

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR

NATALIE FANTIN

Bachelière ès sciences (B.Sc.)

CROISSANCE JUVÉNILE DES ARBRES MÈRES COMPARÉE À CELLE DE JEUNES
SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE (*PICEA MARIANA* (MILL) B.S.P.) ISSUS DE GRAINES
APRÈS FEU SUR UN MÊME SITE.

NOVEMBRE 1999



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

Les premières années de croissance chez l'épinette noire ont fait l'objet de peu d'études malgré le fait qu'elles soient déterminantes pour la réinstallation après feu des peuplements. Cette étude porte principalement sur la croissance juvénile de pessières noires issues de graines après feu situées dans la zone de la forêt boréale. Les objectifs de ce travail sont de reconstituer les patrons de croissance juvénile en hauteur d'arbres mères dominants et de jeunes semis d'épinette noire du même statut hiérarchique sur les mêmes sites. L'hypothèse de travail est que le patron de croissance juvénile de l'épinette noire est semblable entre deux générations successives établies sur les mêmes sites. Dans un secteur brûlé en 1983, au nord-ouest du Lac Saint-Jean, trois pessières noires vierges d'âges différents installées au cours du dix-neuvième siècle ont été sélectionnées. Deux méthodes ont été employées pour reconstituer le patron de croissance juvénile des épinettes. La première étant la mesure des distances entre les cicatrices du bourgeon apical sur trois cents semis, la seconde étant l'interdatation par la localisation de cernes repères tout au long de la souche de trente arbres mères. La comparaison des douze premières années de croissance des épinettes dominantes démontre qu'il existe une différence significative dans les taux de croissance entre les deux générations d'épinette. Les semis atteignent près du double de la hauteur des arbres mères sur le même site. L'effet combiné de conditions environnementales défavorables présentes lors de l'installation et des premières années de développement des arbres mères au dix-neuvième siècle serait la cause de la faible croissance enregistrée pour cette génération. L'effet des conditions climatiques plus froides comparées à celles présentes aujourd'hui et l'action de la tordeuse des bourgeons de l'épinette en période épidémique seraient les facteurs ayant contribué à ralentir la croissance des arbres mères pendant leur période juvénile.

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent tout d'abord à mon directeur de recherche, monsieur Hubert Morin Ph. D., pour les précieux conseils et son appui offert au cours de ce projet de maîtrise.

Je tiens à remercier toutes les personnes du laboratoire d'écologie végétale qui ont collaboré de près ou de loin à ce projet. Je remercie monsieur François Gionest pour son aide sur le terrain et monsieur Germain Savard pour les judicieux conseils qu'il m'a donnés tout au long de ma maîtrise. Je tiens également à remercier monsieur Jean-Luc Dupouey ainsi que toute l'équipe de Phytoécologie de l'INRA de Nancy pour l'accueil chaleureux lors de mon stage. "Un grossio grazie a tutta la mia famiglia, i miei cani e la mia gatta per loro sostegno quando i giorni erano più cupi".

Ces travaux ont pu être réalisés grâce au support financier et logistique du Consortium de Recherche sur la Forêt Boréale Commerciale.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
CHAPITRE I	
INTRODUCTION.....	1
1.0 Introduction	2
CHAPITRE II	
RÉGION ÉTUDIÉE.....	5
2.0 LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA RÉGION ÉTUDIÉE	6
CHAPITRE III	
MATÉRIELS ET MÉTHODES	8
3.0 MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	9
3.1 Choix des sites et échantillonnage	9
3.2 Analyse de la croissance juvénile en hauteur	12
3.2.2 Régénération.....	12
3.2.3 Arbres mères.....	13
3.3 Analyse de tige et comparaison de la croissance juvénile	14
3.4 Analyse statistique.....	15
CHAPITRE IV	
RÉSULTATS	16
4.0 RÉSULTATS.....	17
4.1 Description des peuplements	17
4.2 Établissement des peuplements	23
4.3 Comparaison de la croissance juvénile en hauteur.....	27

CHAPITRE V	
DISCUSSION	37
5.0 Discussion	38
5.1 Structures des peuplements	38
5.2 Comparaison de la croissance juvénile en hauteur.....	41
5.3 Conditions environnementales au moment de la croissance juvénile des peuplements.....	43
5.3.1 Conditions environnementales favorisant la croissance des jeunes semis.....	43
5.3.2 Conditions environnementales défavorisant la croissance des arbres mères.....	45
5.3.3 Impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la régénération après feu des pessières noires	46
CHAPITRE VI	
CONCLUSION.....	53
6.0 Conclusion.....	54
RÉFÉRENCES	56
Références	57

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la région étudiée.....	7
Figure 2: Vue générale d'une pessière noire étudiée.....	11
Figure 3: Relation entre les épinettes noires interdatées et non interdatées en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine (cm).....	22
Figure 4: Structures d'âge des arbres mères analysés pour les trois sites étudiés.....	24
Figure 5: Structures d'âge de la régénération pour les trois sites étudiés.....	26
Figure 6: Évolution des hauteurs des arbres mères et des semis dominants après 4 ans, 8 ans et 12 ans de croissance pour le site desautels-1.....	28
Figure 7: Évolution des hauteurs des arbres mères et des semis dominants après 4 ans, 8 ans et 12 ans de croissance cumulée pour le site desautels-2.....	29
Figure 8: Évolution des hauteurs des arbres mères et des semis dominants après 4 ans, 8 ans et 12 ans de croissance cumulée pour le site desautels-3.....	30
Figure 9: Courbes moyennes avec écart-type de la croissance juvénile en hauteur cumulée pour les deux générations d'épinettes dominantes, semis et arbres mères, des trois sites.....	32
Figure 10: Courbes moyennes avec écart-type de la vitesse de croissance annuelle pour les deux générations d'épinettes dominantes, semis et arbres mères, des trois sites.....	35

Figure 11: Comparaison entre les périodes épidémiques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au dix-neuvième siècle et la structure d'âge des arbres mères pour les trois sites.50

Figure 12: Comparaison entre les périodes épidémiques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au vingtième siècle et la structure d'âge des jeunes semis pour les trois sites.....51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Description générale des peuplements étudiés.....	18
Tableau 2: Caractéristiques des épinettes noires matures récoltées.....	20
Tableau 3: Résultats des analyses de variance avec mesures répétées (anovar) de la croissance en hauteur cumulée selon le site et la génération d'épinette (âge)....	33
Tableau 4: Résultats de l'anovar pour les vitesses de croissance.....	36

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.0 Introduction

La forêt boréale est régie par l'action de perturbations naturelles et anthropiques. Parmi celles-ci, le feu est considéré comme un facteur écologique naturel et récurrent (Ahlgren et Ahlgren 1960; Heinselman 1970, 1973; Van Wagner 1988; Sirois et Payette 1989; Gagnon *et al.* 1992; Schweingruber 1996; Weber et Stocks 1998). Les différentes espèces qui composent cet écosystème ont développé des mécanismes d'adaptation face aux différentes perturbations possibles. C'est le cas, entre autres, de l'épinette noire qui, par la présence de son réservoir de graines contenu dans des cônes semi-sérotineux au sommet de l'arbre, possède la caractéristique d'être bien adaptée à se régénérer après une perturbation majeure comme le feu (LeBarron 1939; Ahlgren 1974; Viereck 1983; Gagnon 1988, 1989; St-Pierre *et al.* 1992).

Suite à l'ouverture des cônes après l'incendie, la dispersion des graines s'effectue fait rapidement et l'installation des nouveaux semis se fait généralement près des semenciers (Filion et Morin 1996). La caractéristique d'espèce pionnière peut s'appliquer à l'épinette noire car elle recolonise rapidement les secteurs brûlés qu'elle occupait sans qu'il n'y ait de succession végétale (Cogbill 1985; Heinselman 1965; Weber et Stocks 1998). Il est reconnu maintenant que l'installation de la nouvelle génération d'épinette se fait dans les premières années qui suivent le feu. Selon Black et Bliss (1980), cette installation est complétée entre la cinquième et la huitième année tandis que St-Pierre (1989) a démontré qu'elle était complétée dans les trois premières saisons de croissance après le feu.

Suite à cette courte période d'installation, s'amorce le processus de développement du peuplement qui peut être identifié par trois phases distinctes soit: 1- la période juvénile, 2- la maturité et 3- la sénescence (Asmann 1970). La première phase, la période juvénile, est une phase critique car elle regroupe les premières années de croissance des arbres. Actuellement, la période de croissance juvénile de l'épinette noire en milieu naturel a fait l'objet de peu d'études. La plupart de ces études la qualifie comme relativement lente, ce qui serait une caractéristique de l'espèce (LeBarron 1948; Heinselman 1973; Carleton 1982; Viereck et Jonhston 1990; Zarnovican 1992). LeBarron (1945) et Ahlgren (1974) ont mentionné que la croissance annuelle de l'épinette noire en période juvénile est tellement lente que cette dernière peut prendre près d'une dizaine d'années et parfois plus avant d'atteindre et de dépasser en hauteur la majorité des arbustes forestiers.

Ce faible taux de croissance inhérent à l'épinette noire en période juvénile est à l'origine de plusieurs interprétations au niveau de sa période d'installation. Certains auteurs estiment qu'il y a parfois un délai de quelques années entre la date du feu et l'installation des semis (Vachon 1980; Zoladeski et Maycock 1990), alors que d'autres démontrent que l'installation se fait très rapidement (St-Pierre 1989). De plus, la faible croissance juvénile peut aussi être la cause de difficultés pour dater les épinettes lorsqu'elles sont plus âgées. La principale raison pouvant expliquer les difficultés rencontrées pour obtenir l'âge réel des épinettes est que les premières années de croissance sont généralement situées dans la souche, sous le niveau du sol. Il est reconnu également que l'épinette noire possède un système racinaire adventif qui se forme principalement sur la tige enfouie (Aubin 1996; LeBarron 1945; Bannan 1942) et que cet enfouissement est provoqué par l'élévation graduelle du niveau des mousses et par l'enfoncement progressif de l'arbre sous son propre poids (Black et Bliss 1980; Horton et Lees 1961). De plus, il faut ajouter la possibilité

d'avoir des cernes manquants sur la tige attribuable au phénomène de défilement inverse (Knight 1961; DesRochers et Gagnon 1997). Tout récemment, DesRochers (1996) a fait mention que la croissance juvénile chez l'épinette noire peut être caractérisée par une croissance de la tige sur le plan horizontal. Ces résultats démontrent la difficulté à étudier la période juvénile de l'épinette noire. De plus, on ne sait pas si la croissance juvénile est semblable d'une génération à l'autre sur les mêmes sites.

L'objectif principal de cette étude est d'approfondir les connaissances sur la croissance juvénile de l'épinette noire dans des peuplements monospécifiques issus de graines après feu pour deux générations successives. Pour ce faire, les patrons de croissance juvénile en hauteur de jeunes semis d'épinette noire seront comparés avec ceux des arbres mères du même statut hiérarchique qui ont crû sur les mêmes sites. L'étage dominant est celui qui a été traité dans cette étude, car il est reconnu que l'épinette noire possède une bonne plasticité dans sa croissance (Carleton 1982; Riverin 1994). De ce fait, les autres positions hiérarchiques étaient plus susceptibles d'avoir eu une croissance juvénile difficile et d'avoir souffert de compétition, ce qui aurait rendu plus ardue la tâche d'analyser la période juvénile. Pour ce travail, nous posons l'hypothèse que le patron de croissance juvénile en hauteur des épinettes noires est semblable d'une génération à l'autre pour un même site. Pour deux générations successives, on suppose que la productivité du site ne devrait pas changer en un si court laps de temps. Cette question est cruciale car elle peut avoir des répercussions au niveau de la productivité forestière dont les principes sont basés sur le fait qu'elle est la même d'une génération à l'autre sur un même site.

CHAPITRE II

RÉGION ÉTUDIÉE

2.0 LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

La région à l'étude est située au nord-ouest du Lac Saint-Jean, c'est-à-dire au 49° 28' de latitude nord et 73° 16' de longitude ouest (figure 1). Elle se classe, selon Thibeault (1972), dans la pessière noire à mousse 12b et dans la forêt boréale Chibougamau-Natashquan B1b (Rowe 1975). Ce secteur a été la proie d'un incendie forestier en 1983 dévastant un territoire de 450 km².

Le relief est généralement plat avec une altitude d'environ 450 mètres. D'un point de vue géologique, cette région se situe dans la province de Grenville. Les complexes gneissiques sont recouverts par des dépôts de surface d'origine glaciaire qui sont dominés par des tills indifférenciés (Gouvernement du Québec 1981, 1991). Le profil des sols correspond à des podzols ferro-humiques pour les deux premiers sites étudiés et à un sol organique en ce qui concerne le troisième site (Agriculture Canada, 1987).

Le climat régional (station Chapais "2" 49° 47' N. 74° 51' O. 396 m.) pour les années 1962-1990 est caractérisé par une température moyenne annuelle de -0,1°C et des précipitations moyennes totales de 919,9 mm dont 647,7 mm sous forme de pluie et 272,2 mm sous forme de neige (Environnement Canada, 1993).

