent a été comparée à une distribution exponentielle négative. Comme plusieurs études suggèrent un allongement du cycle des feux depuis la fin du Petit Âge glaciaire (~1850) (Weir et al. 1998; Larsen 1997; Bergeron 1991; Engelmark et al. 1994) et qu'il existe peu de consensus quant aux effets des changements climatiques sur le cycle des feux en forêt boréale (Overpeck et al. 1990; Flannigan & Van Wagner 1991; Bergeron & Archambault 1993; Stocks 1993), nous avons déterminé si 2) des changements dans la durée du cycle pouvaient être associés avec la fin du *Petit Âge Glaciaire* (~1850) et défini si la tendance était similaire à d'autres régions de la forêt boréale.

Comme il y a eu des périodes et des régions d'exploitation différentes pour le territoire d'étude, nous avons évalué 3) si celles-ci avaient eu une influence sur la durée du cycle. Le morcellement du territoire engendré par les nombreuses coupes forestières et le réseau routier de plus en plus développé font en sorte qu'il y a moins de combustible pour les incendies et que ceux-ci sont de plus en plus facile à circonscrire. La susceptibilité du territoire à brûler sur de grandes superficies est d'autant diminuée que ces facteurs prennent de l'importance. Ainsi, il est présumé que le cycle soit plus long pour les régions ayant eu beaucoup de perturbations anthropiques.

Nous avons également évalué 4) si le changement de composition à l'échelle des sous-domaines de végétation et 5) le type de dépôts de surface engendraient des cycles de feux différents. Plusieurs études ont suggéré un allongement du cycle des feux de la pessière noire à mousses vers la sapinière à bouleau blanc. D'ailleurs plusieurs indices nous portent à croire que c'est également le cas pour cette région de la forêt boréale. En effet, la végétation étant plutôt de type mixte dans la sapinière à bouleau blanc, la susceptibilité du territoire à brûler diminue plus la proportion de feuillus augmente dans le paysage (Hely et al. 1999; Wein & Moore 1979).

Finalement, comme la variation dans le cycle des feux en forêt boréale est relativement grande (<100 ans à +500 ans), il apparaît important de déterminer régionalement le cycle des feux afin que son estimation reflète le plus fidèlement son incidence sur la végétation locale. Ainsi les régions ayant une prédominance en feuillus intolérants et/ou de pin gris seront probablement des régions avec un cycle de feux plus court que pour l'ensemble de la forêt boréale alors que les régions avec une prédominance de résineux tolérants auront probablement un cycle plus long.

La composition de la mosaïque forestière étant intimement liée aux cycles des perturbations et aux dépôts de surface, la deuxième étape de cette étude visait à déterminer les patrons de succession rencontrés sur le territoire de CSL. Toutefois, contrairement à plusieurs études portant sur la succession (Bergeron & Dubuc 1989; Brisson et al. 1988; Taylor et al. 1987; McCune & Allen 1985; Enright 1982; Shafi & Yarranton 1973a, 1973b), l'originalité de cette étude vient du fait qu'elle n'infère pas la succession à partir de *pseudo*-espèces (celles-ci sont issues d'une redistribution des espèces en fonction de classe de diamètre (ex :semis, gaulis et arbres) et sont traitées comme des espèces à part entière dans une ordination) ou à partir d'une chronoséquence en fonction du temps depuis le dernier feu mais plutôt à partir d'un changement réel de composition dans le temps au même site. Cette étude permettra

par le fait même de confirmer ou d'infirmer qu'il y a un remplacement des espèces dans le temps en forêt boréale. De plus, nous avons également évalué si les changements de composition au niveau du peuplement pouvaient être expliqués par différentes variables environnementales (ex : sous-domaine de végétation, dépôts de surface) ou historiques (temps depuis le dernier feu, temps entre les inventaires). En dernier lieu, nous avons aussi évalué les changements dans la composition forestière à partir de modèles se basant sur l'AAM des essences par placette sur une période de 30 ans suivant le dernier inventaire.

RÉGION D'ÉTUDE

Le territoire de CSL est situé en Haute-Mauricie (74°52'55'' - 73°45'15''W et 47°57'13'' - 49°08'22''N) près du réservoir Gouin à quelque 100 km au nord de La Tuque, Québec (figure 1.1). La superficie totale du territoire est d'environ 3844 km² et fait partie du secteur Gouin de la grande région forestière boréale (Rowe 1972). Le territoire est divisé en deux sous-territoires, le bloc Sud et le bloc Nord, d'environ 1484 et 2360 km², respectivement. L'exploitation de la matière ligneuse à grande échelle a débuté dans le bloc Sud au cours des années 1940 alors qu'elle a plutôt connu son essor dans le bloc Nord vers la fin des années 1970. Le territoire est principalement localisé (76%) dans le sous-domaine de végétation de la *sapinière à bouleau blanc de l'ouest* (SAB-BOP-O) mais chevauche également (24%) la *peSSIère noire à mousses de l'ouest* (EPN-M-O). Ainsi, le bloc Sud fait uniquement partie (100%) du sous-domaine de végétation SAP-BOP-O, alors que le bloc Nord chevauche les deux sous-domaines (61% SAB-BOP-O et 39% EPN-M-O). Le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill), le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP.), l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss) et le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) sont les essences arborescentes les plus abondantes (De Grandpré et al. 1996). La partie du bloc Nord située dans le sous-domaine EPN-M-O est composée sensiblement des mêmes essences mais dans des proportions différentes, l'épinette noire étant plus abondante et le sapin baumier beaucoup moins fréquent (Bergeron 1996). Les dépôts meubles sont principalement de type glaciaire et fluvio-glaciaire sur l'ensemble du territoire (tableau 1.1) parsemés ici et là de dépôts rocheux et organiques, et plus rarement, de dépôts éoliens, fluviatiles et lacustres (voir aussi Robitaille & Saucier, 1998).

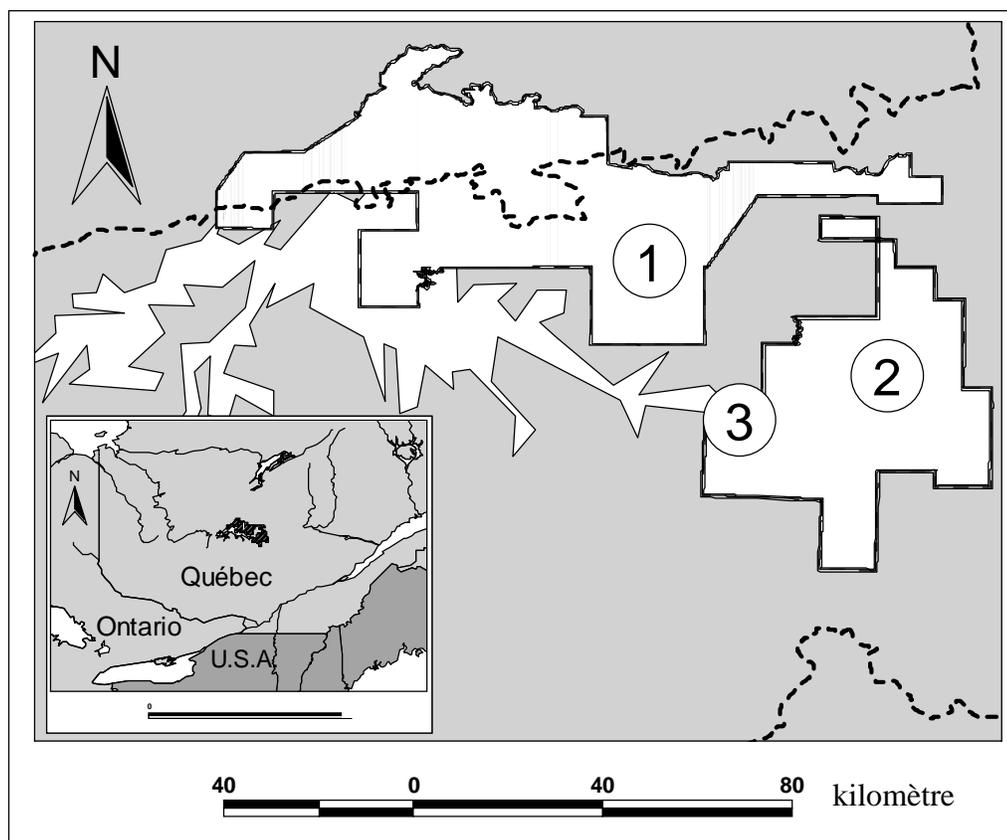


Figure 1.1. Territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec. 1- Bloc nord 2- bloc sud 3-barrage Gouin (station météorologique).

Tableau 1.1. Superficies* des grands groupes de dépôts de surface sur le territoire de Cartons St.-Laurent, Québec.

Gr. Dépôts surfaces	SAB-BOP-O (ha)	EPN-M-O (ha)	TOTAL (ha)
GLACIAIRES	199 030 (78%)	53 906 (65%)	252 936 (75%)
FLUVIO-GLACIAIRES	32 764 (13%)	21 385 (26%)	54 149 (16%)
ORGANIQUES	3 980 (2%)	5 855 (7%)	9 835 (3%)
ROCHEUX	17 921 (7%)	1 424 (2%)	19 345 (6%)
AUTRES	1 096 (<1%)	98 (<1%)	1 194 (<1%)

*données en provenance des cartes numérisées de Cartons St.-Laurent (1 :50 000)

La station météorologique la plus proche est celle du barrage Gouin (74°06'W - 48°21'N) (figure 1.1) et elle a été en opération pendant la période de 1914-1981. La température moyenne annuelle est de 0,8°C, les précipitations moyennes annuelles sont de 948,4 mm et la moyenne annuelle de jours sans gel est de 93 jours (Anon., 1982a et 1982b).

MÉTHODOLOGIE

2.1. Reconstitution de l'historique des feux :

Deux méthodes sont fréquemment utilisées pour reconstruire l'historique des incendies forestiers : l'analyse dendrochronologique (Arno & Sneek 1977) et la photo-interprétation à partir de photographies aériennes (voir Johnson & Gutsell 1994 et en partie Lefort 1997; Foster 1983). L'analyse dendrochronologique nécessite la cueillette d'échantillons sur le terrain ce qui engendre des coûts élevés limitant son utilisation à grande échelle. La lenteur des analyses en laboratoire constitue une autre limite importante. La deuxième méthode qui permet de délimiter les feux, est beaucoup plus rapide et économique mais comporte également certaines limites. Premièrement, il faut avoir des photographies aériennes prises à différentes périodes qui couvrent le territoire à l'étude. Il faut également obtenir les photographies les plus anciennes possibles. De fait, il est de plus en plus difficile de déceler les limites des vieux incendies en remontant dans le temps sans compter que plus d'un feu peut survenir dans un même lieu, détruisant totalement ou partiellement les limites des feux précédents. Finalement, il faut souvent valider l'année des incendies cartographiés avec des échantillons récoltés sur le terrain.

L'existence d'archives comportant des données sur la superficie et l'année des feux depuis 1923 chez Cartons St.-Laurent s'est avéré être d'un intérêt particulier pour caractériser le cycle des feux sur leur territoire. Les superficies incendiées pour la période de 1923 à 1998 ont été cartographiées par CSL à partir de photographies aériennes et résumées dans une carte synthèse des feux (figure 2.1. et 2.2.). À noter cependant que les petits feux (<2 ha) ne figurent pas sur la carte et n'ont pas été

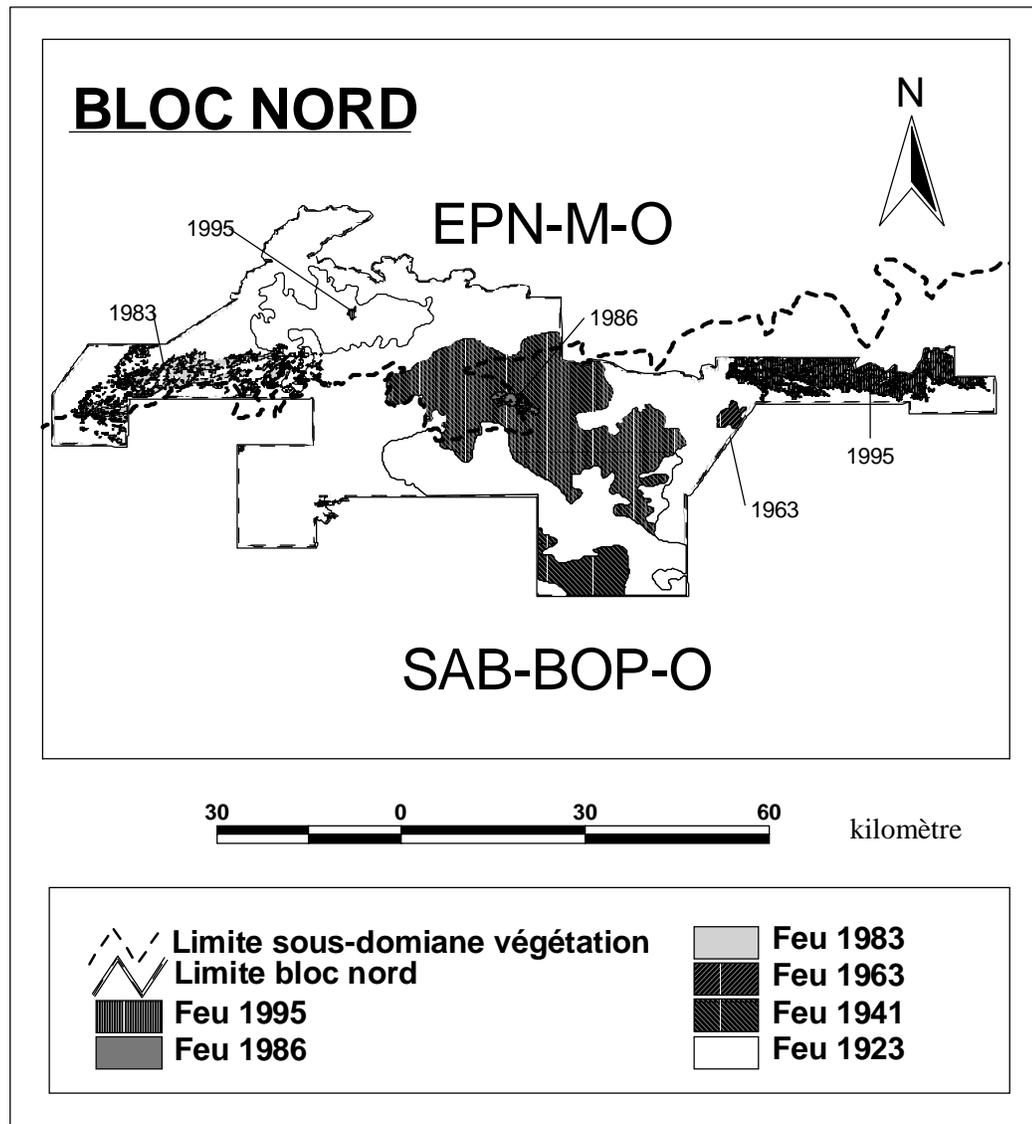


Figure 2.1. Carte synthèse des feux pour le bloc nord du territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du réservoir Gouin, Québec.

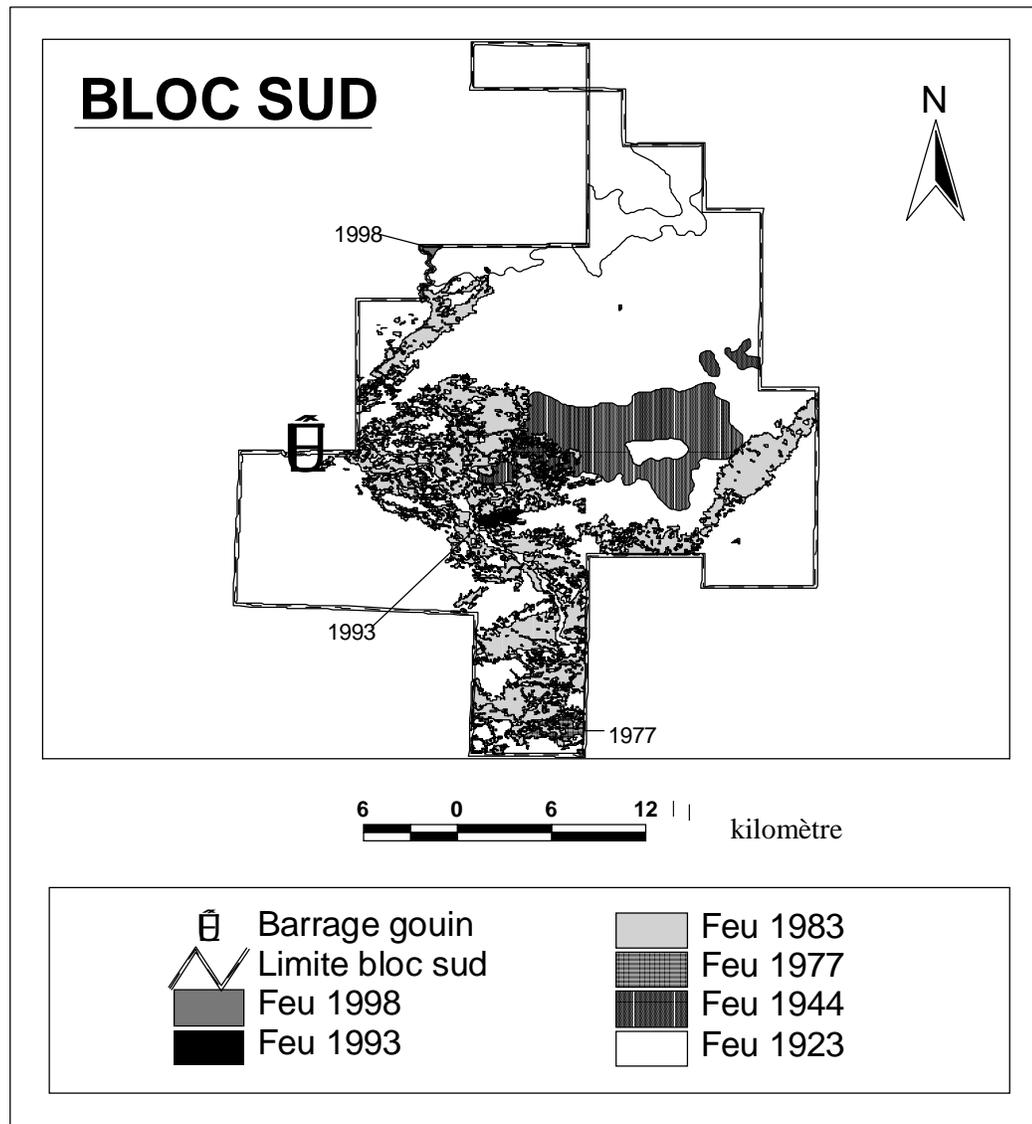


Figure 2.2. Carte synthèse des feux pour le bloc sud du territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du réservoir Gouin, Québec.

utilisés pour les différentes analyses. Ceci devrait avoir peu d'incidence sur les calculs étant donné que les feux de moins de 2 hectares représentent au total seulement 0,1% de la superficie incendiée sur le territoire pour la période de 1945 à 1999 (données du MRNQ).

Cartons St.-Laurent possède également un réseau d'environ 800 virées permanentes (VP) dont l'implantation a débuté en 1959. Une VP est constituée de 3 parcelles, une primaire et deux satellites, distancées d'environ 400 mètres. Chaque parcelle a été remesurée à plusieurs reprises (voir tableau 2.1.) afin de connaître la croissance des tiges commerciales. L'emplacement des virées permanentes sur le territoire a été déterminé par CSL de la manière suivante (Denis Thibault, communication personnelle) :

1. Un quadrillage de 60X60 chaînes¹ a été superposé sur le territoire.
2. Chaque intersection du quadrillage constituait un emplacement potentiel.
3. Un tirage au sort a été fait parmi les intersections et celles retenues ont constitué l'emplacement actuel des VP.

Il est à noter que la sélection aléatoire des VP de CSL à travers le territoire donne une chance égale à tous les types de peuplements et classes d'âges d'être échantillonnés. Conjointement aux inventaires de CSL pour la saison estivale de 1997 et 1998, 157 VP ont été utilisées pour caractériser le cycle des feux. Lorsque la VP était localisée dans une zone de feu cartographiée, la date d'archive était retenue (43% des VP). Pour les VP dont la date du dernier feu était inconnue (57% des VP) (pour les feux ayant eu cours avant 1923), l'analyse dendrochronologique a été utilisée pour déterminer la date du dernier feu (Larsen 1997; Lefort, 1997; Dansereau & Bergeron

1993; Dansereau 1991; Arno & Sneck 1977). L'analyse dendrochronologique a été préférée à la méthode par photo-interprétation puisque les photographies aériennes de la région à l'étude dataient des années 1920. Cette dernière méthode ne nous aurait pas permis de reconstruire l'histoire des feux sur une aussi longue période. De plus, comme la caractérisation du cycle des feux est basée sur un échantillonnage aléatoire du territoire (Johnson & Gutsell 1994, voir aussi Larsen 1997), il n'était pas nécessaire d'établir les contours exacts des feux afin de connaître les superficies réelles brûlées. En conséquence, la combinaison des données d'archives de CSL et de l'analyse dendrochronologique s'est avérée être une solution efficace pour caractériser le cycle des feux pour une vaste superficie.

