

Université du Québec à Chicoutimi

**Mémoire présenté à
l'Université du Québec à Chicoutimi
comme exigence partielle de la Maîtrise en ressources renouvelables**

Par

**Marie-Hélène Bouchard
B. Sc. Biologie**

**Croissance et dynamique de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.)
dans deux types écologiques de la forêt boréale québécoise,
région écologique 6e-Coteaux de la rivière Nestaocano.**

Avril 2003



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

Résumé

Le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) a entrepris un programme de classification écologique territoire forestier. Selon différentes variables, le territoire a été divisé en régions écologiques et chacune d'elles comprend un certain nombre de types écologiques. Des inventaires écologiques et dendrométriques sont effectués dans chaque région écologique afin d'analyser la croissance et la dynamique des essences forestières.

Dans le cadre de ce programme, des analyses de tige ont été effectuées dans les types écologiques de la région 6e-Coteaux de la rivière Nestaocono et des courbes de croissance en hauteur, en diamètre et en volume ont été élaborées pour les arbres dominants sélectionnés. Les épinettes noires étudiées semblaient démontrer des différences de croissance en hauteur pour un même type écologique.

La présente étude s'inscrit à l'intérieur de ces travaux. Les deux types écologiques les plus abondants en forêt boréale ont été sélectionnés, soit la sapinière à épinette noire et la pessière noire à mousses.

Le principal objectif est d'expliquer les différences de croissance observées chez l'épinette noire dans ces deux types écologiques, qui présentent des caractéristiques similaires au niveau de leur dépôt de surface et de leur drainage.

L'hypothèse de recherche est qu'il est possible d'expliquer, du moins en partie, les différences de croissance observées dans les peuplements d'épinettes noires par l'histoire des peuplements.

Pour ce faire, les structures d'âge de 6 peuplements, analysés par le MRNQ et situés au nord-est de la région écologique 6e, ont été élaborées. Pour chaque type écologique, deux peuplements datant du 19^e siècle et un peuplement datant du début du 20^e siècle ont été étudiés. Par ailleurs, des analyses de variance à mesures répétées ont été effectuées sur les courbes de croissance en hauteur pour déterminer si les différences de croissance observées étaient significatives.

Pour la sapinière à épinette noire, les structures d'âge ont révélé que le jeune peuplement était équienné après feu, alors que les vieux peuplements présentaient deux cohortes d'individus. Tous les peuplements de la pessière noire à mousses étaient équiennés après feu. Les analyses de variance à mesures répétées ont permis de constater que les différences de croissance étaient significatives entre les jeunes et les vieux peuplements.

Les résultats de cette étude ont démontré d'une part que peu importe le type écologique, les jeunes peuplements ont eu une meilleure croissance que les vieux. Certaines hypothèses, qui ne sont pas encore confirmées, peuvent expliquer ce phénomène : des conditions climatiques plus favorables lors de l'installation des jeunes peuplements, des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette plus sévères lors de l'installation des vieux peuplements, ou encore une augmentation du taux de CO₂ atmosphérique depuis le milieu du 20^e siècle.

D'autre part, les résultats permettent de faire des hypothèses sur la différence de dynamique entre la sapinière à épinette noire (RS) et la pessière noire à mousses (RE). En effet, les sites étudiés dans la sapinière à épinette noire ont démontré des structures d'âge différentes, ce qui influence la croissance des individus.

Remerciements

Je voudrais remercier mon directeur, monsieur Hubert Morin, pour m'avoir fait confiance et m'avoir aidée du début à la fin de cette étude. Merci aussi à monsieur Pierre Grondin qui a grandement participé à ce projet.

Je tiens également à remercier ma famille et mes amis pour m'avoir encouragée et appuyée tout au long de ce projet.

Un grand merci également à toute l'équipe du Laboratoire d'écologie végétale de l'UQAC, en particulier Valérie Levasseur et Germain Savard, pour leur patience, leur dévouement, leur bonne humeur et leur bonté; Guillaume Dallaire, Pierre-Yves Plourde et Denis Walsh pour leur aide technique et leur disponibilité; Jean-Guy Girard et François Hébert qui m'ont beaucoup aidée lors de l'échantillonnage et Natalie Fantin pour ses conseils et ses encouragements.

Cette étude a été rendue possible grâce au financement du Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale.

Je tiens finalement à remercier toute l'équipe de la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles du Québec.

Table des matières

Résumé.....	ii
Remerciements.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des annexes.....	viii
1. Introduction	1
2. Méthodologie	6
2.1 Analyses faites au préalable par le ministère des Ressources naturelles	6
2.2 Description du territoire et choix des types écologiques.....	7
2.3 Description des sites.....	10
2.4 Échantillonnage.....	11
2.5 Analyse des échantillons	12
2.5.1 Détermination de l'âge et mesure de la croissance	12
2.5.2 Analyses statistiques	14
3. Résultats	16
3.1 Sapinière à épinette noire	17
3.2 Pessière noire à mousses	22
3.3 Analyses statistiques	26
4. Discussion	29
5. Conclusion.....	35
6. Références	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Description des sites d'échantillonnage.....	10
Tableau 2 : Analyse de variance globale de tous les sites d'échantillonnage.....	26
Tableau 3 : Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées pour tous les sites d'échantillonnage.....	27
Tableau 4 : Analyse de variance à mesures répétées pour les peuplements âgés seulement.....	28
Tableau 5 : Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées en partition pour les peuplements âgés seulement.....	28

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage.....	8
Figure 2 : Structures d'âge et courbes de croissance moyenne en hauteur des sites situés à l'intérieur de la sapinière à épinette noire.....	18
Figure 3 : Courbes d'accroissement annuel courant et de croissance radiale moyenne standardisée des sites situés à l'intérieur de la sapinière à épinette noire.....	19
Figure 4 : Courbes de croissance en hauteur des sapins baumiers des sites situés dans la sapinière à épinette noire.....	20
Figure 5 : Structures d'âge et courbes de croissance moyenne en hauteur des sites situés à l'intérieur de la pessière noire à mousses.....	23
Figure 6 : Courbes d'accroissement annuel courant et de croissance radiale moyenne standardisée pour les sites situés à l'intérieur de la pessière noire à mousses.....	24

Liste des annexes

Annexe I : Description des codes inscrits dans le tableau 1	40
Annexe II : Coordonnées géographiques des placettes échantillonnées.....	41

1. Introduction

En biologie, la croissance des organismes se définit comme étant l'accroissement de leur taille ou d'un de leurs organes (Parent 1990). Chez les arbres, elle se traduit par la croissance primaire, qui correspond à la croissance de l'individu à partir d'un bourgeon, de l'extrémité d'une racine ou d'autres méristèmes, puis par une croissance secondaire. Cette dernière est caractérisée par l'accroissement en diamètre des tiges, des branches et des racines d'un arbre à partir des cellules du cambium (Ordre des ingénieurs forestiers du Québec 2000). Ce processus physiologique qu'est la croissance est largement contrôlé par la quantité de lumière, de chaleur, d'humidité, de nutriments et de stress. Un stress peut être apporté par des dommages causés par les tempêtes, la prédation ou l'intervention humaine (Reed 1980). La croissance peut donc être affectée par plusieurs types de facteurs.

Par exemple, la croissance des conifères de la forêt boréale québécoise est grandement influencée par la température et l'humidité (Deslauriers 1999). De plus, la quantité de CO₂ peut aussi influencer la croissance puisqu'une élévation de la concentration de ce gaz augmente la photosynthèse chez les végétaux (Gagné 2000). Une augmentation de la concentration de CO₂ ne se traduit toutefois pas nécessairement par une augmentation de la croissance, car d'autres facteurs limitants, en particulier les conditions de sol, peuvent entraver l'effet du CO₂ (Gagné 2000). Il est donc important de tenir compte de l'ensemble des facteurs lors d'études concernant la croissance des essences forestières et de la productivité des sites.

Dans un contexte d'aménagement forestier, il est particulièrement important de connaître tous les paramètres pouvant affecter la croissance des essences forestières. Dans cette optique, le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) a entrepris, depuis quelques années, un programme de connaissance des écosystèmes forestiers. Ce programme comprend des inventaires écologiques et dendrométriques, de même que la classification écologique et la cartographie des écosystèmes (Saucier *et al.* 1998). Cette classification tente d'identifier des variables stables et déterminantes pour la croissance des arbres sur un site donné, et ce, d'une génération à l'autre.

À l'intérieur d'une région écologique, territoire caractérisé par la composition et la dynamique forestière sur les sites mésiques, ainsi que par la répartition des types écologiques dans le paysage

(Saucier *et al.* 1998), différents types écologiques sont identifiés. Ces types écologiques correspondent à des portions de territoire qui présentent, à l'échelle locale, une combinaison permanente de la végétation potentielle et des caractéristiques physiques de la station (Saucier *et al.* 1998). Certaines variables, comme la texture du sol, la classe de drainage et le type de dépôt, permettent de déterminer les caractéristiques physiques de la station, alors que le type forestier, le groupe d'espèces indicatrices et la végétation potentielle permettent de décrire la dynamique et la structure de la végétation (Saucier *et al.* 1998). Les caractéristiques physiques de la station sont relativement stables dans le temps et le type écologique devrait refléter le potentiel de croissance des peuplements. De plus, selon Saucier *et al.* (1998), des niveaux de croissance, ainsi que des contraintes d'aménagement, peuvent être associés aux types écologiques. Toujours selon Saucier *et al.* (1998), les types écologiques exprimeraient à la fois les caractéristiques physiques du milieu et les caractéristiques dynamiques et structurales de la végétation.

Les types écologiques correspondraient donc à des parties de territoire dont la composition forestière, la structure, la croissance et la dynamique des peuplements sont particulières (Pierre Grondin. Communication personnelle). Ils sont ainsi répartis selon un régime donné de perturbations naturelles. Par exemple, les sapinières sont principalement régies par des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette, alors que les pessières sont plutôt régies par des feux (Pierre Grondin. Communication personnelle). Ce niveau de classification écologique pourrait par conséquent être utilisé comme unité de base pour l'aménagement forestier, la planification des scénarios sylvicoles et le calcul de possibilité (Grondin *et al.* 2000 : Saucier 1993 dans Saucier *et al.* 1998).

La forêt boréale commerciale est principalement composée du domaine bioclimatique de la pessière à mousses (Saucier *et al.* 1998) qui se divise en un sous-domaine de l'est et un de l'ouest. La région du Saguenay–Lac-Saint-Jean–Chibougamau–Chapais est située à l'intérieur de la pessière à mousses de l'ouest. La région écologique à l'étude (6e-Coteaux de la rivière Nestaocano) comprend surtout des types écologiques composés de résineux et les plus communs sont la pessière noire à mousses et la sapinière à épinette noire. Celle-ci est en quelque sorte un type écologique intermédiaire entre la sapinière et la pessière. En effet, la sapinière à épinette noire est caractérisée par des peuplements dont le couvert forestier est composé d'épinettes noires

(*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) et de sapins (*Abies balsamea* (L.) Mill.) (pessière à sapin ou sapinière à épinette), ainsi que des peuplements composés de peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides* Michx.) et d'épinettes. Il semble de plus que ce type écologique ait une fréquence de feux différente de celle de la pessière.

Les peuplements forestiers de la forêt boréale commerciale constituent une ressource importante et c'est l'épinette noire qui y est principalement récoltée. Cette essence est caractérisée par une croissance juvénile lente (Fantin et Morin 2002) et une installation rapide après feu, soit en moins de trois ans (Charron et Greene 2002 ; Saint-Pierre *et al.* 1992 ; Desrochers et Gagnon 1997 ; Gagnon 1998). L'installation rapide et abondante de la régénération de l'épinette noire mène normalement à la formation de peuplements équiennes. Lorsqu'elle se régénère après feu, cette espèce se comporte comme une espèce pionnière (Gagnon 1998).