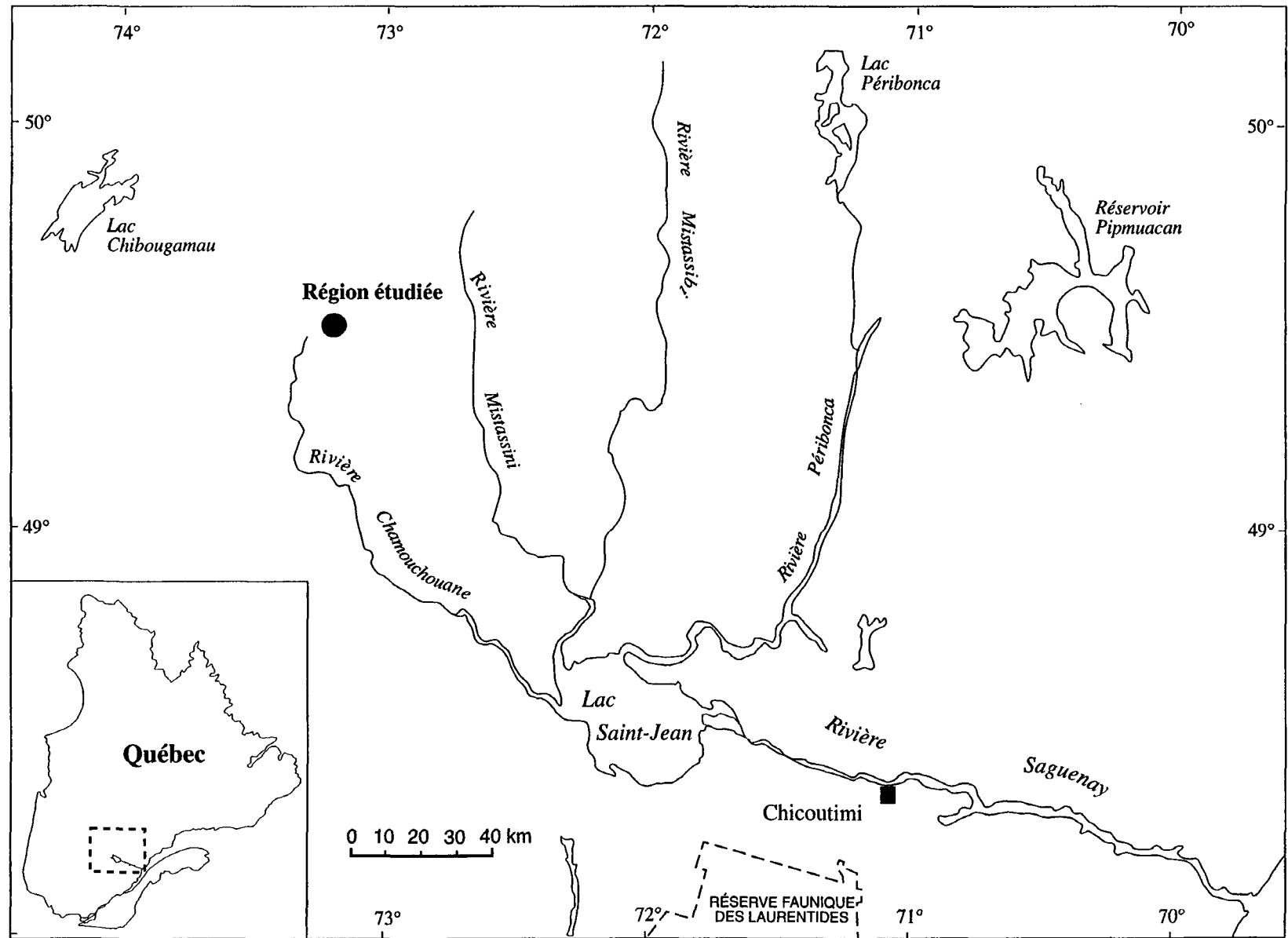


Figure 1: Localisation de la région étudiée

CHAPITRE III

MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.0 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 Choix des sites et échantillonnage

Les trois pessières noires étudiées ont été sélectionnées à partir d'une localisation générale sur des cartes écoforestières et à partir de visites sur le territoire. Elles devaient correspondre aux critères suivants: 1. les peuplements d'épinettes noires pures devaient être matures, âgés d'une centaine d'années, d'origine naturelle et exempts d'activités anthropiques; 2. suite à un feu survenu en 1983, ces pessières noires se devaient de posséder, au moment de la visite, une bonne régénération au sol. L'année 1983 a été principalement retenue, car elle permettait un nombre suffisant d'années de croissance aux jeunes semis d'épinette pour les comparer avec les arbres mères. Aussi, comme aucun survivant du feu de 1983 n'a été retrouvé à l'intérieur des trois sites, cela permettait de retrouver des arbres mères sur pied en bon état pour l'analyse de la croissance.

L'échantillonnage a été réalisé en juillet 1996 dans un secteur représentatif des peuplements présents dans le feu (figure 2). Trois quadrats de 200 m² ont été établis et subdivisés en parcelles de 4 m² afin de prélever la régénération présente jusqu'à un total de 100 semis par site. La hauteur de chaque semis prélevé a été mesurée, de l'apex jusqu'au sol.

Vingt arbres mères dominants d'apparence saine ont été sélectionnés à l'intérieur des quadrats pour chacun des trois sites. La dominance a été déterminée par les plus gros diamètres à hauteur de poitrine des tiges. La souche des arbres sélectionnés selon ces deux principaux critères a été excavée ainsi que le premier mètre de tige et le tout a été conservé pour l'analyse en laboratoire.

Pour compléter une description générale des pessières étudiées, un pédon a été réalisé à l'intérieur des quadrats afin d'obtenir le profil des sols pour chaque site. De plus, un relevé de la végétation qui consistait à délimiter cinq petites parcelles de 1 m² localisées aux quatre coins ainsi qu'une au centre du quadrat, ont permis d'évaluer le pourcentage de recouvrement de chacune des espèces présentes pour les strates muscinale, herbacée et arbustive.



Figure 2 : Vue générale d'une pessière noire étudiée.

3.2 Analyse de la croissance juvénile en hauteur

3.2.2 Régénération

L'évaluation de la croissance juvénile en hauteur et en longueur chez les jeunes semis constituant la deuxième génération a été réalisée avec la méthode des cicatrices du bourgeon apical. Sur la tige, une cicatrice visible marque l'arrêt de la croissance d'une année et le début de l'année suivante. À partir de ces informations, les distances mesurées entre chaque cicatrice déterminaient l'accroissement annuel courant pour chacune des années.

Cette méthode a permis de déterminer l'âge ainsi que l'année d'installation du semis. Cet âge a été confirmé par le décompte des cernes de croissances sur une section de tige au niveau de la zone du collet ou encore juste en-dessous de la dernière cicatrice visible. Ces sections de tiges ont été sablées finement avec du papier de grains de plus en plus fins, ce qui a permis de mettre en évidence les cernes de croissance. Chaque section a été analysée sous une loupe binoculaire jusqu'à un grossissement maximal de 100 X. Lorsque l'analyse sous la loupe binoculaire devenait difficile en raison du diamètre réduit des semis, une autre méthode a été employée. Il s'agissait d'humidifier la section de la tige concernée, de la couper très finement et de la déposer entre lame et lamelle pour l'observation au microscope. Cette technique s'est révélée efficace entre autres pour l'identification de la zone du collet, soit la zone de transition entre la tige de l'arbre, caractérisée par une moelle arrondie et bien définie, et la structure racinaire, caractérisée par la présence de canaux résinifères bien distincts.

3.2.3 Arbres mères

La méthode utilisée pour l'analyse de la croissance juvénile en hauteur des arbres mères s'inspire de la méthode utilisée par DesRochers (1996) et DesRochers et Gagnon (1997). Cette méthode d'interdatation consiste à couper toute la souche ainsi que les 30 premiers centimètres de la tige en sections transversales de 2 cm d'épaisseur selon l'axe principal de la tige. Ces sections ont été sablées finement pour mieux observer les cernes de croissance.

La méthode d'interdatation dans la souche se résume à identifier, sur la section la plus élevée de l'échantillon, des séries de cernes repères à partir de la moelle et de leur attribuer une position. La relocalisation de ces séries de cernes repères sur une section plus basse permet de retracer des cernes qui ont été formés par les années passées et qui se retrouvent sous le niveau des premières racines adventives. La structure anatomique de la moelle est vérifiée pour s'assurer qu'il s'agit bien de celle de la tige. Cette interdatation s'est effectuée jusqu'à la zone du collet, lorsqu'il était présent, et elle a permis de retracer les cernes manquants causés par le phénomène du défilement inverse observé chez l'épinette noire (DesRochers et Gagnon 1997).

Il est arrivé, pour quelques arbres mères, que la croissance juvénile de la tige se soit faite sur le plan horizontal. Afin de retracer les années où la croissance s'est effectuée sur ce plan, les sections concernées ont été recoupées à l'aide d'une scie à ruban selon la direction de la courbure, sablées finement, et, lorsque cela était nécessaire pour obtenir un meilleur contraste, recoupées avec une lame de rasoir et colorées de craie afin de mieux distinguer les petits cernes autour de la moelle et continuer l'interdatation jusqu'au collet.

L'interdatation dans la souche est une méthode permettant d'obtenir le nombre de cernes qui se sont ajoutés par rapport à la section la plus élevée. Pour obtenir le plus précisément possible la date d'installation de l'arbre, il faut connaître, dans le cas d'arbres morts, la date de mortalité de ceux-ci. Pour ce faire, sur la section la plus élevée de la souche, deux rayons opposés ont été traçés. Les largeurs des cernes de croissance sur ces deux rayons ont été mesurées à l'aide d'un appareil de mesure, le micromètre de Henson (précision de 0,01 mm). Les deux patrons de croissance obtenus ont été comparés entre eux et avec des arbres vivants constituant une courbe de référence, ce qui a permis de connaître l'année de mortalité des arbres ainsi que les périodes de défoliation intense causées par les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem)).

3.3 Analyse de tige et comparaison de la croissance juvénile

La méthode des cicatrices du bourgeon apical pour les jeunes épinettes noires a permis la construction de patrons de croissance en hauteur et en longueur. Ces patrons de croissance peuvent être comparés à ceux obtenus pour les arbres mères. Pour ces derniers, une estimation de la hauteur pour des sections régulières par la méthode de Carmean a été effectuée à l'aide du logiciel de programmation SAS (SAS institute 1988a, 1988b). Cette méthode interpole la hauteur d'une section à l'autre en considérant une hauteur égale pour chaque année comprise entre deux sections (Dyer et Bailey 1987; New Berry 1991).

3.4 Analyse statistique

La comparaison de la croissance des épinettes noires entre les deux générations dans le temps a été vérifiée à l'aide d'une analyse de variance factorielle par bloc à deux facteurs par mesures répétées (anovar) effectuée avec le logiciel SAS/STAT. Pour cette analyse, les variables indépendantes sont les sites (Desautels-1, -2, -3) et les deux générations d'épinettes (semis et arbres mères) regroupées sous la variable "âge". Une analyse univariée a été effectuée pour déterminer à partir de quelle année de croissance les variables indépendantes sont significativement différentes. La probabilité de Huynh-Feldt (P_{H-F}) ainsi que celle de Greenhouse-Geiser (P_{G-G}), qualifiée de plus conservatrice que la première (Fernandez 1991; Scheiner et Gurevich 1993), ont été considérées toutes les deux dans l'analyse au seuil de signification de 5%.

Cette analyse de variance avec mesures répétées porte sur la comparaison des épinettes dominantes pour chacune des deux générations et elle couvre une période représentant les 12 premières années de croissance. Il est arrivé au niveau de la régénération d'avoir des semis plus jeunes. Lorsque cette situation se présentait et que des données étaient manquantes pour compléter les douze années, les échantillons concernés étaient automatiquement exclus de l'analyse.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

4.0 RÉSULTATS

4.1 Description des peuplements

Les trois peuplements étudiés sont des pessières pures où ne subsistait aucun survivant du feu de 1983. La densité calculée des arbres mères varie entre 1375 et 2100 tiges/ha (tableau 1). La surface terrière pour les trois sites varie de 36,4 à 28,2 m². La surface terrière marchande a été évaluée à 35,1 m² pour le site desautels-1, à 24,5 m² pour le desautels-2 et à 23,0 m² pour le desautels-3 .

La proportion de tiges marchandes dans les peuplements a été évaluée. En majorité, plus de 60% des arbres mères avaient un diamètre à hauteur de poitrine supérieur à 9 cm. Pour un seul site, cette proportion de tiges marchandes est légèrement inférieure. En effet, pour le desautels-3, il y avait 53% des épinettes au moment du feu qui possédaient une valeur du dhp supérieure à 9 centimètre.

Au moment de l'échantillonnage, aucun semis de la régénération n'avait atteint 1,3 mètres de hauteur. Dans chaque site, la densité de la régénération a été évaluée à partir de petites surfaces représentatives des peuplements. Pour les trois sites, la densité de semis se situe entre 83 000 et 280 000 tiges par hectare (tableau 1).

Pour les trois peuplements, la strate arbustive est principalement représentée par le *Ledum groenlandicum* et le *Kalmia angustifolia* tandis que la strate muscinale est largement dominée par la présence de *Sphagnum* sp. au moment de l'échantillonnage en juillet 1996.

Tableau 1: Description générale des peuplements étudiés

	Desautels-1	Desautels-2	Desautels-3
Arbres mères			
Date du feu ayant donné	1820	1870	1870
naissance à la population*			
Densité (tige/ha)	1467	1375	2100
Surface terrière totale (m ² /ha)	36,4	26,2	28,1
" " marchande (m ² /ha)	35,1	24,5	23,0
Arbres dhp > 9cm (%)	63,0	70,5	53,0
Jeunes semis			
Date du feu ayant donné	1983	1983	1983
naissance à la population*			
Densité (tige/ha)	190 000	83 214	280 000

* date des feux selon la section 4.2 Établissement des peuplements.

Le tableau 2 présente les caractéristiques des arbres mères récoltés. Parmi ceux-ci, trente-deux arbres ont été analysés. Les autres ont été éliminés lors de la coupe, car l'état de la souche ne pouvait permettre une interdatation à cause du taux de décomposition parfois très avancé. Pour l'ensemble des tiges récoltées, le diamètre à hauteur de poitrine est présenté et, pour les tiges analysées, les dates d'installation et de mortalité évaluées à partir de la méthode d'interdatation dans la souche sont également présentées. Le qualificatif interdatation complète signifie simplement que la souche a pu être interdatée entièrement jusqu'au niveau du collet. Lorsqu'elle est qualifiée d'approximative, comme c'est le cas pour plusieurs des souches du premier site, la portion de tige allant jusqu'au collet était manquante. Il n'était donc pas possible de les interdater complètement, soit parce que cette portion de tige avait été coupée par mégarde lors de l'échantillonnage en forêt, ou tout simplement, si elle était présente, parce que les cernes étaient trop difficiles à interdater dû à la présence de bois de réaction. Pour les arbres dont l'interdatation est approximative, la date d'installation est un âge minimum. La dernière caractéristique, le plan de croissance, est l'allure générale de la moelle de la tige pendant la période juvénile. Ce qualificatif est basé sur les représentations de la moelle de la tige selon DesRochers (1996). L'auteur démontrait quatre possibilités de développement. Le premier plan de croissance correspondait à un développement vertical de la tige, comme c'était le cas pour la majorité des tiges analysées dans cette étude (tableau 2). Les autres formes de croissance correspondaient à un développement horizontal. Parmi ces arbres, certains présentaient une forme sinuuse. Cette forme de croissance est caractérisée par au moins deux périodes distinctes de croissance horizontale avant le redressement final à la verticale.

Tableau 2: Caractéristiques des épinettes noires matures récoltées

Site	Arbre	dhp	installation	mortalité	interdatation	plan de la croissance *
Desautels-1	1	18,4	1868	1983	complète	vertical
Desautels-1	2	16,7	1842	1983	complète	vertical
Desautels-1	3	14,8				
Desautels-1	4	16,7				
Desautels-1	7	23,1	1827	1983	approximative	horizontal
Desautels-1	9	18,2	1825	1982	approximative	sinueux
Desautels-1	11	17,7	1843	1983	complète	vertical
Desautels-1	14	18,5	1848	1983	approximative	horizontal
Desautels-1	15	14,0	1849	1979	complète	horizontal
Desautels-1	16	21,1				
Desautels-1	21	20,6	1834	1983	approximative	sinueux
Desautels-1	23	16,4				
Desautels-1	26	14,6	1840	1983	approximative	horizontal
Desautels-1	27	17,0				
Desautels-1	33	14,5				
Desautels-1	34	16,8				
Desautels-1	36	17,7				
Desautels-1	42	25,1				
Desautels-1	48	19,7	1822	1983	complète	sinueux
Desautels-1	56	16,6	1778	1983	approximative	vertical
Desautels-2	4	17,0				
Desautels-2	8	15,0	1875	1983	complète	horizontal
Desautels-2	10	16,0				
Desautels-2	11	14,5	1879	1983	complète	vertical
Desautels-2	19	12,0	1874	1983	complète	vertical
Desautels-2	23	14,5				
Desautels-2	26	17,5	1875	1983	complète	vertical
Desautels-2	31	16,9	1821	1979	approximative	horizontal
Desautels-2	32	14,9				
Desautels-2	34	23,8				
Desautels-2	47	18,1				
Desautels-2	51	14,0				
Desautels-2	56	16,4	1873	1981	complète	vertical
Desautels-2	58	16,7				
Desautels-2	59	14,3				
Desautels-2	61	16,2				
Desautels-2	62	14,7				
Desautels-2	65	15,1	1873	1983	complète	vertical
Desautels-2	71	17,7	1874	1983	complète	vertical
Desautels-2	75	20,3	1873	1981	complète	vertical
Desautels-2	78	15,5	1873	1981	complète	horizontal

* plan de la croissance selon DesRochers (1996).