2.1.1. Récolte et analyse des échantillons :

Pour les VP visitées, environ cinq arbres issus des feux ont été sondés par PEP à l'aide d'une sonde de Pressler et lorsque présents, les arbres morts ou porteurs de cicatrices ont été échantillonnés à l'aide d'une scie à chaîne. Les échantillons (carottes et/ou galettes) ont été prélevés le plus bas possible sur le tronc et jusqu'au cœur (Heinselman 1973). Le choix des essences à sonder a été déterminé sur le site d'échantillonnage en fonction des individus disponibles. Le pin gris a été sélectionné en premier lieu étant donné que sa présence correspond généralement à un recrutement après-feu (Eyre 1938). En l'absence de pin gris, le bouleau blanc, le peuplier faux-tremble, l'épinette noire et l'épinette blanche ont été échantillonnés. Le sapin baumier n'a pas été échantillonné car il est très sensible au feu. Ce dernier n'est donc généralement pas porteur de cicatrices, est une essence associée à un stade de succession avancé et est de courte longévité (De Grandpré & al 1993; Bergeron & Dubuc 1989; Rowe & Scotter 1973).

¹ Ancienne unité de mesure utilisée en foresterie équivalent à 20,12 m.

Le sol a également été sondé afin de déterminer s'il y avait présence de charbon à la surface du sol minéral, vestige du passage d'un incendie (Cogbill 1985). De plus, pour les PEP dont les caractéristiques physiographiques (ex : dépôt, pente, orientation, drainage) n'avaient pas été inventoriées par CSL, elles ont également été déterminées et notées selon les normes techniques du point d'observation écologique (Anonyme 1994).

Les échantillons ont été ramenés au laboratoire où leur âge a été déterminé. Le sablage des échantillons a été réalisé afin de rendre la lecture des anneaux de croissance plus claire (Bergeron & Brisson 1990) et plus fiable (Cook & Kairinkstis 1989). Les anneaux de croissance étant plus visibles sur les conifères, un sablage fin (grain de papier 180) était largement suffisant pour permettre la lecture avec aisance. Dans le cas des bouleaux blanc, les cernes de croissance étaient beaucoup plus difficiles à discerner. Un sablage ultra fin (grain de papier 600) fût nécessaire.

L'âge des échantillons sablés a été calculé sous une loupe binoculaire sur au moins deux rayons dans le cas des galettes (Arno & Sneek 1977). La compilation des cernes de croissances des individus vivants de bouleau blanc, d'épinette noire et de pin gris a servi, en plus, à monter une chronologie maîtresse pour ces espèces, permettant la datation, par espèce, des individus récoltés déjà morts au moment de l'échantillonnage. Les échantillons ont été inter-datés entre eux (Yamaguchi 1991) et, dans le cas des individus déjà morts, avec leur chronologie maîtresse, afin de valider l'année de naissance de l'arbre et/ou du dernier feu. Le logiciel de dendrochronologie COFECHA© (ter Braak 1988) a été utilisé pour effectuer l'inter-datation.

2.1.2. Détermination du temps depuis le dernier feu.

Pour les échantillons porteurs de cicatrices de feux, l'année du feu a été déterminée avec précision en calculant le nombre de cernes à partir de l'année de récolte jusqu'à la cicatrice (Arno & Sneek 1977). Dans le cas d'individus récoltés morts avec cicatrices, l'année du feu a été déterminée par inter-datation avec une chronologie maîtresse. Les individus vivants ou morts ne portant pas de cicatrices ont donné un âge minimal seulement (principalement le bouleau blanc). Dans ce dernier cas, l'année de feu pour une virée permanente a été déduite avec l'âge du plus vieil individu d'une cohorte de l'étage supérieur (Bergeron & Dubuc 1989) parmi tous les échantillons des PEP d'une même VP. Il fut présumé que les trois PEP d'une même VP aient été perturbées par le même feu étant donné la distance restreinte (~ 400 m) entre celles-ci. Par contre, une approximation assez juste du temps depuis le dernier feu pour une PEP a été déterminée si les critères suivant étaient respectés :

Au moins 3 échantillons sur 5 d'une même PEP devaient avoir une date de germination dans un éventail de 10 ans dans le cas du pin gris et de 20 ans pour les autres essences (l'épinette noire, l'épinette blanche, le bouleau à papier et le peuplier faux-tremble).

La même année de feu a été retenue pour une PEP d'une même virée permanente si le plus **vieil** échantillon de cette PEP correspond avec la même date (\pm écart selon l'espèce) retenue pour une des deux autres PEP.

Dans le cas où **les plus vieux individus** de chaque PEP (un seul individu suffisait par PEP) d'une même virée permanente correspondaient au même recrutement après feu (\pm écart selon l'espèce), cette date a été retenue pour chaque PEP ainsi que pour la virée permanente.

2.1.3. Calcul du cycle

Deux modèles sont fréquemment retenus afin d'évaluer quelles devraient être les proportions théoriques des différentes classes d'âge rencontrées dans une forêt sous régime de feu naturel : l'exponentielle négative⁽¹⁾ et Weibull⁽²⁾ (Johnson & Gutsell 1994; Johnson & Van Wagner 1985; Van Wagner 1978)

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

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

où $F(t)$ est la proportion de peuplements d'un âge donné à un temps (t) , b la récurrence de feu et c , le risque d'incendie. L'exponentielle négative constitue un cas spécial du modèle de Weibull où le risque de brûler demeure constant dans le temps ($c=1$). Ceci semble vrai pour les régions où les grands feux dominent car ceux-ci seront capables de brûler plusieurs peuplements, même si certains d'entre eux sont moins inflammable (Van Wagner 1978). Or, les feux de forêt caractéristiques de la forêt boréale sont généralement des feux de couronne très intenses qui couvrent de grandes superficies (Johnson 1992; Heinselman 1981). Il est alors raisonnable de croire que la distribution des classes d'âges de la forêt boréale devrait s'ajuster à une distribution exponentielle négative. Si tel est le cas, la proportion de peuplement dépassant le temps de révolution (équivalent au cycle) devrait représenter 36,8% du territoire (Van Wagner 1978). De plus, l'âge moyen des peuplements serait approximativement égal au cycle de feu pour cette région. Finalement, la pente de la distribution est égale au temps de révolution (cycle).

Étant donné la sélection aléatoire des VP, la distribution des classes d'âge de l'échantillon s'avère être une estimation statistiquement valable de la superficie occupée par les classes d'âge retrouvées sur le territoire d'étude, ce qui permet

l'utilisation du modèle de l'exponentielle négative (Johnson & Gutsell 1994; Larsen 1997) pour l'évaluation du cycle de feu.

Premièrement, la compilation du nombre de VP par année de feu a été effectuée. Par la suite, le pourcentage de VP par année de feu a été déterminé sur le nombre total de VP, en commençant par l'année de feu la plus récente. Parallèlement, le pourcentage cumulatif (décroissant) du nombre de VP par année de feu a été calculé en fonction du temps depuis le dernier feu. Une attention particulière a été portée à la distribution cumulée afin de déterminer visuellement si un changement de pente dans la distribution était perceptible, ce qui pourrait indiquer la présence d'un changement de cycle (Johnson & Gutsell 1994).

L'analyse de survie (lifereg) (SAS 1990) a été également utilisée pour déceler les différences entre les distributions et calculer les paramètres de la distribution en testant avec une distribution négative exponentielle ou Weibull. L'analyse de survie consiste à étudier le délai nécessaire à l'apparition d'un événement, dans le cas présent, la présence d'un feu. Lorsque la forme de la distribution est connue, ce qui est le cas dans cette étude, l'analyse de survie a la propriété de donner de meilleures estimations des différents paramètres (Allison 1995). L'analyse de survie permet également de tenir compte du fait que la date du dernier feu est déterminée avec précision (archives, cicatrices, cohortes équiennes) ou qu'il s'agit d'un temps minimal depuis le dernier feu seulement (plus vieil individus d'un peuplement inéquien).

Dans le cas où la date était déterminée avec précision, la date était classifiée comme précise, *i.e.* « non censurée » (censure = 1). Lorsque les échantillons récoltés ne permettaient que de déterminer un temps minimal depuis le dernier feu, la date était dite « censurée » (censure = 0). Cent trente-deux (84%) PEP ont été classifiées

« non censuré » alors que vingt-cinq (16%) ont été classifiées « censuré ». À notre connaissance, aucune étude préalable n'a tenu compte de ce fait.

2.2. Reconstitution de l'Indice Forêt Météo (IFM) :

Comme la station située au barrage Gouin a été en opération entre 1914 et 1981, la reconstitution de l'IFM donnera un bon aperçu des tendances du danger d'incendie qui a sévi dans la région pour le siècle en cours. Elle permettra de déterminer si les variations climatiques, en l'occurrence les changements climatiques observés depuis la fin du *Petit Âge Glaciaire*, peuvent expliquer les variations dans le cycle des feux.

La reconstitution de l'indice forêt météo (IFM) pour la région à l'étude a été effectuée avec les données (température et précipitation) provenant de la station météorologique du Barrage Gouin (48°21'N - 74°06'W). L'IFM est un indice développé par le Service Canadien des Forêts et représente un procédé uniforme pour évaluer le danger d'incendie dans tout le Canada (Service canadien des forêts 1984). À l'instar de Bergeron & Flannigan (1995), les données journalières plutôt que les données mensuelles ont été utilisées, étant donné que le nombre de journées **consécutives** sans pluie affecte les dangers d'incendie de façon significative. Le danger de feu peut donc varier sur des périodes beaucoup plus courtes que le mois. Toutefois, les données d'humidité relative et de vitesse des vents n'étant pas disponible, celles-ci proviennent de la station la plus près soit celle de Roberval (48° 31'N - 72°16'W.) (Anonyme, 1982a). Aussi, comme que les registres de la station météo n'étaient pas complets pour la température et les précipitations, certaines estimations ont dû être effectuées (voir annexe 1).

Une fois l'IFM calculé, les tendances de IFM moyen et maximal par saison de feu ont été analysées à l'aide de régressions linéaires. Les tendances de l'indice maximal sont particulièrement intéressantes étant donné leurs liens intimes avec les superficies brûlées (Flannigan & Harrington 1988). Dans un deuxième temps, les données d'IFM ont été associées à un des cinq niveaux de danger d'incendie selon la classification utilisée par la Société de Protection des Forêts Contre les Feux (SOPFEU). Cette classification comprend les dangers faibles (IFM = 0-4,6), modérés (IFM = 4,7-10,2), hauts (IFM = 10,3-14,7), très hauts (IFM = 14,8-20,2) et extrêmes (IFM = 20,3 et +). Pour chacune de ces catégories, la fréquence de jours a été compilée par année et par classe de danger d'incendie. La régression linéaire a été appliquée afin de vérifier les tendances et l'ampleur du signal. La régression logistique a été utilisée afin de déterminer s'il existe un lien entre les années avec des incendies de superficies supérieures à 100 hectares et 1) la fréquence de jours par année pour les différentes classes d'IFM ou 2) la fréquence de jours qui dépassent certains seuils d'IFM.

2.3. Reconstitution de la dynamique forestière

Afin de comprendre l'évolution de la forêt, les données d'inventaire des PEP de CSL ont été utilisées. En plus du nombre élevé de placettes (~2600) retrouvées sur le territoire, celles-ci ont été mesurées dans la plupart des cas, environ à tous les 15 ans au cours des 40 dernières années (tableau 2.1.). Ceci nous donne l'avantage de voir les changements de composition et de structure au sein d'une même placette sur une période relativement longue. Seulement les placettes dont les peuplements n'ont pas été perturbés par la coupe, pour lesquelles la date du dernier feu était connue, pour lesquelles il y avait au moins deux années d'inventaire et dont la surface terrière totale était supérieure à 5 m²/ha au premier inventaire ont été utilisées pour cette

étude, pour un total de 344 placettes. Le seuil de 5 m²/ha a été retenu comme seuil minimal afin de conserver les milieux forestiers seulement.

Tableau 2.1 . Nombre moyen d'inventaire et temps moyen entre le 1^{er} et le dernier inventaire par placette; moy = moyenne; e-t = erreur-type.

	Fluvio-glaciaire			Glaciaire			Total		
	n	moy.	e-t.	n	moy.	e-t.	n	Moy.	e-t.
Temps moyen entre inv.	50	14,99	0,92	294	15,02	0,41	344	15,02	0,38
Nombre moy. Inventaire									
Total	50	2,88	0,13	294	2,73	0,05	344	2,75	0,05
Fi		-		22	2,45	0,17	22	2,45	0,17
FiRt		-		52	2,55	0,12	52	2,55	0,12
Pg	10	3,40	0,40	13	2,62	0,21	23	2,95	0,22
EPg	4	2,75	0,48	8	2,75	0,31	12	2,75	0,25
Ee	32	2,81	0,14	88	2,97	0,10	120	2,93	0,08
R(s)	4	3,40	0,25	111	2,68	0,08	115	2,67	0,08
Temps moyen entre 1 ^{er} et dernier inventaire									
Total	50	18,64	1,34	294	17,60	0,59	344	17,73	0,54
Fi		-		22	14,96	1,65	22	14,96	1,65
FiRt		-		52	16,56	1,46	52	16,56	1,46
Pg	10	24,80	3,61	13	17,85	2,66	23	20,87	2,24
EPg	4	17,25	5,61	8	17,88	4,16	12	17,66	3,19
Ee	32	17,94	1,48	88	20,41	1,14	120	19,75	0,92
R(s)	4	10,25	0,95	111	16,28	0,93	115	16,07	0,90

2.3.1 Matrice de transition :

Chaque année d'inventaire de chacune des placettes a été attribuée à un groupement forestier selon la classification du deuxième inventaire décennal du Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRNQ)(annexe 2). Comme la fréquence pour certains groupements était faible, les groupements de base ont été

regroupés en six grandes classes : 1- les peuplements dominés par les feuillus (Fi), 2- les peuplements feuillus à tendance résineuse (FiRt), 3- Les peuplements dominés par le pin gris (Pg), 4- les peuplements co-dominés par le pin gris et l'épinette noire (EPg) 5- les peuplements dominés par l'épinette noire (Ee) et finalement, 6- les peuplements à tendance résineuse dominés ou co-dominés par le sapin (R(s)) (tableau A2.).

Afin de favoriser le nombre de transition, nous avons prolongé la période de suivi en modélisant la croissance des espèces de chaque placette sur une période de 30 ans suivant le dernier inventaire de chaque placette. Pour ce faire nous avons calculé l'accroissement annuel moyen (AAM) par essence et par placette entre le premier et le dernier inventaire. Le calcul de l'AAM de la présente étude a été modifié du calcul usuel (Barrette et al. 1996). L'AAM de la présente étude est donné par l'équation suivante :

$$AAM = \frac{S.T._2 - S.T._1}{t_2 - t_1}$$

où S.T.₂ est la surface terrière totale d'une essence au dernier inventaire, S.T.₁, la surface terrière totale de la même essence au premier inventaire et t₂-t₁, la différence de temps entre le dernier et le premier inventaire.

En dernier lieu, l'AAM a été multiplié par la période de temps voulu, soit trente ans, puis a été additionné aux surfaces terrières par espèces de chaque placette du dernier inventaire. Suite à la modélisation, la placette était de nouveau attribuée à l'une des six grandes classes de groupement forestier. La matrice finale permettait donc de 1) déterminer le pourcentage de placette ayant eu un changement d'appellation et la direction réelle de la succession pendant la période de suivi

observée, 2) déterminer le groupement virtuel (prédit) de la succession après une période prolongée de trente ans suivant le dernier inventaire et 3) déterminer la concordance entre les deux patrons de succession.

Finalement, pour chaque station, la nature des grands types de dépôts, le sous-domaine de végétation et le bloc d'exploitation ont été retenus comme variables environnementales potentiellement explicatives alors que le nombre total de tiges dans la placette ainsi que la surface terrière totale ont été retenus comme variables descriptives.

2.3.2 Ordination (analyse des correspondances) :

Pour chacune des placettes, la fréquence de tiges par classe de diamètre et par espèce a été calculée par année d'inventaire. Les arbres de plus de 9 cm de dhp ont été séparés en trois classes de diamètre : 9-13 cm; 13-17 cm; 17 cm et +. Les classes de diamètre ont été déterminées afin de conserver une densité comparable entre les classes (Enright 1982). Les tiges de *Sorbus americana* Marsh., *Salix* sp., *Prunus pensylvanica* L.f., *Prunus virginiana* L. et *Alnus rugosa* (Du Roi) Spreng. ont été regroupées dans la catégorie « non commerciale ». L'analyse des correspondances (CA) a été préférée à l'analyse canonique des correspondances (CCA) afin que les stations classes soient ordonnées en fonction des espèces et non contraintes en fonction des variables environnementales. Seulement les données du premier inventaire de chaque placette ont servi au calcul de l'ordination alors que les autres années d'inventaire, tout comme les variables environnementales, ont été ordonnées subséquemment (variables passives). Chaque année d'inventaire appartenant à la même placette a été reliée à la subséquente, en partant du plus vieil inventaire vers le plus récent. Le vecteur résultant donne alors une indication de l'orientation de la succession (Bergeron & Dubuc 1989; Brisson et al. 1988; Bergeron et al. 1988;

Domon et al. 1986). Cependant, contrairement aux études précitées, les différentes étapes correspondent à une remesure du même site dans le temps plutôt qu'à une projection basée sur les différentes classes de tailles. Les corrélations entre les variables environnementales et les deux premiers axes de l'ordination ont été testées à l'aide d'un test de permutation de Monte Carlo (ter Braak & Smiley 1998).

RÉSULTATS

3.2. Reconstitution de l'historique des feux.

3.2.1. Distribution des classes d'âge sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent.

La distribution des classes d'âge que l'on devrait retrouver sur le territoire de CSL en se basant sur les événements de feu et en absence de perturbations anthropiques est représentée à la figure 3.1. Cependant, la récolte du bois fait en sorte que la plupart des peuplements n'existent plus aujourd'hui. La distribution des classes d'âge ne semble pas suivre une exponentielle négative (J inversé) et il y a une diminution marquée d'incendies depuis 1950. En absence de coupe, environ la moitié du paysage serait caractérisé de peuplements issus des feux de la décennie de 1940 (19%), 1980 (12%), 1820 (10%) et 1920 (8%). Le paysage semble donc façonné par les grands événements de feu. Moins de la moitié (43%) du territoire de CSL devrait être composé de peuplements ayant une classe d'âge inférieure à 100 ans alors que le pourcentage de peuplements en voie de régénération (<30 ans) devrait se situer aux alentours de 15%. L'âge moyen des peuplements sur le territoire serait de 127 ans. L'âge moyen des peuplements forestier dans un paysage forestier donne un estimé du cycle global pour l'ensemble de la période (Johnson & Gutsell 1994).

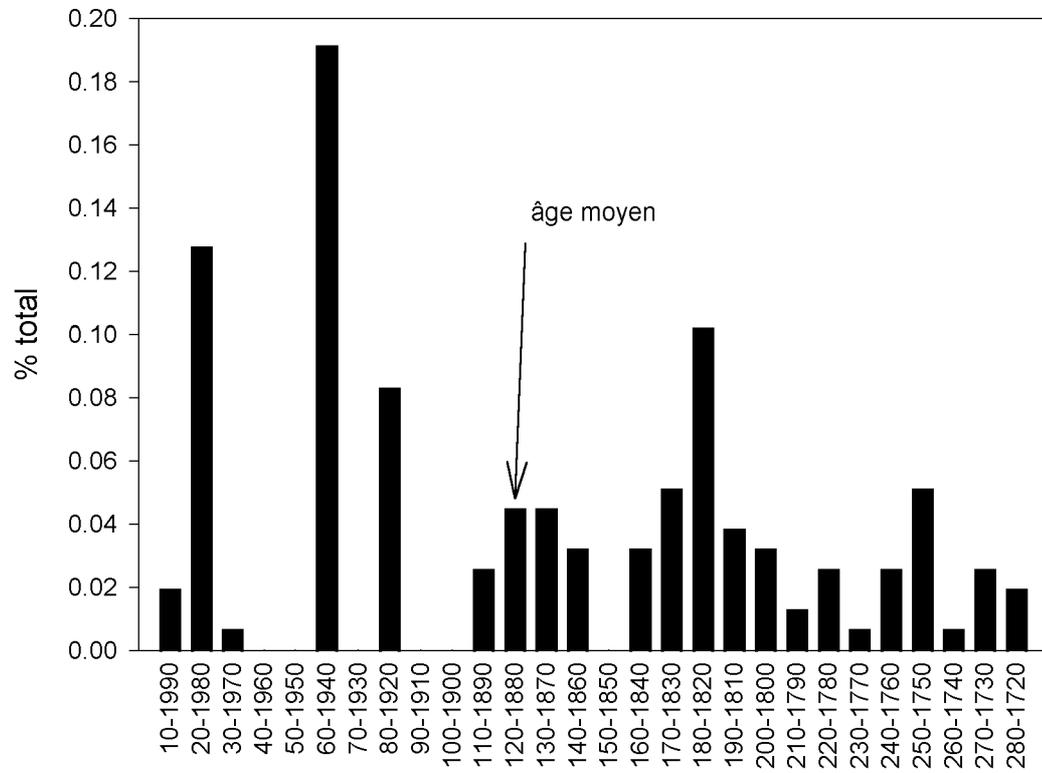


Figure 3.1. Distribution des classes d'âge que l'on devrait retrouver en absence de perturbation anthropique sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec.

