

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE DE RECHERCHE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAITRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR

JEAN-MARTIN LUSSIER

B.Sc.A. en Aménagement des ressources forestières

**COMPARAISON DE LA CROISSANCE DE MARCOTTES
D'ÉPINETTE NOIRE ADULTES À CELLE D'INDIVIDUS ISSUS DE
GRAINES APRES FEU**

JUIN 1991



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

Afin de comparer la croissance de marcottes adultes d'épinette noire après coupe à celle d'épinettes noires d'origine sexuée d'âge comparable, des courbes de croissance en diamètre, en hauteur et en volume total ont été réalisées grâce à l'analyse de tige de 112 individus récoltés dans la Réserve faunique des Laurentides. La moitié des épinettes noires provenait de coupes réalisées entre 1890 et 1930, l'autre de feux de forêt datant de la même période. L'analyse de tige a aussi permis d'évaluer l'activité cambiale, estimée à l'aide de l'accroissement spécifique en volume (ASV), qui correspond au taux annuel de croissance en volume divisé par la surface du cambium. Il appert que la hauteur, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et le volume atteints 60 ans après coupe sont mieux corrélés à la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe qu'à la durée de la période de suppression. Les accroissements annuels moyens (AAM) en hauteur et en DHP sont proportionnels à la hauteur initiale lorsque celle-ci est inférieure à deux mètres. Dépassé ce point, l'AAM en hauteur et en DHP décroissent en fonction de la hauteur initiale. Ces relations comportent toutefois une importante variance, si bien que sur plus des deux tiers de la période de temps considérée, les taux de croissance annuelle courants en hauteur et en diamètre ne diffèrent pas significativement entre les petites ($H_o < 1$ m), les moyennes ($1 \text{ m} \leq H_o \leq 2$ m) et les grandes marcottes ($H_o > 2$ m). Conséquemment, la supériorité des marcottes de grande taille provient principalement de l'avance dont elles bénéficient dès le moment de la coupe. Le taux de croissance en volume total est corrélé positivement à la taille initiale jusqu'à environ 60 ans après la coupe. Cependant, aucune relation significative n'a pu être identifiée entre la taille initiale des marcottes et leur accroissement spécifique en volume (ASV) après la coupe. En conséquence, les différences d'accroissement en volume entre les petites, moyennes et grandes marcottes sont dues à des différences de surface cambiale. Les épinettes noires d'origine sexuée présentent en moyenne des ASV ainsi que des taux de croissance en hauteur et en diamètre significativement supérieurs à ceux des épinettes de seconde venue jusqu'à la soixantième année après l'origine du peuplement, après quoi les différences observées ne sont plus significatives. Les individus d'origine sexuée rattrapent ainsi l'avance des épinettes de seconde venue, si bien que quarante années après l'origine du peuplement, les épinettes noires d'origine de graine ont un DHP, une hauteur et un volume comparables aux marcottes ayant entre 1 et 2 m au moment de la coupe. Ni la classe de drainage, ni le degré de compétition (évalué par la densité ponctuelle) n'ont montré d'effet significatif sur la croissance en hauteur, en diamètre ou en volume. D'autre part, les épinettes noires étudiées présentaient des réductions de croissance en hauteur et en diamètre associées à la dernière épidémie de Tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) dans la Réserve faunique des Laurentides. À la lumière de ces résultats, on peut déduire que la performance des peuplements de seconde venue comparée à celle des peuplements naturels issus de graines après feu dépendra d'abord de la densité de la régénération préétablie et de la répartition des tiges parmi les différentes classes de hauteur.

REMERCIEMENTS

Je désire remercier vivement Messieurs Steven Bouchard, Alain Bourgeois, Jacques Ibarzabal, Sylvain Morissette et Germain Savard pour leur aide précieuse pour les travaux de terrain et de laboratoire. Merci aussi à Madame Hélène St-Pierre ainsi que Messieurs Hubert Morin et Réjean Gagnon qui ont su me conseiller lorsque le doute se faisait trop grand. Le présent projet a été rendu possible grâce à des bourses du F.C.A.R. et de la compagnie Alcan, ainsi que grâce à une subvention conjointe du C.R.S.N.G. et de la Compagnie Abitibi-Price.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
CHAPITRE I: INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE II: LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA RÉGION ÉTUDIÉE	5
CHAPITRE III: MATÉRIEL ET MÉTHODES	
3.1 Choix des échantillons	7
3.2 Analyse de tige.....	10
3.3 Estimation de l'accroissement spécifique en volume.....	12
3.4 Traitements statistiques.....	13
CHAPITRE IV: RÉSULTATS	
4.1 Description des peuplements	14
4.2 Effet de la taille initiale et de la période de suppression sur la croissance des épinettes noires de seconde venue	18
4.3 Évaluation de l'effet du régime hydrique et de la compétition intraspécifique.....	26
4.4 Comparaison de la croissance d'épinettes noires de seconde venue à celle d'épinettes d'origine de feu.....	31
CHAPITRE V: DISCUSSION	
5.1 Effet de la taille initiale sur la croissance des épinettes noires de seconde venue.	43