Tableau 2: Caractéristiques des épinettes noires matures récoltées

Site	Arbre	dhp	installation	mortalité	interdatation	plan de la croissance *
Desautels-3	5	14,0				
Desautels-3	7	15,1				
Desautels-3	8	11,2				
Desautels-3	17	12,1				
Desautels-3	19	11,8	1871	1983	complète	vertical
Desautels-3	20	11,0	1873	1979	complète	vertical
Desautels-3	22	11,6	1875	1983	complète	vertical
Desautels-3	29	11,0	1873	1980	complète	vertical
Desautels-3	33	11,7	1876	1983	complète	vertical
Desautels-3	35	12,2				
Desautels-3	38	12,3				
Desautels-3	43	11,5				
Desautels-3	44	12,1				
Desautels-3	66	12,2				
Desautels-3	72	14,2	1871	1983	complète	vertical
Desautels-3	75	14,6	1875	1983	complète	vertical
Desautels-3	77	11,8	1871	1983	complète	vertical
Desautels-3	78	15,6	1872	1983	complète	vertical
Desautels-3	79	12,7	1871	1983	complète	vertical
Desautels-3	80	12,8	1871	1983	complète	vertical

* plan de la croissance selon DesRochers (1996).

La figure 3 présente, pour chacun des sites, le classement des épinettes interdatées et non interdatées en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine. Pour les trois sites, les épinettes interdatées sont bien distribuées à travers les classes de dhp, ne favorisant ainsi aucune classe en particulier et démontrant, par le fait même, qu'elles sont représentatives de l'ensemble des tiges dominantes des peuplements.

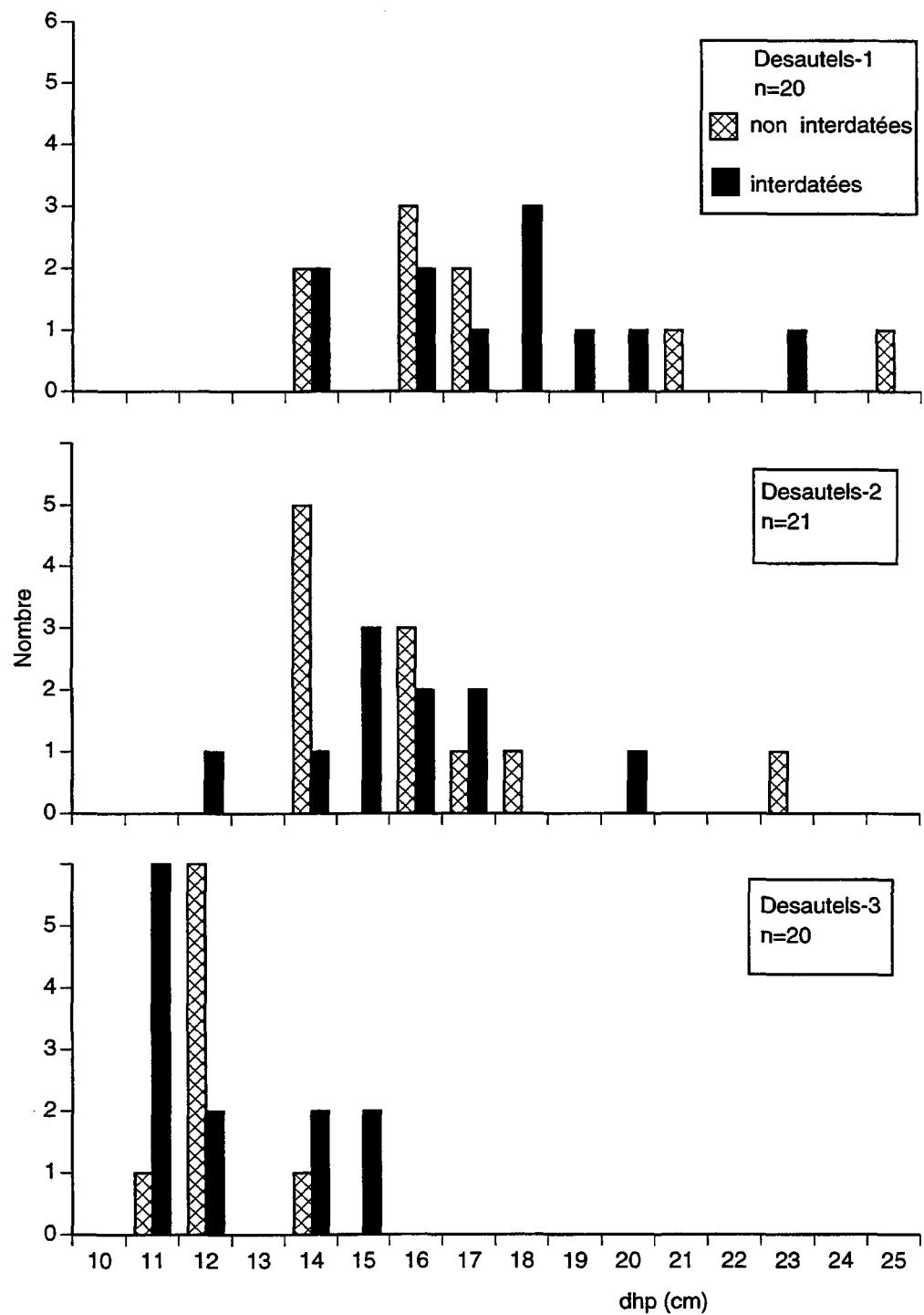


Figure 3: Relation entre les épinettes noires interdatées et non interdatées en fonction de leur diamètre à hauteur de poitrine (cm).

4.2 Établissement des peuplements

Les structures d'âge établies à partir des semis et des arbres mères révèlent que ces épinettes noires se sont toutes établies à la suite d'un feu (figures 4 et 5). Aucune cicatrice de feu n'a été retrouvée sur les arbres présents à l'intérieur des peuplements étudiés, ce qui aurait confirmé avec précision la date du passage de l'incendie ayant donné naissance à ces peuplements. Néanmoins, des travaux antérieurs réalisés dans le même secteur ont appuyé les dates obtenues pour deux feux, celui de 1870, (St-Pierre 1989), et de 1983 (St-Pierre 1989; Filion 1994). La structure d'âge établie pour les arbres matures (figure 4) révèle la présence de deux feux anciens qui sont à l'origine de ces trois peuplements. Dans le site desautels-1, un premier feu aurait eu lieu en 1820. L'estimation de cette date est basée sur deux épinettes seulement. La première est le plus vieil arbre du site, dont l'interdatation est complète. La date d'installation de cet arbre a été évaluée à 1822. Celle du vétéran retrouvé dans le desautels-2 a été estimée à 1821. Le second feu, daté de 1870, serait à l'origine des peuplements desautels-2 et 3. Ces structures d'âge montrent bien une installation rapide des épinettes noires complétée dans les quelques années qui suivent l'incendie. Par contre, pour le site desautels-1, l'installation de la cohorte établie après la date estimée du feu, semble s'être déroulée sur une plus longue période. De plus, cette structure d'âge montre la proportion des épinettes qui sont interdatées précisément par rapport à celles dont l'âge est approximatif.

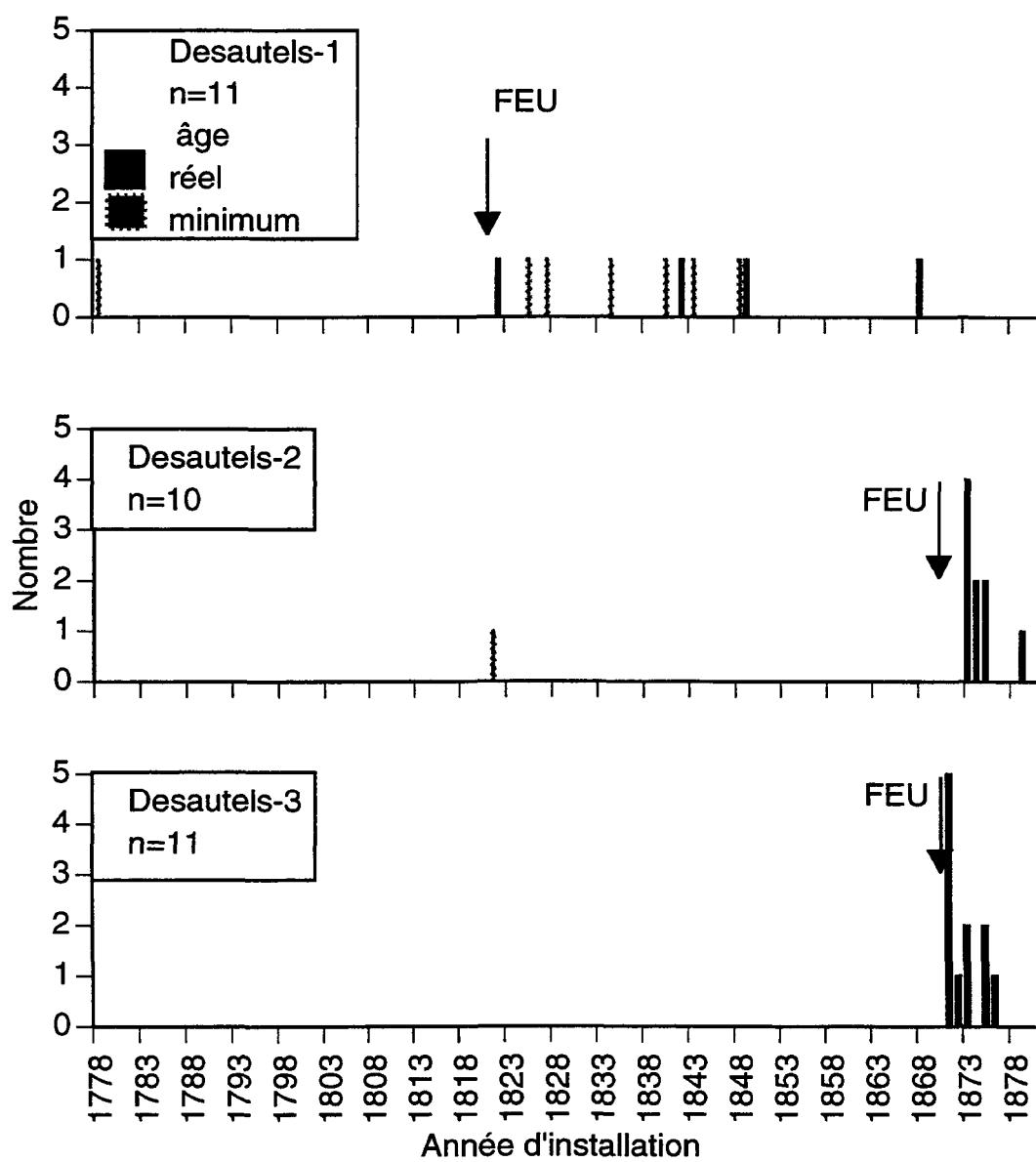


Figure 4: Structures d'âge des arbres mères analysés pour les trois sites étudiés.

La régénération s'est établie très tôt à la suite du feu de 1983 (figure 5). L'installation est massive les trois premières années après le feu. Aucun semis ne s'est installé après les cinq premières années. Parmi l'ensemble de la régénération analysée, cinq semis du site desautels-1 se sont installés la même année que le feu. Cette structure d'âge est basée sur un total de 100 semis analysés par site représentant bien l'ensemble de la population présente au moment de l'échantillonnage.

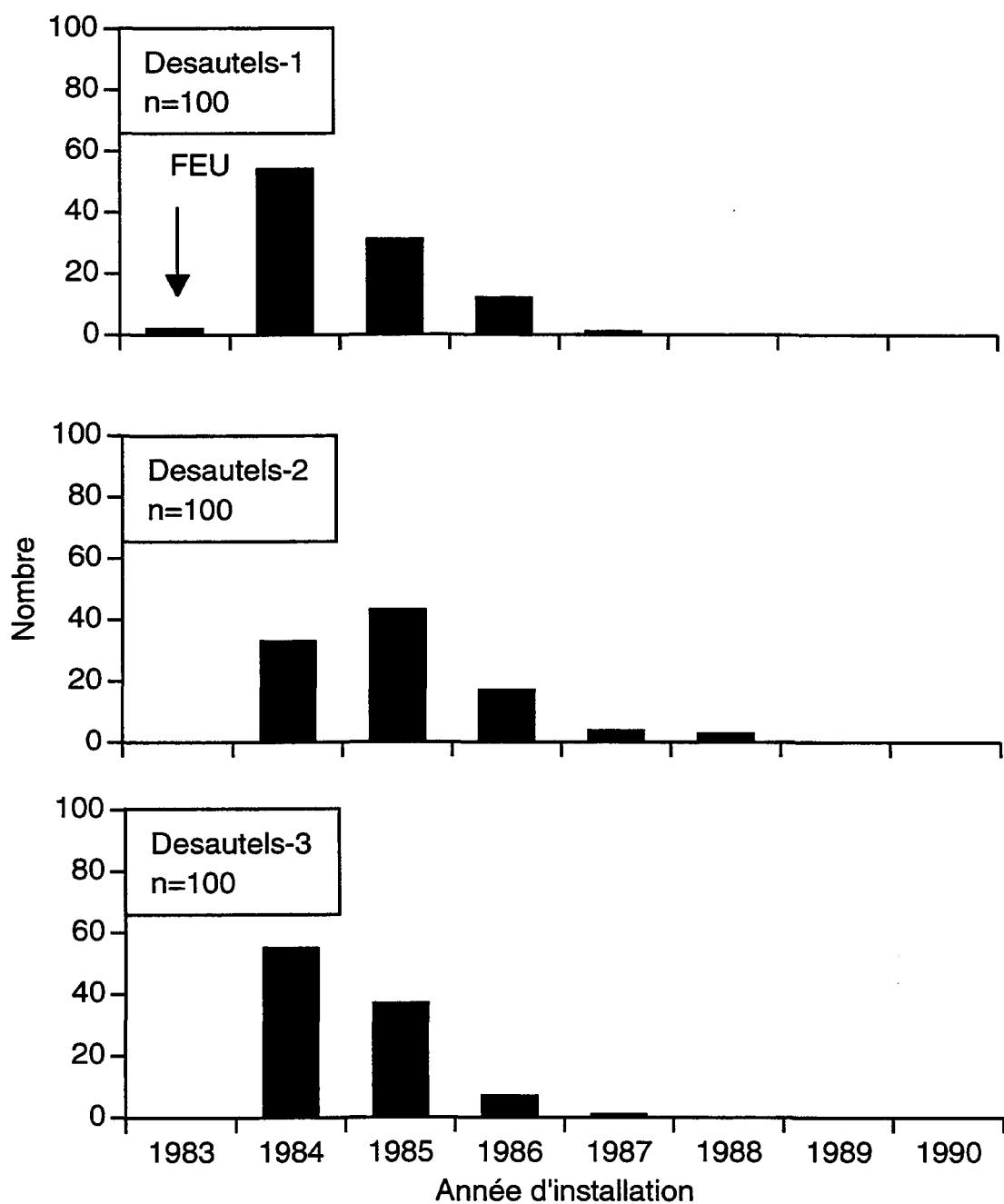


Figure 5: Structures d'âge de la régénération pour les trois sites étudiés.