3.2.2. Carte et données synthèses des feux de Cartons St.-Laurent.

La taille des feux (les petits feux sont exclus) a varié énormément au cours des soixante-quinze dernières années (tableau 3.1.), brûlant en moyenne $17\,963 \pm 27\,810$ ha de forêt par conflagration. En calculant les superficies moyennes brûlées annuellement pour la période de 75 ans allant de 1923 à 1998, les feux ont brûlé en moyenne $2\,599 \pm 11\,983$ ha de territoire annuellement. Les superficies incendiées représentent environ 0,7% de la superficie totale du terrain privé de CSL. De ce fait, le cycle des feux pourrait être estimé à 136 ± 29 ans (tableau 3.2.). Toutefois, comme les feux peuvent survenir en un même endroit plus d'une fois au cours d'un cycle, il est peu probable que la totalité du territoire serait entièrement incendiée au cours d'un même cycle. Sur le territoire de CSL, environ 16 % des superficies ont brûlé à plus d'une reprise au cours des soixante-quinze dernières années.

Tableau 3.1. Années et superficies des feux (ha) sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec

Année	Superficies brûlées (ha) par année de feu	Superficies résiduelles en 1999 (ha)
1923	55 888	24 380
1941	82 286	81 629
1944	13 542	12 511
1963	833	833
1977	603	603
1983	33 292	33 152
1986	656	656
1993	449	449
1995	9 780	9 780
1998	117	117
Total	197 446	164 110

En dernier lieu, en estimant le cycle des feux selon la méthode traditionnelle avec les superficies brûlées observées sur la carte des feux (figure 2.1. et 2.2.) pour la période de 1923 à aujourd'hui (temps depuis le dernier feu tronquée à l'année 1923 (voir Johnson & Gutsell 1994)), le maximum de vraisemblance estimé pour le paramètre $b = 150$ ans (143-157 ans, 95% IC) (tableau 3.2.). En calculant le cycle des feux avec la distribution aléatoire des points d'échantillonnages également tronquée à l'année 1923, le cycle des feux est estimé à 147 ans (116-187 ans, 95% IC).

Tableau 3.2. Estimation du cycle en fonction des diverses méthodes utilisées pour la période depuis 1923.

MÉTHODE	CYCLE
Âge Moyen des peuplements	127 ans
Superficie moyenne brûlée annuellement (moyenne arithmétique \pm écart-type).	136 ans (107-165 ans)
Analyse de survie (SAS) à partir des superficies de la carte synthèse des feux tronquée à 1923.	150 ans (143-157 ans, 95%IC)
Analyse de survie (SAS) avec la distribution aléatoire des points d'échantillonnages tronquée à 1923.	147 ans (116-187 ans, 95%IC)

3.2.3. Distribution cumulée du temps depuis le dernier feu pour l'ensemble du territoire.

La première étape importante fut de définir si nous étions en présence d'une distribution homogène (cycle constant) ou mixte du temps depuis le dernier feu (Johnson & Gutsell 1994) pour l'ensemble du territoire de CSL. Une distribution mixte serait due à un amalgame de paysages ayant des cycles distincts et/ou à des changements temporels du cycle (Johnson & Gutsell 1994). Cette situation peut être observée graphiquement par un changement de pente de la distribution (Johnson & Gutsell 1994).

Dans le cas de la distribution du temps depuis le dernier feu pour l'ensemble du territoire privé de CSL, nous observons effectivement cette situation (figure 3.2.). Un changement de pente dans la distribution est nettement évident dans la décennie de 1850 et dans une moindre mesure dans la décennie de 1940. Les résultats de l'analyse de survie confirment également que la distribution du temps depuis le dernier feu pour l'ensemble du territoire ne suit pas une distribution exponentielle négative (tableau 3.3.), donc que le risque de brûler (c) change dans le temps. Nous sommes donc en présence d'une distribution mixte. Comme cette situation peut être due à des contraintes spatiales et/ou temporelles, Johnson & Gutsell (1994) suggèrent d'abord de vérifier si la distribution mixte observée est due à un mélange de paysages ayant des cycles distincts.

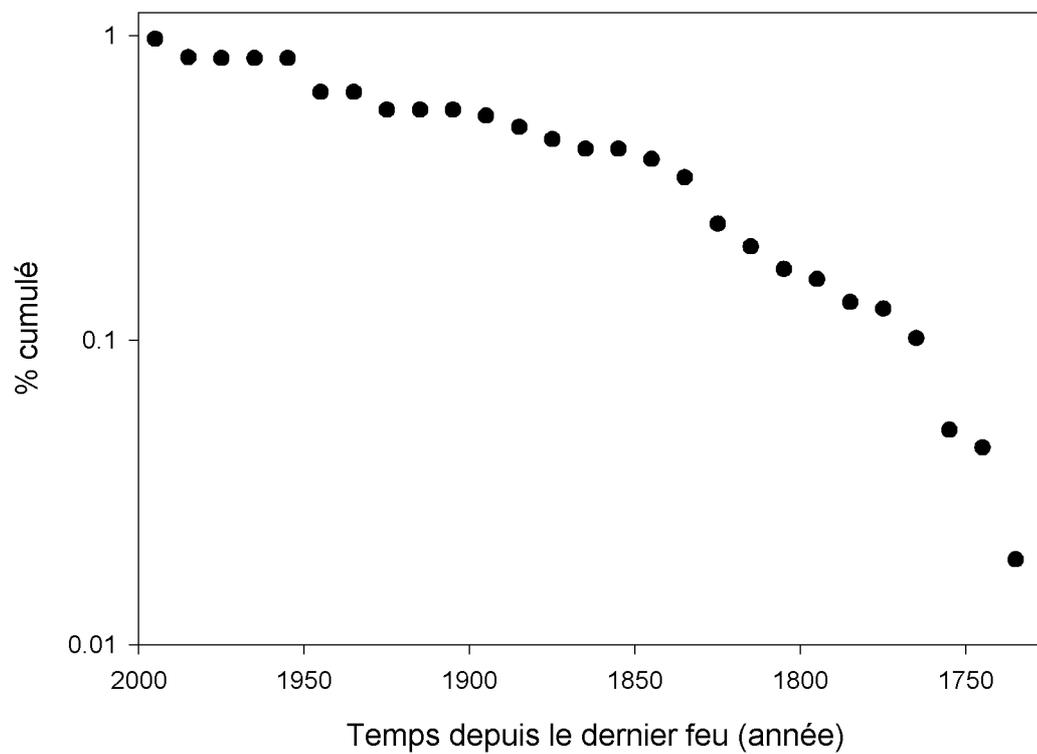


Figure 3.2. Superficie cumulative brûlée sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec.

Tableau 3.3. Résultats de l'analyse de survie et coefficient de Lagrange pour les différentes comparaisons de la distribution du TDF; glac = glaciaire; fluv-glac = fluvio-glaciaire.

Distribution cumulative du TDF	Analyse de survie	Coefficient Lagrange ($p > \text{Chi.}$)
Totale	$p = -$	0,0001
Bloc (nord - sud) période industrielle (>1940)	$p = 0,2707$	0,0001
Bloc (nord - sud)	$p = 0,7906$	0,0001
Sous-domaine de végétation (sab-bop-o - epn-m-o)	$p = 0,9835$	0,0001
Dépôt de surface (glac. - fluv-glac. - roc)	$p = 0,1766$	0,0001
Période (avant 1850 - après 1850)	$p = 0,0001$	0,0530

3.2.4. Distribution du temps depuis le dernier feu pour le bloc Nord et Sud.

Il fut envisagé dans un premier temps que le territoire d'étude ait subi des changements dans le cycle des feux dus à la colonisation, à la récolte du bois et au début de la suppression des feux comme ce fut le cas pour Weir et al. (1999), Lefort (1997) et Johnson et al. (1998). Le cycle pourrait être différent entre le bloc Sud et Nord étant donné qu'ils ont été exploités à des périodes différentes. En comparant les blocs pour la période industrielle seulement (>1940), les résultats de l'analyse de survie nous indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre ceux-ci (tableau 3.3.).

En comparant les blocs d'exploitation (figure 3.3.) pour l'ensemble de la période de l'étude, les résultats de l'analyse de survie nous indiquent également qu'il n'y a pas de différence significative entre ceux-ci. Le fait de séparer les distributions en fonction des deux sous-territoires ayant eu des périodes d'exploitation différentes n'engendre pas de différence significative dans l'estimation de la durée du cycle.

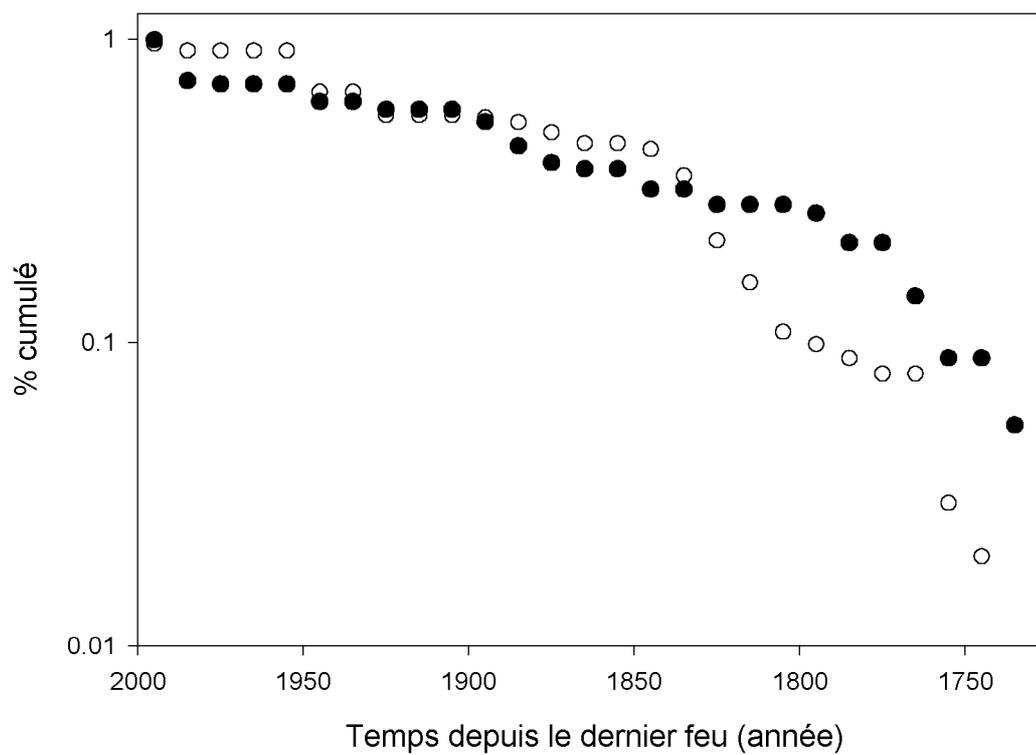


Figure 3.3. Superficie cumulative brûlée pour le bloc sud ● et nord ○ sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec.

3.2.5. Distribution du temps depuis le dernier feu entre SAB-BOP-O et EPN-M-O.

Dans un deuxième temps, nous avons voulu tester si le changement de composition à l'échelle des sous-domaines de végétation entraîne des changements dans la durée du cycle. En effet, comme la composition des combustibles de la pessière noire à mousses est plus propice à la propagation des incendies que ceux de la sapinière à bouleau blanc (Hely et al. 1999), il était vraisemblable d'obtenir un cycle plus court pour la pessière noire à mousses.

Les résultats de l'analyse de survie nous indiquent qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux sous-domaines de végétation (figure 3.4.). Le changement de composition à l'échelle du sous-domaine de végétation à l'intérieur du territoire d'étude ne semble donc pas avoir d'influence sur la durée du cycle.

3.2.6. Distribution du temps depuis le dernier feu en fonction des dépôts de surface.

Bien qu'il soit couramment suggéré que la fréquence des feux soit différente selon les dépôts de surface, aucune étude n'a directement tenté de le vérifier (toutefois, voir Bergeron (1991) pour une comparaison des dépôts et des peuplements). Le nombre de PEP par dépôt de surface étant faible, les données ont été regroupées par grand type de dépôt (glaciaire, fluvio-glaciaire et roc). À l'échelle du territoire, il n'y a aucune différence significative dans le cycle entre les différents types de dépôts (figure 3.5.). En utilisant la méthode traditionnelle (à partir des superficies réelles brûlées par grand type de dépôts tronquée à l'année 1963), les conclusions sont les mêmes. Les données pour les feux avant 1963 n'ont pas été utilisées étant donné l'imprécision de leur contour. Le changement dans la composition des dépôts de surface à l'échelle du territoire d'étude ne semble donc pas avoir une influence significative sur la durée du cycle.

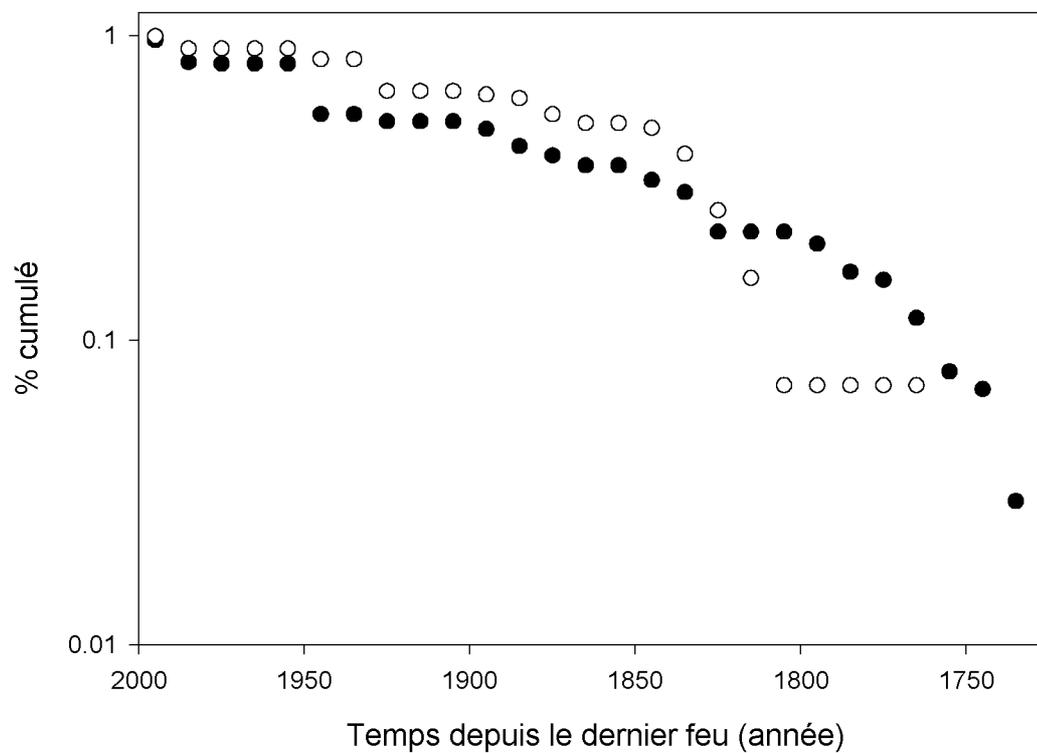


Figure 3.4. Superficie cumulative brûlée pour le sous-domaine de végétation epn-m-o ○ et sab-bop-o ● sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec.

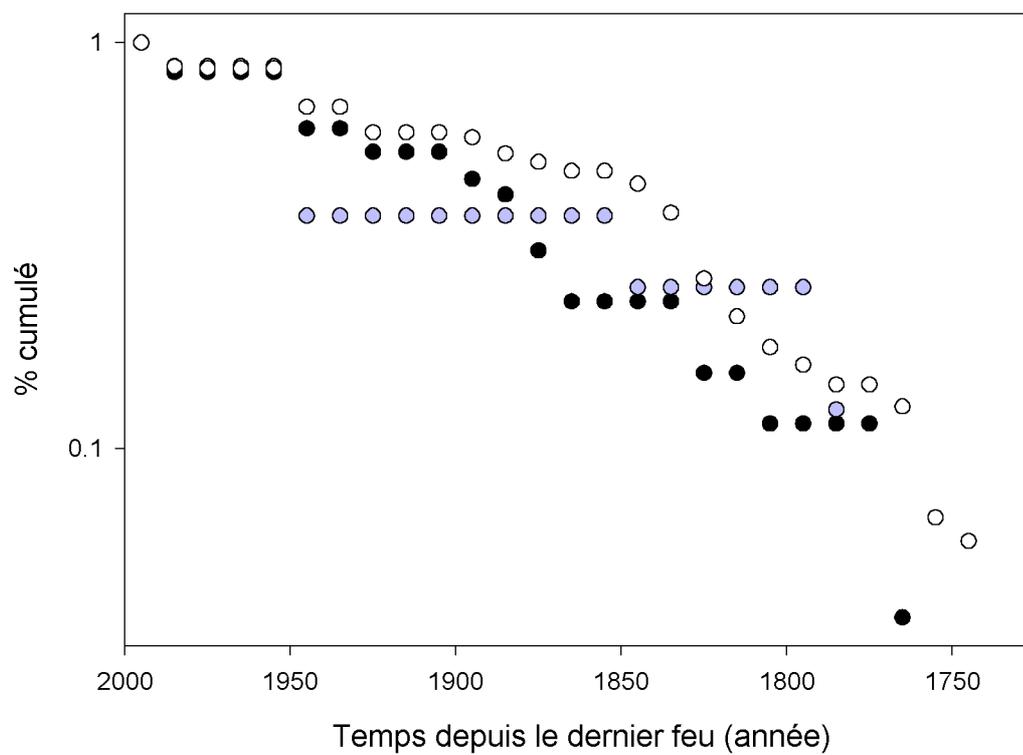


Figure 3.5. Superficie cumulative brûlée pour les dépôts fluvio-glaciaires ● glaciaires ○ et rocheux ● sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec.

3.2.7. Changement temporel

Comme les contraintes spatiales (bloc d'exploitation, sous-domaine de végétation et dépôt de surface) ne semblent pas être les facteurs pouvant expliquer le changement de distribution observé, nous avons envisagé qu'un changement de cycle était survenu au cours de la période étudiée. Les réchauffements climatiques enregistrés depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (~1850) ont souvent été rapportés comme des événements ayant déclenché des changements dans la durée des cycles de feu naturel (Weir et al. 1999; Larsen 1997; Bergeron 1991; Johnson, Fryer & Heathcott 1990). La distribution a donc été scindée en deux nouvelles séries à partir de cette décennie (avant 1850 et après 1850) dans le but 1) d'obtenir deux distributions homogènes (figure 3.6.) et 2) vérifier si cet événement a également eu un impact significatif dans cette région de la forêt boréale.

Les résultats de l'analyse de survie sont concluants (tableau 3.3.), indiquant une différence significative entre les deux périodes. De plus, le cycle des feux pour les deux périodes s'ajuste à une exponentielle négative, suggérant un risque constant de brûler pour chacune des périodes. Le cycle des feux est plus court pour la période précédant la fin du Petit Âge Glaciaire et est évalué à 82 ans (61-111 ans, 95% IC). Par la suite, le cycle des feux s'allonge et est estimé à 176 ans (143-216 ans, 95% IC).

Comme mentionnée précédemment, la distribution cumulée semble également changer de pente à partir de la décennie de 1940 ce qui suggère qu'il y ait également eu un changement de cycle à partir de cette décennie. Bien que les données de la distribution cumulée ne permettent pas de vérifier cette hypothèse, le cycle pour cette très courte période de temps a toutefois été évalué à partir des superficies de la carte des feux. Celui-ci est évalué à 376 ± 80 ans.

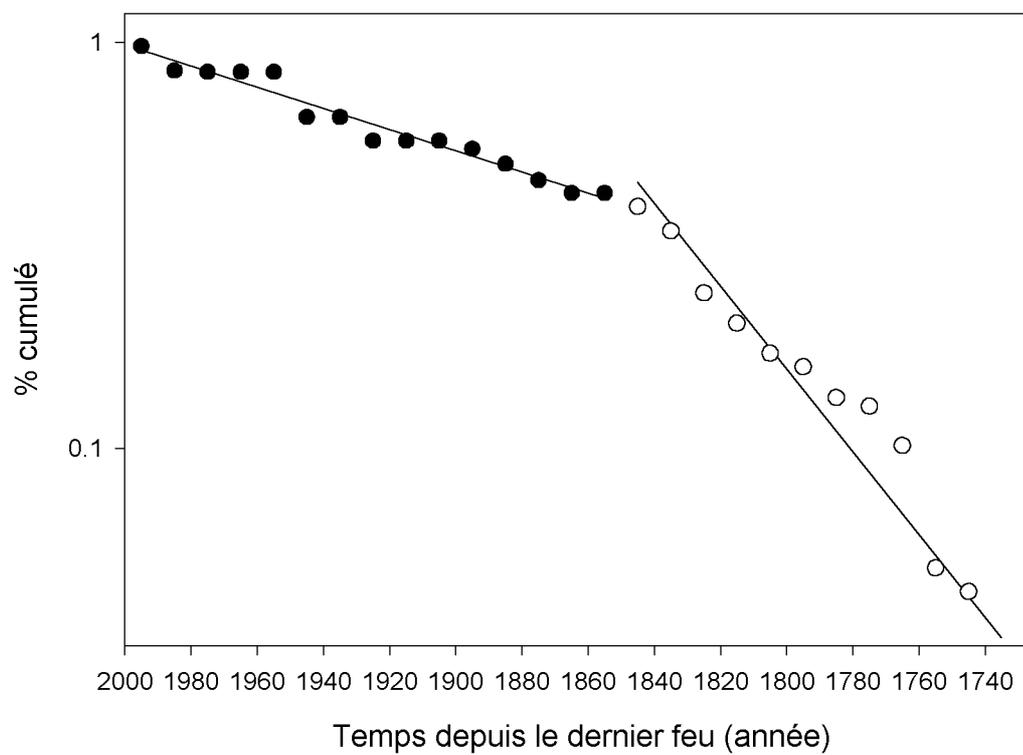


Figure 3.6. Superficie cumulative brûlée avant ○ et après ● le Petit Âge Glaciaire (~1850) sur le territoire privé de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec.