5.2	Effet de la classe de drainage sur la croissance de l'épinette noire	48
5.3	Comparaison de la croissance d'épinettes de seconde venue à celle d'individus issus de graines après feu.....	49
CHAPITRE VI: CONCLUSION		53
CHAPITRE VII: RÉFÉRENCES CITÉES.....		55

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1:	Localisation du secteur étudié et des pessières noires échantillonnées.....	6
FIGURE 2:	Structures d'âge des pessières noires de seconde venue.....	16
FIGURE 3:	Structures d'âge des pessières noires d'origine de feu.....	17
FIGURE 4:	Fréquences de la hauteur et du DHP au moment de la coupe ainsi que de la durée de suppression pour l'ensemble des épinettes noires de seconde venue étudiées.....	20
FIGURE 5:	Hauteur initiale des épinettes noires préétablies en fonction de la période de suppression.....	21
FIGURE 6:	Relation entre la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe et la hauteur, 20, 40 et 60 ans plus tard.....	22
FIGURE 7:	Relations entre l'accroissement annuel moyen (AAM) en hauteur 60 ans après la coupe et (a) la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe ainsi que (b) la période de suppression.....	23
FIGURE 8:	Relations entre l'accroissement annuel moyen (AAM) en volume total 60 ans après la coupe et (a) la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe ainsi que (b) la période de suppression.....	24
FIGURE 9:	Croissance moyenne en hauteur d'épinettes noires de seconde venue regroupées selon leur taille au moment de la coupe, comparée à celle d'individus d'origine sexuée.....	32
FIGURE 10:	Variation des effectifs pour l'évaluation de la croissance moyenne en hauteur.....	34

FIGURE 11:	Moyennes des valeurs maximales d'accroissement en hauteur, d'accroissement en diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et d'accroissement spécifique en volume (ASV) en fonction de l'origine et de la classe de hauteur initiale (Ho).....	35
FIGURE 12:	Croissance moyenne en diamètre d'épinettes noires de seconde venue regroupées selon leur taille au moment de la coupe, comparée à celle d'individus d'origine sexuée.....	37
FIGURE 13:	Croissance moyenne en volume total d'épinettes noires de seconde venue regroupées selon leur taille au moment de la coupe, comparée à celle d'individus d'origine sexuée.....	39
FIGURE 14:	Courbes moyennes d'accroissement spécifique en volume d'épinettes noires de seconde venue, comparées à celle d'individus d'origine sexuée.	41

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I:	Répartition du nombre d'échantillons en fonction des classes de densité et des types de site	10
TABLEAU II:	Caractéristiques biophysiques et dendrométriques des pessières noires étudiées.....	15
TABLEAU III:	Coefficient de corrélation de Pearson entre la taille de la régénération préétablie (hauteur et DHP initiaux) et la durée de la période de suppression avec la taille atteinte après la coupe	19
TABLEAU IV:	Équations de régression de la hauteur (en m) du DHP (en cm) et du volume (en dm ³) 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de la hauteur initiale (Ho, en m) des épinettes noires préétablies	25
TABLEAU V:	Équations de régression de l'accroissement annuel moyen en hauteur (en m), en diamètre (en cm) et en volume (en dm ³) 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de la hauteur initiale (Ho, en m) des épinettes noires préétablies.....	25
TABLEAU VI:	Résultats des neuf analyses de variance à trois critères de classification: valeurs du F de Fisher pour le type de site, la classe de densité et l'origine	27
TABLEAU VII:	Hauteur 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de l'origine, du type de site et de la classe de densité ponctuelle	28
TABLEAU VIII:	Diamètre à hauteur de poitrine 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de l'origine, du type de site et de la classe de densité ponctuelle.....	29
TABLEAU IX:	Volume total 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de l'origine, du type de site et de la classe de densité ponctuelle	30