4.3 Comparaison de la croissance juvénile en hauteur

Comme les arbres mères dominants du peuplement ont été échantillonnés, la comparaison de la croissance juvénile en hauteur et en longueur doit se faire avec les individus de la régénération appartenant au même statut hiérarchique. Les résultats présentés sont ceux qui traitent de la comparaison de la croissance en hauteur entre vingt semis dominants de la régénération et les arbres mères du même site, car ceux obtenus pour la croissance en longueur ont donné les mêmes réponses.

Les figures 6 à 8 présentent l'évolution de la classe de hauteur pour chacune des deux générations dans le temps en ayant pris comme années repères les années 4, 8 et 12. Cela permet de visualiser quelle hauteur avaient les deux générations au même âge. Après les quatre premières années de croissance, les épinettes des deux générations ont des hauteurs semblables. Par contre, une différence s'installe dans les années suivantes. Lorsque la croissance est comparée après huit ans, les semis se démarquent des arbres mères. Les jeunes semis sont distribués dans des classes de hauteur plus élevées. Ces derniers mesurent en général, après huit ans de croissance, entre 50-80 cm pour le desautels-1 (figure 6), entre 30 et 70 cm pour le desautels-2 (figure 7) et entre 50-100 cm pour le desautels-3 (figure 8), tandis que les arbres mères sont regroupés dans des classes ne dépassant guère les 50 cm de hauteur. L'écart présent à la huitième année est toujours maintenu après 12 ans de croissance. Les jeunes semis d'épinette sont regroupés dans des classes de 70 centimètres de hauteur. Les arbres mères, après douze ans de croissance, atteignent des hauteurs entre 10-80 cm de haut mais la majorité des tiges ne dépasse pas 60 centimètres. Les jeunes semis ont près du double de la hauteur des arbres mères et ce patron est semblable pour les trois sites étudiés, suggérant une même réponse pour l'ensemble de ces trois pessières.

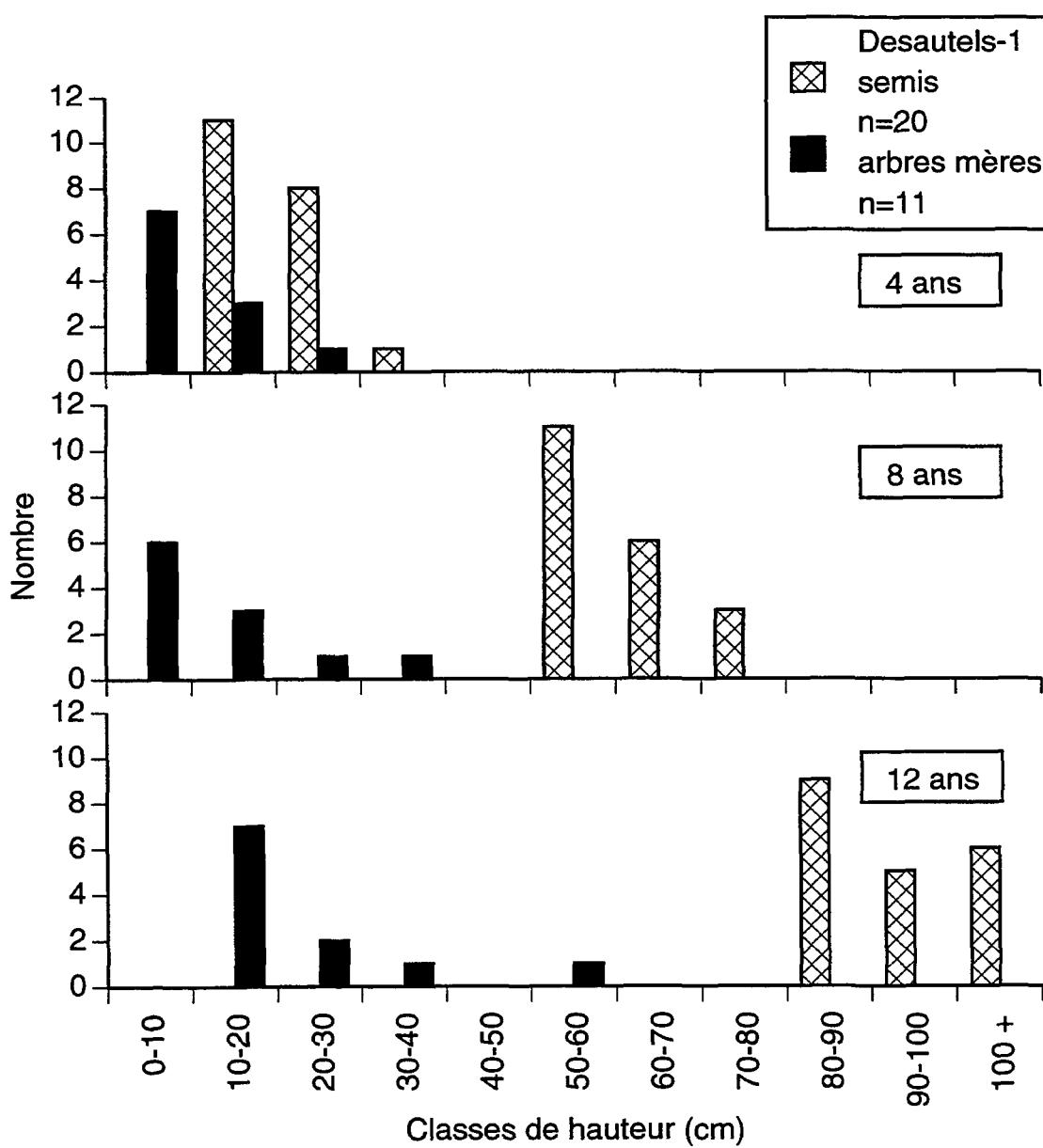


Figure 6: Évolution des hauteurs des arbres mères et des semis dominants après 4 ans, 8 ans et 12 ans de croissance cumulée pour le site desautels-1.

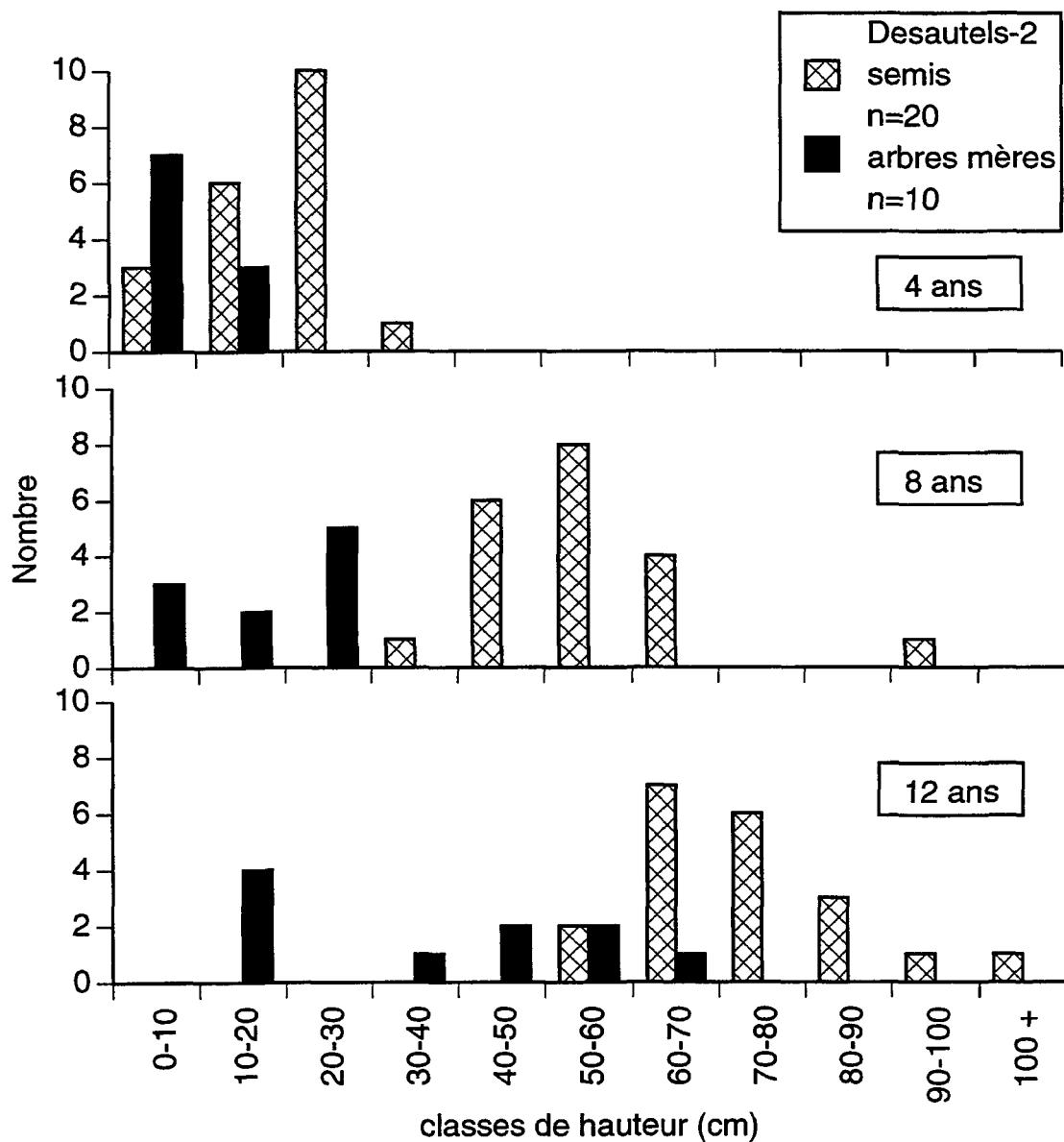


Figure 7: Évolution des hauteurs des arbres mères et des semis dominants après 4 ans, 8 ans et 12 ans de croissance cumulée pour le site desautels-2.

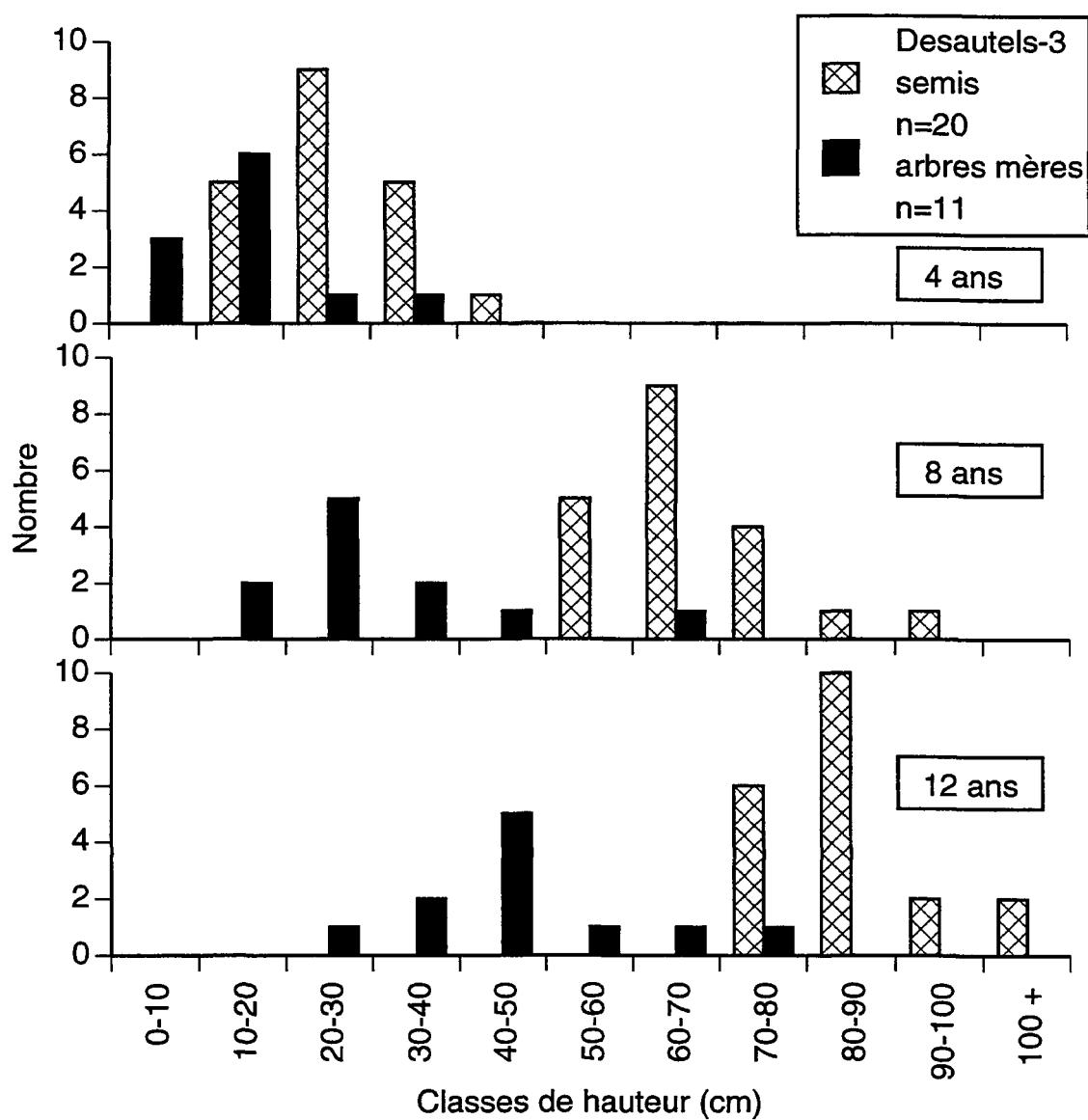


Figure 8: Évolution des hauteurs des arbres mères et des semis dominants après 4 ans, 8 ans et 12 ans de croissance cumulée pour le site desautels-3.

Les courbes moyennes de croissance en hauteur cumulée pour les trois sites (figure 9), montrent une différence significative à partir de la troisième année de croissance entre les deux générations (figure 9 et tableau 3). Cette différence se fait très tôt et s'accentue avec les années, permettant ainsi aux jeunes semis d'atteindre près du double de la hauteur des épinettes dominantes de la première génération. Même s'il existe une différence entre les sites (tableau 3), la réponse obtenue en comparant les deux générations est la même.

Les résultats de l'analyse de variance avec mesures répétées (anovar) sont présentés au tableau 3. Les réponses obtenues démontrent qu'il y a une différence entre les sites et entre les deux générations d'épinettes (variable âge). Les probabilités de $P(Pr > F) = 0,0049$ pour les sites et $P(Pr > F) = 0,0001$ pour l'âge sont des valeurs inférieures au seuil d'acceptation de 0,05. La croissance annuelle pour les douze années mesurées diffère entre les deux générations d'épinettes (semis et arbres mères) avec des probabilités de $P(G-G) = 0,0001$ et $P(H-F) = 0,0001$. Elle diffère aussi entre les sites, $P(G-G) = 0,0450$ et $P(H-F) = 0,0418$, par contre, ces probabilités révèlent qu'elles sont près du seuil d'acceptation fixé.