3.3. Reconstitution de l'Indice Forêt Météo (IFM)

Le danger d'incendie moyen par année et le danger d'incendie maximal (5% de la saison de feu) atteint par année décroissent significativement pour la période de 1915 à 1981 (figure 3.7.). Les baisses de l'indice maximal sont telles qu'il change de catégorie d'indice, passant de très haut à haut. Dans le cas de l'indice moyen, la décroissance ne résulte pas en un changement de classe de danger. La figure 3.8. indique les tendances des différentes classes de Danger d'incendie pour la même période. Il y a eu croissance de la fréquence de jours avec un indice faible et modéré par année alors qu'il y a eu une décroissance pour les indices haut à extrême. Les relations sont toutes très fortes et significatives sauf pour la classe extrême. Il y a eu seulement 6 années (1919-1920-1921-1922-1932 et 1941) avec des indices de danger extrême mais celles-ci correspondent avec les périodes où il y a eu les plus grands feux (1923 et 1941) sur le territoire. Suite à 1941, aucune journée avec un indice de danger extrême n'a été enregistrée. C'est aussi à partir de cette décennie que l'on peut noter une diminution prononcée des superficies brûlées (aplatissement prononcé de la pente de la distribution cumulée) accentuant davantage la durée du cycle pour la période suivant la fin du *Petit Âge Glaciaire*.

Les résultats de la régression logistique démontrent qu'il existe une relation entre les années où il y a eu de grands feux (>100 ha) et la fréquence de jours par année avec un indice de danger d'incendie très haut et modéré. Cette relation est donnée par l'équation suivante :

$$\text{Log (prob. grand feu/prob. petit feu)} = \text{IFM très haut} * 0,1987 - \text{IFM modéré} * 0,1045$$

Les probabilités de se retrouver dans une année de grands feux augmentent lorsque la fréquence de jours avec un indice très haut par année augmente et lorsque la fréquence de jours avec un indice modéré diminue.

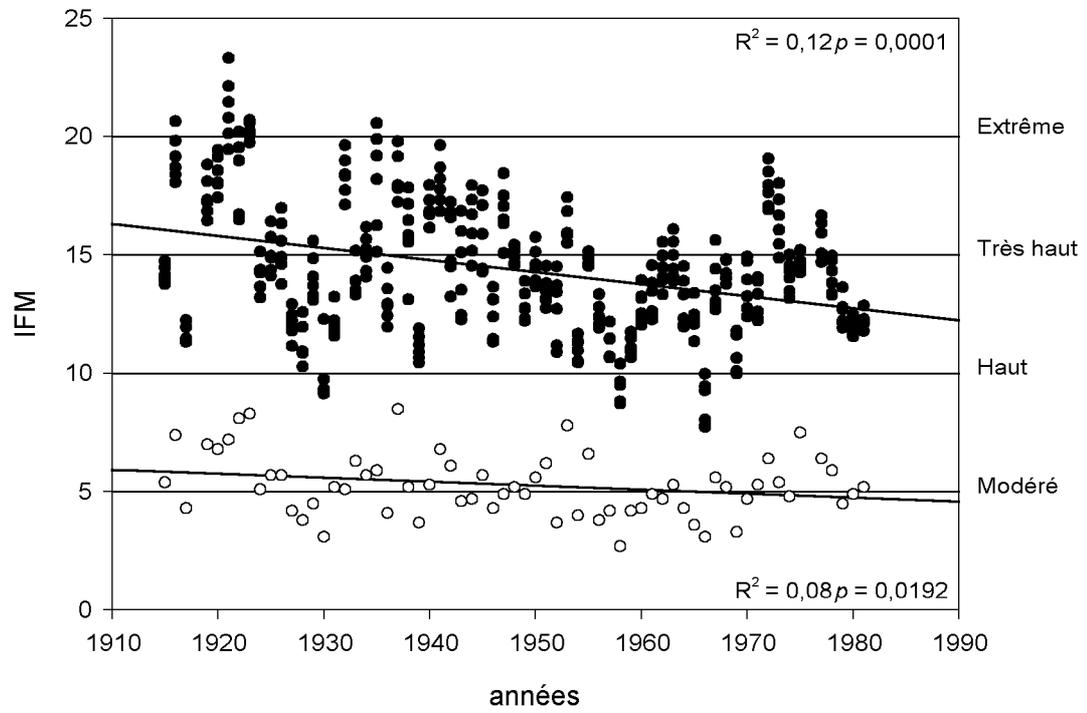


Figure 3.7. Valeur moyenne \circ et maximale \bullet de l'IFM pour la station météorologique du Barrage Gouin, Québec (1914-1981).

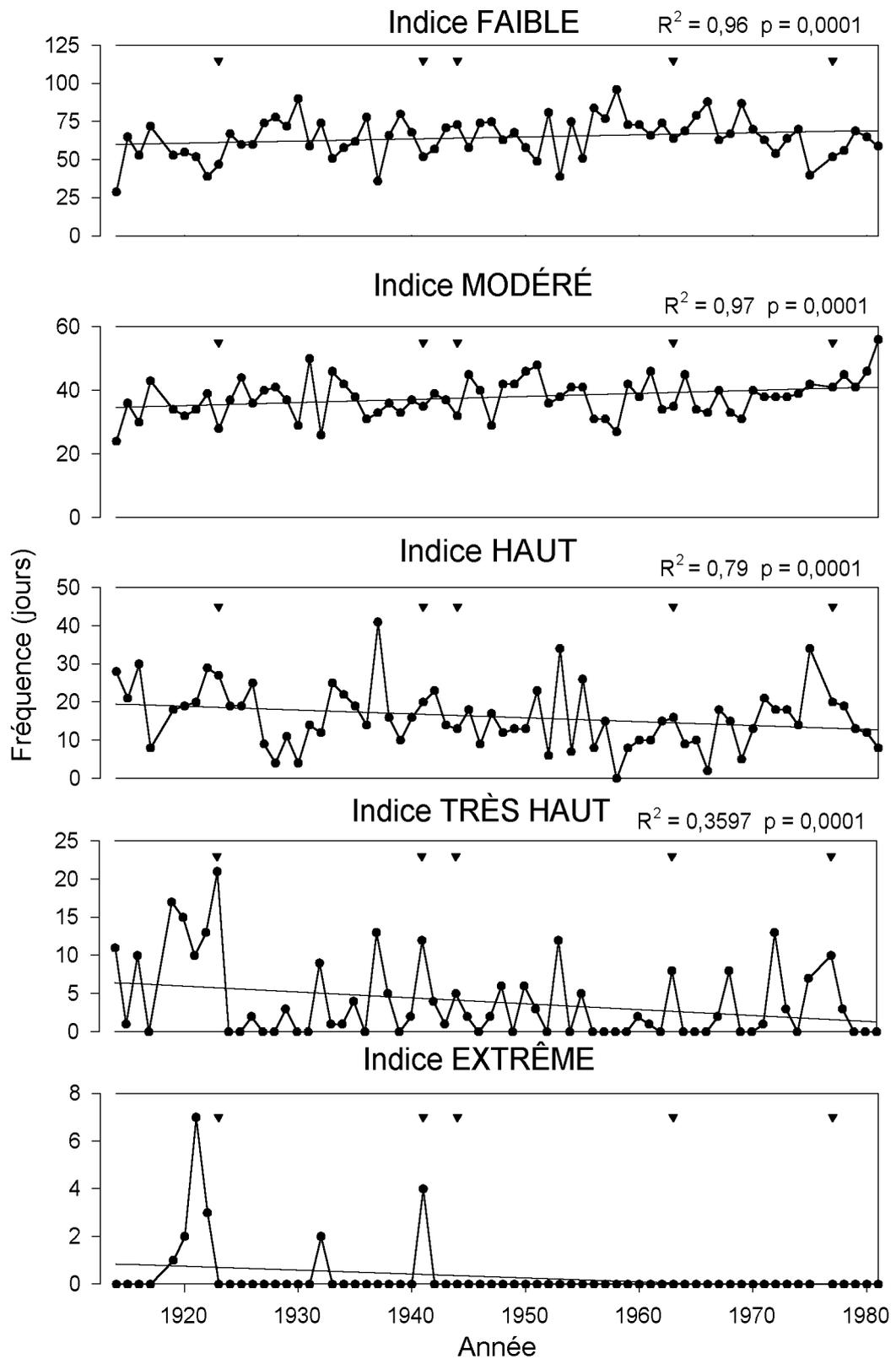


Figure 3.8. Fréquence de jours par année et par classe de danger d'incendie pour la station météorologique du Barrage Gouin, Québec (1914-1981). Les années de grand feu (>100 ha) sont représentées par une flèche.

3.4. Dynamique et transition forestière

Une première ordination (CA) a été réalisée avec toutes les placettes (figure 3.9.). La distribution des placettes le long du premier axe de l'ordination est plus fortement corrélée avec la date de feu alors que le deuxième axe est plus fortement corrélé au groupement de dépôt (tableau 3.4.). Toutes les variables environnementales sont significatives dans le modèle sauf la variable « bloc d'exploitation ». Les résultats de cette analyse permettent donc de conclure que les dépôts de surface jouent un rôle significatif sur la végétation. Une seconde ordination a été effectuée en séparant les placettes par grand type de dépôt de surface afin de contrôler pour cette variable et de mieux mettre en évidence les changements selon le TDF.

Tableau 3.4. Corrélations des variables environnementales et descriptives avec les deux premiers axes de l'ordination (test de permutation de Monte-Carlo); TDF = Temps depuis le dernier feu; S-d = Sous-domaine; Nb = nombre.

Variables	Axe 1	Axe 2	λ	P	F
TDF	-0,2567	-0,3131	0,16	0,001	15,24
Gr. dépôt surface (fluv-glac)	0,0693	-0,3674	0,04	0,001	5,57
S-d végétation (epn-sab)	-0,2207	-0,1433	0,10	0,001	11,47
Bloc (nord-sud)	0,2138	-0,1997	0,00	0,371	1,06
Nb. Tiges/placette	-0,2553	0,2489	0,12	0,001	12,82
Surface terrière totale	0,0817	-0,0405	0,20	0,001	21,85

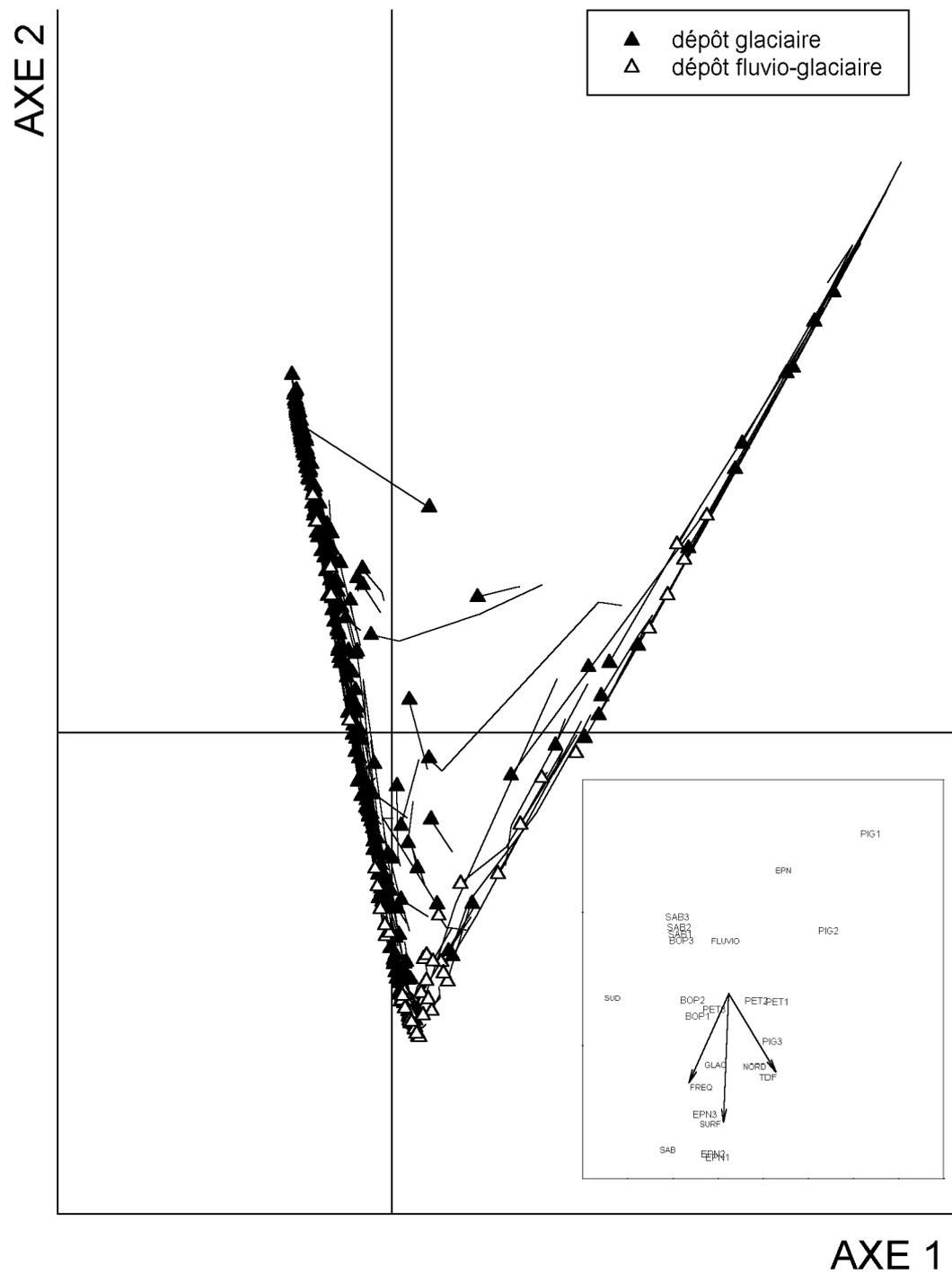


Figure 3.9. Ordination de toutes les placettes sur le territoire de Cartons St.-Laurent dans la région du Réservoir Gouin, Québec.

3.4.1. Ordination sur dépôt fluvio-glaciaire.

Il semble exister très peu de diversité en terme d'espèce et de dynamique forestière sur les dépôts fluvio-glaciaires puisque les placettes sont toutes dominées par les essences résineuses. La disposition des espèces-classes et des placettes semble être fortement liée à l'orientation du vecteur TDF (figure 3.10.). On retrouve donc les essences de début de succession (pin gris et peuplier) dans la partie droite de l'ordination et les espèces de succession avancée dans la partie gauche de l'ordination (sapin, épinette blanche et noire, bouleau blanc). L'orientation des vecteurs FREQ et SURF (nombre de tiges et surface terrière) suggère que la densité des peuplements (tiges marchandes) augmente en fonction du temps depuis le dernier feu.

Plus de la moitié des placettes étaient dominées par l'épinette noire (Ee) au premier inventaire alors qu'aucune placette n'était dominée par les groupements avec une proportion importante de feuillus (Fi ou FiRt) (tableau 3.5.). Les temps moyens depuis le dernier feu au premier et dernier inventaire sont significativement plus court seulement entre les placettes dominées par le pin gris et l'épinette noire (tableau 3.6.). Il y a eu seulement 8% de transition sur les dépôts fluvio-glaciaires et c'est seulement pour les placettes dont le premier inventaire était dominé par le pin gris (Pg) qu'il y a eu des transitions au cours de la période de suivi.

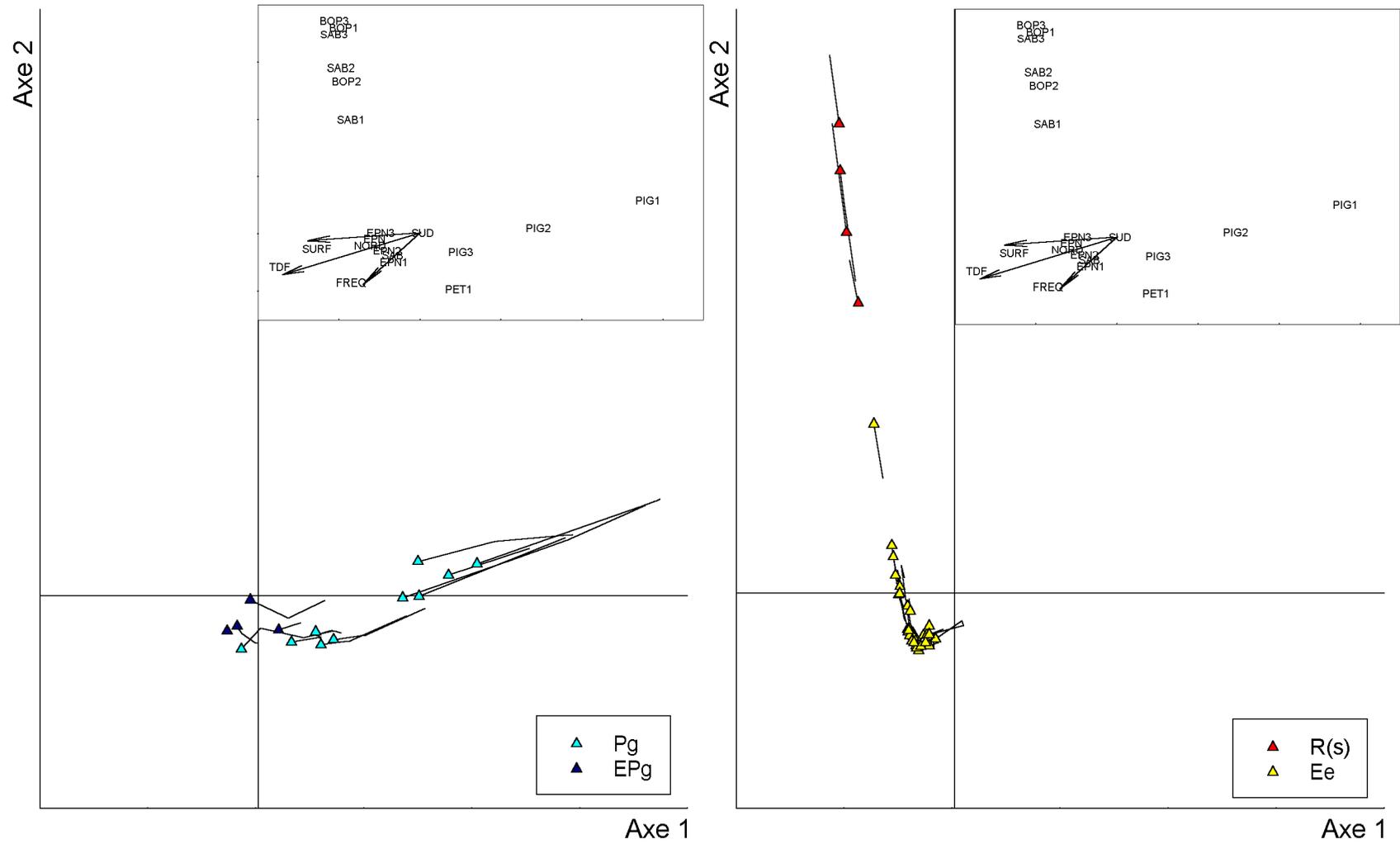


Figure 3.10. Ordination des placettes sur dépôt fluvioglacière.

Tableau 3.5. Fréquences absolues (**gras**) et relatives (*italique*) des transitions réelles et modélisées pour les placettes sur les dépôts fluvio-glaciaires.

		Groupement au dernier inventaire							
		Fi	FiRt	Pg	EPg	Ee	R(s)	Non-fo.	Total
Groupement au premier inventaire	Fi	-	-	-	-	-	-	-	-
	FiRt	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pg	-	-	4 40	6 60	-	-	-	10 20
	EPg	-	-	-	4 100	-	-	-	4 8
	Ee	-	-	-	-	32 100	-	-	32 64
	R(s)	-	-	-	-	-	4 100	-	4 8
	Total	-	-	4 8	10 20	32 64	4 8	-	50 100
		Groupement modélisé							
Groupement au premier inventaire	Fi	-	-	-	-	-	-	-	-
	FiRt	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pg	-	-	3 30	6 60	1 10	-	-	10 20
	EPg	-	-	-	-	3 75	-	1 25	4 8
	Ee	-	-	-	-	28 88	4 12	-	32 64
	R(s)	-	-	-	-	-	4 100	-	4 8
Total	-	-	3 6	6 12	32 64	8 16	1 2	50 100	

Tableau 3.6. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au premier et dernier inventaire entre les différents groupements pour les placettes sur dépôt fluvio-glaciaire et glaciaire; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis Feu au premier inventaire; TDF-2 = Temps depuis le dernier feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type. Voir annexe 3 pour les détails des analyses.