La dynamique de la forêt boréale en est une de perturbations. Ainsi, les feux, les épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette et les coupes forestières ont un impact direct sur l'évolution des peuplements. Il est reconnu qu'après un incendie forestier, les peuplements d'épinette noire se régénèrent en un autre peuplement semblable sans succession, s'il était constitué au départ d'arbres matures ayant des graines viables et si les conditions de germination et de survie des semis étaient adéquates (Gagnon 1998). De plus, la croissance ne sera pas la même selon qu'elle est mesurée sur des arbres survivants, des individus installés sous couvert de survivants ou encore des arbres installés en milieu ouvert après un feu. La dynamique après feu aurait donc un impact sur la croissance potentielle. Les épidémies de tordeuse ont, pour leur part, non seulement un impact sur la dynamique des sapinières, mais aussi sur la croissance de l'épinette noire puisque la tordeuse se nourrit aussi des aiguilles de cette essence. En effet, une diminution de la croissance s'observe chez les épinettes noires en période épidémique (Levasseur 2000). De plus, Fournier (1997) a démontré que ce type d'épidémie provoque des diminutions de croissance autant chez les épinettes de grande taille que chez les petites, de même qu'un délai dans la reprise de croissance des tiges après coupe avec protection de la régénération et des sols.

La coupe forestière, même si elle constitue une perturbation d'origine anthropique, influence aussi la dynamique des peuplements. En observant la dynamique des peuplements après une

perturbation naturelle selon sa composition au départ et la sévérité de la perturbation, il devient alors possible d'évaluer comment les peuplements devraient évoluer après une coupe et comment la forêt devrait être aménagée pour revenir au peuplement d'origine.

Peu d'études ont été effectuées jusqu'à présent sur la croissance d'un peuplement après une perturbation, selon sa composition végétale, le type de site où il se trouve et son origine.

La présente étude s'inscrit dans la lignée des travaux réalisés au ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ), dans le cadre du programme de la connaissance des écosystèmes forestiers, ainsi que ceux du laboratoire d'écologie végétale de l'Université du Québec à Chicoutimi, concernant la croissance et la dynamique des peuplements de la forêt boréale commerciale. Les travaux du MRNQ ont comme objectif d'établir des relations entre la croissance des essences forestières et le type écologique, le climat et les régimes de perturbation pour le sud-ouest de la forêt boréale québécoise, dans le but de mieux comprendre la dynamique qui caractérise les types écologiques (Grondin 1999). C'est dans le cadre de ces études qu'à l'automne 1999, le MRNQ a effectué le prélèvement d'arbres dominants sur différentes placettes dans la région écologique 6e-Coteaux de la rivière Nestaocano, à l'intérieur du sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest (Saucier *et al.* 1998), dans le but d'effectuer des analyses de croissance par type écologique. Les résultats des analyses de tige de ce projet ont montré qu'il y avait des différences dans la croissance en hauteur des tiges dominantes entre les peuplements du même type écologique. La présente étude se veut une analyse complémentaire aux travaux effectués par le MRNQ.

Ce projet veut donc apporter des renseignements supplémentaires concernant la croissance de l'épinette noire sur différents types écologiques, en tenant compte de l'histoire des peuplements. Celle-ci joue effectivement un rôle déterminant dans la dynamique des peuplements et la croissance des individus. En effet, les épidémies d'insectes et les feux ont un impact direct sur l'établissement d'un peuplement ainsi que sur la croissance des individus. Il semblerait aussi que l'époque où le peuplement s'est installé a un impact sur la croissance des individus. Des études effectuées en forêt boréale québécoise ont démontré une différence de croissance chez les épinettes noires selon qu'elles étaient issues d'un feu du 19^e siècle ou d'un feu du 20^e siècle

(Dupouey *et al* 2002 ; Fantin et Morin 2002). Grondin (2000) a observé les mêmes résultats lors d'une étude en Abitibi, portant sur la croissance potentielle en hauteur et la dynamique des essences forestières des principaux types écologiques des régions écologiques 5a et 6a.

La croissance des épinettes noires sera étudiée à partir des analyses de tige. Les structures d'âge des peuplements permettront de connaître leur origine et de déterminer son influence sur la croissance.

Le principal objectif est d'expliquer les différences de croissances observées chez l'épinette noire dans les deux types écologiques les mieux représentés sur le territoire de la pessière à mousses de l'ouest et qui présentent des caractéristiques similaires au niveau de leur dépôt de surface et de leur drainage.

L'hypothèse de recherche est qu'il est possible d'expliquer, du moins en partie, les différences de croissance observées dans les peuplements d'épinettes noires par l'histoire des peuplements.

2. Méthodologie

2.1 Analyses faites au préalable par le ministère des Ressources naturelles

C'est dans le cadre d'un vaste projet visant à améliorer les connaissances écologiques et forestières et l'aménagement du sud-ouest de la forêt boréale québécoise (Grondin 2000) que le ministère des Ressources naturelles a procédé, en 1999, à un projet d'analyses de tige des principales essences d'une des régions écologiques de la pessière à mousses de l'ouest, soit la région écologique 6e-Coteaux de la rivière Nestaocano (Grondin 1999).

Dans un premier temps, la localisation des types écologiques et des peuplements forestiers a été effectuée à partir de cartes écoforestières du MRNQ et de photographies aériennes (Grondin 1999). Par la suite, l'identification sur le terrain d'un site représentatif du type écologique a été effectuée et les arbres (dominants ou codominants, généralement 5 par espèce par site) devant être retenus pour les analyses de tige ont été marqués (Grondin 1999). La description de chaque site a été effectuée, c'est-à-dire que toutes les variables écologiques et forestières du site ont été déterminées à l'aide de clés d'identification du guide d'identification du type écologique (Bergeron *et al.* 1999) et du Point d'observation écologique (Saucier *et al.* 1994), puis elles ont été compilées. Enfin, les arbres préalablement sélectionnés ont été abattus. Des rondelles ont été prélevées à 15 cm du niveau du sol, puis à 60 cm, 1 m, 1,3m, 3m et à tous les 2 mètres jusqu'à la cime de l'arbre. Un total de 281 tiges, réparties sur quatre essences, ont été prélevées. Les rondelles ont été sablées et analysées au laboratoire d'écologie végétale de l'UQAC entre octobre 1999 et juin 2000.

Au départ, les années de croissance ont été comptées de l'écorce au cœur sous une loupe binoculaire (grossissement maximum de 100X). Pour les rondelles de 0,15 m, 0,6 m, 1 m et 1,3m, les cernes étaient dénombrés sur quatre rayons et pour les autres rondelles, le calcul a été fait sur deux rayons. Puis, chacun des cernes de croissance a été mesuré à l'aide d'un lecteur optique et du logiciel de mesure MacDENDROTM. Dans le cas où les cernes étaient trop difficiles à lire, ils étaient mesurés à l'aide d'un micromètre sous une loupe binoculaire, couplé au logiciel MacTRIMTM. L'interdatation a, par la suite, été effectuée visuellement, puis vérifiée à l'aide du logiciel COFECHA (Holmes 1983). Pour ce faire, les mesures des rayons de chaque

rondelle ont d'abord été interdatées, puis les mesures de chaque rondelle d'un même arbre, ensuite celles de chaque arbre pour un même site et finalement celles de tous les sites réunis pour une même essence. Enfin, le personnel du ministère a procédé à l'élaboration des courbes de croissance en hauteur, en diamètre et en volume des arbres dominants pour chaque site, à l'aide du logiciel ANATI (Tardif 2001). Cela a permis d'établir un indice de qualité de station (IQS) potentiel pour chaque site.

2.2 Description du territoire et choix des types écologiques

Selon Bergeron *et al* (1999), le territoire étudié se situe dans le sous-domaine bioclimatique de la pessière à mousses de l'ouest. Celle-ci compte 7 régions écologiques (6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f et 6g), délimitées selon leur composition et leur dynamique forestières (Bergeron *et al* 1999). La région étudiée est la 6e-Coteaux de la rivière Nestaocano. Elle couvre environ 22 000 km², du réservoir Gouin au sud-est du lac Mistassini (Grondin 1999) (figure 1). C'est une région constituée de coteaux et de collines et les dépôts de surface les plus importants sont des tills glaciaires épais et des tills glaciaires d'épaisseur inférieure à un mètre. La plus grande partie du territoire est dominée par des peuplements résineux, principalement composés d'épinettes noires (Bergeron *et al* 1999). Les types écologiques de cette région sont les pessières (pessière noire à lichens, pessière noire à mousses, pessière noire à sphaignes) et les sapinières (sapinière à bouleau blanc, sapinière à épinette noire et sapinière à épinette noire et sphaignes) (Bergeron *et al* 1999).

Pour la présente étude, les types écologiques les plus fréquemment rencontrés à l'intérieur de la forêt boréale commerciale ont été sélectionnés, à savoir la pessière noire à mousses ou à éricacées sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique (RE22) et la sapinière à épinette noire sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique (RS22). La première lettre du code indique le type de couvert forestier, la deuxième lettre, l'essence arborescente dominante de la végétation potentielle, alors que les deux chiffres qui suivent sont un numéro séquentiel attribué aux classes de texture du dépôt de surface et de drainage. (Bédard 2002).

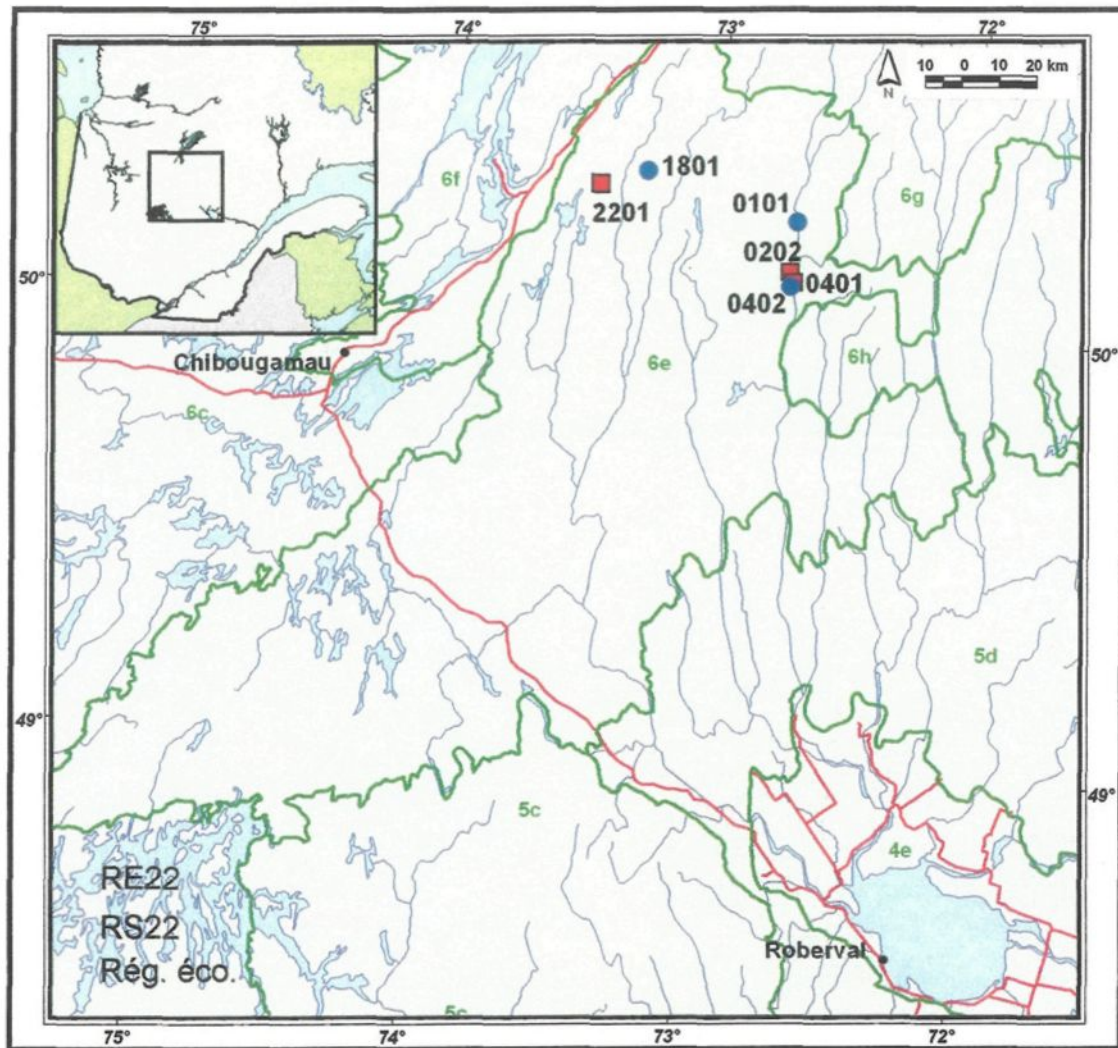


Figure 1 : Localisation des sites d'échantillonnage.