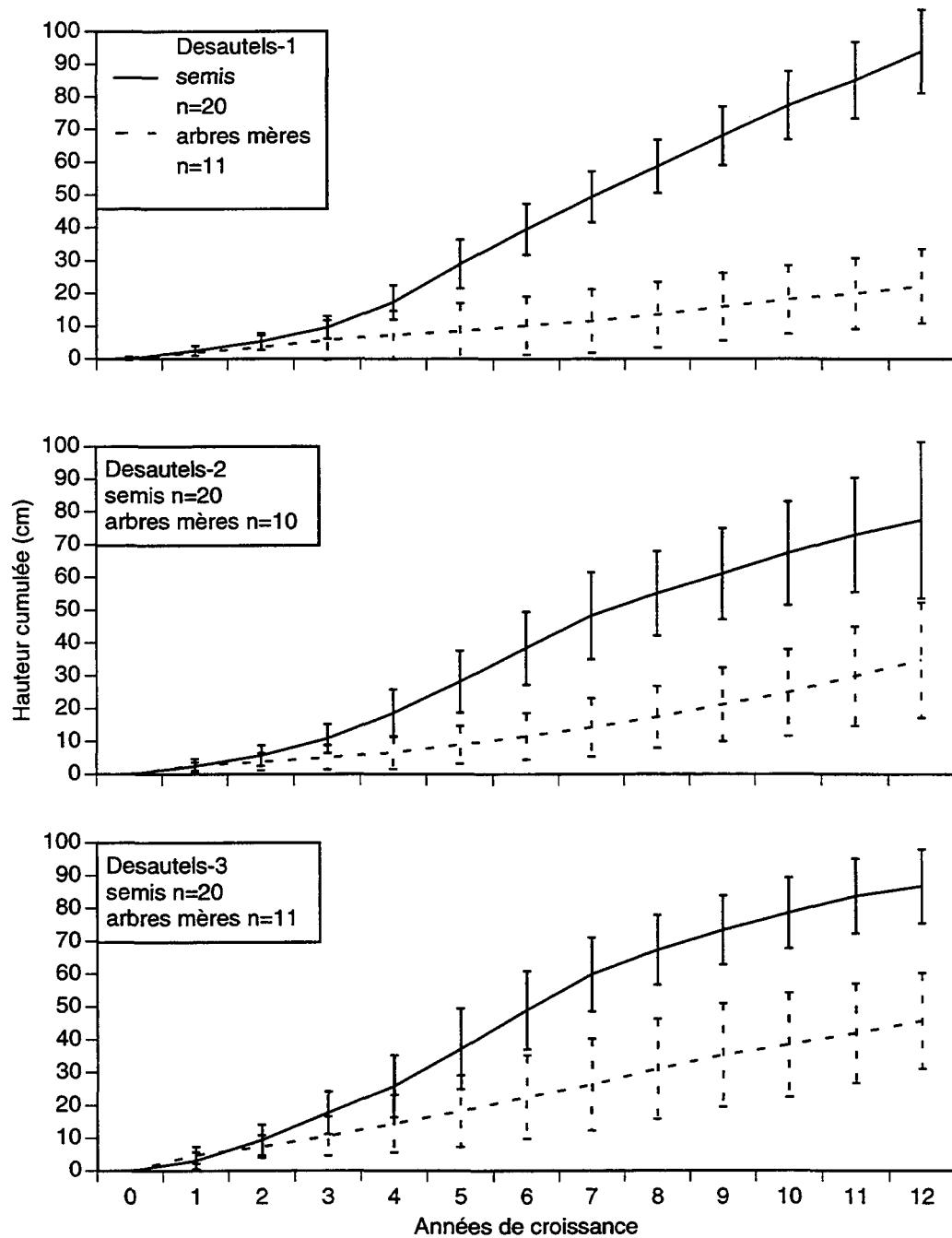


Figure 9: Courbes moyennes avec écart-type de la croissance juvénile en hauteur cumulée pour les deux générations dominantes, semis actuels et arbres mères, des trois sites étudiés.

Tableau 3: Résultats des analyses de variance avec mesures répétées (anovar) de la croissance en hauteur cumulée selon le site et la génération d'épinette (âge)

Source	d. l.	Variance	valeur de F	P (Pr > F)	P (G-G)	P (H-F)
<u>Analyse intergroupe</u>		<u>multivariée</u>				
site	2	5627	5,71	0,0049		
âge	1	161347	163,82	0,0001		
erreur	74	985				
<u>Analyse intragroupe</u>						
temps	11	30119	756,06	0,0001	0,0001	0,0001
temps x site	22	110	2,77	0,0001	0,0450	0,0418
temps x âge	11	7376	185,16	0,0001	0,0001	0,0001
erreur temps	814	40				
<u>Analyse univariée</u>						
A1 site	2	12,80	3,78	0,0274		
A1 âge	1	5,69	1,68	0,1990		
A2 site	2	72,34	7,45	0,0011		
A2 âge	1	38,44	3,96	0,0503		
A3 site	2	246,54	11,27	0,0001		
A3 âge	1	384,22	17,56	0,0001		
A4 site	2	294,87	6,51	0,0025		
A4 âge	1	1580,56	34,88	0,0001		
A5 site	2	368,23	4,62	0,0128		
A5 âge	1	5543,16	69,56	0,0001		
A6 site	2	584,09	5,82	0,0045		
A6 âge	1	12035,16	119,96	0,0001		
A7 site	2	932,42	7,26	0,0013		
A7 âge	1	21376,24	166,38	0,0001		
A8 site	2	1079,79	7,94	0,0008		
A8 âge	1	28127,05	206,86	0,0001		
A9 site	2	1067,81	6,59	0,0023		
A9 âge	1	33830,56	208,85	0,0001		
A10 site	2	874,96	4,37	0,0161		
A10 âge	1	41034,34	204,94	0,0001		
A11 site	2	713,45	2,96	0,0581		
A11 âge	1	46352,95	192,15	0,0001		
A12 site	2	595,53	2,02	0,1400		
A12 âge	1	52174,75	176,90	0,0001		

Les courbes moyennes des vitesses annuelles de croissance pour les deux générations des trois sites (figure 10), montrent qu'il existe une différence significative dans les taux de croissance à partir de la deuxième année (figure 10 et tableau 4). Les jeunes semis atteignent rapidement des valeurs maximales d'accroissement annuel entre 10 et 12 centimètres par an. Ce potentiel d'accroissement est atteint entre la cinquième et la septième année chez les jeunes semis autant dans les trois sites. Pour les arbres mères des sites desautels-2 et -3, la valeur maximale mesurée est de 5 centimètres par an. La différence observée au départ entre les semis et les arbres mères de ces deux sites tend à diminuer avec les années. Pour les épinettes du site desautels-1, il existe tout au long de la période étudiée une différence significative dans les vitesses de croissance entre les semis et les arbres mères. Pour ces derniers, les valeurs maximales des accroissements mesurés ne dépassent guère les 2 centimètres par an.

Les résultats de l'analyse de variance avec mesures répétées sont présentés au tableau 4. Les réponses obtenues démontrent qu'il n'y a pas de différence lorsque les sites sont regroupés $P(Pr > F)=0,1360$. Par contre, il y a une différence significative entre les générations d'épinettes regroupées sous la variable 'âge' avec une probabilité de $P(Pr > F)=0,0001$. Les vitesses de croissance annuelle pour les douze années sont différentes entre les sites et aussi entre les deux générations d'épinettes. Pour ces catégories, les probabilités obtenues sont $P(Pr > F)$, $P(G-G)$ et $P(H-F) = 0,0001$. Les réponses obtenues à partir de l'analyse univariée pour les douze années étudiées indiquent que les vitesses de croissance annuelle mesurées diffèrent entre les deux générations d'épinettes (semis et arbres mères) et ce, à partir de la deuxième saison de croissance.

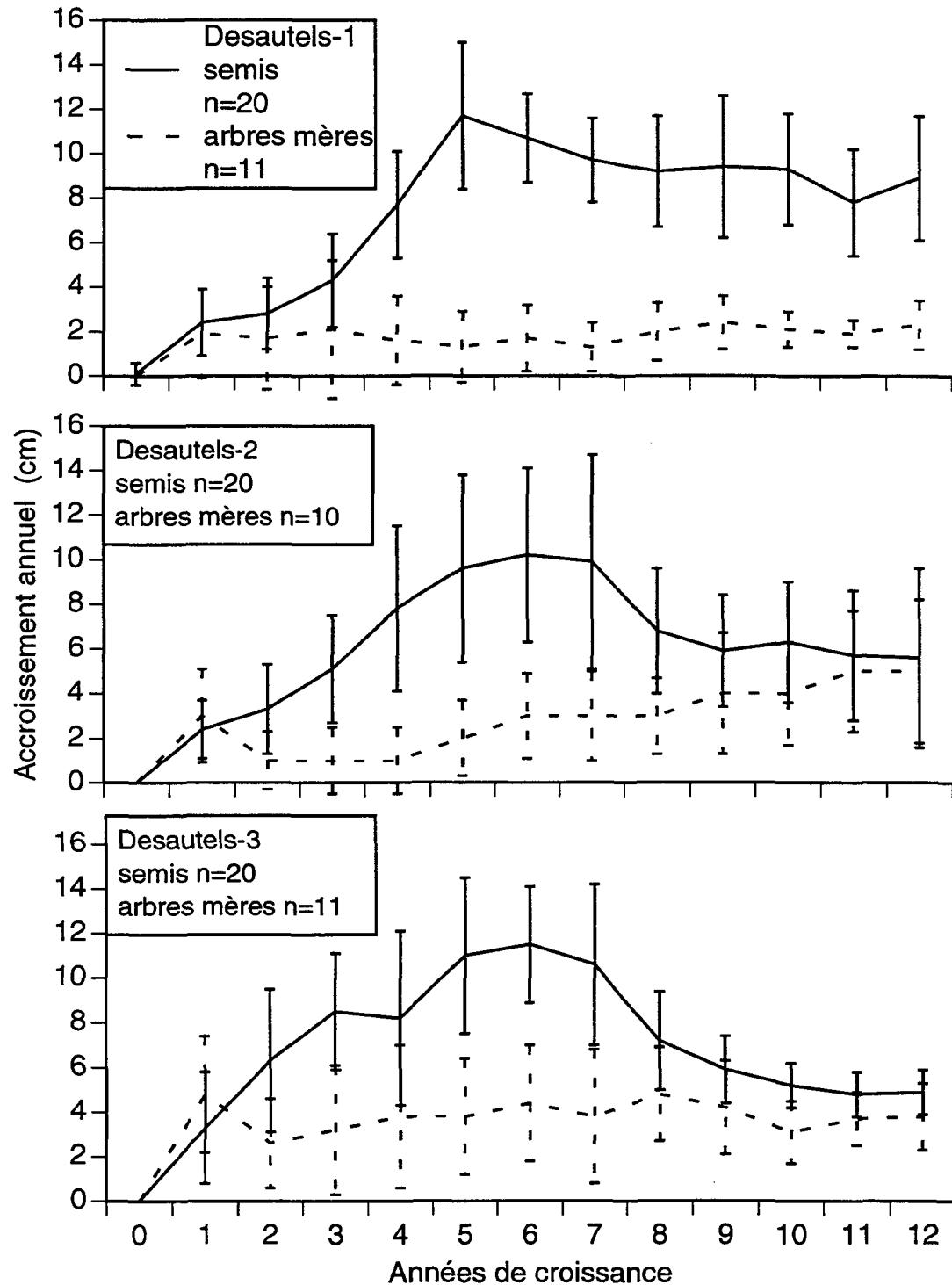


Figure 10: Courbes moyennes avec écart-type de la vitesse de croissance annuelle pour les deux générations dominantes, semis actuels et arbres mères, des trois sites étudiés.

Tableau 4: Résultats des analyses de variance avec mesures répétées (anovar) des vitesses de croissance en hauteur selon le site et la génération d'épinette (âge)

Source	d. l.	Variance	valeur de F	P (Pr > F)	P (G-G)	P (H-F)
<u>Analyse intergroupe</u>		<u>multivariée</u>				
site	2	49,85	2,05	0,1360		
âge	1	4245,16	174,60	0,0001		
erreur	73	24,31				
<u>Analyse intragroupe</u>						
temps	11	141,13	27,93	0,0001	0,0001	0,0001
temps x site	22	19,69	3,90	0,0001	0,0001	0,0001
temps x âge	11	136,73	27,06	0,0001	0,0001	0,0001
erreur temps	803	5,05				
<u>Analyse univariée</u>						
A1 site	2	13,08	3,82	0,0265		
âge	1	5,98	1,74	0,1907		
A2 site	2	25,48	5,75	0,0048		
âge	1	70,16	15,83	0,0002		
A3 site	2	55,11	10,30	0,0001		
âge	1	173,32	32,38	0,0001		
A4 site	2	4,86	0,58	0,5647		
âge	1	404,72	47,96	0,0001		
A5 site	2	7,80	0,72	0,4878		
âge	1	1203,15	111,88	0,0001		
A6 site	2	24,92	3,59	0,0326		
âge	1	1230,95	177,34	0,0001		
A7 site	2	52,31	6,23	0,0032		
âge	1	1306,31	155,66	0,0001		
A8 site	2	11,15	2,12	0,1270		
âge	1	448,38	85,36	0,0001		
A9 site	2	17,60	2,46	0,0927		
âge	1	247,52	34,56	0,0001		
A10 site	2	26,18	4,70	0,0120		
âge	1	340,94	61,24	0,0001		
A11 site	2	7,98	1,37	0,2602		
âge	1	151,05	25,96	0,0001		
A12 site	2	19,93	2,38	0,0993		
âge	1	166,73	19,94	0,0001		

CHAPITRE V

DISCUSSION

5.0 Discussion

5.1 Structure des peuplements

Pour les trois sites étudiés, aucune cicatrice de feu n'a été retrouvée pour confirmer les dates de passage des feux. Par contre le secteur a fait l'objet d'études antérieures sur la régénération de l'épinette noire en sous étage de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) (St-Pierre 1989; St-Pierre *et al.* 1992) et en peuplements purs (Filion 1994; Filion et Morin 1996). Ces études appuient les dates obtenues pour le passage du feu récent en 1983 et d'un seul feu ancien en 1870. La date du plus vieux feu, celui de 1820, a été estimée à partir de deux épinettes seulement (figure 4). La première épinette est le plus vieil arbre du site desautels-1 dont l'interdatation complète révèle qu'il s'est installé en 1822. La seconde épinette est un vétéran retrouvé dans le site desautels-2. Il a survécu au feu de 1870 et la date approximative de son installation a été évaluée en 1821. La présence d'un autre vétéran mais qui s'est installé à la suite d'un feu vers la fin du dix-huitième siècle a été signalée dans le site desautels-1. L'interdatation de cette épinette n'a donné qu'un âge minimum permettant d'évaluer son installation vers les années 1778.