Dépôt	groupement	n	TDF-1	e-t	TDF-2	e-t
Fluvio-glaciaire	Ee	32	103 a	5	121 a	6
	R(s)	4	93 ab	11	103 ab	11
	EPg	4	86 ab	26	103 ab	22
	Pg	10	55 bc	12	80 bc	15
Glaciaire	Ee	88	108 a	4	128 a	4
	R(s)	111	91 b	3	108 b	3
	FiRt	52	88 bc	6	104 bc	6
	EPg	8	75 abcd	13	92 abcd	14
	Fi	22	63 cd	6	78 cd	6
	Pg	13	40 d	4	58 d	4

Ainsi, 60% des placettes dominées par le pin gris au premier inventaire ont changé de groupement, allant toutes vers des groupements dominés ou co-dominés par l'épinette noire (Ee ou EPg). Le temps moyen depuis le dernier feu au premier inventaire est significativement plus long pour les placettes où il y a eu transition comparativement aux placettes où il n'y a pas eu transition (tableau 3.7.). Toutefois, même si 40% des placettes n'ont pas changé de groupement, toutes les placettes ont eu une augmentation de la proportion en épinette noire. D'ailleurs, le taux d'accroissement annuel moyen en épinette noire n'est pas significativement différent qu'il y ait eu transition ou non (tableau 3.7.). En aucun cas, le sapin (>9 cm dhp) n'a été retrouvé dans les placettes dominées par le pin gris au premier inventaire. Les vecteurs de ces placettes sont longs et linéaires et s'orientent tous dans la direction de l'épinette noire (figure 3.10.), suggérant un remplacement du pin gris par l'épinette noire, donc possiblement un remplacement des groupements Pg par EPg ou Ee. De

plus, les vecteurs s'orientent dans le même axe que le TDF ce qui démontre que ces peuplements sont recrutés tôt suivant un feu et qu'ils seront remplacés en absence de perturbations par le feu.

Tableau 3.7. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au premier et dernier inventaire et de l'accroissement annuel moyen en épinette noire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt fluvio-glaciaire; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; TDF-2 = temps depuis le dernier feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type; AAM-P = Accroissement annuel moyen *Picea mariana*. Voir annexe 3 pour les détails des analyses.

	n	TDF-1	e-t	TDF-2	e-t	AAM-P	e-t
Transition	6	70 a	16	97 a	7	0,146 a	0,056
Pas transition	4	34 b	2	55 a	22	0,085 a	0,034

La situation est sensiblement la même pour les placettes co-dominées par le pin gris et l'épinette noire, soit une augmentation dans toutes les placettes de la proportion de l'épinette noire. L'accroissement de la proportion de l'épinette noire n'est cependant pas assez important pour permettre un changement de groupement. Les vecteurs sont longs et linéaires et se dirigent tous vers l'épinette noire (figure 3.10.). Bien que le temps moyen depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire ne soit pas significativement différent des autres groupements (tableau 3.6.), la disposition des placettes EPg le long du vecteur TDF suggère que ces peuplements succèdent au groupement Pg et qu'ils seront possiblement remplacés par le groupement Ee. Comme pour les placettes dominées par le pin gris, le sapin (>9 cm dhp) est absent.

Même s'il n'y a pas eu transition, la structure des placettes dominées par l'épinette noire au premier inventaire a tout de même évoluée; 56% ont eu une augmentation du nombre de tiges, 38% une diminution et 6% sont demeurées stables (tableau 3.8.). Dans tous les cas, les temps moyens depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire ne sont pas significativement différents (tableau 3.8.). Pour les placettes dont la surface terrière totale a augmenté (66% des cas), le temps moyen depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire n'est pas significativement différent des placettes où la surface terrière totale a diminué (tableau 3.8.). Les vecteurs des placettes dominées par l'épinette noire sont plutôt courts et circulaire et se concentrent dans la partie inférieure de l'ordination ce qui indique que ces peuplements tendent à se maintenir (figure 3.10.). Toutefois, certains vecteurs pointent dans la direction du sapin ce qui suggère un recrutement de ce dernier. En dernier lieu, la disposition des placettes le long du vecteur TDF suggère que ce groupement devrait, dans certains cas et en absence de perturbation, succéder à Pg et EPg.

En dernier lieu, même s'il n'y a pas eu transition pour les placettes dominées par le sapin au premier inventaire, ils ont tous eu une augmentation du nombre de tiges et de la surface terrière totale. Le temps moyen depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire n'est pas significativement différent des autres types de peuplements (tableau 3.6.). Les vecteurs sont plutôt courts et se concentrent tous dans la partie supérieure gauche de l'ordination (figure 3.10.).

Tableau 3.8. Comparaisons multiples de l'effet du changement du nombre de tiges et de la surface terrière totale en fonction temps depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire pour les placettes dominées par l'épinette noire n'ayant pas fait transition sur dépôt fluvio-glaciaire; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type. Voir annexe 3 pour les détails des analyses.

	n	TDF-1	e-t	TDF-2	e-t
Fréquence (tiges)					
Diminution	12	116 a	8	138 a	32
Stable	2	109 a	32	119 a	8
Augmentation	18	93 a	6	110 a	7
Suf. Terrière (m ² /ha)					
Diminution	11	116 a	8	137 a	9
Augmentation	21	96 a	6	112 a	6

3.4.2. Transitions modélisées sur dépôt fluvio-glaciaire.

Après avoir simulé la croissance des espèces sur une période supplémentaire de 30 ans à partir du dernier inventaire, le nombre de placettes ayant subi une transition a augmenté de 18% (tableau 3.5.). Toutefois, ce sont les placettes co-dominées par l'épinette noire et le pin gris qui ont eu la plus grande augmentation du taux de transition suivi des placettes dominées par l'épinette noire et des placettes dominées par le pin gris. Dans le premier cas, les placettes ont fait principalement transition vers l'épinette noire (75%) alors que dans le deuxième cas, il y a eu transition vers le groupement dominé par le sapin. Quant aux placettes dominées par le pin gris, le prolongement virtuel de la période de suivi a permis d'accroître la proportion d'épinette noire dans la placette (EPg) et a permis à une placette de faire transition vers le groupement dominé par l'épinette noire.

3.4.3. Ordination sur dépôt glaciaire.

Contrairement aux dépôts fluvio-glaciaires, la composition des peuplements sur dépôts glaciaires est beaucoup plus diversifiée. Cependant, et de façon similaire au dépôt fluvio-glaciaire, la dynamique forestière semble très peu diversifiée, du moins, pour la période suivie. La disposition des espèces-classes et des placettes semble être également liée à l'orientation du vecteur TDF (figure 3.11.). Ainsi, et comme sur les dépôts fluvio-glaciaires, l'importance du pin gris diminue fortement en fonction du temps depuis le dernier feu tout comme pour le peuplier. L'orientation des vecteurs *FREQ* et *SURF* (nombre de tiges et surface terrière totale) suggère également une augmentation de la densité des peuplements (tiges marchandes) en fonction du temps depuis le dernier feu.

Au premier inventaire, environ le quart des placettes étaient dominées par des groupements avec une grande importance de feuillus intolérants (*Fi* et *FiRt*), moins de 10% par les groupements dominé ou co-dominé par le pin gris (*Pg* et *EPg*), 30% par les groupements dominés par l'épinette noire et en dernier lieu, plus du tiers par les groupements à tendance résineuse dominés ou co-dominé par le sapin *R(s)* (tableau 3.9.). Les temps moyens depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire suivent l'ordre de remplacement des peuplements proposé dans plusieurs études (Gauthier et al. 1996; Bergeron & Dubuc 1989; Heinseleman 1981) (tableau 3.6.).

Dans les placettes dominées par les feuillus intolérants, 82% étaient dominées par le bouleau blanc et 18% par le peuplier faux-tremble. Dans le premier cas, il y a eu transition pour 55% des placettes. Les temps moyens depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire ne sont pas significativement différents lorsqu'il y a eu transition que lorsqu'il n'y a pas eu transition (tableau 3.10.). Des placettes qui ont

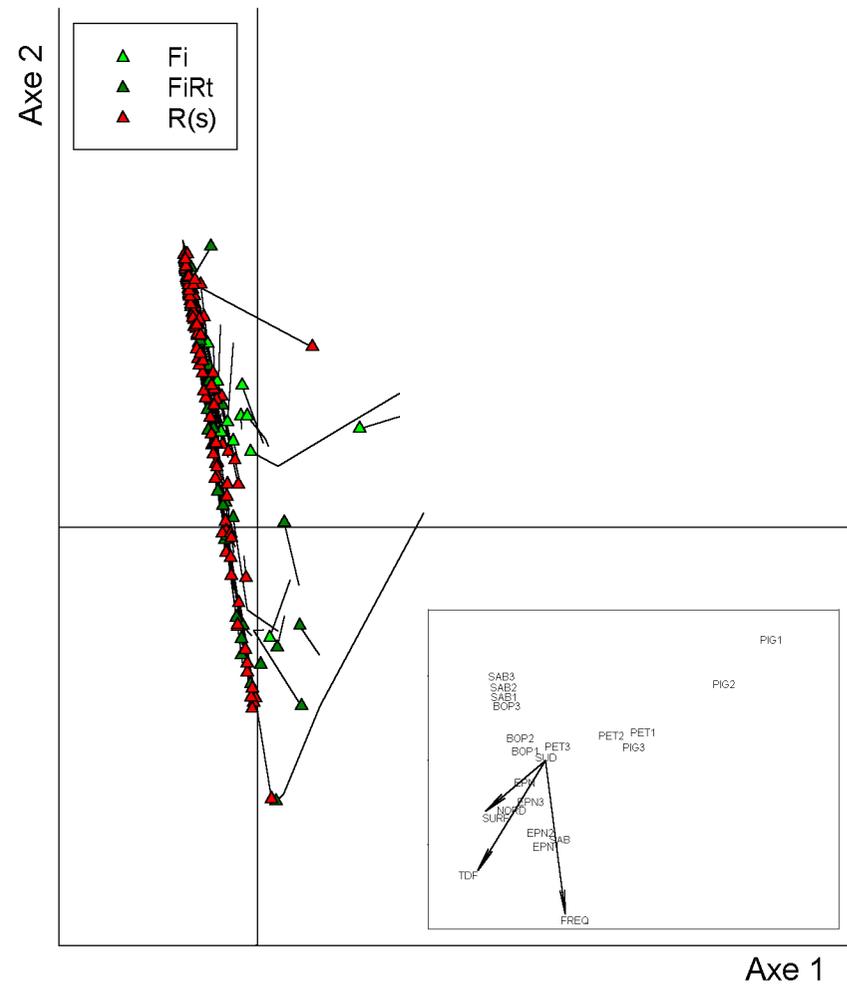
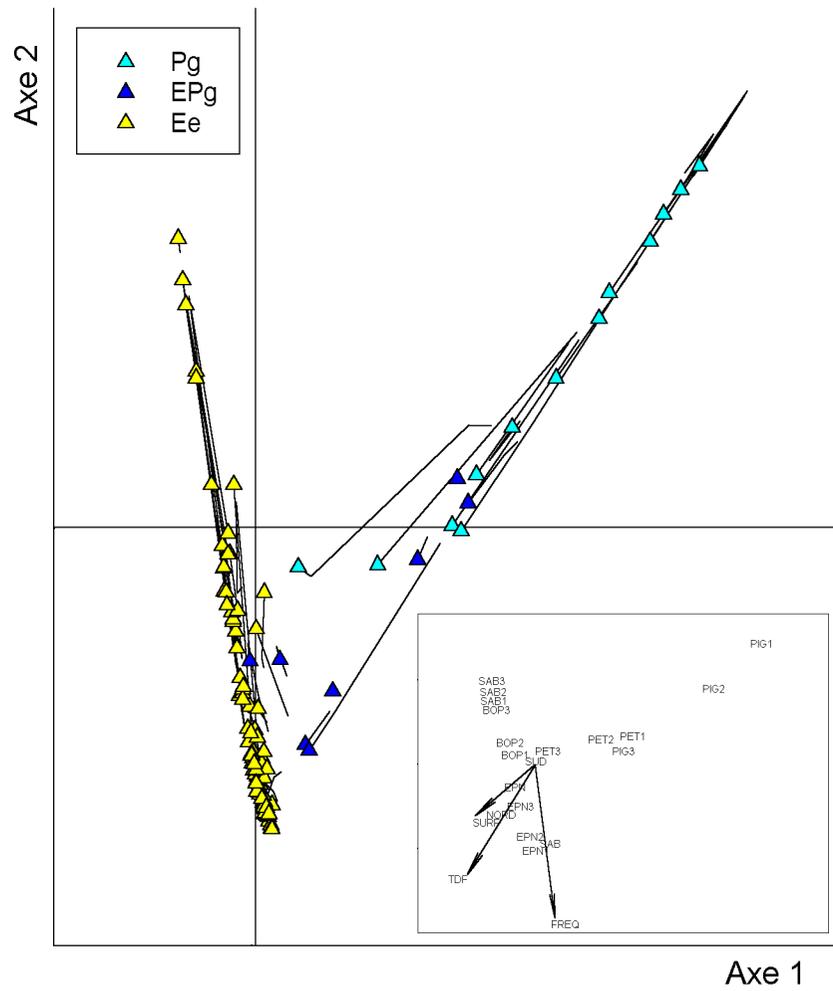


Figure 3.11. Ordination sur dépôt glaciaire

fait transition, 60% ont fait transition vers les feuillus intolérants à tendance résineuse, 30% vers les résineux à sapin et seulement une placette a fait transition vers le groupement dominé par l'épinette noire. Les vecteurs sont courts et se dirigent tous sauf un vers le sapin. Dans le deuxième cas, aucune placette n'a fait transition sauf que la moitié des placettes sont dominées par le bouleau blanc au dernier inventaire. Les vecteurs sont longs et ils se dirigent vers le bouleau.

Tableau 3.9. Fréquence absolue (**gras**) et relative (*italique*) des transitions réelles et modélisées pour les placettes sur les dépôts glaciaires.

		Groupement au dernier inventaire								
		Fi	FiRt	Pg	EPg	Ee	R(s)	Non-fo	Total	
Groupement au premier inventaire	Fi	12 <i>55</i>	6 <i>27</i>	-	-	1 <i>5</i>	3 <i>13</i>	-	22 <i>7</i>	
	FiRt	4 <i>8</i>	28 <i>54</i>	-	-	5 <i>9</i>	15 <i>29</i>	-	52 <i>18</i>	
	Pg	1 <i>8</i>	-	10 <i>77</i>	2 <i>15</i>	-	-	-	13 <i>4</i>	
	EPg	1 <i>12</i>	-	-	3 <i>38</i>	3 <i>38</i>	1 <i>12</i>	-	8 <i>3</i>	
	Ee	2 <i>2</i>	2 <i>2</i>	-	1 <i>1</i>	72 <i>82</i>	11 <i>13</i>	-	88 <i>30</i>	
	R(s)	6 <i>5</i>	7 <i>7</i>	-	-	9 <i>8</i>	89 <i>80</i>	-	111 <i>38</i>	
	Total	26 <i>9</i>	43 <i>15</i>	10 <i>3</i>	6 <i>2</i>	90 <i>31</i>	119 <i>40</i>	-	294 <i>100</i>	
		Groupement modélisé								
Groupement au premier inventaire	Fi	9 <i>41</i>	2 <i>9</i>	-	-	2 <i>9</i>	9 <i>41</i>	-	22 <i>7</i>	
	FiRt	8 <i>15</i>	13 <i>25</i>	-	-	8 <i>15</i>	21 <i>41</i>	2 <i>4</i>	52 <i>18</i>	
	Pg	-	1 <i>8</i>	6 <i>46</i>	6 <i>46</i>	-	-	-	13 <i>4</i>	
	EPg	-	-	-	2 <i>25</i>	3 <i>38</i>	1 <i>12</i>	2 <i>25</i>	8 <i>3</i>	
	Ee	4 <i>5</i>	2 <i>2</i>	1 <i>1</i>	-	60 <i>68</i>	15 <i>17</i>	6	88 <i>30</i>	
	R(s)	12 <i>11</i>	7 <i>6</i>	-	-	19 <i>17</i>	62 <i>56</i>	11 <i>10</i>	111 <i>38</i>	
	Total	33 <i>11</i>	25 <i>9</i>	7 <i>2</i>	8 <i>3</i>	92 <i>31</i>	108 <i>37</i>	21 <i>7</i>	294 <i>100</i>	

Tableau 3.10. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents succès de transition pour les différents groupements sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type. Voir annexe 3 pour les détails des analyses.

Groupement 1 ^{er} inventaire		n	TDF-1	e-t	TDF-2	e-t		
Fi (bouleau blanc seulement)	Pas transition	8	63	a	10	76	a	11
	Transition vers FiRt	6	70	a	12	83	a	12
	Transition vers R(s)	3	88	a	10	109	a	18
FiRt	Pas transition	28	85	a	7	98	a	7
	Transition vers Fi	4	69	a	11	92	a	12
	Transition vers Ee	5	61	a	18	80	a	15
	Transition vers R(s)	15	107	a	11	127	a	12
Pg	Pas transition	10	39	a	5	54	a	4
	Transition	3	39	a	2	70	b	4
EPg	Pas transition	3	59	a	21	78	a	21
	Transition	5	84	a	17	101	a	20
Ee	Pas transition	72	105	a	5	125	a	5
	Transition vers Fi	4	104	a	10	128	a	17
	Transition vers R(s)	11	128	a	14	149	a	16
R(s)	Pas transition	89	90	a	4	105	a	4
	Transition vers Fi	6	80	a	12	97	a	12
	Transition vers FiRt	7	112	a	7	140	a	6
	Transition vers Ee	9	100	a	4	115	a	6

Moins de la moitié des placettes (46%) dans le groupement FiRt au premier inventaire ont changé de groupement pendant la période de suivi. Vingt-neuf pourcent ont fait transition vers les groupements dominés par le sapin, 9% ont fait transition vers les groupements dominés par l'épinette noire et 8% vers les groupements dominés par les feuillus (tableau 3.9.). Bien que le temps moyen depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire soit supérieur pour les placettes ayant fait transition vers le sapin, il n'est pas significativement différent des autres voies de transition (tableau 3.10.). Parmi les placettes n'ayant pas fait transition, 71% ont quand même eu un accroissement de surface terrière en résineux (épinette et/ou sapin). Les vecteurs sont courts pour les placettes où il n'y a pas eu de changement de groupement et pour les placettes dont le changement est dominé soit par un recrutement en sapin, en épinette blanche ou en feuillus. Les vecteurs sont longs pour les placettes dont le changement est dominé par un recrutement en épinette noire.

Seulement 23% des placettes dominées par le pin gris au premier inventaire ont eu un changement de groupement. Celles-ci ont toutes fait transition vers les groupements dominés ou co-dominés par l'épinette noire sauf une, qui a fait transition vers les feuillus intolérants. Cependant, toutes les placettes sauf deux ont eu une augmentation de la proportion en épinette noire et aucune placette ne contenait de sapin (>9 cm dhp). Le taux d'accroissement annuel moyen en épinette noire a été sensiblement le même dans les deux cas (transition = 1,11 m²/ha et sans transition = 1,35 m²/ha) (tableau 3.11.). Le temps moyen depuis le dernier feu au premier inventaire n'est pas significativement différent alors qu'au dernier inventaire, il est significativement plus long pour les placettes ayant fait transition (tableau 3.10.). Comme sur les dépôts fluvio-glaciaires, les vecteurs sont longs et linéaires et se dirigent tous vers l'épinette noire (figure 3.11.), suggérant encore une fois, un remplacement du pin gris par l'épinette noire donc possiblement un remplacement des groupements Pg par EPg ou Ee.

Tableau 3.11. Comparaisons multiples du taux d'accroissement annuel moyen (m^2/ha) en épinette noire entre le succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt glaciaire; n = nombre de la population; AAM = Accroissement Annuel Moyen; e-t = erreur-type. Voir annexe 3 pour les détails des analyses.

	n	AAM <i>Picea mariana</i>	e-t
Transition	3	1,11 a	0,058
Pas transition	10	1,35 a	0,038

Dans les placettes co-dominées par le pin gris et l'épinette noire, il y a eu transition dans 62% des cas mais le temps moyen depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire n'est pas significativement différent qu'il y ait eu transition ou non (tableau 3.10.). Pour les placettes où il y a eu transition, seulement une a fait transition vers les feuillus et une vers les résineux à sapin. Toutes les autres placettes ont fait transition vers l'épinette noire. Les vecteurs se dirigent vers le bouleau et le sapin dans les deux premiers cas alors qu'ils se dirigent tous vers l'épinette noire dans les autres cas.

Pour les peuplements dominés par l'épinette noire, très peu de changements se sont produits pendant la période de suivi. Quatre-vingt-deux pourcent des placettes n'ont pas subi de transition, 13% ont fait transition vers les groupements dominés par le sapin, 2% ont fait transition vers les groupements dominés par les feuillus intolérants, 2% vers les feuillus intolérants à tendance résineuse et 1% vers le groupement co-dominé par l'épinette noire et le pin gris (tableau 3.9.). Étant donné leur faible nombre, les trois dernières transitions ont été regroupées pour déterminer le temps moyen depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire. Les temps moyens depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire ne sont pas

significativement différents (tableau 3.10.). Parmi les placettes étant demeurées dans le groupement dominé par l'épinette noire (pas de transition en terme de composition), 36% ont eu une augmentation du nombre de tiges, 58% une diminution et 6% sont demeurées stables. Le temps moyen depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire pour les placettes où il y a eu augmentation du nombre de tiges n'est pas significativement différent des placettes où il y a eu une diminution du nombre de tiges ou des placettes qui n'ont pas subi de changements (tableau 3.12.). Similairement, le temps moyen depuis le dernier feu au premier inventaire n'est pas significativement différent pour les placettes dont la surface terrière totale s'est accrue que pour les placettes dont la surface terrière totale a décru (tableau 3.12.). La plupart des vecteurs sont courts et se concentrent dans le bas de l'ordination (vers l'épinette noire) (figure 3.11.) alors qu'une partie des vecteurs sont longs et pointent dans la direction du sapin. En dépit du caractère stable des pessières noires (très peu de transitions), l'ordination suggère le remplacement de l'épinette noire par le sapin à long terme.