Ces deux types écologiques sont des sites à dépôt mésique de texture moyenne (Bergeron *et al.* 1999). Un site est qualifié de mésique lorsque ses caractéristiques de pente, de texture, de pierrosité et d'épaisseur du dépôt de surface ainsi que d'apport en eau, sont moyennes (ni trop favorables, ni trop limitantes) (Saucier *et al.* 1998). La pessière noire à mousses est caractérisée par un couvert forestier dominé par l'épinette noire et un groupe d'espèces indicatrices composé de kalmia (*Kalmia angustifolia* L.), de thé du Labrador (*Ledum groenlandicum* O.), de mousses telles que l'hypne dorée (*Pleurozium schreberi* (BSG) Mitt.), des herbacées, comme le cornouiller du Canada (*Cornus canadensis* L.) et d'arbustes, comme le dierville chèvrefeuille (*Diervilla lonicera* P.M.). La sapinière à épinette noire se caractérise plutôt par un couvert arborescent composé d'épinettes noires, de bouleaux à papier (*Betula papyrifera* Mars.) et de sapins baumiers, souvent en strate inférieure à celle de l'épinette. Les espèces indicatrices sont semblables à celles de la pessière à épinette noire, à l'exception du dierville chèvrefeuille qui n'est généralement pas observé, et la présence de l'hypne éclatante (*Hylocomium splendens* (Hedw) BSG) (Berger *et al.* 2000).

La présente étude porte sur l'épinette noire seulement. Quelques observations ont été effectuées sur le sapin baumier, mais à titre de complément d'information seulement. Pour chacun des deux types écologiques retenus, les placettes qui ont été choisies étaient situées à peu près à la même latitude à l'intérieur de la région écologique 6e. De plus, pour un même type écologique, les peuplements pour lesquels les courbes de croissance moyenne de l'épinette noire démontraient des différences qui semblaient être significatives ont été sélectionnées. En outre, le choix a aussi été effectué afin d'obtenir à la fois des peuplements âgés (issus d'un feu de plus de cent ans) et des peuplements plus jeunes (issus de moins de cent ans) pour un même type écologique. Six placettes ont donc été choisies, dont quatre au nord de Girardville, au lac St-Jean et deux au nord-est de Chibougamau (figure 1).

Dans la sapinière à épinette noire (RS22), deux sites étaient situés dans des vieux peuplements, soit le site 0401 au nord du Lac Saint-Jean et le site 2201 au nord-est de Chibougamau. Quant au site 0202, au nord du lac St-Jean, il était situé dans un jeune peuplement du même type écologique (tableau 1).

Les placettes 0101, 0402 et 1801 étaient situées à l'intérieur de la pessière noire à mousses. La première était dans un peuplement jeune. Il est à noter qu'elle est considérée du même type écologique que les deux autres placettes malgré sa pente un peu plus élevée. Les vieux peuplements sont ceux des placettes 0402 au nord du lac Saint-Jean et 1801 au nord de Chibougamau.

2.4 Échantillonnage

L'échantillonnage pour la présente étude a été effectué à l'automne 2000. Dans chaque site où des analyses de tige avaient été effectuées par le MRNQ, tous les arbres et les semis à l'intérieur d'une placette de 10 m par 20 m, représentative du type écologique, ont été récoltés. Le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) a été mesuré et une rondelle à la base de chaque arbre a été recueillie. Dans le cas où le peuplement n'était pas assez dense pour obtenir un nombre suffisant d'échantillons de DHP > 10 cm (50 au minimum), certaines tiges ont été prélevées à l'extérieur de la placette, tout près de ses limites. De plus, une rondelle à la base des arbres qui avaient été échantillonnés en 1999, et qu'il était possible de retrouver, a été prélevée pour avoir un âge plus précis. Une rondelle à la base de pins gris (*Pinus banksiana* L.), de peupliers faux-tremble ou de bouleaux à papier situés à proximité de la placette a aussi été récoltée pour connaître de façon plus précise la date du feu ayant donné naissance au peuplement. Par ailleurs, les arbres avec des cicatrices de feu présents à proximité étaient coupés et une rondelle y était prélevée au niveau de la cicatrice. Enfin, un relevé de végétation et une analyse du sol de chaque placette ont permis de confirmer la classification du site qui avait été préalablement établie par le MRN en 1999.

2.5 Analyse des échantillons

2.5.1 Détermination de l'âge et mesure de la croissance

Les rondelles récoltées ont été séchées puis sablées finement. Les cernes de croissance ont été comptés à la loupe binoculaire (100X). Les années de croissance ont été dénombrées de l'écorce au cœur, sur deux rayons opposés. Si les cernes étaient trop difficiles à repérer, la section de la rondelle était humectée, coupée à la lame de rasoir puis colorée à la craie, de façon à rendre les cernes plus lisibles. Les structures d'âge ont par la suite été effectuées pour obtenir des renseignements sur l'origine du peuplement et sur les événements qui ont pu affecter le peuplement durant sa croissance. Elles ont été élaborées à l'aide du logiciel SIGMAPLOT. Ces structures d'âge ont été effectuées avec les épinettes noires et les sapins baumiers adultes seulement. Une couleur a été attribuée pour chaque type d'individu recueilli, soit les épinettes noires vivantes, mortes, pourries, recueillies à l'extérieur ou à l'intérieur de la placette, et les sapins. L'âge obtenu par le décompte des cernes est un âge minimum, compte tenu du fait qu'il n'y a pas eu d'analyses dans la souche (Desrochers et Gagnon 1997).

Certains échantillons, qui étaient morts ou pourris lors du prélèvement, et qui n'étaient pas regroupés dans la cohorte régénérée après feu, ont dû être mesurés à l'aide d'un lecteur optique et du logiciel MacDENDRO™. Dans le cas où il n'était pas possible de lire les cernes de croissance avec le lecteur optique, soit parce qu'ils étaient trop serrés ou que la rondelle était pourrie, les cernes ont été lus sous la loupe binoculaire et le logiciel MacTRIM™ a été utilisé. Par la suite, chaque arbre mesuré a été interdaté de façon visuelle, puis cette interdatation a été vérifiée à l'aide du programme COFECHA (Holmes 1983), afin de déterminer la date d'installation de façon plus précise. L'interdatation a été effectuée à l'aide des mesures de cernes qui avaient été faites pour le projet d'analyses de tige du MRNQ. La mesure des arbres analysés en 1999 qui a été utilisée est la moyenne des largeurs de cernes des quatre rayons de la rondelle à 0,15 m. Premièrement, les arbres morts ont été interdatés avec la moyenne des arbres dominants analysés en 1999. Après avoir effectué les corrections nécessaires, les mesures des arbres analysés en 2000 ont été incorporées à la moyenne pour faire une moyenne globale intégrant les échantillons de 2000 et de 1999. Le même procédé a été utilisé pour interdater les arbres vivants, mais qui n'étaient pas regroupés dans la cohorte régénérée après feu. Enfin, après que toutes les corrections

eurent été effectuées, tous les arbres d'un même site ont été interdatés ensemble, soit les arbres de 1999 et 2000, et une moyenne totale des mesures de cernes pour chaque année pour chaque site a été calculée.

Par la suite, les structures d'âge ont été corrigées en fonction des nouvelles années de naissance des arbres interdatés. Les indices permettant de déterminer la date d'un feu ont été ajoutés sur les graphiques, par exemple la date de naissance d'un peuplier faux-tremble ou d'un pin gris, ou encore la date d'une cicatrice de feu observée sur certaines rondelles analysées.

Pour les sites 0101, 0202 et 2201, les renseignements étaient suffisamment complets pour permettre l'explication de l'origine des structures d'âge obtenues.

Pour les sites 0402 et 1801, les dates de perturbation ont été évaluées en fonction de celles des autres peuplements, car il n'a pas été possible de trouver des cicatrices de feu ou d'autres indices à proximité de ces deux placettes.

Enfin, les courbes de croissance radiale ont été effectuées pour déterminer s'il y avait des sites où les épinettes démontraient des reprises importantes de croissance. Pour le site 0401 par exemple, deux cohortes étaient observées à l'intérieur de la structure d'âge, et aucun indice du passage d'un feu vers les années d'installation de la seconde cohorte n'avait été trouvé sur le terrain. Il n'était donc pas possible de confirmer que cette deuxième cohorte s'était installée après feu. Les courbes de croissance radiale ont permis de mettre en évidence des reprises significatives de croissance. Pour ce faire, les mesures de tous les arbres ont été utilisées (1999 et 2000). Pour les arbres analysés en 1999, c'est la moyenne des quatre rayons de la rondelle à 0,15 m qui a été utilisée. Afin d'établir une bonne comparaison entre les arbres, les mesures de cernes ont été standardisées. Cela signifie que chaque mesure annuelle de cernes a été divisée par la moyenne des mesures obtenues pour toutes les années. Les courbes de croissance radiale ont par la suite été produites, à l'aide du logiciel SIGMAPLOT, à partir des mesures standardisées. Une courbe moyenne pour chaque site a été réalisée.

Par ailleurs, afin de déterminer s'il y avait une différence significative dans le patron de croissance en hauteur des peuplements jeunes et des peuplements vieux, ainsi que pour déterminer si la croissance était comparable d'un type écologique à l'autre, les courbes de croissance en hauteur ont été effectuées à l'aide de la méthode de CARMEAN et du logiciel SAS version 8. Cette méthode permet d'interpoler la hauteur d'une section d'une tige à l'autre, en présumant d'une part que la croissance en hauteur entre deux sections est constante pour chaque année et, d'autre part, que la rondelle analysée se trouve au milieu de l'année de croissance en hauteur (Dyer et Bailey 1987). Les échantillons utilisés pour cette étape sont les arbres dominants analysés en 1999. L'analyse par la méthode de CARMEAN a aussi permis l'élaboration des courbes d'accroissement annuel courant en hauteur.

2.5.2 Analyses statistiques

Des analyses de variance à mesures répétées ont ensuite été effectuées sur les courbes de croissance afin de déterminer si les différences étaient significatives. Les comparaisons de croissance ont été effectuées à l'aide de la procédure mixte (Wolfinger et Chang 2002) du logiciel SAS 8, en utilisant l'approche REML (Restricted maximum likelihood). La procédure mixte a été privilégiée parce qu'elle permet d'effectuer des analyses même avec des données manquantes. Elle permet en outre d'effectuer un seul test et de garder toujours la même erreur (Wolfinger et Chang 2002). Le design expérimental était déséquilibré (2 peuplements jeunes pour 4 peuplements vieux), complètement aléatoire, c'est-à-dire avec de vraies répétitions, et avec sous-échantillonnage à mesures répétées. Le sujet ou l'unité expérimentale est la parcelle alors que la mesure répétée est la hauteur des arbres x années après perturbation. Les facteurs sont l'époque et le type écologique. Les analyses de variance ont été effectuées avec partition (slicing) à partir de 0 année après perturbation, puis à tous les 20 ans après perturbation. Les différences ont été considérées comme étant significatives à $P < 0,05$. Le test retenu est celui de la symétrie composée, où les variances sont hétérogènes.