Les structures d'âge des arbres mères (figure 4) et des jeunes semis (figure 5) confirment que l'épinette noire a la caractéristique d'une espèce pionnière s'installant rapidement et sans délai après le passage d'un feu (St-Pierre 1989). Les jeunes semis de la régénération actuelle se sont établis très tôt à la suite du feu de 1983. Les structures d'âge construites pour les trois sites en régénération sont basées sur cent semis analysés par site et ils représentent bien l'ensemble de la régénération actuelle. Dans le site desautels-1, il y a eu quelques épinettes, soit 5%, qui se sont installées l'année même du feu. Cette installation

massive dans les trois premières saisons de croissance suivant l'année du feu est complétée après cinq ans, ce qui correspond à celle retrouvée par Black et Bliss (1980), Viereck (1983) St-Pierre (1989) et St-Pierre *et al.* (1992).

L'interdatation dans la souche a permis de préciser davantage la période d'installation des arbres mères dominants (figure 4). Les sites desautels-2 et -3 présentent une structure d'âge typiquement équienne et l'installation de ces arbres mères s'est réalisée sans délai. Elle débuta dès la première saison de croissance suivant l'année du feu. Cette installation massive s'échelonna sur une courte période de temps, c'est-à-dire sur six ans, pour être finalement complétée au bout de la neuvième année après le feu de 1870. C'est une période d'installation qui semble plus longue que celle obtenue pour les jeunes semis mais elle est relativement précise compte tenu de l'âge des arbres mères. L'interdatation des souches des épinettes des sites desautels-2 et -3 est qualifiée de complète sauf pour une seule où la zone du collet n'a pas été localisée.

Concernant les arbres mères du site desautels-1, une forme plus étendue représente le patron de leur installation car elle semble se dérouler sur une plus longue période à partir de la date estimée du feu. L'examen de cette période, (figure 4), montre aussi que ces arbres mères sont particulièrement âgés. Pour la majorité de ceux-ci, l'interdatation incomplète dans la souche ne révèle qu'un âge minimum (tableau 2). Il est très difficile d'estimer le nombre d'années manquantes qui permettrait d'obtenir une structure d'âge se rapprochant de celle obtenue pour les épinettes qui se sont régénérées à la suite du feu de 1870. Afin d'obtenir une structure d'âge se rapprochant un peu plus de la réalité, DesRochers (1996) mentionne que l'on peut estimer que chaque épinette dont l'interdatation a donné un âge minimum s'est établie au moins une année avant la date interdatée. Avec de vieux arbres, comme c'est le cas

pour les arbres mères du site desautels-1, même cette réévaluation de l'âge ne permet pas de préciser davantage leur période d'installation. Il est fort probable que la limite de la méthode d'interdatation dans la souche soit atteinte lorsque l'on travaille avec des arbres aussi vieux. Ces derniers ont eu une croissance juvénile très lente. Elle s'est déroulée, dans la plupart des cas, sur le plan horizontal pendant quelques années et, parfois même, la tige avait une forme sinuuse. De plus, la section qui précède la zone du collet a pu être perdue, détruite par le temps ou carrément non interdatée à cause de la présence de bois de réaction, de pourriture ou de très petits cernes de croissance. Parfois, la courbure de la tige induit en erreur. Il est arrivé pour quelques vieux arbres mères du site desautels-1 de laisser cette partie indispensable par mégarde en forêt en pensant que c'était le système racinaire adventif. Cette erreur cause évidemment un biais pour la localisation de la zone du collet. C'est une zone qui se détermine en fait par l'examen des structures anatomiques centrales de la section coupée et sa localisation, en forêt, ne peut être qu'une approximation.

Parmi les arbres mères qui ont été récoltés, une portion représentative des arbres dominants des trois peuplements a été conservée pour analyse. Cette sélection s'est essentiellement basée sur la qualité des sections lors de la coupe. La principale raison du rejet des autres arbres mères est le taux de décomposition à l'intérieur de la souche qui parfois était trop avancé. Pour les tiges dominantes analysées, en plus de la date d'installation, la date de mortalité a été évaluée. La majorité des arbres mères ont été tués lors du feu en 1983 (tableau 2). Par contre, quelques-uns étaient déjà morts au moment de l'incendie. Une bonne caractéristique visuelle pouvant indiquer que ces arbres étaient morts avant le feu était la présence de charbon sur leur tige. Les dates de mortalité des tiges décédées avant l'incendie ont été validées à l'aide de courbes de croissance d'arbres vivants constituant une courbe de référence. La mortalité de ces tiges évaluée entre les années 1979 et 1982 est reliée

principalement à la dernière épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette qui a sévi à partir de la deuxième moitié de la décennie 1970. Cette épidémie affectant tout l'est du Canada a été particulièrement sévère et le secteur étudié situé au nord-ouest du Lac St-Jean n'a pas été épargné (Morin 1994; Morin et Laprise 1990).

5.2 Comparaison de la croissance juvénile en hauteur

La présente étude portait principalement sur la croissance juvénile d'épinettes noires de deux générations différentes ayant crû sur les mêmes sites. Les douze premières années de croissance des jeunes semis, considérés comme les individus dominants du nouveau peuplement en régénération, ont été comparées à celles des arbres mères du même statut hiérarchique (figures 6 à 9). Les résultats obtenus démontrent que le patron d'évolution des classes de hauteur des épinettes noires dominantes chez les jeunes semis et les arbres mères est différent pour les douze premières années de croissance (figures 6, 7 et 8). Très tôt, les jeunes semis se démarquent par rapport aux arbres mères. Cette tendance générale a pu être observée dans les trois sites étudiés. Après les quatre premières années de croissance, la hauteur moyenne pour l'ensemble des jeunes semis et des arbres mères est assez semblable. Dès la huitième année, les jeunes semis démontrent une nette avance sur la hauteur des arbres mères. Cette tendance s'est maintenue par la suite, ce qui a permis aux jeunes semis, après douze ans de croissance, de conserver leur avance. Ils ont atteint des hauteurs entre 80 et 100 cm de haut, soit près du double de la hauteur des arbres mères dominants.

Les courbes moyennes de croissances en hauteur cumulée (figure 9) ainsi que celles des vitesses de croissance annuelle (figure 10) pour les deux générations démontrent que l'épinette noire possède un taux de croissance juvénile relativement lent. Cette caractéristique serait inhérente à l'espèce (Heinselman 1973; Ahlgren 1974; St-Pierre 1989; Viereck et Johnston 1990; DesRochers 1996). Les taux de croissance enregistrés pour les semis et les arbres mères sont significativement différents. Les résultats de l'analyse de variance avec mesures répétées (tableaux 3 et 4) confirment que la différence entre les jeunes semis et les arbres mères se fait très tôt, soit dès la troisième saison de croissance pour la hauteur cumulée et dès la deuxième saison de croissance pour les vitesses de croissance annuelle. La différence significative qui est observée très tôt se conserve au fil des ans pour ainsi permettre aux jeunes semis d'épinette noire de se démarquer par rapport aux arbres mères après les douze années de croissance étudiées.

Ces résultats ne peuvent être entièrement expliqués par la productivité des sites car les deux générations, pour les trois peuplements étudiés, ont crû sur les mêmes sites dans un intervalle d'une centaine d'années. Il est peu probable que les caractéristiques reliées à la productivité de ces sites aient changé de façon aussi drastique en un si court laps de temps. De plus, il est peu probable que les individus dominants au moment de l'échantillonnage ne soient pas représentatifs des dominants pendant la période de croissance juvénile et qu'ils aient obtenu leur statut de dominant à la suite de perturbations importantes qui auraient fait disparaître les dominants de cette époque. Le statut social au sein d'un nouveau peuplement s'establie rapidement suite à la période de recrutement des individus. Lussier (1996) et Fournier (1997) ont démontré que les individus les plus petits et les moins vigoureux possédant une faible croissance par rapport au reste du peuplement sont ceux qui subissent les impacts les plus importants lorsque survient une perturbation majeure affectant la

croissance des arbres. De ce fait, l'hypothèse des changements de statut social au sein d'un peuplement dans le temps ne peut donc être retenue pour expliquer la différence de croissance mesurée entre les deux générations d'épinette.

On peut poser l'hypothèse pour expliquer les différences de croissance observées que des conditions environnementales différentes étaient présentes pendant les deux périodes de croissance juvénile. Quelles auraient pu être les conditions environnementales présentes pendant ces deux périodes cruciales ayant permis soit: 1- de favoriser une meilleure croissance des jeunes semis actuels ou encore 2- de défavoriser la croissance juvénile des arbres mères?

5.3 Conditions environnementales au moment de la croissance juvénile des peuplements

5.3.1 Conditions environnementales favorisant la croissance des jeunes semis

Des conditions environnementales qui favoriseraient une meilleure croissance des forêts ont déjà été mentionnées dans certaines études européennes. Une meilleure productivité des forêts au vingtième siècle a été remarquée par rapport à celle qui prévalait pour les siècles passés (Specker *et al.* 1996). Une hausse de la concentration de CO₂ atmosphérique, un apport plus élevé d'azote par le biais de la fertilisation et de dépôts atmosphériques, ainsi que des changements dans la pratique au niveau de la sylviculture sont les principaux facteurs qui seraient responsables de cette meilleure productivité (Specker *et al.* 1996).

Les concentrations de CO₂ (Singh et Wheaton 1991; Cooter *et al.* 1993) et les dépôts d'azote (Eriksson et Karlsson 1996) ont un impact sur les forêts. Un taux plus élevé de ces éléments représente une pollution de nature anthropique qui contribue au réchauffement global du climat (Mielikäinen et Timonen 1996; Schweingruber 1996; Singh et Wheaton 1991; Smith et Hinckley 1995; Spiecker *et al.* 1996; Wenk et Vogel 1996). Depuis le début de l'industrialisation, le taux de CO₂ a augmenté de 25% (Schneider et Hartmann 1996) et pour le prochain siècle, il est prévu que ce taux doublera (Singh et Wheaton 1991; Spiecker *et al.* 1996; Johnsen et Major 1998; Tjoelker *et al.* 1998). Les études de Lord *et al.*, (1993), Johnsen et Major, (1998), et Tjoelker *et al.*, (1998) ont mesuré l'influence de l'augmentation des concentrations de CO₂ sur la croissance de l'épinette noire. Pour toutes ces études, les résultats obtenus démontrent que les taux de croissance augmentent en présence de concentrations élevées de CO₂. Par contre, compte tenu que ces résultats proviennent de très jeunes plants, produits en serre et traités dans un environnement contrôlé sur une courte période de temps variant de trois mois suivant l'émergence, (Tjoelker *et al.* 1998), à deux saisons de croissance, (Lord *et al.* 1993; Johnsen et Major 1998), il est difficile d'extrapoler ces résultats à des arbres vivants en milieu naturel. Et, comme le suggèrent Eriksson et Karlsson (1996), il est difficile de prétendre qu'une augmentation de la concentration de CO₂ atmosphérique puisse expliquer à elle seule la meilleure productivité enregistrée pour des peuplements naturels en forêt. Selon ces auteurs, le CO₂ ne jouerait qu'un rôle mineur. Pour la présente étude, l'augmentation du CO₂ ne peut donc être le seul facteur retenu pour expliquer la croissance juvénile des jeunes semis actuels.

Les forêts européennes sont soumises depuis longtemps à l'activité humaine, soit au niveau de l'aménagement forestier, de la récolte de matière ligneuse ou encore, par l'agriculture. Pour ces régions, il est reconnu dans plusieurs cas que les dépôts d'azote sont

particulièrement élevés. Étant considéré comme un élément important pour les plantes, l'azote contribuerait à expliquer l'augmentation de la productivité des forêts (Eriksson et Karlsson 1996; Schneider et Hartmann 1996; Spiecker *et al.* 1996; Wenk et Vogel 1996). Or, dans d'autres régions, le taux d'azote est faible et les chercheurs voient aussi une tendance à l'augmentation de la productivité (Badeau *et al.* 1996). Dans la forêt boréale, les dépôts d'azote sont négligeables (Badeau *et al.* 1996; Schweingruber 1996). On ne peut donc relier la meilleure croissance obtenue des jeunes semis par rapport aux arbres mères à l'azote seulement.

Badeau *et al.* (1996), Mielikäinen et Sennov (1996), Schneider et Hartmann (1996), Spiecker *et al.* (1996) ont proposé que la sylviculture et les changements de pratiques sylvicoles, qui ont pour but d'augmenter le rendement des forêts, seraient une autre hypothèse envisageable. Ce facteur ne peut être tenu en considération dans le secteur étudié puisque des pessières noires pures dépourvues d'activité anthropique ont été choisies.

5.3.2 Conditions environnementales défavorisant la croissance des arbres mères

Le premier facteur qui aurait pu contribuer à ralentir la croissance juvénile des arbres mères est des conditions climatiques difficiles ayant sévi pendant cette période. En fait, pour la période de 1570 à 1880, un important refroidissement des températures dans le nord-est de l'Amérique du nord a été noté (Arsenault et Payette 1997; Lavoie 1990). Cette période, appelée petit âge glaciaire, fut caractérisée par des étés froids et humides et des hivers rigoureux et peu neigeux (Lavoie 1990; Lavoie et Payette 1991).

Les courbes de croissance construites par Lavoie (1990), Lavoie et Payette (1991) à partir d'épinettes noires de la zone subartique du Québec et par Archambault et Bergeron (1992) sur le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.) en Abitibi ont démontré que la croissance des arbres a été affectée par les conditions difficiles pendant le petit âge glaciaire. Dans son étude, Lavoie (1990) compara la croissance d'épinettes noires au dix-neuvième siècle par rapport à celle au vingtième siècle. Il remarqua que la croissance du dix-neuvième siècle était beaucoup plus faible que celle du présent siècle favorisé par un réchauffement global du climat qui débuta vers la fin des années 1880.

On peut donc supposer que des conditions climatiques similaires prévalaient pour les pessières de la zone boréale puisque Lavoie (1990) fait mention que le refroidissement a été ressenti à l'échelle de la partie nord-est de l'Amérique du nord. Ce refroidissement pourrait expliquer une partie de la faible croissance des arbres mères par rapport aux jeunes semis actuels. Il n'aurait pas permis aux arbres mères d'atteindre leur potentiel de croissance pendant cette période critique. Il est cependant difficile d'évaluer dans quelle mesure ces conditions climatiques ont pu influencer la croissance.

5.3.3 Impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la régénération après feu des pessières noires

Dans cette section, une nouvelle hypothèse est proposée. Cette fois-ci, elle concerne un facteur écologique non-négligeable pouvant apporter des éléments de réponse sur la croissance différentielle obtenue entre les jeunes semis et les arbres mères. Il s'agit du passage d'une épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette pendant la période de croissance juvénile des arbres mères.