Tableau 3.12. Comparaisons multiples de l'effet du changement du nombre de tiges et de la surface terrière totale en fonction du temps depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire pour les placettes dominées par l'épinette noire n'ayant pas fait transition sur dépôt glaciaire; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type. Voir annexe 3 pour les détails des analyses.

	n	TDF-1	e-t	TDF-2	e-t
Fréquence (tiges)					
Stable	4	130 a	13	136 a	12
Augmentation	26	106 a	9	125 a	8
Diminution	42	103 a	6	125 a	6
Suf. Terrière (m ² /ha)					
Diminution	31	107 a	6	132 a	7
Augmentation	41	104 a	7	121 a	6

Dans les placettes dominées ou co-dominées par le sapin, 80% n'ont pas subi de transition, 8% ont fait transition vers des groupements ayant une plus grande importance d'épinette noire et 12% ont fait transition vers des groupements dominés ou co-dominés par des feuillus (tableau 3.9.). Les temps moyens depuis le dernier feu au premier et au dernier inventaire ne sont pas significativement différents (tableau 3.10.). Les vecteurs sont concentrés dans la gauche de l'ordination (vers le sapin)(figure 3.11.) bien que plusieurs vecteurs pointent dans la direction de l'épinette noire et du bouleau blanc. Le seul vecteur pointant dans la direction du peuplier est une placette avec un taux de mortalité très élevé pour le sapin.

3.4.4. Transition modélisée sur dépôt glaciaire.

Sur dépôt glaciaire, le pourcentage de transition après une période supplémentaire de 30 ans simulée à partir du dernier inventaire est de 48% (tableau 3.9.). Le pourcentage de transition a augmenté pour tous les types de groupements.

Ainsi, pour les placettes dominées par les feuillus intolérants au premier inventaire, 59% des placettes ont fait transition. De celles-ci, 70% ont fait transition vers le groupement dominé par le sapin, 15% vers les feuillus intolérants à tendance résineuse et 15% vers le groupement dominé par l'épinette noire. Pour les placettes FiRt au premier inventaire, le taux de transition est de 75%. Des placettes qui ont fait transition, 54% ont fait transition vers le groupement dominé par le sapin, 20% vers le groupement dominé par les feuillus et par l'épinette noire et 6% n'ont plus d'appellation forestière. Pour les placettes dominées par le pin gris au premier inventaire, le taux de transition est de 54%. De façon similaire aux transitions réelles, les transitions simulées se dirigent toutes vers le groupement co-dominé par l'épinette noire et le pin gris sauf pour une placette où le changement s'est dirigé vers les feuillus intolérants à tendance résineuse. Dans les placettes co-dominées par l'épinette noire et le pin gris, le taux de transition est de 75%. Les transitions vont vers le groupement dominé par l'épinette noire (50%) et le sapin (17%) sauf pour deux placettes où il y a eu perte d'attribution de groupement (non-forestier). Pour les placettes dominées par l'épinette noire, le taux de transition est de seulement 32%. De ces dernières 53% ont fait transition vers le sapin, 21% ont fait transition vers des groupements avec une plus grande importance de feuillus (Fi ou FiRt), six placettes ont perdu leur appellation (non-forestier) et une seule placette a fait transition vers le groupement dominé par le pin gris. En dernier lieu, il y a eu 44% de transition pour les placettes dominées par le sapin. Trente-neuf pourcent ont fait transition vers les groupements avec une plus grande importance de feuillus (Fi ou FiRt), 39% vers les groupements dominés par l'épinette noire et 11 placettes ont perdu leur appellation (non-forestier).

DISCUSSION

4.1. Changement de la durée du cycle.

Les changements climatiques se poursuivant depuis la fin du *Petit Âge Glaciaire* en regard des feux de forêt ont fait l'objet de plusieurs études (Bergeron 1998; Flannigan et al. 1998; Wotton & Flannigan 1993; Stocks 1993; Flannigan & Van Wagner 1991). Une saison de feu plus longue (Wotton & Flannigan 1993) et une augmentation de la sévérité des feux et des superficies brûlées (Flannigan & Van Wagner 1991, Overpeck et al. 1990) ont souvent été prédites en relation avec une augmentation de la température comme conséquence des changements climatiques.

Pourtant, les résultats de cette étude suggèrent une diminution dans la fréquence des incendies forestiers pendant cette période. L'allongement du cycle coïncidant avec la fin du *Petit Âge Glaciaire* (~1850) est similaire aux résultats obtenus dans la région de l'Abitibi (Lefort 1997, Bergeron 1991) et démontrent que le phénomène n'est pas unique à cette région. Ces résultats sont aussi en accord avec les prédictions quant à une décroissance des feux dans l'Est de la forêt boréale dans le futur (Flannigan et al. 1998). D'autres régions comme la Saskatchewan, l'Alberta et la Suède ont également enregistré un signal similaire ce qui démontre son importance à l'échelle de la planète (Weir et al. 1999; Larsen 1997; Engelmark et al. 1994).

La baisse significative de l'Indice forêt-météo au cours du dernier siècle (1914-1981), en accord avec l'allongement du cycle des feux, suggère également une réponse à un signal climatique. La relation positive qui existe entre la fréquence de jours par année avec un indice très haut et une année de grands feux, quoique faible, suggère aussi une décroissance des années de grands feux dans le futur. Les tendances observées permettent de penser que les conditions ayant prévalu dans le passé ont

conduit à une plus grande fréquence d'années avec de grands feux donc possiblement un cycle plus court, ce qui correspond aux résultats obtenus. Toutefois, comme les données climatiques disponibles ne couvrent pas l'ensemble de la période d'étude, une certaine prudence est de mise.

Malgré la suppression active, ces résultats semblent indiquer que les conditions climatiques semblent être de moins en moins propices aux incendies forestiers dans cette région et qu'elles sont l'élément clé dans la diminution de la fréquence des feux (Bergeron & Archambault 1993). D'autant plus, la lutte contre les incendies n'est vraiment efficace au Québec que depuis 1970 soit bien après que le signal climatique soit amorcé (Bergeron 1991).

Étant donné que les développements d'origine anthropique ne sont pas survenus au cours de la même période et avec la même intensité dans les deux blocs, il était probable que ces différences d'exploitation aient résulté en différents cycles des feux (Weir & Johnson 1998). Toutefois, aucune différence significative n'a été détectée dans le cycle des feux entre les deux blocs (Nord vs. Sud) et ce, indépendamment des limites écologiques. En effet, malgré que le développement anthropique ait initialement débuté dans le bloc sud, favorisant davantage le morcellement de ce bloc et ayant comme conséquence de diminuer la probabilité du territoire de brûler sur de grandes superficies (Turner et Romme 1994), ces facteurs n'ont eu d'influence que pour une très courte période de temps (~1940 à aujourd'hui) ce qui pourrait expliquer l'absence de différence significative dans le cycle entre les deux blocs. Il en est vraisemblablement de même pour le réseau routier qui, plus développé dans le bloc sud, aurait permis une meilleure détection et un accès plus rapide pour combattre les incendies. Ainsi, la différence de temps dans l'origine de l'exploitation forestière entre les deux blocs ne semble pas assez importante sur

l'ensemble de la période couverte par l'étude pour avoir engendré un effet significatif sur le cycle ou tout au moins, l'effet ne semble pas assez important pour permettre sa détection.

Aussi, comme les deux blocs sont contigus, les feux ont plus de chance de se propager entre ceux-ci que dans le cas où ils seraient distancés de plusieurs centaines de kilomètres (voir carte des feux figure 2.1. et 2.2.). La limite territoriale de CSL n'influence donc en rien le comportement des feux. Il est fort possible que ces facteurs aient eu et continuent d'avoir une influence sur le cycle des feux. Cependant, la période d'exploitation du territoire étant relativement courte et jeune par rapport à la période couverte par l'étude, il est envisageable que le signal ne soit pas encore perceptible.

À notre surprise, nous croyions que les distinctions existant dans la composition forestière à l'échelle des sous-domaines de végétation nous aurait permis de découvrir des cycles de feu distincts et ainsi d'expliquer la distribution mixte observée au départ. Toutefois, malgré que le régime des feux entre les sous-domaines de la epn-m-o et la sab-bop-o ne soit pas différent en terme de durée de cycle, il serait plutôt différent en terme d'occurrence et de superficie des feux (Bergeron et al. 1999a).

À une échelle plus fine, Wein & Moore (1979), Agee, Finney & De Gouvenain (1990) et Larsen (1997) ont calculé des cycles différents en fonction de différents groupements d'espèces. Dans le cas de Wein & Moore (1979), les peuplements feuillus et mixtes avaient des cycles plus longs alors que pour Agee, Finney & De Gouvenain (1990), les peuplements dominés par des espèces intolérantes avaient des cycles plus longs.

Contrairement à ces auteurs, l'échelle de comparaison entre les types de végétation dans cette étude est beaucoup plus grande. À l'échelle des peuplements, il est possible qu'il existe une différence de cycle entre ceux-ci. Par exemple, Larsen (1997) a démontré que les peuplements de pin gris brûlaient avec une fréquence plus courte que les peuplements d'épinette noire. Toutefois, cet auteur suppose que les peuplements proviennent tous de la dernière perturbation par le feu et qu'ils n'ont pas été précédés par d'autres types de peuplements. Or, les résultats de la succession forestière de notre étude démontrent qu'il y a un remplacement des espèces dans le temps, par exemple, du pin gris vers l'épinette noire. Il est donc difficile de déterminer si un peuplement n'a pas été préalablement précédé par un autre type de peuplement lorsque le temps depuis le dernier feu est long. La comparaison du cycle des feux au niveau des types de peuplements est alors délicate. Comme les données ne permettaient pas de déterminer si les peuplements étaient constitués des individus et espèces initiales suite à la perturbation par le feu, le cycle des feux n'a pas été évalué en fonction des différents peuplements retrouvés sur le territoire de CSL.

Bien que plusieurs études aient tenté d'établir un lien entre le type de végétation et la durée du cycle (Larsen 1997; Agee, Finney & De Gouvenain 1990; Wein & Moore 1979), aucune étude à ce jour n'a tenté de vérifier directement l'influence des dépôts de surface sur la durée du cycle des feux.

Pour le territoire de CSL, aucune différence de cycle n'a pu être détectée entre les différents types de dépôts. Comme les feux sont très grands dans cette région, le changement de dépôt de surface ne semble pas constitué une barrière à la propagation des incendies. Toutefois, alors que le pin gris est souvent retrouvé sur les dépôts de sable (Rowe & Scotter 1973) et que les sites où il y a du pin gris ont possiblement un cycle plus court (Larsen 1997; Agee, Finney & De Gouvenain 1990), il est possible que les dépôts de sable aient un cycle plus court que les dépôts de tills et de roc.

Cependant, à l'instar des peuplements de pin gris, ils ne sont pas assez importants sur le territoire pour engendrer une différence dans la durée du cycle.

4.2. Comparaison avec d'autres régions.

À l'échelle de la forêt boréale, une grande variabilité dans le cycle des feux existe entre les différentes régions écologiques (voir Cwynar 1970; Heinselman 1973; Wein & Moore 1977, 1979; Bergeron 1991; Larsen 1997; Weir & al. 1999; Bergeron et al. 2000). Bien que les périodes et les méthodes pour calculer le cycle des feux diffèrent d'un auteur à l'autre, il semble évident que les régions sous l'influence d'un climat maritime ont des cycles de feux plus longs que les régions continentales. L'humidité et les précipitations plus élevées apportées par la mer créeraient un climat moins propice aux incendies forestiers dans ces régions. Une situation analogue semble prévaloir entre les versants ouest et est des Rocheuses Canadiennes et Américaines (Hemstrom & Franklin 1982; Barrett et al. 1991) étant donné les précipitations élevées provenant de l'océan Pacifique. Toutefois, Bergeron et al. (2000), Lefort (1997) et Weir et al. (1999) suggèrent que d'autres facteurs, comme les caractéristiques géographiques et le développement anthropique, puissent également avoir une influence importante sur la durée du cycle des feux.

4.3. Considérations méthodologiques

À partir des informations tirées des archives seulement, il était déjà possible d'évaluer le cycle des feux. Indépendamment de la méthode de calcul utilisée, les résultats obtenus étaient semblables (voir tableau 3.2.). Pour le calcul annuel, comme la période de temps couverte par la carte des feux est moins longue que l'estimation de la durée du cycle, la fiabilité de ce calcul du cycle n'est fonction que de la fenêtre de temps pour lequel il est évalué. En effet, si l'on avait évalué le cycle à partir des archives (1945-1998) du Ministère des Richesses Naturelles du Québec, celui-ci aurait été évalué à 417 ± 75 ans alors qu'avec les archives (1923-1998) de Cartons St.-Laurent le cycle est évalué à 136 ± 29 ans. Toutefois, cette méthode est très rapide et donne un estimé assez juste pour la période observée. De plus, elle a la capacité de renseigner sur la variabilité du cycle.

En appliquant un modèle de survie aux surfaces incendiées, le maximum de vraisemblance estimé pour le paramètre b est très près de l'estimé obtenu avec les superficies moyennes brûlées annuellement. Une distribution du temps depuis le dernier feu tronquée a l'avantage, par rapport à la méthode précédente (moyenne arithmétique), de tenir compte directement des superficies non incendiées sur le territoire. Elle permet aussi de calculer les probabilités pour le territoire à l'étude de survivre jusqu'à un temps donné. À ce point, le cycle des feux a été calculé de façon rapide mais satisfaisante. Par contre, la période de temps couverte par la carte des feux ne représentait qu'un estimé du cycle récent, ce qui ne nous permettait pas de conclure sur les possibles variations à long terme qu'a subi le régime des feux par le passé.

Afin de bien cerner les différentes composantes (spatiale et temporelle) pouvant avoir un effet sur le cycle des feux, une reconstitution des feux sur une plus

longue période (300 ans) était nécessaire. Toutefois, à l'encontre de plusieurs études portant sur les régimes de feux (Dansereau & Bergeron 1993; Lefort 1997; Foster 1983; Wein & Moore 1979; Heinselman 1973), et à l'instar de Larsen (1997), un design statistique (échantillonnage aléatoire simple) a été utilisé plutôt qu'une carte des superficies brûlées. Cette méthode permet de caractériser le cycle des feux sans avoir à connaître les superficies réelles brûlées ce qui diminue considérablement la récolte et l'analyse d'échantillons. De plus, l'analyse de survie s'applique très bien à ce type de données, permettant même de tester l'effet de composantes biotiques et abiotiques sur le cycle des feux.

4.4. Dynamique et transition forestière

Les résultats de cette étude supportent bien l'hypothèse d'un remplacement des espèces suivant la dernière perturbation par le feu lorsque l'intervalle entre deux feux est assez long. Comme plusieurs autres régions de la forêt boréale (Bergeron & Dubuc 1989, Taylor et al. 1987; Cogbill 1985, Heinselman 1981, Dix & Swan 1971), les patrons de succession retrouvés sur le territoire de CSL sont relativement simples et ils ne sont pas uniques (Bergeron & Dubuc 1989; Taylor et al. 1987).

Sur les dépôts fluvio-glaciaires, la dynamique est principalement dominée par les peuplements d'épinette noire et dans une moindre mesure, par le pin gris. Suivant un feu, les peuplements d'épinette noire et de pin gris pur sont dominants. En absence de perturbation, les peuplements de pin gris sont graduellement remplacés par des peuplements avec une plus grande importance d'épinette noire pour éventuellement être dominés par l'épinette noire. Ce patron de succession est très similaire à celui obtenu par Bergeron & Dubuc (1989) sur dépôts xériques. Malgré le faible nombre de placettes disponibles, les résultats suggèrent toutefois qu'une période d'au moins cinquante ans soit nécessaire avant de voir les épinettes noires dominer ou co-

dominer dans les pinèdes à pin gris. Pour les peuplements d'épinette noire, ceux-ci semblent être en mesure de se maintenir jusqu'à la prochaine perturbation. Ceci est dû au fait que l'épinette noire peut se régénérer aussi par marcottage ce qui lui permet de se maintenir sous son propre couvert longtemps après la dernière perturbation. Le patron de succession obtenu avec l'ordination permet d'arriver aux mêmes conclusions bien que les vecteurs de certaines placettes semblent pointer dans la direction du sapin. Sur une plus longue période, les résultats des transitions modélisées laissent également entrevoir la possibilité que le sapin, une espèce très tolérante à l'ombre, puisse remplacer l'épinette noire dans certains cas. Toutefois, la présence d'éricacées et de sphaignes, qui sont des espèces très acidifiantes et qui sont souvent associées avec l'épinette noire, peuvent inhiber la germination du sapin dans ces milieux. L'absence d'arbres semenciers peut aussi limiter la présence du sapin étant donné la faible capacité de dispersion des graines (Frank 1990).

Sur les dépôts glaciaires, la dynamique est plus diversifiée mais demeure quand même relativement simple. En effet, l'ordination a permis de mettre en évidence deux voies de succession principales et très distinctes. Dans la première voie, les peuplements feuillus et feuillus à tendance résineuse sont remplacés, dans plusieurs cas et en absence de perturbation par le feu, par le sapin et dans une moindre mesure, par l'épinette noire. La faible capacité des feuillus intolérants à recruter sous-couvert (Bergeron & Charron 1994; Dix & Swan 1971) explique très bien ce changement de dominance vers des espèces plus tolérantes à l'ombre (Kimmins 1987). Suivant une chronoséquence de 230 ans, Gauthier et al. (1996) et Bergeron & Dansereau (1993) suggèrent d'ailleurs que les peuplements de feuillus diminuent de façon significative au-delà de 100 ans suivant la dernière perturbation par le feu sur la plupart des dépôts au détriment de peuplements plus résineux. Toutefois, la longévité du bouleau blanc fait en sorte qu'il est capable de se maintenir, quoique plus sporadiquement, dans des peuplements plus vieux que 100 ans (Bergeron & Dubuc

1989). Ceci explique d'ailleurs le fait que l'on retrouve le bouleau blanc dans la partie gauche de l'ordination malgré que ce soit une espèce de début de succession (Heinselman 1981).

Malgré la longévité du bouleau, l'absence de perturbation par le feu sur une longue période fera en sorte que la plupart des peuplements feuillus (Fi et FiRt) seront remplacés par des peuplements dominés par le sapin ou l'épinette noire. L'inventaire de la régénération dans ces placettes permettrait probablement de prédire avec justesse le sens de la succession (sapin ou épinette) dans la plupart des cas.

Par ailleurs, le nombre supérieur de transitions vers les groupements dominés par le sapin pourrait être expliqué par une facilité accrue de ce dernier à s'établir sur une litière de feuilles comparativement à l'épinette blanche (Simard et al. 1998) et à l'épinette noire, bien qu'aucune comparaison directe avec l'épinette noire n'ait été publiée à notre connaissance. Plusieurs études (Klein et al. 1991; Knapp & Smith 1982) suggèrent d'ailleurs que le système racinaire serait plus important chez le genre *Abies sp.* que chez le genre *Picea sp.*. Ceci permettrait donc au semis de sapin de pénétrer plus facilement l'épaisse litière de feuilles et de s'établir avec plus de succès que l'épinette noire. Sur une période plus longue (transition modélisée de 30 ans), le taux de transition accru, particulièrement vers le sapin, confirme la faible capacité du bouleau blanc et du peuplier faux-tremble à se régénérer sous couvert et la forte capacité du sapin à s'établir et à se développer sous couvert jusqu'à la formation d'une trouée (Kneeshaw & Bergeron 1998; Kneeshaw et al. 1998).

Dans la deuxième voie de remplacement des espèces dans la canopée, on assiste à un remplacement du pin gris par l'épinette noire. La succession de ces peuplements est semblable à celle observée sur des dépôts fluvio-glaciaires. Toutefois, et contrairement aux dépôts fluvio-glaciaires, les peuplements de pin gris

sont très peu représentés sur les dépôts glaciaires. En dépit de son habilité à s'établir sur différents dépôts de surface (Béland & Bergeron 1996), la présence du pin gris serait limitée aux zones où celui-ci était présent avant la dernière perturbation (Bergeron 1991). À long terme, l'accumulation de litière de pin gris, qui est très acidifiante, a pour effet d'appauvrir le sol ce qui a pour résultat de favoriser l'établissement d'espèces peu exigeantes en éléments nutritifs comme l'épinette noire.

Tel qu'attendu, très peu de changements ont eu lieu pour les peuplements dominés par le sapin et l'épinette noire. Ceci est principalement dû à leur grande tolérance à l'ombre et à leur capacité à se régénérer continuellement sous leur propre couvert (Dix & Swan 1971; Galipeau et al. 1997). De façon similaire aux Érablières du sud du Québec (Brisson et al. 1988), l'ordination de ces peuplements a donné principalement des vecteurs courts et circulaires, suggérant que les peuplements se trouvent dans un état d'équilibre. Toutefois, le fait d'observer très peu de transitions n'implique pas que ces peuplements n'évoluent pas. Les changements se font plutôt en terme de structure et non en terme de composition. L'utilisation d'espèces-classes dans l'ordination permet d'ailleurs de mieux visualiser ces changements plus subtils.