Enfin, pour obtenir un complément d'information sur la croissance, les courbes de croissance en hauteur des sapins ont été élaborées par la même méthode que pour les épinettes. Seule une comparaison visuelle des courbes peut être effectuée étant donné qu'il n'y a qu'un site pour

chaque type de peuplements, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de répétitions pour les peuplements jeunes et les peuplements vieux.

3. Résultats

Les résultats obtenus pour les sites de la sapinière à épinette noire sont au départ présentés, suivis de ceux de la pessière noire à mousses. Dans un premier temps, les structures d'âge et les courbes de croissance en hauteur sont présentées. Viennent ensuite les courbes d'accroissement annuel courant et de croissance radiale moyenne. La présentation des résultats des analyses de variance qui permettent de tester les variations dans la croissance en hauteur des épinettes noires suit en dernier lieu.

Les courbes de croissance en hauteur des sapins baumiers ont été élaborées afin de compléter les informations sur la croissance. Toutefois, il n'a pas été possible d'effectuer des analyses statistiques pour déterminer de façon précise les variations dans la croissance du sapin parce qu'il n'y avait pas de répliqua au niveau des sites analysés.

3.1 Sapinière à épinette noire

Tous les peuplements situés à l'intérieur de la sapinière à épinette noire (RS22) ne présentent pas la même structure d'âge (figures 2a, 2c et 2e). En effet, le site 0202 démontre une structure d'âge équiennne après feu. L'analyse de peupliers faux-trembles a permis de situer la perturbation vers 1918 et le peuplement s'est installé par la suite (figure 2a). Il est reconnu que les peupliers faux-trembles s'installent rapidement après un feu (Desrochers 1996). Il est donc possible d'associer la date de cette perturbation à la date de leur naissance. La majorité des épinettes noires de ce site se sont installées entre 1925 et 1939. La courbe moyenne de croissance en hauteur montre que les individus ont poussé relativement rapidement. Ils ont effectivement atteint 17 mètres en moins de 80 ans (figure 2b). Le couvert arborescent de ce site était composé d'épinettes noires et de peupliers faux-trembles (tableau 1), les sapins se retrouvant en sous-étage.

Les individus du site 0401 semblent s'être installés suite au même feu que ceux du site 0202, mais la structure d'âge est inéquiennne bimodale (figure 2c). En effet, une grande partie des individus se sont installés entre 1930 et 1944, mais il est possible d'observer quelques épinettes qui se sont installées entre 1875 et 1884. La figure 3d, qui illustre la courbe de croissance radiale moyenne des individus de ce site, démontre en effet que les vieux arbres présentent une reprise de croissance vers 1920, indiquant la possibilité que le peuplement se soit ouvert après un feu. C'est aussi à ce moment que la deuxième cohorte d'épinettes noires s'est installée. Deux sapins adultes ont été récoltés dans ce site et ils se sont installés en même temps que la majorité des épinettes noires, soit entre 1925 et 1934 (figure 4a). La courbe de croissance en hauteur des arbres dominants prélevés en 1999 démontre que les analyses de tige ont été effectuées à partir d'arbres dont la plupart faisaient partie de la première cohorte d'individus (figure 2d).

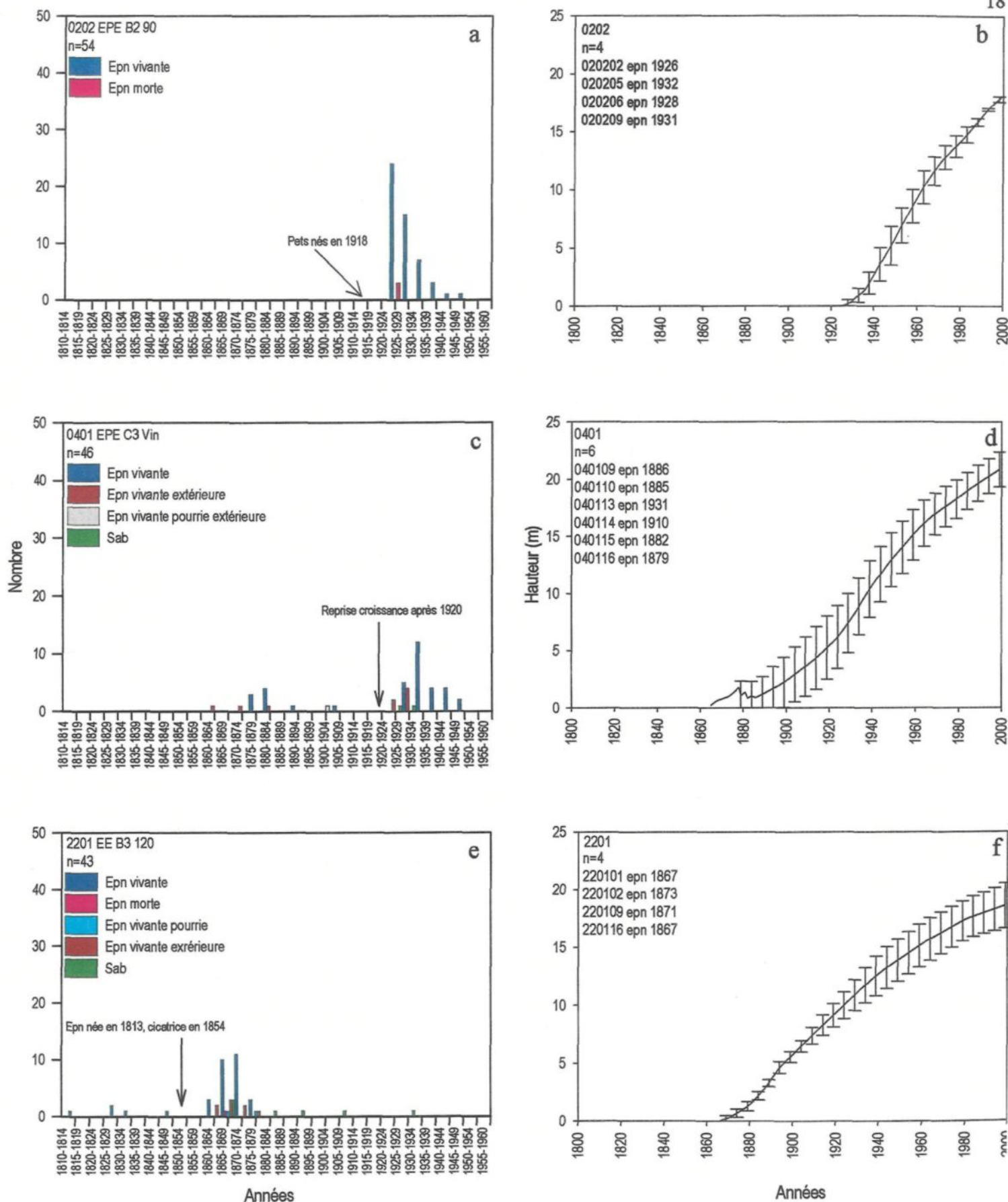


Figure 2: Structures d'âge (a, c, e) et courbes de croissance moyenne en hauteur (b, d, f) des sites classés dans la sapinière à épinette noire.

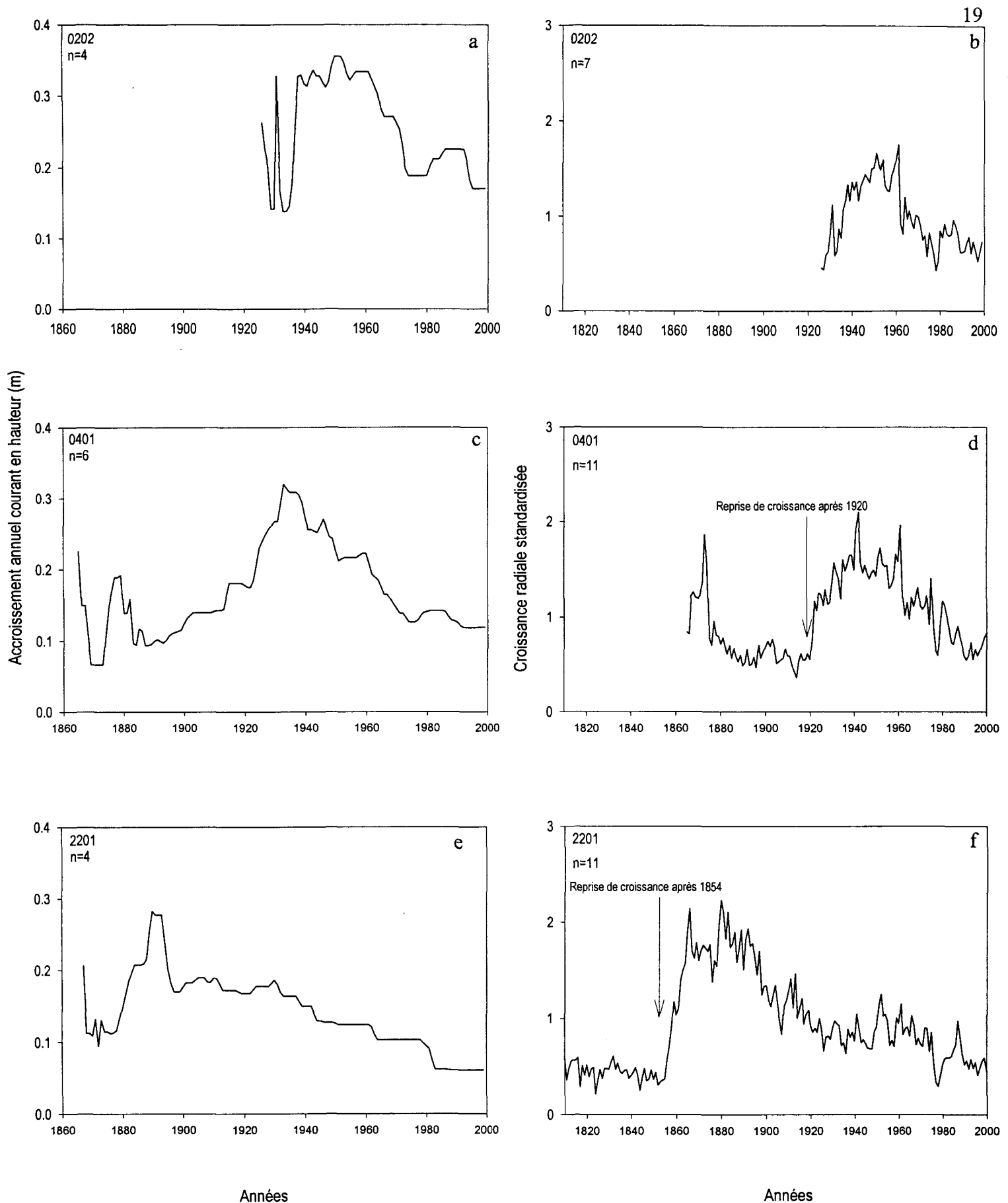


Figure 3: Courbes d'accroissement annuel courant (a, c, e) et de croissance radiale moyenne standardisée (b, d, f) pour les sites situés à l'intérieur de la sapinière à épinette noire.