Il est reconnu que l'épinette noire peut subir des pertes de croissance lorsqu'il y a une défoliation sévère causée par une épidémie d'insectes ravageurs comme la tordeuse des bourgeons de l'épinette (tbe) (Raske et Sutton 1986; Basham 1994). De nombreuses études ont fait état du passage de la tbe au dix-neuvième et au vingtième siècle dans la région du Saguenay-Lac Saint-Jean (Blais 1965, 1985; Morin 1994, 1998; Morin et Laprise 1990; DesRochers 1996; Lussier 1996; Fournier 1997; Krause 1997; Hardy 1998). Parmi ces études, celles de Lussier (1996) et de Fournier (1997) font mention de l'impact de la défoliation lors de la dernière épidémie qui a sévi vers la fin des années 1970 et le début des années 1980, sur la croissance des épinettes noires de petite taille. Celle de Fournier (1997) montre que la régénération pré-établie de moins de deux mètres de hauteur qui s'est régénérée après une coupe pendant la dernière épidémie a été affectée par la tbe, mais à des degrés variables. En fait, la tbe aurait causé un délai dans la reprise de croissance caractéristique des peuplements se régénérant après la coupe. Les petites épinettes noires supprimées de moins de 80 cm au moment de l'infestation qui a débuté en 1974, n'ont pas eu de reprise de croissance. Un constat similaire dans des pessières noires matures issues de graines après feu et issues de coupe a été démontré par Lussier (1996). Suite à la dernière épidémie, la plupart des tiges ont retrouvé une croissance semblable à celle qu'elles avaient avant l'épidémie, sauf pour les plus petites tiges du peuplement qui ont enregistré des baisses de croissance. Donc, si la tbe en période épidémique affecte de petites épinettes noires se régénérant après coupe, on peut supposer que des épinettes issues de graines après feu peuvent aussi être affectées en période juvénile.

Les chronologies des épidémies de la tbe au dix-neuvième et au vingtième siècle (adaptées de Krause (1997) et de Morin (1994)) ont été comparées aux patrons d'installation des arbres mères et des jeunes semis.

Au dix-neuvième siècle, trois périodes épidémiques ont été enregistrées dans l'est de l'Amérique du Nord, de l'Ontario au Nouveau-Brunswick et dans l'état du Maine aux États-Unis (Blais 1961, 1962, 1965, 1968; Morin et Laprise 1990; Morin *et al.* 1993; Krause 1996, 1997). Au Québec, lorsque ces épidémies étaient retracées, elles étaient considérées comme légères (Blais 1968, 1985; Morin et Laprise 1990). Les trois épidémies retracées au dix-neuvième siècle sont datées entre 1810 et 1813 pour la première, 1835 et 1841 pour la seconde et 1868 et 1878 pour la troisième (Krause 1996, 1997). Les deux dernières périodes sont particulièrement intéressantes puisqu'elles coïncident avec la période de croissance juvénile des arbres mères (figure 11). L'épidémie de 1868-1878 aurait été sévère pour le sud du Québec mais légère pour le reste de la province. Pour l'année 1876, les arbres non-hôtes de la tbe ont montré eux aussi une réduction de croissance. Cette réduction serait attribuable à des conditions climatiques défavorables entre 1874 et 1878 par le biais d'une série d'été secs (Blais 1965; Cogbill 1985; Morin et Laprise 1990; Krause 1997). Donc, la période juvénile des arbres mères pour les sites desautels-2 et -3 aurait été défavorisée par l'effet combiné d'une épidémie légère de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et par une série d'été secs.

L'épidémie de 1835-1841 aurait été sévère. L'année dont la réduction de croissance a été la plus forte a été enregistrée en 1838 (Blais 1961, 1965; Krause 1997). Pour ce qui est des arbres mères du site desautels-1, comme mentionné précédemment, la structure d'âge des épinettes de ce site est inéquienne, ce qui a pour effet d'avoir des épinettes qui se sont installées plus tardivement à la suite du feu de 1820 et quelques unes qui se sont installées bien après l'épidémie. Les quelques épinettes qui étaient présentes lors du passage de la tbe ont été affectées. Par contre, lors de l'infestation, quelques épinettes étaient plus âgées que la période de croissance juvénile en question et, pour la plupart, l'âge présenté n'est qu'un âge

minimum. Donc, pour les arbres mères de ce site, une petite nuance doit être apportée en ce qui concerne les effets de la tbe, car la période épidémique coïncide plus ou moins avec la période juvénile de ces arbres.

Le patron d'installation des jeunes semis actuels a aussi été comparé à la chronologie de la tbe (figure 12). La dernière épidémie recensée a sévi entre les années 1974 et 1988 (Morin et Laprise 1990; Krause et Morin 1995; Morin 1998). Elle a été caractérisée par une première vague de défoliation particulièrement sévère. Les plus fortes réductions de croissance ont été enregistrées entre les années 1977 et 1979 (Raske et Sutton 1986; Morin 1998). En comparant la structure d'âge des jeunes semis établis après le feu de 1983 avec la chronologie de la dernière épidémie, les jeunes semis se seraient établis en fin de période épidémique, soit au début de la période endémique.

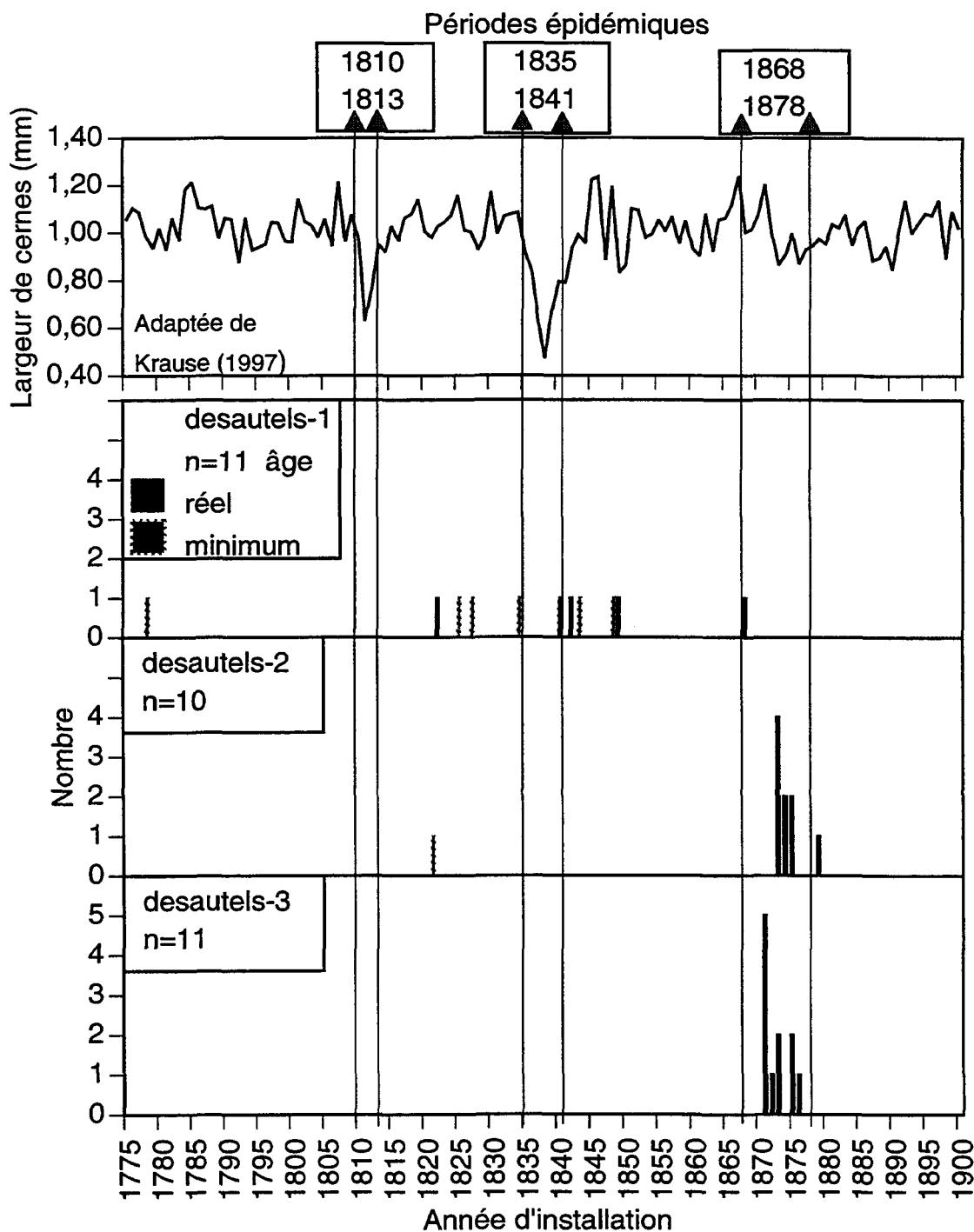


Figure 11: Comparaison entre les périodes épidémiques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au dix-neuvième siècle et la structure d'âge des arbres mères pour les trois sites.

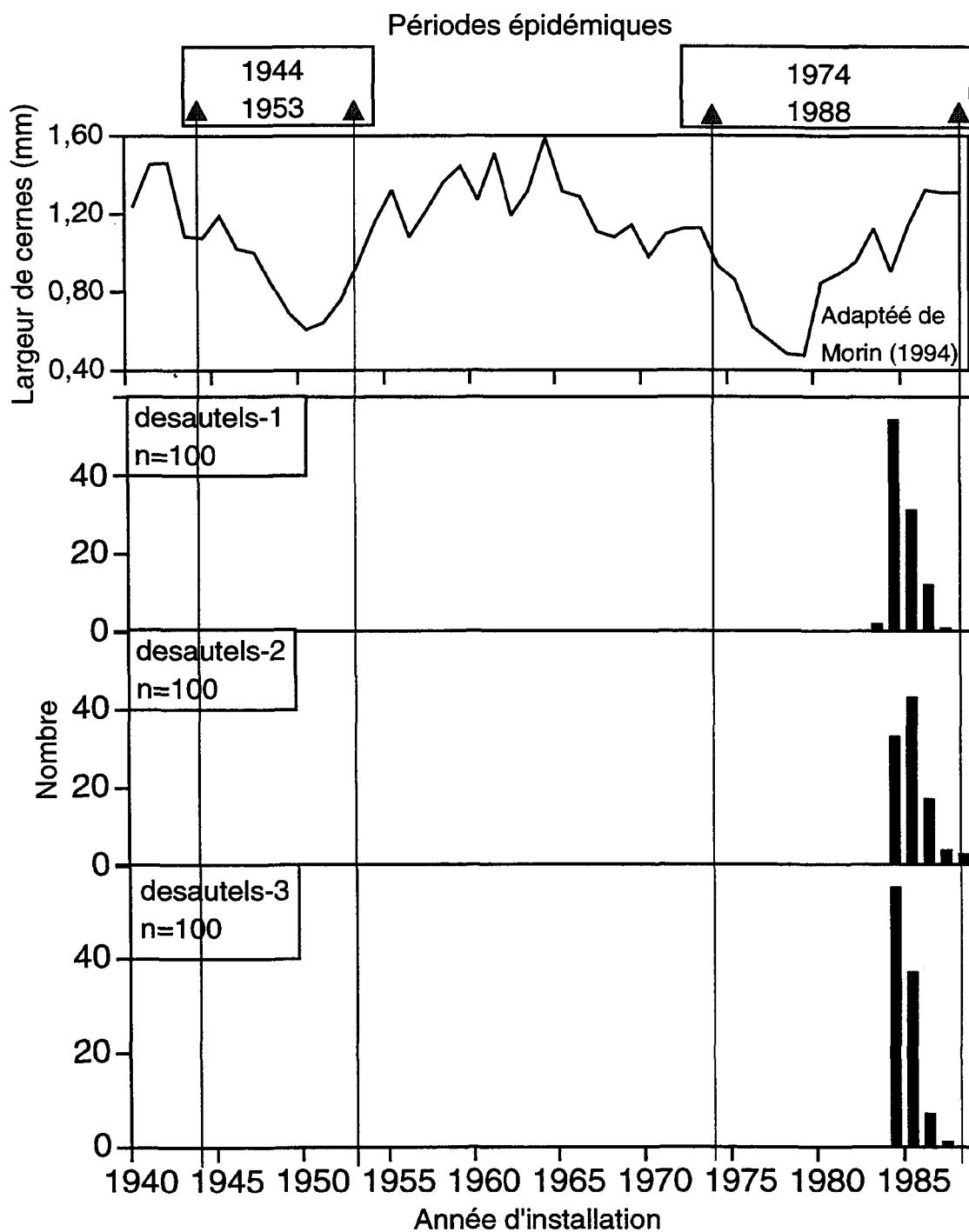


Figure 12: Comparaison entre les périodes épidémiques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au vingtième siècle et la structure d'âge des jeunes semis pour les trois sites.

À la lumière des résultats obtenus, en plus des conditions climatiques défavorables, la tordeuse des bourgeons de l'épinette aurait pu contribuer à défavoriser la croissance juvénile des arbres mères. En période épidémique, elle pourrait s'attaquer à la régénération présente étant donné que le couvert d'arbres matures a été détruit par le feu.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

6.0 Conclusion

Le premier objectif de cette étude visait à comparer le patron de croissance juvénile de semis d'épinette noire et d'arbres mères issus de graines après feu sur les mêmes sites. La comparaison des patrons de croissance entre les deux générations d'épinette du même statut hiérarchique, et ce pour les trois sites étudiés, a infirmé l'hypothèse principale stipulant que la croissance juvénile en hauteur était semblable d'une génération à l'autre sur les mêmes sites.

Les deux méthodes d'analyse de la croissance juvénile utilisées pour l'obtention des patrons de croissance étaient: l'interdatation dans la souche pour les arbres mères et la localisation des cicatrices du bourgeon apical pour les jeunes semis. Ces méthodes se sont révélées adéquates pour l'analyse de la croissance juvénile chez l'épinette noire. Mais, en présence de vieilles épinettes dont la croissance juvénile était très lente et parfois sur le plan horizontal comme dans le cas du plus vieux site, la méthode d'interdatation dans la souche perd de sa précision.

Les résultats obtenus ont montré que l'épinette noire s'installe rapidement après le feu mais elle possède un faible taux de croissance juvénile en hauteur. La croissance juvénile des arbres mères aurait été défavorisée par rapport à celle des jeunes semis. Les épinettes établies dans les peuplements mères au dix-neuvième siècle n'auraient pu atteindre leur taux de croissance potentiel dû aux effets combinés de deux importants facteurs. Le premier est une période plus froide que celle du vingtième siècle, communément appelée le petit âge glaciaire, caractérisée par des conditions climatiques défavorables à la croissance des arbres. Le second serait l'effet de la défoliation en période épidémique par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Même si la faible croissance juvénile de l'épinette noire est une caractéristique

inhérente à l'espèce, elle serait ralentie davantage pendant une épidémie de la tbe. Face à l'absence d'une couverture d'arbres matures à la suite de l'incendie, les épinettes des peuplements mères auraient été plus vulnérables à la tbe étant donné qu'ils constituaient la seule source alimentaire disponible pour cet insecte.

Le rejet de l'hypothèse principale démontre l'intérêt d'étudier davantage la croissance juvénile des épinettes. Il serait pertinent de mesurer l'importance relative du climat défavorable et de la tbe sur les petites épinettes noires issues de graines après un feu en comparant des peuplements qui se sont régénérés au vingtième siècle en période épidémique et en période endémique.