Quelques placettes ont toutefois fait transition vers des groupements avec une plus grande importance de feuillus (Fi et FiRt). Ces transitions ont vraisemblablement été provoquées par des épisodes d'épidémies d'insectes (De Grandpré et al. 1993) comme en témoigne la forte mortalité des espèces hôtes (données non publiées). Les archives de CSL ont d'ailleurs permis de confirmer *a posteriori* qu'il y a bel et bien eu des périodes d'épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE)(*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) sur le territoire au cours des dernières années. Ainsi, malgré que le feu soit la perturbation la plus importante en forêt boréale (Johnson 1992), les épidémies d'insectes jouent également un rôle important

dans l'établissement de la succession secondaire (Kneeshaw et Bergeron 1998; Bergeron et Leduc 1995; Morin et al. 1993).

Comme les derniers inventaires ont été faits pendant ou peu de temps après les périodes d'épidémies, ceci fait en sorte que les seuls arbres vivants qui sont utilisés dans la classification des groupements forestiers sont ceux des espèces non-hôtes, dans le cas présent le bouleau blanc et plus rarement le peuplier faux-tremble. On assiste donc à un « enfeuillement » des placettes, qui est dû, non pas à un recrutement en feuillus mais plutôt à une mortalité des espèces hôtes (sapin et/ou épinette). La même situation s'est produite pour les placettes ayant perdu leur appellation forestière (non-forestier). La mortalité a cependant été si grande que le fait de modéliser les peuplements à partir des données d'une période de forte mortalité sur une courte période de temps fait en sorte que les peuplements « disparaissent » virtuellement. Toutefois, malgré que les peuplements peuvent être influencés de manière significative par des épisodes de défoliation par la TBE (Kneeshaw & Bergeron 1999; Bergeron & Charron 1994), la fréquence élevée des incendies dans cette région de la forêt boréale limite la présence du sapin limitant par le fait même, l'importance des épidémies (Bergeron & Leduc 1998).

Malgré que plusieurs études permettent de croire qu'il y a un remplacement des espèces dans la canopée en forêt boréale (Gauthier et al. 1996; Leduc et al. 1995; De Grandpré et al. 1993; Bergeron & Dubuc 1989; Taylor et al. 1987; Cogbill 1985; Heinselman 1981; Dix & Swan 1971), à notre connaissance, aucune étude à ce jour ne l'avaient démontré à l'aide de remesures. L'ordination des PEP de CSL a permis de confirmer hors de tout doute qu'il y a bel et bien un remplacement des espèces en fonction du temps depuis le dernier feu. L'ordination a également permis de mettre évidence les différents patrons de succession tout comme l'importance du substrat et de l'impact d'autres perturbations comme les épidémies d'insectes.

Cependant, malgré que les résultats des ordinations montrent un effet significatif du temps depuis le dernier feu, celui-ci n'a pas permis d'expliquer les transitions observées à l'intérieur d'un même groupement sauf pour les pinèdes à pin gris sur dépôts fluvio-glaciaires et glaciaires. Dans le premier cas, même si la période de suivi n'était pas significativement différente entre les différents succès de transition, les placettes ayant subi la transition étaient plus près de l'âge de rupture du peuplement au premier inventaire. Dans le second cas, la période significativement plus longue de suivi pour les placettes ayant subi transition a permis à celles-ci de se rendre jusqu'à l'âge de rupture du peuplement. Cependant, comme il y a beaucoup de variabilité dans le remplacement des espèces et que chaque groupement change de façon indépendante, ceci fait en sorte que le remplacement des espèces n'est pas le produit d'une fonction linéaire selon le temps depuis le dernier feu. Ainsi, le seul fait de connaître le temps depuis le dernier feu ne permet pas de pouvoir prédire à lui seul la possibilité qu'il y ait transition ou non dans une placette donnée. C'est également le cas pour l'augmentation de l'épinette noire qui, dans les pinèdes à pin gris, semble être constante en fonction du temps depuis le dernier feu. Le prolongement de la période de suivi des PEP devrait permettre de mieux cibler la période de transition pour plusieurs types de peuplement. D'autres variables, comme la présence et la densité de la régénération préétablie, un indice du drainage et une description à une échelle plus fine des dépôts de surface, auraient peut-être également permis de mieux expliquer les transitions. La prise de ces données fait d'ailleurs maintenant partie du programme d'inventaire de CSL.

Dans les transitions modélisées, l'intégration d'un facteur de mortalité différentielle aurait probablement permis de mieux prédire le déclin des espèces en place. De façon similaire, l'ajout des tiges non-marchandes (<10 cm dhp) dans le calcul de l'AAM aurait permis d'intégrer et mieux mettre en valeur le potentiel de régénération des espèces à former le peuplement futur. L'ajout de ces deux variables

permettrait d'illustrer, et ce de façon non-linéaire, le remplacement des espèces et de possiblement augmenter le taux de transition des peuplements. Il devient donc hasardeux d'allonger la période de modélisation si l'on n'intègre pas, du moins, ces deux composantes.

4.5. Aménagement durable.

Comme le feu est la perturbation principale en forêt boréale, la connaissance du cycle des feux permet d'estimer la proportion des différentes classes d'âge qu'on devrait retrouver dans le paysage (Bergeron et al. 1999b; Gauthier et al. 1996; Leduc et al. 1995). À l'encontre des croyances populaires, il existerait naturellement une proportion non négligeable de forêts sur-matures et anciennes dans les paysages boréaux. Dans le cas présent, 45% des forêts auraient plus de 100 ans et 20% plus de 200 ans (voir figure 3.1.). Dans le contexte actuel, ceci voudrait dire que 45% des forêts auraient un âge dépassant le temps de révolution forestière utilisé au Québec qui se situe généralement légèrement sous 100 ans. Or, avec les pratiques actuelles, ces vieilles forêts sont récoltées prioritairement par soucis de perdre la matière ligneuse sous l'effet d'autres perturbations. Avec ces pratiques, on en vient donc, à tout le moins, à réduire considérablement la quantité de ces vieilles forêts. En supposant que ces vieilles forêts soit indispensables pour certaines espèces (Hansen et al. 1991), leur élimination entraînera vraisemblablement une perte de biodiversité. L'aménagement durable des écosystèmes doit nécessairement tenir compte de cet aspect si le maintien et la conservation de la biodiversité est un objectif sérieux.

Comme mentionné précédemment, la durée du cycle permet d'estimer les proportions des différentes classes d'âge et par le fait même, d'estimer la proportion de territoire avec des forêts plus jeunes que le temps de révolution. Le cycle moyen des feux (127 ans) a été utilisé pour calculer les différentes proportions des classes

d'âge car il rend compte des variations qu'a subi le cycle au cours du temps. En assumant que la forêt parvienne à maturité et qu'elle peut être récoltée dès l'âge de 100 ans, la proportion des aires de coupes à blanc ne devrait pas dépasser 54% du territoire, avec moins de 21% des aires en régénération (<30 ans). Pour le territoire privé de CSL, ces proportions représentent environ 209 090 et 80 715 hectares respectivement. En récoltant annuellement 1% (rotation forestière de 100 ans) du territoire alloué aux forêts de moins de 100 ans, la proportion maximale d'aire en régénération ne serait pas dépassée. En supposant qu'on parvienne à abaisser la rotation forestière à 80 ans par une sylviculture très intensive, les proportions proposées n'en seraient pas affectées. Or, actuellement la proportion des aires en régénération sur le territoire de CSL se rapprocherait dès 50 % (Sylvie Gauthier, communication personnelle) ce qui représente plus du double de ce que l'on devrait retrouver. Évidemment, cette proportion n'est pas uniquement due aux coupes forestières mais elle inclue également les aires en régénération qui sont causées par les feux, par les épidémies d'insectes et par les chablis. Des pratiques d'aménagement et de récolte minimisant la compétition entre les différentes perturbations (naturelles et anthropiques) s'avéreraient souhaitables dans ces circonstances afin de rétablir les proportions que l'on retrouverait naturellement.

Dans le cas des forêts plus vieilles que 100 ans, celles-ci devraient représenter environ 45% du territoire avec environ 20% des forêts âgées de plus de 200 ans. Ces proportions augmentent légèrement (54 et 21% respectivement) lorsqu'elles sont déduites à partir d'une distribution exponentielle négative théorique calculée à partir du cycle moyen des feux (127 ans). Afin de préserver une partie de ces forêts sur-matures et anciennes, l'allongement de la révolution forestière pourrait être une solution bien que ce ne soit pas économiquement avantageux. Alternativement, des pratiques d'aménagement s'inspirant de la succession naturelle des peuplements (Bergeron et al. 1999b; Bergeron & Harvey 1997) pourraient s'avérer être une

solution économiquement rentable et écologiquement souhaitable pour conserver la structure et la composition des forêts sur-matures et anciennes.

Les règles d'exploitation actuellement en vigueur au Québec prévoient que les parcelles exploitées seront remises en production avec les essences qui étaient présentes sur le site avant exploitation. Bergeron & Harvey (1997) suggèrent cependant que des rotations successives puissent appauvrir les sols et amener une perte de productivité. Ainsi, en appliquant de façon systématique les règles en vigueur, l'intégrité des écosystèmes forestiers peut être menacée. Cette approche pourrait être valable pour les sites où la récurrence des perturbations limite le remplacement des espèces dans le temps. Toutefois, les résultats de cette étude démontrent qu'il y a dans plusieurs cas, un remplacement des essences dans le temps. Des méthodes alternatives d'exploitation et d'aménagement forestier comme celles proposées par Bergeron et al. (1999b) et Bergeron & Harvey (1997) pourraient donc être appliquées dans cette partie de la forêt boréale. En tenant compte des patrons de succession propre à cette région, les méthodes pourraient être adaptées à la réalité régionale et ainsi permettre de profiter du remplacement naturel des espèces.

CONCLUSION

Cette étude a permis de vérifier l'utilité des données d'archives de CSL pour caractériser le régime des feux et la succession naturelle pour leur territoire. Ces données ont permis de dresser un premier aperçu de la situation existante sur leur territoire privé et elles ont été très utiles à l'élaboration d'un plan d'inventaire permettant de concentrer les efforts d'échantillonnage dans les régions où l'information était inconnue.

Les résultats de cette étude suggèrent que le cycle des feux ne soit pas constant dans le temps comme ce fut le cas dans plusieurs régions de la forêt boréale (Bergeron et al. 2000; Weir et al. 1999; Johnson et al. 1998; Larsen 1997; Lefort 1997; Engelmark 1994; Agee, Finney & De Gouvenain 1990). Nos résultats permettent de suggérer que les changements climatiques qui se poursuivent depuis la fin du *Petit Âge Glaciaire* ont favorisé un climat moins propice aux incendies forestiers dans l'Est de la forêt boréale et seraient principalement responsables de l'allongement du cycle. Cette interprétation corrobore les prédictions faites quant à une décroissance de la fréquence des feux dans le futur (Flannigan et al. 1998, Bergeron 1998).

À une échelle plus régionale, un allongement du cycle pourrait aussi entraîner un changement dans le type des perturbations. Ainsi, le passage d'un système régi principalement par les feux à un système régi de plus en plus par les épidémies d'insectes (Bergeron & Leduc 1998) est un scénario vraisemblable. Des changements dans la composition forestière seraient également perceptibles à cette échelle (Bergeron 1998). On pourrait ainsi s'attendre à voir, en absence d'aménagement forestier, une diminution de l'importance du pin gris et des feuillus intolérants au profit du sapin et de l'épinette noire (Bergeron & Dubuc 1989). Sur les dépôts

glaciaires, les peuplements dominés par le sapin représentent déjà plus du tiers des peuplements. Le taux élevé de transition des peuplements feuillus et mixtes, vers des groupements dominés par le sapin permet de croire que la mosaïque forestière pourrait être de plus en plus dominée par les peuplements de sapins en absence de perturbations.

Dans le contexte de l'aménagement forestier durable, une meilleure connaissance du cycle de perturbation et de la succession naturelle s'avère être un atout important dans l'élaboration de stratégies sylvicoles visant un rendement économique et écologique soutenu. Conséquemment à l'allongement du cycle, la proportion de vieilles forêts au niveau du paysage devrait prendre de plus en plus d'importance. En ayant recours à des méthodes d'exploitation variées et stratégiquement planifiées, l'intégrité des écosystèmes exploités pourrait être maintenue dans un contexte économique viable.

RÉFÉRENCES

- Agee, J. K., Finney, M., & De Gouvenain, R. 1990. Forest fire history of Desolation Peak, Washington. *Can. J. For. Res.* **20** : 350-356.
- Allison, P. D. 1995. *Survival analysis using the SAS system : A practical guide*. Cary, NC : SAS Institute Inc. 292 pp.
- Anonyme. 1982a. Normales climatiques au Canada, 1951-1980: Québec. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique. Downsview, Ontario.
- Anonyme. 1982b. Normales climatiques au Canada, 1951-1980. Vol. 6: Gel. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique. Downsview, Ontario.
- Anonyme. 1994. *Le point d'observation écologique, normes techniques*. Gouvernement du Québec. Ministère des Ressources naturelles. 116p.
- Arno, S.F. & K.M. Sneck. 1977. A method for determining fire history in coniferous forest in the mountain West. *Gen. Tech. Rep. INT-42*. Ogden, UT :U.S. Department of Agric., For. Ser., Intermountain Forest and Range Experiment Station. 28p.
- Attiwil, P.M. 1994. The disturbance of forest ecosystems : the ecological basis for conservation management. *Forest Ecology and Management* **63**: 247-300.

- Barrett, S. W., S.F. Arno & C.H. Key. 1991. Fire regimes of western larch-lodgepole pine forest in Glacier National Park, Montana. *Canadian Journal of Forest Research* **21**:1711-1720.
- Barette, Y., G. Gauthier & A. Paquette. 1996. Aménagement de la forêt pour fins de production ligneuse *Dans Manuel de Foresterie*. Presses de l'Université Laval. pp. 648-672.
- Batzer, H. O. & M. P. Popp. 1985. Forest succession following a spruce budworm outbreak in Minnesota. *Forestry Chronicle* **61**:75-80.
- Béland, M. & Y. Bergeron. 1996. Height growth of jack pine (*Pinus banksiana*) in relation to site types in boreal forests of Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* **26**: 2170-2179.
- Bergeron, J.F. 1996. Écologie forestière : Domaine de la pessière noire à mousses *Dans Manuel de Foresterie*. Presses de l'Université Laval. pp. 223-238.
- Bergeron, Y. 1998. Les conséquences des changements climatiques sur la fréquence des feux et la composition forestière au sud-ouest de la forêt boréale québécoise. *Géographie physique et Quaternaire* **52**: 167-173.
- Bergeron, Y. 1991. The influence of island and mainland lakeshore landscape on boreal forest fire regimes. *Ecology* **72**:1980-1992.

- Bergeron, Y. & S. Archambault. 1993. Decreasing frequency of forest fires in the southern boreal zone of Quebec and its relation to global warming since the end of the 'Little Ice Age'. *Holocene* **3**: 255-259.
- Bergeron, Y. & J. Brisson. Fire regime in red pine stands at the northern limit of the species' range. *Ecology* **71**(4):1352-1364.
- Bergeron, Y. & D. Charron. 1994. Postfire stand dynamics in a southern boreal forest (Québec) : A dendroecological approach. *Écoscience* **1**(2): 173-184.
- Bergeron, Y. & 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. & M. Dubuc. 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio* **79**: 51-63.
- Bergeron, Y. & M.D. Flannigan. 1995. Predicting the effect of climate change on fire frequency in the southeastern Canadian boreal forest. *Water, Air and Soil Pollution* **82**: 437-444.
- Bergeron, Y., S. Gauthier, V. Kafka, P. Lefort & D. Lesieur. 2000. Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research* (in press).

- Bergeron, Y., S. Gauthier, C. Carcaillet, M.D. Flannigan, Y. Prairie & P.J.H. Richard. 1999a. Variability in fire frequency and forest composition in Canada's southeastern boreal forest: a challenge for sustainable forest management. The sustainable forest management network. Science and Practice: Sustaining the boreal forest, Edmonton, Alberta, Canada: 74-80.
- Bergeron, Y. & B. Harvey. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwoods of Quebec. *Forest Ecology Management* **92**: 235-242.
- Bergeron, Y., B. Harvey, A. Leduc & S. Gauthier. 1999b. Stratégies d'aménagement forestier qui s'inspirent de la dynamique des perturbations naturelles: considérations à l'échelle du peuplement et de la forêt. *The forestry Chronicle* **75**: 55-61.
- Bergeron, Y. & A. Leduc. 1998. Relationships between change in fire frequency and mortality due to spruce budworm outbreak in the southeastern Canadian boreal forest. *Journal of Vegetation Science* **9**: 492-500.
- Bradshaw, R. H. W. & O. Zackrisson. 1990. A two thousand year history of a northern Swedish boreal forest stand. *Journal of Vegetation Science* **1**: 519-528.
- Brisson, J., Y. Bergeron & A. Bouchard. 1988. Les successions secondaires sur sites mésiques dans le Haut-Saint-Laurent, Québec, Canada. *Canadian Journal of Botany* **66**: 1192-1203.

- Brown, J.K. & 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 & 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.
- Clark, J. 1988. Effect of climate change on fire regimes in Northwestern Minnesota. *Nature* **334**: 233-234.
- Clark, J. 1990. Fire and climate change during the past 750 yr in Northwestern Minnesota. *Ecological Monographs* **60** (2):135-159.
- Cogbill, C. V. 1985. Dynamics of the boreal forests of the Laurentian Highlands, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* **15**: 252-261.
- Cook, E.R. & L.A. Kairinkstis. 1989. *Methods of dendrochronology : applications in the environmental science*. Kluwer Academic Publisher. 394 p.
- 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. Thèse de Maîtrise. UQAM.

- 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.
- De Grandpré, L., D. Gagnon & Y. Bergeron. 1993. Changes in the understory of Canadian southern boreal forest after fire. *Journal of Vegetation Science* **4**: 803-810.
- De Grandpré, L., Y. Bergeron, L. Bélanger & G. Lessard. 1996. *Écologie forestière : Domaine de la sapinière à bouleau blanc* Dans Manuel de Foresterie. Presses de l'Université Laval. pp. 208-222.
- Dix & Swan. 1971. The roles of disturbance and succession in upland forest at Candle Lake, Saskatchewan. *Canadian Journal of Botany* **49**: 657-676.
- Domon, G., A. Bouchard, Y. Bergeron & C. Gauvin. 1986. La répartition et la dynamique des principales espèces arborescentes du Bois-de-Saragay, Montréal (Québec). *Canadian Journal of Botany* **64**: 1027-1038.
- Engelmark, O., L. Kullman & Y. Bergeron. 1994. Fire and age structure of Scots pine and Norway spruce in northern Sweden during the past 700 years. *New Phytol.* **126**: 163-168.
- Engelmark, O., R. Bradshaw & Y. Bergeron. 1993. Disturbance dynamics in boreal forest. *Journal of Vegetation Science* **3**: 729-832.
- Enright, N. J. 1982. Recognition of successional pathway in forest communities using size-class ordination. *Vegetatio* **48**: 133-140.

- Eyre, F. H. 1938. Can jack pine be regenerated without fire? *Journal of Forestry* **36** :1067-1072.
- Flannigan, M.D., Y. Bergeron, O. Engelmark & B.M., Wotton. 1998. Future wildfire in circumboreal forests in relation to global warming. *Journal of Vegetation Science* **9**: 469-476.
- Flannigan, M.D., & J.B. Harrington. 1988. A study of the relation of Meteorological Variables to Monthly Provincial Area Burned by Wildfire in Canada (1953-80). *Journal of Applied Meteorology* **27**: 441-452.
- Flannigan, M. D. & C. E. Van Wagner. 1991. Climate change and wildfire in Canada. *Canadian Journal of Forest Research* **21**: 66-72.
- Foster, D. R. 1983. The history and pattern of fire in the boreal forest of southeastern Labrador. *Canadian Journal of Botany* **61**:2459-2471.
- Frank, R. 1990. *Abies balsamea* (L.) Mill. Balsam fir. Pages 26-35 in R. H. Burns & B.H. Honkala (Technical Coordinator), *Silvics of North America. Volume I. Conifers*. USDA Agricultural Handbook 654, Washington , D.C.
- Fryer, G. I. & E. A. Johnson. 1988. Reconstructing fire behavior and effects in a subalpine forest. *Journal of Applied Ecology* **25**:1063-1072.
- Galipeau, C., D. Kneeshaw & Y. Bergeron. 1997. White spruce and balsam fir colonization of a site in the southeastern boreal forest as observed 68 years after fire. *Canadian Journal of forest Research* **27**: 139-147.