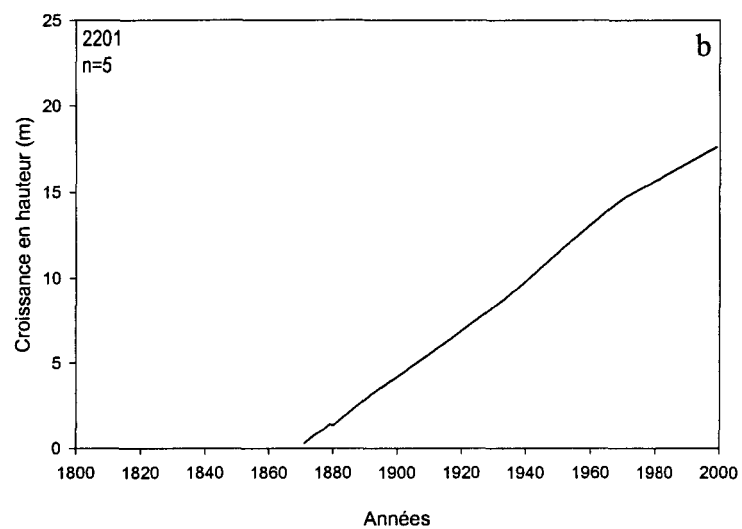
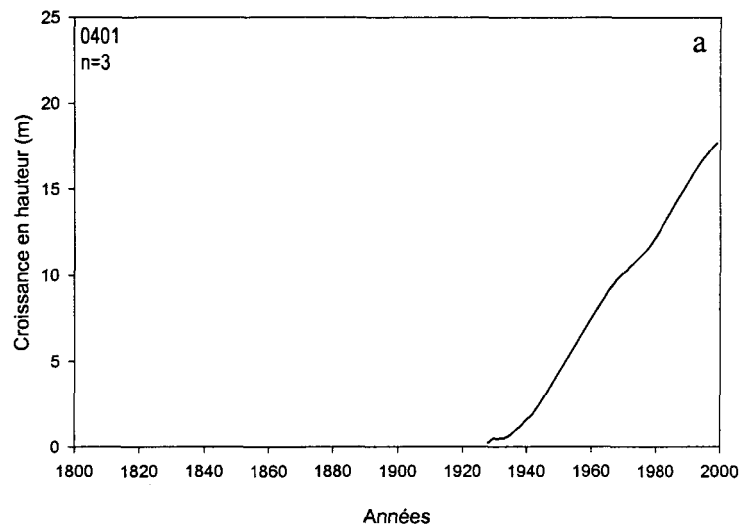


Figure 4: Courbes de croissance en hauteur des sapins baumiers des sites 0401 (a) et 2201 (b) situés dans la sapinière à épinette noire.

Une structure d'âge inéquienne a aussi été obtenue pour le site 2201 (figure 2e), sans avoir une structure bimodale. Pour ce site, l'analyse d'une épinette noire née en 1813 et ayant une cicatrice de feu en 1854 permet de situer la perturbation. Cette épinette mesurait entre 1 et 2 mètres de hauteur l'année du feu. La plupart des épinettes se sont installées entre 1865 et 1874, soit après le feu de 1854. Toutefois, la structure d'âge permet d'observer que certains individus sont plus vieux que cette perturbation (figure 2e) puisque leur année de naissance est antérieure à 1854. Les courbes de croissance en hauteur ont été élaborées à partir des individus nés après le feu de 1854 (figure 2f). Par ailleurs, la majorité des sapins récoltés semblent s'être installés en même temps que la majorité des épinettes noires, soit entre 1865 et 1879.

La croissance des deux peuplements âgés (figures 2d et 2f) est plus lente que celle des individus du site 0202 (figure 2b). Par exemple, les individus des sites 0401 et 2201 prennent près de 100 ans pour atteindre 15 m de hauteur. Le même phénomène s'observe pour les courbes de croissance en hauteur chez les sapins. Les jeunes individus du site 0401 (figure 4a) ont une meilleure croissance que ceux du site 2201, qui sont plus vieux (figure 4b).

Les courbes d'accroissement annuel courant et de croissance radiale (figure 3) permettent de constater que les épinettes de tous les sites de la sapinière à épinette noire démontrent des patrons de croissance relativement semblables. La différence de croissance se situe entre les courbes d'accroissement annuel courant des peuplements âgés et celle du peuplement jeune. Les individus du peuplement jeune ont un meilleur taux de croissance que les vieux individus (figures 3a, 3c, 3e). Par exemple, le taux d'accroissement des jeunes épinettes atteint presque 36 cm, et les valeurs se situent presque toujours au-delà de 20 cm. Le jeune peuplement (site 0202) démontre donc une croissance supérieure à celles des vieux individus (figure 3a). Ces valeurs sont beaucoup plus faibles, soit de 9 à 28 cm pour le peuplement du site 2201 et 7 à 27 cm pour les épinettes du site 0401 (en ne tenant pas compte du pic d'accroissement dû au feu de 1918).

Les courbes de croissance radiale permettent de visualiser les bonnes et mauvaises périodes de croissance. Comme mentionné précédemment, la courbe du site 0401 (figure 4d) permet de mettre en évidence la reprise de croissance après 1920 et celle du site 2201, la reprise de croissance après 1854 (figure 3f).

3.2 Pessière noire à mousses

Les trois sites à l'intérieur de ce type écologique démontrent des structures d'âge équiennes après feu (figure 5a, 5c et 5e). La cicatrice de feu du pin gris né en 1859 permet d'établir que le peuplement du site 0101 provient d'un feu du début du 20^e siècle, soit vers 1919. D'après les structures d'âges obtenues pour les sites 0402 et 1801, il semble que ce soit une perturbation du milieu du 19^e siècle qui ait donné naissance aux peuplements. Toutefois pour ces deux sites, aucun indice n'a permis de dater de façon précise la perturbation en question.

La plupart des épinettes noires du site 0101 se sont installées entre 1925 et 1934 (figure 5a). Un sapin a été récolté dans ce site et il s'est installé en même temps que les épinettes. Pour le site 0402, cette installation s'est faite entre 1865 et 1884 (figure 5c), et entre 1860 et 1869 pour le site 1801 (figure 5e).

La comparaison des courbes de croissance des vieux peuplements de la pessière noire à mousses, soit les sites 0402 et 1801 (figures 5d et 5f) avec celle du peuplement jeune (0101, figure 5b) permet de noter que les vieux peuplements ont eu une croissance plus lente que celle du jeune peuplement. À titre d'exemple, les jeunes individus (figure 5b) ont atteint 15m de hauteur en moins de 65 ans. Cette hauteur est atteinte en 85 ans par les individus du site 0402, alors que les arbres du site 1801 prennent plus de 100 ans pour l'atteindre.

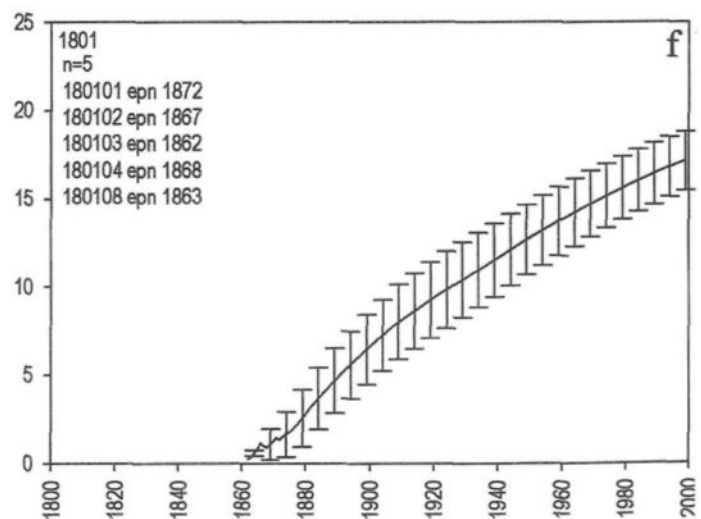
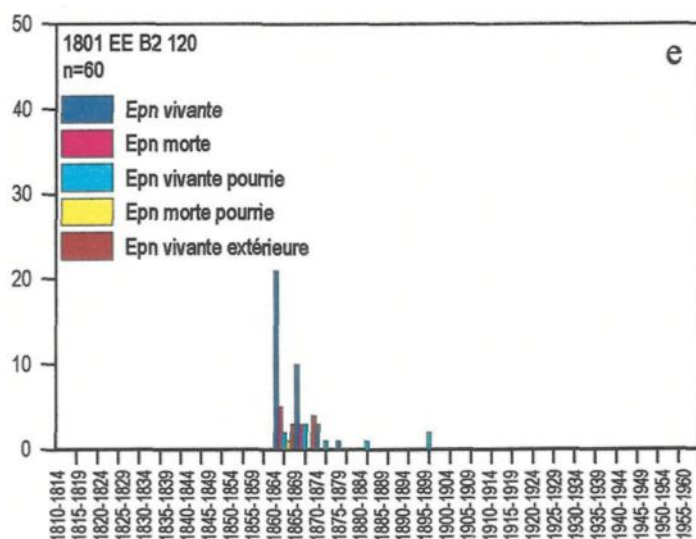
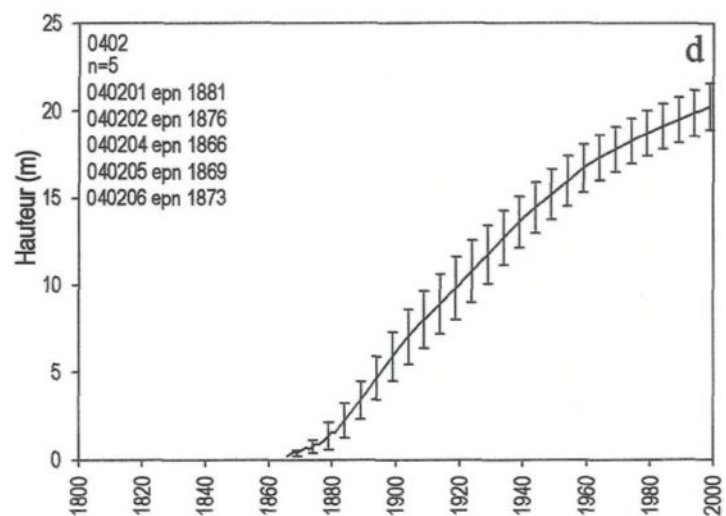
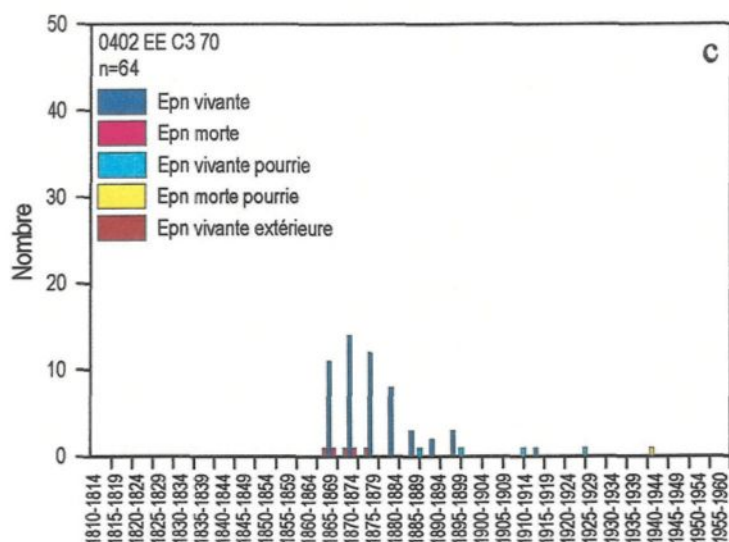
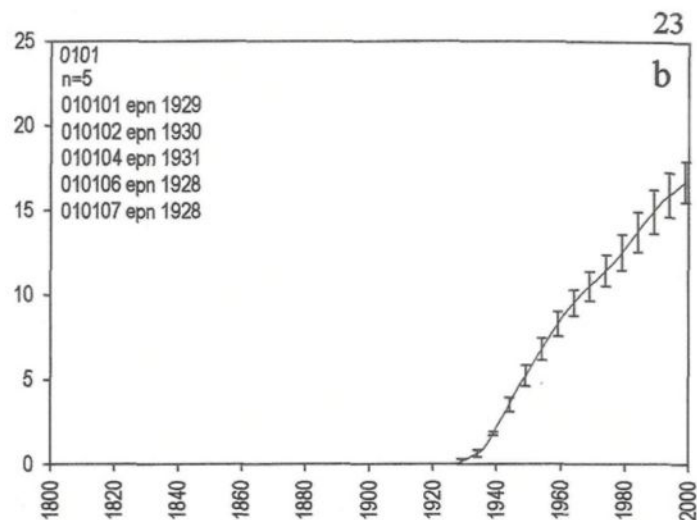
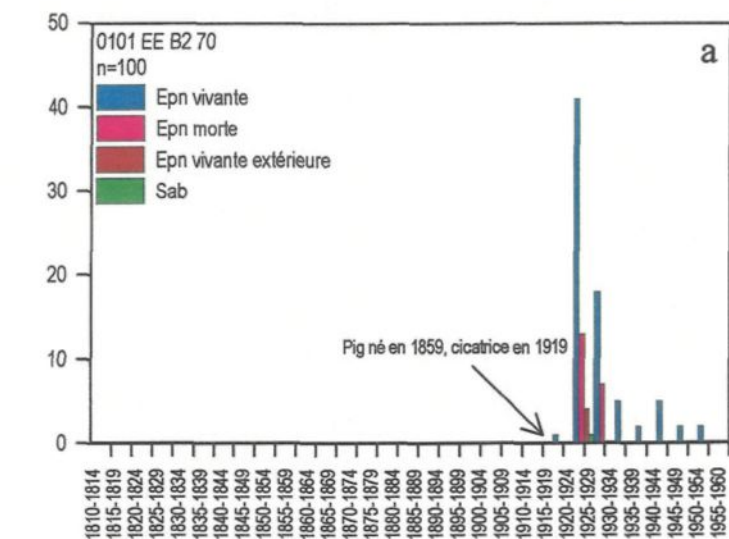