RÉFÉRENCES

Références

- Ahlgren, I. F. and Ahlgren C. E. 1960. Ecological Effects of Forest Fires. *The Botanical Review*. vol. 26 p. 483-533.
- Ahlgren, C.E. 1974. Effects of fires on temperate forests: North Central United States. Dans: *Fire and ecosystems*. T.T. Kozlowski, Editors. Academic Press. New York. p. 195-223.
- Agriculture Canada. 1987. *Le système canadien de classification des sols*. Seconde édition. Direction de la recherche. Agriculture Canada. Publication 1646. Ottawa. 170 p.
- Archambault, S. and Bergeron, Y. 1992. An 802-year tree-ring chronology from the Quebec boreal forest. *Can. J. For. Res.* vol. 22 p. 674-682.
- Arseneault, D. and Payette, S. 1997. Reconstruction of millennial forest dynamics from tree remains in a subartics tree line peatlands. *Ecology*. vol. 78 no. 6 p. 1873-1883.
- Assmann, E. 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Pergamon Press Ltd. New York. 506 pages.
- Aubin, N. K. 1996. Influence du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation sur la formation de racines adventives caulinaires, la croissance et l'allocation glucidique de semis d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) Mémoire de maîtrise de l'Université du Québec à Chicoutimi. 105 pages.
- Badeau, V., Becker, M., Bert, D., Dupouey, J-L., Lebourgeois, F. and Picard, J-F. 1996. Long-term growth trends of trees: Ten years of dendrochronological studies in France. Dans: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J.P. 1996. *Growth trends in european forests. Studies from 12 countries*. European forests institute, research report no. 5. Springer, verlag, Berlin, Heidelberg. p. 167-181.

- Bannan, M. W. 1942. Notes on The Origin of Adventitious Roots in the Native Ontario Conifers. *American Journal of Botany.* vol. 29. no. 8 p. 593-598.
- Basham, J.T. 1994. Black spruce annual volume losses to pests estimated at 30% of current annual increment in Ontario. Canadian forest Service, Ontario. technical report no. 76. 4 pages.
- Black, R. A. and Bliss, L.C. 1980. Reproductive ecology of *Picea mariana* (Mill.) BSP., at tree line Near Inuvik, Northwestern Territories, Canada. *Ecological Monographs,* vol. 50 no. 3 p. 331-354.
- Blais, J. R. 1961. Spruce budworm outbreaks in the lower St. Lawrence and Gaspe regions. *Forestry Chronicle.* vol. 37 p. 192-202.
- Blais, J.R. 1962. Collection and analysis of radial-growth data from trees for evidence of past spruce budworm outbreaks. *Forestry Chronicle.* vol. 38 p. 474-485.
- Blais, J. R. 1965. Spruce budworm outbreaks in the past three centuries in the Laurentides Park, Quebec. *Forest Science.* vol. 11 p. 130-138.
- Blais, J. R. 1968. Regional Variation in Susceptibility of Eastern North American Forests to Budworm Attack Based on History of Outbreaks. *The Forestry Chronicle.* vol. 44 p. 17-33.
- Blais, J. R. 1985. Répercussions des invasions de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur le sapin baumier et l'épinette blanche dans la réserve faunique des Laurentides. Gouvernement du Canada. Service canadien des forêts. Rapport d'information Lau-X-68F. 16 pages.
- Carleton, T. J. 1982. The pattern of invasion and establishment of *Picea mariana* (Mill.) BSP. into the subcanopy layers of *Pinus banksiana* Lamb. dominated stands. *Can. J. For. Res.* vol. 12 p. 973-984.

- Cogbill, C. V. 1985. Dynamics of the boreal forests of the Laurentian Highlands, Canada. *Can. J. For. Res.* vol. 15 p. 252-261.
- Cooter, E., Eder, B. K., LeDuc, S. K. and Truppi, L. 1993. Climate Change. Models and Forest Research. *Journal of Forestry*. September. p. 38-43.
- DesRochers, 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 pages.
- DesRochers, A. and Gagnon, R. 1997. Is ring count at ground level a good estimation of black spruce age? *Can. J. For. Res.* vol. 27 p. 1263-1267.
- Dyer, M. E. and Bailey, R. L. 1987. A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data. *Forest Science*. vol. 33 no.1 p. 3-13.
- Environnement Canada. 1993. Normales climatiques au Canada: 1961-1990. Québec. Environnement Canada. Service de l'Environnement Atmosphérique Ottawa.
- Eriksson, H. and Karlsson, K. 1996. Long-term changes in site index in growth and yield experiments with Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.) in Sweden. Dans: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J.P. 1996. Growth trends in european forest. Studies from 12 countries. European forest institute, research report no. 5. Springer, verlag, Berlin, Heidelberg. p. 79-88.
- Fernandez, G. C. J. 1991. Repeated measure analysis of line-source Sprinkler experiments. *HortScience*. vol. 26 no. 4 p. 339-342.
- Filion, J. 1994. Distribution spatiale de la régénération d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) 8 ans après un feu de forêt. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 72 pages.

- Filion, J. et Morin, H. 1996. Distribution spatiale de la régénération de l'épinette noire 8 ans après un feu en forêt boréale (Québec). *Can. J. For. Res.* vol 26 p. 601-610.
- 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. 107 p.
- Gagnon, R. 1988. La dynamique naturelle des peuplements équiennes d'épinette noire. Dans: Les mécanismes de régénération naturelle de l'Épinette noire: applications pratiques en aménagement. Colloque le 18-19 août 1988. Chicoutimi. 11 pages.
- Gagnon, R. 1989. Maintien après feu de limites abruptes entre des peuplements d'épinettes noires (*Picea mariana*) et de formations de feuillus intolérants (*Populus tremuloides* et *Betula papyrifera*) dans la région du Saguenay-Lac Saint-Jean (Québec). *Naturaliste Can. (Rev. Écol. Syst.)* vol. 116 p. 117-124.
- Gagnon, R., Morin, H., St-Pierre, H., Filion, J. et Villeneuve, G. 1992. La régénération naturelle de l'épinette noire par graines: point de départ d'une méthode efficace d'ensemencement. Dans: Colloque sur les semences forestières. Ministère des Forêts. Les 12 et 13 février 1992. Sainte-Foy. p. 171-180.
- Gouvernement du Québec, 1981. Carte des gîtes minéraux du Québec. Laurentie-Saguenay. Feuille Rivière Mistassini-sud 32H. Ministère de l'Énergie et des Ressources. Direction générale de l'exploration géologique et minérale. Échelle de la carte 1:250000.
- Gouvernement du Québec, 1991. Carte des dépôts de surface. 32 H/6 Lac Desautels. Comté du Lac Saint-Jean Ouest. Ministère de l'Énergie et des Ressources. Direction générale des forêts. Direction de l'aménagement de la forêt. Service de l'inventaire forestier. Échelle de la carte 1 : 50 000.
- Hardy, S. 1998. Dynamique d'installation du système racinaire de la régénération pré-établie de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) après coupe. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Chicoutimi. 70 pages.

- Heinselman, M. L. 1965. Black Spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). Agriculture Handbook no. 271 p. 288-298.
- Heinselman, M. L. 1970. The Natural Role of Fire in Northern Conifer Forests. Dans: The Role of Fire In The Intermountain West Symposium. Missoula, Montana: Intermountain Fire Research Council. October 27-29 p. 14-23.
- Heinselman, M. L. 1973. Fire in the virgin forest of the boundary waters canoe area, Minnesota. Quaternary Research. vol. 3 p. 329-382.
- Horton, K. W. and Lees, J. C. 1961. Black spruce in the Foothills of Alberta. Forest Research Branch. Technical note no. 110. Department of Forestry. Canada. 54 p.
- Johnsen, K. H. and Major, J. E. 1998. Black spruce family growth performance under ambient and elevated atmospheric CO₂. New Forests. vol. 15 no. 3. p. 271-281.
- Knight, R. C. 1961. Taper and Secondary Thickening in Stems and Roots of The Apple. Plant Physiology. East Malling Research. Station annual Report p. 65-71.
- Krause, C. 1996. L'analyse dendroécologique du clocher de la Cathédrale de Chicoutimi. Saguenayensia, avril-juin. p. 21-25.
- Krause, C. 1997. The use of dendrochronological material from buildings to get information about past spruce budworm outbreaks. Can. J. For. Res. vol 27 p.69-75.
- Krause, C. and Morin, H. 1995. Impact of spruce budworm defoliation on the number of latewood tracheids in balsam fir and black spruce. Can. J. For. Res. vol. 25 p. 2029-2034.
- Lavoie, C. 1990. Impact des changements climatiques séculaires sur les formes de croissance de l'épinette noire au Québec subarctique. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 64 pages.

- Lavoie, C. et Payette, S. 1991. Les formes de croissance de l'épinette noire et les changements climatiques séculaires. Dans: Edelin, C. 1991. L'arbre. Biologie et Développement. Actes du deuxième colloques international sur l'arbre. Montpellier 10-15 septembre 1990. Naturalia Monspeliensis. N° h.s. p. 221-227.
- LeBarron, R. K. 1939. The Role of Forest Fire in the Reproduction of Black Spruce. The Minnesota Academy of Science Proceedings. vol. 7 p. 10-14.
- LeBarron, R. K. 1945. Adjustment of Black Spruce Root Systems to Increasing Depth of Peat. Ecology. vol. 26 no. 3 p. 309-311.
- LeBarron, R. K. 1948. Silvicultural Management of Black Spruce in Minnesota. Circular no. 791. United States Department of Agriculture. Washington, D. C. 58 pages.
- Lussier, J-M. 1996. Reconstruction de la dynamique récente de pessières noires vierges et de seconde venue. Thèse de doctorat. Université du Québec à Montréal. 125 pages.
- Lord, D., Morissette, S. et Allaire, J. 1993. Influence de l'intensité lumineuse, de la température nocturne de l'air et de la concentration en CO₂ sur la croissance de semis d'épinette noire (*Picea mariana*) produits en récipients en serres. Can. J. For. Res. vol. 23 no. 1 p. 101-110.
- Mielikäinen, K. and Sennov, S. 1996. Growth trends of forests in Finland and North-western Russia. Dans: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J.P. 1996. Growth trends in European forests. Studies from 12 countries. European forest institute, research report no. 5. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 19-27.
- Mielikäinen, K. and Timonen, M. 1996. Growth trends of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in unmanaged and regularly managed stands in southern and central Finland. Dans: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J.P. 1996. Growth trends in European forests. Studies from 12 countries. European forest institute, research report no. 5. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg. p. 41-59.

- Morin, H. 1994. Dynamics of balsam fir forest in relation to spruce budworm outbreaks in the Boreal Zone of Quebec. *Can. J. For. Res.* vol 24 p. 730-741.
- 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. *Géographie physique et Quaternaire.* Vol. 52 no. 2 p. 237-244.
- Morin, H. et Laprise, D. 1990. Histoire récente des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au nord du lac Saint-Jean (Québec): une analyse dendrochronologique. *Can. J. For. Res.* vol 20 p. 1-8.
- Morin, H., Laprise, D. and Bergeron, Y. 1993. Chronology of spruce budworm outbreaks near Lake Duparquet, Abitibi region, Quebec. *Can. J. For. Res.* vol. 23 p. 1497-1506.
- New Berry, J. D. 1991. A Note on Carmean's Estimate of Height from Stem Analysis Data. *Forest Science.* vol. 37 no. 1 p. 368-369.
- Raske, A.G. and Sutton, W.J. 1986. Decline and mortality of black spruce caused by spruce budworm defoliation and secondary organisms. Government of Canada, Canadian Forestry Service, Newfoundland Forestry Center, Information Report N-X-236. 29 pages.
- Riverin, S. 1994. Dynamique d'installation de la régénération dans la pessière ouverte à cladonie localisée dans la zone de la pessière noire fermée, nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Québec). Mémoire de maîtrise de l'Université du Québec à Chicoutimi. 66 pages.
- Rowe, J. S. 1975. Les régions forestières du Canada. Environnement Canada. Service Canadien des Forêts, Ottawa. Plublication no. 1300F. 172 pages.
- SAS Institute inc. 1988a. SAS Procedures guide, Release 6.03 edition. Cary, NC: SAS Institute inc. 441 pages.

SAS Institute inc. 1988b. SAS/stat. User's guide, Release 6.03 edition. Cary, NC: SAS Institute inc. 1028 pages.

Scheiner, S.M. and Gurevitch, J. 1993. Design and analysis of ecological experiments. Chapman & Hall inc. New York, London. 445 pages.

Schneider, O. and Hartman, P. 1996. Growth trends of trees. Regional study on Norway spruce (*Picea abies*, [L.] Karst.) in the Swiss Jura. Dans Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J.P. 1996. Growth trends in European forests. European forest institute. Studies from 12 countries. Research report no. 5. Springer, verlag, Berlin, Heidelberg. p. 183-198.

Schweingruber, F. H. 1996. Tree rings and environment dendroecology. Haupt Paul Publishers. Berne-Stuttgart-Vienna. 609 pages.

Singh, T. and Wheaton, E. E. 1991. Boreal forest sensitivity to global warming: Implications for forest management in western interior Canada. The Forestry Chronicle. vol. 67 no. 4 p. 342-348.

Sirois, L. and Payette, S. 1989. Postfire black spruce establishment in subarctic and boreal Quebec. Can. J. For. Res. vol. 19 no. 12 p. 1571-1580.

Smith, W. K. and Hinckley, T. M. 1995. Ecophysiology of coniferous forest. Academic Press. USA. 339 pages.

Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J. 1996. Growth trends in European forests. Studies from 12 countries. European Forest Institute Research. Research report No. 5. Springer, verlag, Berlin, Heidelberg. 372 pages.

St-Pierre, H. 1989. Régénération après feu du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) dans la forêt boréale, lac Desautels, Réserve faunique Ashuapmushuan, Québec. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 52 pages.

- St-Pierre, H., Gagnon, R. et Bellefleur, P. 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. vol. 22 p. 474-481.
- Thibeault, M. 1972. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation. Ministère de l'Énergie et des Ressources. Services de la Cartographie, Québec.
- Tjoelker, M. G., Oleksyn, J. and Reich, P. B. 1998. Temperature and ontogeny mediate growth response to elevated CO₂ in seedlings of five boreal tree species. New Phytologist. vol. 140. no. 2. p. 197-210.
- Vachon, A. 1980. Dynamisme de la régénération après feu de l'épinette noire à Poste-à-la-Baleine. Nouveau Québec. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 102 pages.
- Van Wagner, C. E. 1988. Age-class distribution and the forest fire cycle. Can. J. For. Res. vol. 8 p. 220-227.
- Viereck, L. A. 1983. The effect of fire in black spruce ecosystems of Alaska and Northern Canada. Dans: Wein, R.W. and MacLean, D. A. Editors. The role of fire in Northern Circumpolar Ecosystems. Published by John Wiley and Sons Ltd. Chapter 11. p. 201-220.
- Viereck, L. A. and Johnston, W. F. 1990. *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Black spruce. Dans: Burns, R. M. and Honkala, B. H. Silvics of North America. Volume 1, Conifers. p. 227-237.
- Weber, M. G. and Stocks, B. J. 1998. Forest Fires and Sustainability in the Boreal Forests of Canada. Ambio. vol. 27 no. 7 p. 545-550.

Wenk, G. and Vogel, M. 1996. Height growth investigations of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in the Eastern part of Germany During the last century. Dans: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. and Skovsgaard, J.P. 1996. Growth trends in European forests. Studies from 12 countries. European forest research report no. 5. Springer, verlag, Berlin, Heidelberg. p. 99-106.

Zarnovican, R. 1992. Croissance en hauteur de l'épinette noire: région de Lebel-sur-Quévillon et de Dolbeau au Québec. Can. J. For. Res. vol. 22 p. 1378-1386.

Zoladeski, C. A. and Maycock, P. F. 1990. Dynamics of the Boreal Forest in Northwestern Ontario. The American Midland Naturalist. vol. 124 no. 2 p. 289-300.