- Gauthier, S., A. Leduc & Y. Bergeron. 1996. Forest dynamics modelling under a natural fire cycle: A tool to define natural mosaic diversity in forest management. *Environmental Monitoring and Assessment* , **39**: 417:434.
- Hanson, A.J. T.A. Spies, F.J. Swanson & J.L. Ohmann. 1991. Conserving biodiversity in managed forests, lessons from natural forests. *BioScience* **41**: 382-392.
- Heinselman, M.L. 1973. Fire in the virgin forest of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quaternary Research* **3**: 329-382.
- Heinselman, M.L. 1981. Fire and succession in the conifer forests of northern North America. dans: West, D.C., Shugart, H.H. et D.B. Botkin (eds), *Forest Succession: Concepts and Application*, pp.364-406. Springer-Verlag, New-York.
- Hely, C., M.D. Flannigan, Y. Bergeron & D. McRae. 1999. Role of vegetation and weather on fire behavior in the Canadian mixedwood boreal forest using two fire behavior prediction systems (unpublished data).
- Hemstrom, M. A. & J. F. Franklin. 1982. Fire and other disturbances of the forest in Mount Rainier National Park. *Quaternary Research* **3**:329-382.
- Johnson, E. A. & 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 & 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. 1992. Fire and vegetation dynamics - Studies from the North American boreal forest. *Cambridge Studies in Ecology*, Cambridge University Press, Cambridge, Mass.
- Johnson, E.A. & S.L. Gutsell. 1994. Fire frequency, models, methods and interpretation. *Advances in ecological research* **25**: 239-287
- Johnson, E.A., K. Miyanishi & J.M.H. Weir. 1998. Wildfires in the western Canadian boreal forest: Landscape patterns and ecosystem management. *Journal of vegetation science* **9**:603-610.
- Kimmins, J. P. 1987. *Forest Ecology*. MacMillan Publishing Company, New York, NY.
- Klein, R.M., Perkins, T.D., Ticou, J., Oates, A. & Cutler, K. 1991. Factors affecting red spruce regeneration in declining areas of Camel's Hump Mountain, Vermont. *American Journal of Botany* **78**: 1191-1198.
- Knapp, A.K. & Smith, W.K. 1982. Factors influencing understory seedling establishment of Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) and subalpine fir (*Abies lasiocarpa*) in southeast Wyoming. *Canadian Journal of Botany* **60**: 2753-2761.

- Kneeshaw, D. & Y. Bergeron. 1999. Spatial and temporal patterns of seedling and sapling recruitment within canopy gaps caused by spruce budworm. *Ecoscience* **6** (2):214-222.
- Kneeshaw, D. & Y. Bergeron. 1998. Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest. *Ecology* **79**: 783-794.
- Kneeshaw, D., Y. Bergeron & L. De Grandpré. 1998. Early response of *Abies balsamea* seedlings to artificially created openings. *Journal of Vegetation Science* **9**: 543-550.
- Langlois, M. 1994. Recueil d'information sur les incendies forestiers au Québec de 1922 à 1993. Direction de la conservation des forêts. Ministère des Ressources Naturelles du Québec.
- Larsen, C.P.S. 1997. Spatial and temporal variations in boreal forest fire frequency in northern Alberta. *Journal of Biogeography* **24**: 663-673.
- Leduc, A. S. Gauthier & Y. Bergeron. 1995. Prévission de la composition d'une mosaïque forestière naturelle soumise à un régime des feux : proposition d'un modèle empirique pour le nord-ouest du Québec. Pages 197-205 in G.Domon and J.Falardeau, editor. *Méthodes et réalisations de l'écologie du paysage pour l'aménagement du territoire*. Polyscience Publication, Morin Height, Canada.
- Lefort, P. 1997. Influence du climat et de la colonisation canadienne sur le régime des feux de forêt dans la région du lac Abitibi. Thèse de Maîtrise. UQAM.

- McCune, B. & F. H. Allen. 1985. Forest dynamics in the Bitterroot Canyons, Montana. *Canadian Journal of Botany* **63**: 377-383.
- Morin, H., D. Laprise & Y. Bergeron. 1993. Chronology of spruce budworm outbreaks in the Lake Duparquet region, Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* **23**: 1497-1506.
- Mutch, R. W. 1970. Wildland fires and ecosystems-a hypothesis. *Ecology* **51** (6):1046-1051.
- Overpeck, J.T., D. Rind & R. Glodberg. 1990. Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature* **343**: 51-53.
- Robitaille, A. & J.P. Saucier. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Les publications du Québec, Ste-Foy, Quebec. 213 p.
- Rouse, C. 1986. Fire effects in northeastern forests: Jack pine. U.S. Forest Serv. Tech. Rep. NC 0 (106)1-8
- Rowe, J. S. 1972. Les regions forestières du Canada, Serv. Can. For., Min. Environ., Canada, Publ n° 1300F, 172 p.
- Rowe, J. S. & G. W. Scotter. 1973. Fire in the boreal forest. *Quaternart Research* **3**:444-464.
- SAS/STAT. 1990. User's guide. Version 6, 4th edition, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.

- Service canadien des forêts. 1984. Table de l'*Indice Forêt-Météo* de la méthode canadienne. Environ. Can., Serv., can. Forêts. Rapp. Tech. For. 25F (4^e éd.)
- Shafi, M.I. & G.A. Yarranton. 1973a. Diversity, floristic richness, and species evenness during a secondary (postfire) succession. *Ecology* **54**: 897-902.
- Shafi, M.I. & G.A. Yarranton. 1973b. Vegetational heterogeneity during a secondary (postfire) succession. *Canadian Journal of Botany* **51**: 73-90.
- Simard, M. J., Bergeron, Y. & L. Sirois. 1998. Conifer seedling recruitment in a southeastern Canadian boreal forest: the importance of substrate. *Journal of Vegetation Science* **9**: 575-582.
- Stock, B. J. 1993. Global warming and forest fires in Canada. *Forestry Chronicle* **69**: 290-293.
- Tande, G. F. 1979. Fire history and vegetation pattern of coniferous forests in Jasper National Park, Alberta. *Canadian Journal of Botany* **57**: 1912-1931.
- Taylor, S.J., T.J. Carleton & P. Adams. 1987. Understorey vegetation in *Picea mariana* chronosequence. *Vegetatio* **73**: 63-72.
- Turner, M. G. & H. Romme. 1994. Landscape dynamics in crown fire ecosystems. *Landscape Ecology* **9**: 59-77.

- Ter Braak, C.J.F. & P. Smilauer. 1998. CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer Power Ithaca, NY, USA. 352 pp.
- Van Cleve, K. & A. Viereck. 1981. Forest succession in relation to nutrient cycling in the boreal forest of Alaska. dans: West, D.C., Shugart, H.H. et D.B. Botkin (eds), Forest Succession: Concepts and Applications, pp.185-211. Springer-Verlag, New-York.
- Van Wagner, C.E. 1978. Age class distribution and the forest fire cycle. Canadian Journal of Forest Research **8**: 220-227.
- Ward, P.C. & 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. & B. J. Stocks. 1998. Forest fires and sustainability in the boreal forest of Canada. *Ambio* **27** (7):545-550.
- Wein, R. W. & J.M. Moore. 1977. Fire history and rotations in the Acadian Forest of New Brunswick. Canadian Journal of Forest Research **7**: 285-294.
- Wein, R. W. & 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.
- Weir, J. M. H. & E. A. Johnson. 1998. Effects of escaped settlement fires and logging on forest composition un the mixedwood boreal forest. Canadian Journal of Forest Research **28**: 459-467.

- Weir, J. M. H., E. A. Johnson & K. Miyanishi. 1999. Fire frequency and the spatial age mosaic of the mixedwood boreal forest of Saskatchewan. Proceeding of the 1999 sustainable forest management network conference 81-86.
- Woods, G.T., & 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. 8.39p.
- Wotton, B. M. & M. D. Flannigan. 1993. Length of fire season in changing climate. *Forestry Chronicle* **69**: 187-192.
- Yamaguchi, D.K. 1991. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research* **21**: 414-416.

ANNEXE 1

L'annexe un présente le protocole utilisé pour combler les données manquantes dans la base de données climatiques de la station du Barrage Gouin. Ainsi, pour la température, lorsque des données étaient absentes, une des quatre procédures suivantes a été utilisée:

a)Un jour manquant: moyenne de la journée précédente et de la suivante.

b)Deux à sept jours manquants: la différence entre la température la plus élevée et la moins élevée fût divisé par le nombre de jours manquants plus un. On additionne (ou soustrait selon le cas) ensuite ce résultat au plus faible (élevé) en direction du plus élevé (faible).

ex:

175

-99999

-99999

100

calcul: $175-100=75/3=25$

$175-25=150$

$150-25=125$

résultat:

175

150

125

100

c)Huit à quinze jours manquants: les données manquantes sont remplacées par la moyenne du mois courant.

d)Seize jours et plus: l'année a été retirée du fichier et de l'analyse.

Toutefois, dans le cas où le mois à retirer ne constituait pas le premier mois de l'année courante, les mois précédents de l'année courante ont été conservés dans l'analyse. Ceci ne cause aucun problème dans les calculs de l'IFM car le programme recommence les calculs avec les nouveaux indices lorsqu'il arrive à une nouvelle année.

Dans le cas où les données de précipitation étaient absentes, celles-ci ont été remplacées par les données de précipitation de la station la plus près, soit la station de LaTuque (47°24N - 72°47'W). Toutefois, lorsqu'il n'y avait pas de données pour la station de LaTuque également, la procédure suivante a été utilisée:

- a) Un à trois jours consécutifs absents: moyenne du mois courant
- b) Quatre jours et plus: l'année a été retirée de l'analyse.

Toutefois, comme dans le cas de la température, si le mois à retirer ne constituait pas le premier mois de l'année courante, les mois précédents de l'année courante ont été conservés dans l'analyse. Ceci ne cause aucun problème dans les calculs de l'IFM car le programme recommence les calculs avec les nouveaux indices lorsqu'il arrive à une nouvelle année.

ANNEXE 2

Tableau A.2. Liste des six grandes classes de groupements forestiers

Fi =	{ BbBb, BbPg, PePe, PePg }
FiRt =	{ BbE, BbS, BbR, Ebb, EPe, PeR, PeS }
Pg =	{ PgPg, PgBb, PgPe }
EPg =	{ EPg, PgE, PgS, RPg }
Ee =	{ Ee, Eme }
R(s) =	{ SS, SPe, SBb, SE, ES, RBb, RPe, RE, RS }

ANNEXE 3

Tableau A.3.1. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents groupements pour les placettes sur dépôt fluvio-glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis Feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som. des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	3	2 210.695	4.14	0.0111	0.213
Erreur	46	8 179.305			
Erreur Corrigée	47	10 390.000			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Peuplement					
Ee	32	103 a		5	
R(s)	4	93 ab		11	
EPg	4	86 ab		26	
Pg	10	55 b		13	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.2. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents groupements pour les placettes sur dépôt fluvio-glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis Feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som. des carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	3	1 704.100	3.01	0.0398	0.1639
Erreur	46	8 690.400			
Erreur Corrigée	47	10 394.500			
Comparaison des moyennes	n	TDF-2			e-t
Peuplement					
Ee	32	121 a			6
R(s)	4	103 ab			11
EPg	4	103 ab			22
Pg	10	80 b			15

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.3. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt fluvio-glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	1	41.666	9.30	0.0158	0.538
Erreur	8	35.833			
Erreur corrigée	9	77.500			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Transition	6	70 a		19	
Pas transition	4	34 b		2	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.4. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt fluvio-glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des carrés	Valeur F	P	R^2
Modèle	1	23.437	3.20	0.1114	0.285
Erreur	8	58.563			
Erreur corrigée	9	82.000			
Comparaison des moyennes	n	TDF-2		e-t	
Transition	6	97 a		22	
Pas transition	4	55 a		7	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.5. Comparaisons multiples du taux d'accroissement annuel moyen en épinette noire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; AAM = Accroissement Annuel Moyen (m²/ha); e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur <i>F</i>	<i>p</i>	R ²
Modèle	1	9 616.366	0.59	0.4621	0.062
Erreur	9	146 726.178			
Erreur corrigée	10	156 342.545			
Comparaison des moyennes	n	AAM <i>Picea mariana</i>		e-t	
Transition	6	0.146 a		0.056	
Pas transition	4	0.085 a		0.034	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey p<0.05.)

Tableau A.3.6. Comparaisons multiples de l'effet du changement du nombre de tiges et de la surface terrière totale en fonction temps depuis le dernier feu au premier inventaire pour les placettes dominées par l'épinette noire et n'ayant pas fait transition sur dépôt fluvio-glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	4	6 216.530	2.04	0.1173	0.232
Erreur	27	20 595.344			
Erreur corrigée	31	26 811.875			
Fréquence (tiges)	2	635.083	0.42	0.6636	
Surf. terrière (m ² /ha)	1	853.234	1.12	0.2996	
Interaction	1	2 394.311	3.14	0.0877	
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Fréquence (tiges)					
Diminution	12	116 a		8	
Stable	2	109 a		32	
Augmentation	18	93 a		7	
Surf. terrière (m ² /ha)					
Diminution	11	116 a		8	
Augmentation	21	96 a		6	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.7. Comparaisons multiples de l'effet du changement du nombre de tiges et de la surface terrière totale en fonction temps depuis le dernier feu au dernier inventaire pour les placettes dominées par l'épinette noire et n'ayant pas fait transition sur dépôt fluvio-glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	4	7 7798.322	2.29	0.0853	0.253
Erreur	27	22 949.177			
Erreur corrigée	31	30 747.500			
Fréquence (tiges)	2	5 563.055	3.27	0.0534	
Surf. terrière (m ² /ha)	1	94.820	0.11	0.7410	
Interaction	1	2 140.446	2.52	0.1242	
Comparaison des moyennes	n	TDF-2		e-t	
Fréquence (tiges)					
Diminution	12	138 a		8	
Stable	2	119 a		32	
Augmentation	18	110 a		7	
Surf. terrière (m ² /ha)					
Diminution	11	137 a		9	
Augmentation	21	112 a		6	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.8. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents groupements et entre les différents succès de transition sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	11	83 746.918	5.63	0.0001	0.180
Erreur	282	381 169.506			
Erreur corrigée	293	464 916.425			
Peuplement ¹	5	67 989.127	10.16	0.0001	
Transition	1	2 478.776	1.83	0.1768	
Interaction	5	1 274.661	0.19	0.9668	
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Peuplement					
Ee	88	108	a	4	
R(s)	111	91	b	3	
FiRt	52	88	bc	6	
EPg	8	75	abcd	13	
Fi	22	63	cd	6	
Pg	13	40	d	4	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)¹ Peuplement au premier inventaire.

Tableau A.3.9. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents groupements et entre les différents succès de transition sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	11	461 361.285	7.15	0.0001	0.218
Erreur	282	1 654 779.215			
Erreur corrigée	293	2 116 140.500			
Peuplement ¹	5	326 372.835	11.12	0.0001	
Transition	1	27 961.136	4.77	0.0299	
Interaction	5	2 104.281	0.07	0.9964	
Comparaison des moyennes	n	TDF-2		e-t	
Peuplement					
Ee	88	128 a		4	
R(s)	111	108 b		3	
FiRt	52	104 bc		6	
EPg	8	92 abcd		14	
Fi	22	78 cd		6	
Pg	13	58 d		4	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)¹ Peuplement au premier inventaire.

Tableau A.3.10. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par les feuillus (bouleau blanc seulement) sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	2	1 407.262	0.96	0.4083	0.120
Erreur	14	10 307.208			
Erreur corrigée	16	11 714.471			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1			e-t
Transition vers R(s)	3	88 a			10
Transition vers FiRt	6	70 a			12
Pas transition	8	63 a			10

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.11. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par les feuillus (bouleau blanc seulement) sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	2	2 413.764	1.30	0.3035	0.157
Erreur	14	12 998.000			
Erreur corrigée	16	15 411.765			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1			e-t
Transition vers R(s)	3	108 a			10
Transition vers FiRt	6	83 a			12
Pas transition	8	76 a			10

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.12. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par les feuillus intolérants à tendance résineuse sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	3	10 516.752	2.32	0.0874	0.126
Erreur	48	72 628.248			
Erreur corrigée	51	83 145.000			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Transition vers R(s)	15	107 a		11	
Pas transition	28	85 a		7	
Transition vers Bb	4	69 a		11	
Transition vers Ee	5	62 a		18	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.13. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par les feuillus intolérants à tendance résineuse sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	3	12367.094	2.49	0.0714	0.135
Erreur	48	79 445.733			
Erreur corrigée	51	91 812.827			
Comparaison des moyennes	n	TDF-2			e-t
Transition vers R(s)	15	107 a			11
Pas transition	28	85 a			7
Transition vers Bb	4	69 a			11
Transition vers Ee	5	62 a			18

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.14. Comparaisons multiples du taux d'accroissement annuel moyen (m^2/ha) en épinette noire entre le succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; AAM = Accroissement Annuel Moyen; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	1	1310.833	0.10	0.7636	0.008
Erreur	11	151 745.166			
Erreur corrigée	12	153 056.000			
Comparaison des moyennes	n	AAM <i>Picea.mariana</i>			e-t
Pas transition	10	0.135 a			0.038
Transition	3	0.111 a			0.058

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.15. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	1	2.708	0.18	0.6812	0.016
Erreur	11	167.292			
Erreur corrigée	12	170.000			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Pas transition	10	40 a		5	
Transition	3	39 a		2	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.16. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par le pin gris sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	1	57.308	5.64	0.0368	0.339
Erreur	11	111.692			
Erreur corrigée	12	169.000			
Comparaison des moyennes	n	TDF-2		e-t	
Transition	3	70 a		4	
Pas transition	10	54 b		4	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.17. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre le succès de transition pour les placettes co-dominées par le pin gris et l'épinette noire sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; N = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	1	1203.333	0.86	0.0368	0.3903
Erreur	6	8424.666			
Erreur corrigée	7	9628.000			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1			e-t
Transition	5	84 a			17
Pas transition	3	59 a			21

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.18. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre le succès de transition pour les placettes co-dominées par le pin gris et l'épinette noire sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	1	991.875	0.57	0.4793	0.0865
Erreur	6	10 446.000			
Erreur corrigée	7	11 457.875			
Comparaison des moyennes	n	TDF-2			e-t
Transition	5	101 a			20
Pas transition	3	78 a			21

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.19. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par l'épinette noire sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	2	1 673.125	1.32	0.2720	0.0305
Erreur	84	53 139.375			
Erreur corrigée	86	54 812.500			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Transition vers R(s)	11	128 a		14	
Pas transition	72	105 a		5	
Transition vers Fi	4	104 a		10	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.20. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées par l'épinette noire sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	2	5 399.791	1.58	0.2119	0.0362
Erreur	84	143 467.956			
Erreur corrigée	86	148 867.747			
Comparaison des moyennes	n	TDF-2			e-t
Transition vers R(s)	11	149 a			16
Pas transition	72	125 a			5
Transition vers Fi	4	128 a			17

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.21. Comparaisons multiples de l'effet du changement du nombre de tiges et de la surface terrière totale en fonction temps depuis le dernier feu au premier inventaire pour les placettes dominées par l'épinette noire et n'ayant pas fait transition sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	4	5 398.895	0.85	0.4996	0.0482
Erreur	67	106 596.382			
Erreur corrigée	71	111 995.277			
Fréquence (tiges)	2	2 623.043	0.82	0.4429	
Surf. terrière (m ² /ha)	1	1 306.418	0.82	0.3681	
Interaction	1	1 469.433	0.92	0.3400	
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Fréquence (tiges)					
Diminution	12	116 a		8	
Stable	2	109 a		32	
Augmentation	18	93 a		7	
Surf. terrière (m ² /ha)					
Diminution	11	116 a		11	
Augmentation	21	96 a		21	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.22. Comparaisons multiples de l'effet du changement du nombre de tiges et de la surface terrière totale en fonction temps depuis le dernier feu au dernier inventaire pour les placettes dominées par l'épinette noire et n'ayant pas fait transition sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	4	7 068.045	1.12	0.3538	0.0627
Erreur	67	105 563.065			
Erreur corrigée	71	112 631.111			
Fréquence (tiges)	2	485.135	0.15	0.8576	
Surf. terrière (m ² /ha)	1	3 790.262	2.41	0.1256	
Interaction	1	2 792.646	1.77	0.1876	
Comparaison des moyennes	n	TDF-2		e-t	
Fréquence (tiges)					
Diminution	12	116 a		8	
Stable	2	109 a		32	
Augmentation	18	93 a		7	
Surf. terrière (m ² /ha)					
Diminution	11	116 a		11	
Augmentation	21	96 a		21	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.23. Comparaisons multiples sur les rangs du temps depuis le dernier feu au premier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées ou co-dominées par le sapin sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-1 = Temps depuis feu au premier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	3	5 742.210	1.90	0.1347	0.0504
Erreur	107	108 031.789			
Erreur corrigée	110	113 774.000			
Comparaison des moyennes	n	TDF-1		e-t	
Transition vers FiRt	7	112 a		7	
Transition vers Ee	9	100 a		4	
Pas transition	89	90 a		4	
Transition vers Fi	6	80 a		12	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)

Tableau A.3.24. Comparaisons multiples du temps depuis le dernier feu au dernier inventaire entre les différents succès de transition pour les placettes dominées ou co-dominées par le sapin sur dépôt glaciaire; d.l. = degré de liberté; n = nombre de la population; TDF-2 = Temps depuis feu au dernier inventaire; e-t = erreur-type.

Source	d.l.	Som des Carrés	Valeur F	p	R^2
Modèle	3	9008.073	2.59	0.0566	0.0677
Erreur	107	124 001.818			
Erreur corrigée	110	133 009.892			
Comparaison des moyennes	n	TDF-2		e-t	
Transition vers FiRt	7	140 a		6	
Transition vers Ee	9	116 a		6	
Pas transition	89	105 a		4	
Transition vers Fi	6	97 a		12	

Les moyennes avec une lettre différente sont significativement différentes (Tukey $p < 0.05$.)