Figure 5: Structures d'âge (a, c, e) et courbes de croissance moyenne en hauteur (b, d, f) des sites classés dans la pessière noire à mousses.

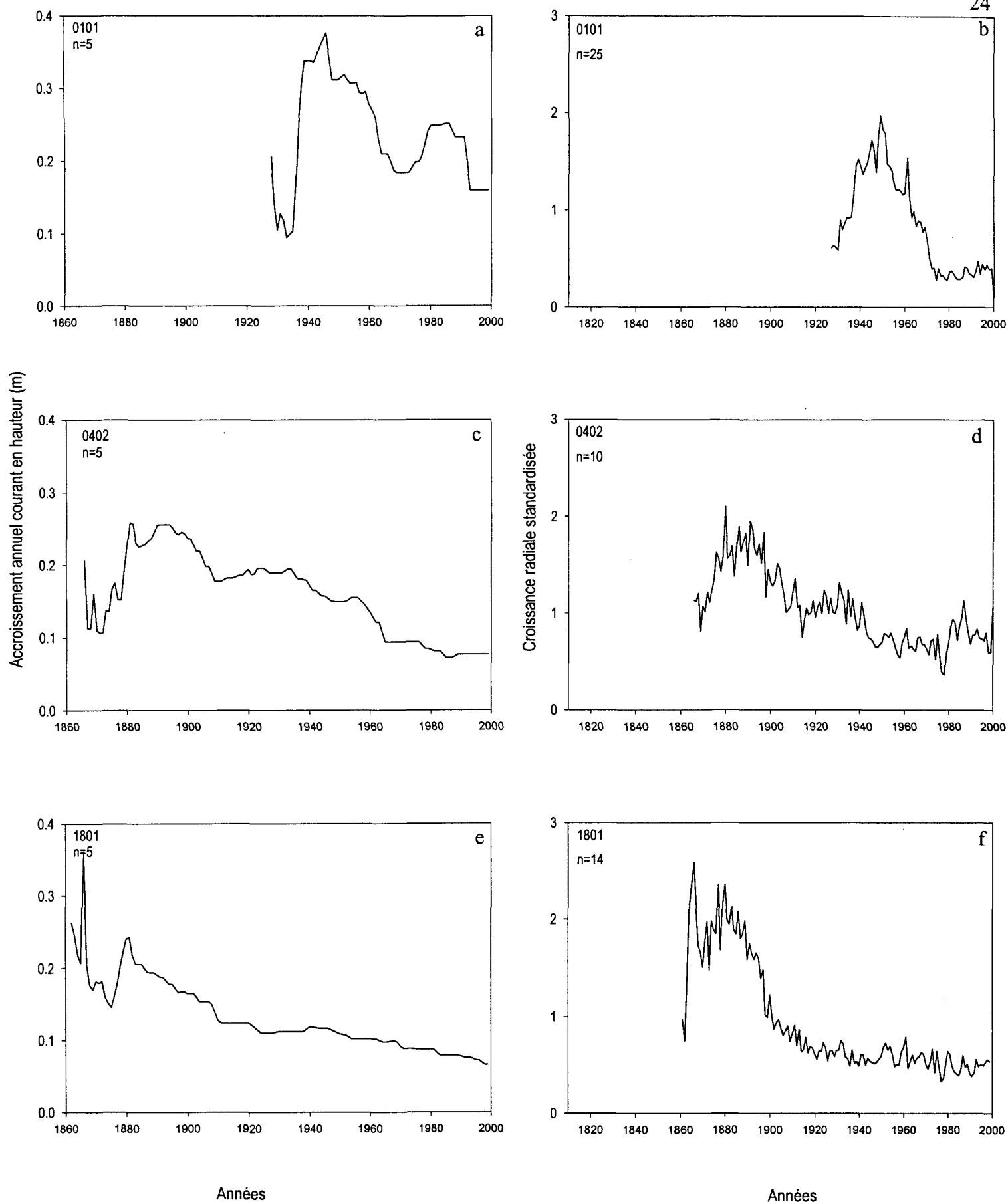


Figure 6: Courbes d'accroissement annuel courant (a, c, e) et de croissance radiale moyenne standardisée (b, d, f) pour les sites situés à l'intérieur de la pessière noire à mousses.

Les courbes d'accroissement annuel courant et les courbes de croissance radiale sont des courbes généralement observées chez l'épinette noire et elles démontrent que le peuplement jeune a un taux d'accroissement supérieur à celui des peuplements âgés (figures 6). Dans le cas du peuplement jeune (figure 6a), il est possible de noter un taux d'accroissement supérieur dans les premières années de croissance à celui des peuplements âgés (figures 6c et e).

Par exemple, dans les quarante premières années de croissance, le plus important pic d'accroissement passe de moins de 0,1m à près de 0,4m pour le peuplement jeune (figure 6a). Chez les peuplements vieux, pour la même période de croissance, ce pic d'accroissement passe d'environ 0,1m à environ 0,25m pour le site 0402 (figure 6c) et d'environ 0,15m à environ 0,25m pour le site 1801 (figure 6e).

Les courbes de croissance radiale (figures 6b, d et f) permettent de voir les variations annuelles de croissance et démontrent un patron normal de croissance pour les épinettes noires, soit une croissance augmentant au début, puis diminuant et se stabilisant par la suite. Il est aussi possible de remarquer une diminution de croissance vers la fin des années 1970 chez le jeune peuplement, attribuable à l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (figure 6b).

Enfin, en observant de façon globale les figures 2 et 5, il est possible de constater que les vieux peuplements de la sapinière à épinette noire (RS22) et de la pessière noire à mousses (RE22) n'ont pas la même histoire. Le premier présente des structures d'âge à deux cohortes alors que l'autre a des structures d'âge équiennes.

3.3 Analyses statistiques

Des analyses de variance à mesures répétées ont permis de déterminer si la croissance en hauteur des épinettes noires était significativement différente selon les types écologiques et l'âge des peuplements.

Tableau 2 : Analyse de variance globale de tous les sites d'échantillonnage.

<i>Source de variation</i>	<i>Degrés de liberté</i>		<i>Valeur de F</i>	<i>P > F</i>
	<i>Numérateur</i>	<i>Dénominateur</i>		
Type	1	3	0,01	0,9335
Époque	1	3	19,77	0,0212
Âge	7	18	465,99	<0,0001
TypeXÂge	7	18	2,68	0,0433
ÉpoqueXÂge	4	18	16,89	<0,0001

La variation dans la croissance en hauteur est principalement causée par l'âge, c'est-à-dire le nombre d'années après la perturbation. ($P < 0,0001$, tableau 2). L'époque où le peuplement s'est installé a aussi une influence sur la croissance ($P = 0,0212$). De plus, l'interaction «époqueXÂge» est hautement significative ($P < 0,0001$, tableau 2). L'interaction «typeXÂge» est significative aussi ($P = 0,0433$, tableau 2), mais elle est toutefois très proche de la valeur d'acceptabilité de 0,05.

Tableau 3 : Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées pour tous les sites d'échantillonnage.

Source de variation	Années après perturbation	Degrés de liberté		Valeur de F	P > F
		Numérateur	Dénominateur		
TypeXÂge	0	1	18	0,01	0,9110
TypeXÂge	20	1	18	0,11	0,7456
TypeXÂge	40	1	18	2,20	0,1556
TypeXÂge	60	1	18	2,55	0,1280
TypeXÂge	80	1	18	0,76	0,3944
TypeXÂge	100	0	-	-	-
TypeXÂge	120	0	-	-	-
TypeXÂge	140	0	-	-	-
ÉpoqueXÂge	0	1	18	0,00	0,9808
ÉpoqueXÂge	20	1	18	1,37	0,2565
ÉpoqueXÂge	40	1	18	19,33	0,0003
ÉpoqueXÂge	60	1	18	32,60	<0,0001
ÉpoqueXÂge	80	1	18	40,20	<0,0001
ÉpoqueXÂge	100	0	-	-	-
ÉpoqueXÂge	120	0	-	-	-
ÉpoqueXÂge	140	0	-	-	-

Ce tableau permet de déterminer à quel moment la croissance en hauteur est significativement différente. Entre les peuplements de types écologiques différents (interaction «typeXÂge»), la croissance n'est jamais significativement différente ($P > 0,05$). Par contre, la croissance en hauteur est significativement différente à partir de 40 années après la perturbation lorsque l'époque et l'âge interagissent. Par exemple, vingt ans après la perturbation, la valeur de P est de 0,2565, indiquant qu'il n'y a pas de différence significative dans la croissance. Quarante ans après la perturbation, cette valeur passe à 0,0003, ce qui signifie que la croissance est significativement différente entre les peuplements issus d'époques différentes. Cette différence significative dans la croissance s'observe à chaque tranche subséquente, jusqu'à 80 ans après la perturbation. À partir de 100 ans, aucune analyse n'a été effectuée étant donné l'insuffisance des données.

Tableau 4 : Analyse de variance à mesures répétées pour les peuplements âgés seulement.

<i>Source de variation</i>	<i>Degrés de liberté</i>		<i>Valeur de F</i>	<i>P > F</i>
	<i>Numérateur</i>	<i>Dénominateur</i>		
Type	1	4	0,00	0,9847
Âge	7	22	343,30	<0,0001
TypeXÂge	7	22	2,26	0,0681

En éliminant le facteur «époque» de l'analyse, c'est-à-dire en ne gardant que les peuplements âgés, le type écologique n'a pas d'influence significative sur la croissance en hauteur ($P = 0,0681$).

Tableau 5 : Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées en partition pour les peuplements âgés seulement.

<i>Source de variation</i>	<i>Années après perturbation</i>	<i>Degrés de liberté</i>		<i>Valeur de F</i>	<i>P > F</i>
		<i>Numérateur</i>	<i>Dénominateur</i>		
TypeXÂge	0	1	22	0,02	0,8848
TypeXÂge	20	1	22	0,01	0,9203
TypeXÂge	40	1	22	0,57	0,4598
TypeXÂge	60	1	22	0,71	0,4092
TypeXÂge	80	1	22	0,25	0,6221
TypeXÂge	100	0	22	0,04	0,8470
TypeXÂge	120	0	22	0,44	0,5121
TypeXÂge	140	0	22	0,92	0,3470

Aussi, la croissance en hauteur n'est pas significativement différente dans le temps en fonction des types écologiques ($P > 0,05$).

4. Discussion

Les épinettes noires plus jeunes (sites 0101 et 0202) se sont installées après un feu du début du 20^e siècle. Il est toutefois normal d'observer un délai d'installation puisque l'âge des épinettes noires a été obtenu par l'analyse de rondelles au sol et non dans la souche au niveau du collet. Il est reconnu que lorsque c'est la première méthode qui est utilisée, l'âge des épinettes est sous-estimé d'au moins trois ans, même jusqu'à dix-neuf ans (Desrochers 1996). De plus, St-Pierre *et al.* (1992) a démontré que la majorité des épinettes noires s'installent dans les trois premières saisons de croissance suivant un feu. Par ailleurs, les épinettes de ces deux sites ont sensiblement le même taux de croissance, malgré qu'il s'agisse de types écologiques différents (figures 2b et 5b).

Dans la sapinière à épinette noire, les différences obtenues dans la croissance en hauteur des arbres dominants semblent pouvoir être expliquées par l'histoire des peuplements, tout au moins en partie. En effet, dans les peuplements âgés (0401 et 2201), les arbres dominants analysés s'étaient installés sous couvert, alors que ceux du jeune peuplement (0202) sont des dominants qui se sont installés dans un milieu ouvert après feu. Pour le site 0401 par exemple, il y a probablement eu un feu vers 1919 et certains individus ont survécu à ce feu. De plus, les résultats obtenus pour ce site indiquent que les individus plus âgés n'ont pas toujours été des arbres dominants puisqu'ils étaient supprimés dans les premières années de leur croissance. Leur courbe de croissance radiale (figure 3d) permet de le confirmer étant donné qu'elle démontre une nette augmentation après 1920, alors qu'auparavant la croissance était ralentie, indiquant la possibilité que le peuplement se soit ouvert après le feu. Les arbres échantillonnés pour le site 0401 étaient donc des individus ayant survécu au feu de 1920, qui n'étaient pas dominants avant le feu et qui ont eu une reprise de croissance après l'ouverture du couvert. Les arbres dominants du site 2201 proviennent, eux, de la cohorte d'individus installés après le feu de 1854. Ce sont donc des arbres qui se sont installés après feu, mais sous couvert de survivants. Par conséquent, les individus de ce site ont aussi eu une croissance différente des arbres nés en milieu ouvert après feu du site 0202.

Même si les stations de la sapinière à épinette noire sont du même type écologique, la croissance entre les jeunes peuplements et les vieux peuplements est différente. De ce fait, la dynamique est également différente. Il est donc normal d'observer des différences au niveau de la croissance en

hauteur, car celle-ci a été mesurée sur des individus qui n'étaient pas du même statut hiérarchique. Pour être en mesure d'établir des patrons de croissance par type écologique, il faudrait utiliser des peuplements dont les arbres dominants ont le même statut hiérarchique et le même historique.

Dans la pessière noire à mousses, les trois peuplements étudiés sont composés d'individus qui se sont installés en même temps, dans un milieu ouvert. Pour ce type écologique, il semble en effet que les trois peuplements aient la même histoire, car les arbres dominants sont tous des individus installés en milieu ouvert après un feu. Même si aucune cicatrice n'a été trouvée pour les sites 0402 et 1801, il a été supposé que c'est un feu qui a donné naissance à ces peuplements vu qu'ils ont des structures d'âge typiques de peuplements équiennes installés après feu. Cette perturbation eut probablement lieu autour de 1854. C'est la cicatrice de feu retrouvée chez un individu du site 2201 qui a permis de supposer que le même feu est survenu dans les autres sites. Pour le site 1801, cela ne cause pas trop d'incertitude puisqu'il est situé à proximité du site 2201 (figure 1). Il est par le fait même très plausible que le même feu eut lieu sur les deux sites. Le site 0402 n'est pas dans le même secteur (figure 1), mais il est très près du site 0401, où les individus les plus vieux se situent dans la classe d'âge 1860-1864. Il est par conséquent possible que tous ces peuplements soient issus du feu de 1854.

Ce sont donc des peuplements ayant la même dynamique, le même type d'origine et dont les arbres dominants ont le même statut hiérarchique. Toutefois, les analyses de variance effectuées démontrent que pour ce type écologique comme pour la sapinière à épinette noire, des variations significatives dans la croissance ont été relevées. D'après les résultats obtenus, le facteur expliquant les différences dans la croissance est l'époque où le peuplement s'est installé (tableaux 2 à 5). L'allure des courbes de croissance le confirme bien aussi (figures 5b, 5d et 5f). Comme dans le cas de la sapinière à épinette noire, les jeunes épinettes poussent mieux que les épinettes âgées. De plus, la croissance est significativement différente seulement si les jeunes peuplements sont inclus. Lorsque l'analyse est effectuée sur les vieux peuplements seulement, la croissance n'est pas significativement différente entre les types écologiques (tableau 5), ce qui signifie que pour des peuplements du même âge, il n'y aurait pas de différence de croissance entre les deux types écologiques.

La différence de croissance pourrait alors s'expliquer par le fait que les peuplements ne se sont pas tous installés à la même époque. Des travaux récents ont démontré une telle variation dans la croissance de l'épinette noire selon les époques. Fantin et Morin (2002) ont établi que la croissance juvénile de deux générations d'épinettes noires sur un même site était significativement différente. Selon leur étude, les semis d'épinettes noires issus d'un feu de 1983 auraient une meilleure croissance juvénile que les arbres-mères du même site, issus d'un feu de 1870 pour deux sites et 1820 pour un autre site (Fantin et Morin 2002). Ces auteurs suggèrent que ces différences de croissance seraient attribuables à certains facteurs ayant soit contribué à améliorer la productivité des arbres à certaines époques, ou soit à la détériorer à d'autres époques, selon les conditions environnementales (Fantin et Morin 2002). Certains facteurs, comme l'augmentation des concentrations de CO₂ atmosphérique, une plus grande quantité des dépôts azotés dans le sol et une augmentation de la température auraient pu favoriser la croissance des jeunes peuplements. Par ailleurs, les basses températures moyennes lors du petit âge glaciaire couplées à une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette lors de l'installation des arbres-mères auraient pu défavoriser leur croissance (Fantin et Morin 2002). Les résultats obtenus dans la présente étude révèlent, quant à eux, que la croissance des vieilles et des jeunes épinettes est significativement différente à partir de la quarantième année de croissance après la perturbation (tableau 3). La méthode d'échantillonnage utilisée ne permet pas de mesurer la croissance juvénile, car les analyses ont été effectuées à partir d'une rondelle au niveau du sol. Des analyses plus approfondies auraient peut-être permis de constater des différences de croissance plus tôt dans la période de croissance. Aussi, un des facteurs invoqués favorisant la croissance est l'augmentation des dépôts azotés (Dupouey *et al.* 2002). Si c'est un effet de la pollution industrielle, il est normal que l'augmentation de croissance survienne plus tard au 20^e siècle, après les années 50. Ces résultats n'ont toutefois pas encore d'explications définitives.

De telles différences au niveau de la croissance des épinettes noires ont également été constatées par Gagné (2000) et Dupouey *et al.* (2002) de même que par Grondin *et al.* (2000). Le premier a observé des courbes de croissance moyenne en hauteur d'arbres dominants de jeunes peuplements (âge moyen de 65 ans) supérieures à celles de vieux peuplements (âge moyen de 175 ans) pour la même période de croissance dans des sites au nord du lac Saint-Jean (Gagné 2000). Le même

phénomène a été observé en Abitibi, lors d'une étude portant sur la croissance potentielle et la dynamique de peuplements. Les patrons de croissance en hauteur révèlent que les vieilles épinettes noires (installées avant 1890) possèdent une croissance inférieure aux épinettes noires jeunes (installées après 1890) (Grondin *et al.* 2000). Cet auteur mentionne de plus que les différences de croissance entre les jeunes et les vieilles épinettes noires sont importantes même lorsque la comparaison s'effectue sur un même type écologique, suggérant que d'autres facteurs peuvent avoir un impact sur la croissance (Grondin *et al.* 2000).

Le même phénomène semble aussi s'observer chez le sapin. Les courbes de croissance en hauteur des sapins analysés dans deux sites de la sapinière à épinette noire ont été illustrées à titre de complément d'information pour la présente étude. Les jeunes individus du site 0401 (figure 4a) semblent avoir une meilleure croissance que ceux du site 2201, qui sont plus vieux (figure 4b). Par ailleurs, les courbes de croissance des sapins (figure 4) semblent avoir tendance à continuer d'augmenter, alors que celles des épinettes noires semblent plafonner à la fin de la croissance (figures 2b, 2d et 2f). Cela pourrait indiquer que les sapins surpasseraient éventuellement les épinettes, mais comme l'échantillonnage n'a pas été effectué dans cette optique, il n'est pas possible de tirer de conclusions définitives de cette observation. Cela nous permet toutefois de voir que la variation de croissance d'un siècle à l'autre s'observe chez plus d'une espèce, suggérant ainsi qu'elle pourrait être influencée par des facteurs environnementaux autres que le type de station ou l'espèce.

Les courbes d'accroissement annuel courant permettent de constater que les épinettes des sites 0401 et 2201 démontrent des patrons de croissance standards, comme l'a observé Grondin *et al.* (2000) en Abitibi. Il est en effet possible d'y observer une phase d'installation courte, une phase juvénile qui semble s'étaler sur une période entre 18 et 25 ans, une phase de maturité d'une soixantaine d'années, suivie d'une période de sénescence (figures, 3c et 3e). Ces quatre phases ne sont pas toutes observées chez les épinettes du peuplement jeune (figure 3a), car il est probablement encore dans la phase de maturité. La diminution de croissance observée à partir de 1970 est attribuable à l'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem)) qui a sévi entre 1974 et 1988 (Morin et Laprise 1990; Krause et Morin 1995; Morin 1998), plutôt qu'à l'âge des individus.

En outre, un pic d'accroissement est observé chez les individus des sites 0401 durant leur phase de maturité. Cela démontre bien l'effet de l'ouverture du peuplement suite à une perturbation. En effet, ces épinettes ont eu un accroissement de 32 cm vers les années 1935, reprise de croissance non observée chez l'autre vieux peuplement durant cette période de meilleures conditions de croissance. Comme elle coïncide avec l'installation de la deuxième cohorte d'individus, cette reprise de croissance peut être attribuable au passage d'un feu (figure 2c).

Les courbes de croissance radiale ne peuvent pas être comparées entre elles étant donné qu'elles ont été standardisées. Elles ont été produites dans le but de mettre en évidence des reprises de croissance, à partir de tous les individus mesurés et interdatés. Par exemple, pour le site 0401 (figure 3d), la courbe indique bien que les individus ayant été considérés comme des dominants montrent une croissance réduite dans les premières années. Cette croissance augmente de façon significative lors du passage du feu de 1919. Cela indique le changement de statut hiérarchique dû à la perturbation. Le même phénomène s'observe dans le peuplement du site 2201, où les individus démontrent une augmentation de croissance après le feu de 1854 (figure 3f). Une telle augmentation de croissance au 20^e siècle ne s'observe pas chez les vieux individus des sites classés dans la pessière noire à mousses. Cela pourrait démontrer que c'est la dynamique du peuplement qui marque le plus les reprises de croissance.

La présence de sapin en sous-étage dans les sites étudiés ne semble pas influencer la croissance des épinettes noires. D'après les résultats de la présente étude, les épinettes noires présentent le même patron de croissance pour les deux types écologiques étudiés. Cela peut s'expliquer par le fait que ces types écologiques sont semblables au niveau du dépôt de surface et du drainage. Ils offrent donc le même substrat pour la croissance des arbres. La sapinière à épinette noire (RS2) et la pessière noire à mousses (RE2) étudiées sont aussi productives l'une que l'autre. Cependant, les structures d'âge obtenues suggèrent que la dynamique des peuplements de (RS2) et ceux de (RE2) n'est pas la même, compte tenu du fait que la structure végétale est différente. Il se pourrait que les incendies soient moins sévères dans les sapinières, faisant en sorte que les nouvelles tiges s'installent sous couvert de survivants. Cela pourrait démontrer que dans les peuplement classés dans RS2, les épinette noires poussant sous les peuplements matures

pourraient former, en compagnie des épinettes installées après feu, des peuplements matures de deux cohortes. Toutefois, l'échantillonnage effectué ne permet pas de généraliser cette observation à tous les peuplements classés dans RE2 de la région écologique étudiée. Si un échantillonnage plus complet permettait de confirmer cette hypothèse, cela apporterait des renseignements importants sur la croissance du peuplement qui s'installera après la perturbation.

Des études portant sur des types écologiques rencontrés dans la sapinière à bouleau jaune de l'Est démontrent une certaine variation dans la croissance potentielle des essences étudiées pour un certain nombre de types écologiques, mais que, pour certains d'entre eux, la croissance est similaire (Bédard 2002). Ils peuvent être regroupés et un indice de qualité de station commun peut leur être attribué (Bédard 2002). Selon les résultats obtenus dans cette étude sur la croissance de la sapinière à épinette noire (RE2) et de la pessière noire à mousses (RS2), les deux types écologiques ont le même potentiel de croissance, mais les structures d'âge obtenues suggèrent de maintenir la différenciation entre ces deux types écologiques, car la dynamique des vieux peuplements de ce type écologique est particulière et une partie de la variation dans la croissance est expliquée par cette dynamique.

Lors de travaux ultérieurs sur la croissance potentielle et la dynamique des espèces forestières des régions écologiques du Québec, il serait utile d'effectuer les structures d'âges des peuplements avant de faire des analyses sur la croissance des dominants, afin d'effectuer ces analyses sur des individus ayant le même historique et le même statut hiérarchique. Cela permettrait une analyse plus complète et des différenciations plus précises entre les types écologiques

5. Conclusion

Les résultats de cette recherche ont permis d'expliquer une partie des différences de croissance observées chez l'épinette noire par l'histoire des peuplements. Les sites étudiés dans la sapinière à épinette noire avaient effectivement des structures d'âge différentes, à deux cohortes, ce qui influence la croissance des individus.

L'historique des peuplements n'a pas permis, par contre, d'expliquer les différences de croissance dans les peuplements montrant des structures d'âge équiennes après feu. Certaines hypothèses sont avancées pour expliquer les variations de croissance entre les peuplements datant du 19^e siècle et ceux datant du milieu du 20^e siècle, mais il n'est pas encore possible d'en tirer des conclusions définitives.

D'autres études devraient être entreprises dans d'autres secteurs de la pessière à mousses de l'ouest afin d'augmenter les connaissances des deux types écologiques étudiés. Est-ce que la sapinière à épinette noire et la pessière noire à mousses ont le même régime de perturbations, ou encore occupent-elles toujours la même situation topographique? La présence d'autres espèces, comme par exemple les feuillus ou les éricacées, a-t-elle un impact au niveau de la croissance des épinettes? Voilà quelques exemples de questions actuellement sans réponse et qui pourraient apporter des informations supplémentaires.

Les résultats ont permis de faire des hypothèses sur la différence de dynamique entre la sapinière à épinette noire (RS2) et la pessière noire à mousses (RE2). Un échantillonnage plus exhaustif pourrait permettre de vérifier ces hypothèses et d'établir quels éléments de dynamique jouent un rôle important dans la différenciation de ces deux types écologiques. Plusieurs avenues sont possibles pour mieux expliquer ce qui distingue ces deux types écologiques. La compréhension de ces différences permettra de mieux définir les stratégies d'aménagement nécessaires à la pérennité des peuplements de la forêt boréale québécoise.

6. Références

- Bédard, S. 2002. L'estimation du potentiel de croissance des stations forestières : exemple de sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est du Québec. Mémoire de recherche forestière no 140. Direction de la recherche forestière. Ministère des Ressources naturelles du Québec. 36 pages.
- Berger, J.-P., J. Blouin et P. Grondin. 2000. Guide de terrain d'identification du type écologique, sous-domaine de la pessière noire à mousses de l'ouest. Direction des inventaires forestiers. Division classification écologique et productivité des stations. Ministère des Ressources naturelles du Québec.
- Bergeron, J.-P. J. Blouin et P. Grondin. 1999. Rapport de classification écologique, Pessière à mousses de l'ouest. Service de l'évaluation de l'offre/Service de la recherche appliquée. Direction des inventaires forestiers/Direction de la recherche forestière. Ministère des Ressources naturelles du Québec. ISBN : 5-551-19036-3. 204 pages.
- Charron, I. et D. F. Greene. 2002. Post-wildfire seedbeds and tree establishment in the southern mixedwood boreal forest. *Can. J. For. Res.* 32: 1607-1615.
- Deslauriers, A. 1999. Mise en place du cerne de croissance chez le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et relation avec le climat local. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 71 p.
- Desrocher, A. 1996. Détermination de l'âge de l'épinette noire (*Picea mariana*) en sous-étage de peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides*) dans la forêt boréale, Québec. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 81 p.
- Desrochers, A. et R. Gagnon. 1997. Is ring count at ground level a good estimation of black spruce age ?. *Can. J. For. Res.* 27: 1263-1267.
- Dupouey, J.-L., C. Gagné et H. Morin. 2002. Growth trends of *Picea mariana* in the boreal forest of Quebec during the last century. Résumé de conférence, 6e congrès international de dendrochronologie : Dendrochronology, Environmental change and Human History. Québec, August 22nd-27th 2002.
- Dyer, M. E. et R. L. Baily. 1987. A test of Six Methods for Estimating True Heights from Stem Analysis Data. *Forest Science*. Vol. 33 no 1 p. 3-13.
- Fantin, N. et H. Morin. 2002. Croissance juvénile comparée de deux générations successives de semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P) issus de graines après feu en forêt boréal (Québec). *Can. J. For. Res.* 32 : 1478-1490.
- Fournier, M. 1997. Structure et croissance d'un peuplement d'épinette noire (*Picea mariana*) issu d'une coupe d'une vingtaine d'années dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 106 p.

- Gagné, C. 2000. Tendances à long terme de la croissance de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) en forêt boréale québécoise. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 96 p.
- Gagnon, R. 1998. Les bases écologiques de fonctionnement des forêts commerciales d'épinette noire du Saguenay-Lac-Saint-Jean-Chibougamau-Chapais (Québec) : vers un aménagement forestier durable. Laboratoire d'écologie végétale. Université du Québec à Chicoutimi. 27 pages.
- Grondin, P. 1999. Travail no 9983. Annexe A : localisation et mandat. Ministère des Ressources naturelles du Québec. 11 p.
- Grondin, P. *et al.* 2000. Croissance potentielle en hauteur et dynamique des espèces forestières sur les principaux types écologiques des régions écologiques 5a et 6a (Abitibi). Rapport interne no 461. Direction de la recherche forestière. Ministère des Ressources naturelles du Québec. 111 pages.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring and measurements. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Levasseur, V. 2000. Analyses dendroécologiques de l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana*) suivant un gradient latitudinal en zone boréale au Québec. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 86 p.
- Morin, H. et D. Laprise. 1990. Histoire récente de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette au nord du lac Saint-Jean (Québec): une analyse dendrochronologique. *Can. J. For. Res.* Vol. 20 pages 1-8.
- Morin, H. 1998. Importance et évolution des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans l'est du Canada : l'apport de la dendrochronologie. *Géogr. Phys. Quat.* Vol. 52 pages 237-244.
- Morin, H. et C. Krause. 1995. Impact of spruce budworm defoliation on the number of latewood tracheids in balsam fir and black spruce. *Can. J. Forest. Res.* Vol. 25 pages 2029-2034.
- Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. 2000. Dictionnaire de la foresterie. Les presses de l'Université Laval. ISBN 2-7637-7742-2. 473 p.
- Parent, S. 1990. Dictionnaire des sciences de l'environnement. Éditions Broquet. Bibliothèque nationale du Québec. ISBN 2-89000-269-1. 748 p.
- Reed, K. L. 1980. An Ecological Approach to Modelling Growth of Forest trees. *For. Sci.* 26, 33-51.
- Saucier *et al.* 1998. Les régions écologiques du Québec méridional (3^e version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le

ministère des Ressources naturelles du Québec. L'Aubelle 124 : cahier supplémentaire 1-12.

Saucier, J.-P. *et al.* 1994. Le point d'observation écologique. Direction de la gestion des stocks forestiers. Service des inventaires forestiers. Ministère des Ressources naturelles du Québec. ISBN 2-551-13273-8. 116 p.

St-Pierre, H. R. Gagnon et P. Debellefleur. 1992. Régénération après feu de l'épinette noire (*Picea mariana*) et du pin gris (*Pinus banksiana*) dans la forêt boréale, Québec. Can. J. For. Res. 22: 474-481.

Tardif, P. 2001. Anati (Win 32/Matlab R11.3, v 2.2) [Logiciel]. Ministère des Ressources naturelles. Direction de la recherche forestière.

Wolfinger, R. et M. Chang. 2002. Comparing the SAS GLM and MIXED Procedures for Repeated Measures. SAS Institute. Site Internet

Annexes

Annexe I

Description des codes inscrits dans le tableau 1 (Berger *et al* 2000 et Saucier *et al* 1994)

<i>Code</i>	<i>Signification</i>
M	en mi-pente (altitude <800m, pente >16%, pente arrière >100m)
AR	Arboraie
EE	Couvert forestier d'épinettes
EPE	Couvert forestier d'épinettes et de peupliers faux-trembles
B2	B = Densité : Peuplement où le pourcentage du couvert forestier est entre 61 % et 80 % 2 = Hauteur : dominants et codominants entre 17 et 22m
B3	B = Densité : Peuplement où le pourcentage du couvert est entre 61 % et 80 % 3 = Hauteur : dominants et codominants entre 12 et 17m
C3	C = Densité : Peuplement où le pourcentage du couvert est entre 41 % et 60 % 3 = Hauteur : dominants et codominants entre 12 et 17m
70, 90, 120	Âge du peuplement
EPN	Épinette noire
SAB	Sapin baumier
PIG	Pin gris
PET	Peuplier faux-tremble
BOP	Bouleau à papier
PLS	Pleurozium schreberi
SPS	Sphaignes sp.
KAA	Kalmia angustifolia
LEG	Ledum du Groenland
AUC	Aulne crispé
AUR	Aulne rugueux

Annexe II**Coordonnées géographiques des placettes échantillonnées**

<i>Site</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
0101	50°18'31.26''N	72°42'29.37''O
0202	50°11'03.32''N	72°43'22.50''O
0401	50°09'27.05''N	72°42'38.41''O
0402	50°09'27.98''N	72°42'42.90''O
1801	50°24'39.8''N	73°17'05.6''O
2201	50°22'19.29''N	73°27'39.90''O