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Depuis l'adoption, en décembre 1986, de la Loi sur les forêts (1986, Projet de loi 150, chapitre 108), les exploitants forestiers œuvrant sur les terres publiques du Québec sont tenus d'assurer le maintien de la productivité en matière ligneuse. Outre la plantation, la protection de la régénération préétablie lors de la coupe serait une solution relativement simple et peu coûteuse pour régénérer certains peuplements. L'emploi de sentiers de débardage afin de limiter la circulation de la machinerie lourde, l'abattage directionnel et l'utilisation de porteurs au lieu de débusqueuses sont quelques-unes des alternatives permettant de réduire les dommages causés à la régénération lors de l'exploitation forestière (Canuel 1989). Comparativement à la plantation, ces solutions ont l'avantage d'être moins coûteuses et de nécessiter moins de ressources spécialisées.

La protection de la régénération préétablie serait applicable dans le cas des pessières noires boréales qui, à maturité, présentent souvent une importante régénération préétablie (Ruel 1988). Or, des travaux récents menés au Québec ont démontré que la régénération établie sous le couvert des peuplements boréaux d'épinette noire est en moyenne constituée à 93,5% de marcottes, selon un coefficient de distribution de 62% (Doucet 1988a). Ceci confirme les résultats obtenus par d'autres auteurs selon lesquels les marcottes constituent souvent plus de 80% de la régénération préétablie, les semis d'origine sexuée étant parfois absents (Hatcher 1964; Frisque et Vézina 1977; Richardson 1981; Groot 1984). Les peuplements de seconde venue résultant de la coupe avec protection de la régénération préétablie sont donc constitués d'épinettes d'origine végétative, ayant subi une

période de suppression plus ou moins longue. Ces peuplements diffèrent des pessières noires vierges qui sont majoritairement formées d'individus provenant de graines, établis après le passage d'incendies forestiers. Il est en effet reconnu que le feu est un facteur naturel et récurrent dans la forêt boréale, responsable de la naissance ainsi que de la destruction de la plupart des pessières noires naturelles (Le Barron 1939; Heinselman 1973, 1981; Van Wagner 1978; Viereck 1983; Gagnon 1988, 1989).

L'usage de plus en plus répandu de la protection de la régénération préétablie exige une sérieuse évaluation de l'effet de ce traitement sylvicole sur le rendement des pessières noires. Cependant, les connaissances sur la croissance des marcottes d'épinette noire et le développement des peuplements de seconde venue sont relativement récentes et peu nombreuses. À l'examen de peuplements de seconde venue dont la coupe d'origine date de 50-60 ans, on constate que les volumes sur pied total et marchand sont très variables (Horton et Groot 1987; Doucet 1988b; Morin et Gagnon 1991), cette variabilité étant fortement reliée au nombre de tiges marchandes, les peuplements les plus denses ayant les meilleurs rendements (Morin et Gagnon 1991). Le rendement de ces peuplements se compare à celui d'une pessière de densité moyenne, âgée d'une cinquantaine d'années, selon les tables de rendement empiriques de Boudoux (1978) (Doucet 1988b; Morin et Gagnon 1991). Ces comparaisons peuvent toutefois être discutables du point de vue méthodologique, compte tenu de la forte variance associée aux rendements moyens des tables empiriques, ces dernières étant peu appropriées pour l'évaluation de la productivité de peuplements individuels (Boudoux 1978).

Concernant la croissance d'arbres individuels, il appert que les marcottes au stade juvénile peuvent croître en hauteur aussi bien, sinon mieux que des individus

provenant de graines. Vincent (1964) compara les courbes de croissance en hauteur de marcottes et de semis d'épinette noire préétablis; il en conclut que pour les six à douze années après la coupe, la croissance était comparable lorsque les individus avaient la même hauteur au moment de la coupe. La plus forte croissance des marcottes observée dans deux secteurs sur huit fut attribuée à leur plus grande taille au moment de la coupe, l'accroissement étant ici positivement corrélé à la hauteur. L'étude plus récente de Doucet et Boily (1986) conclut qu'une dizaine d'années après la coupe, les marcottes préétablies présentent un accroissement en hauteur comparable à celui de semis plantés.

Les résultats obtenus suite à la comparaison de la croissance juvénile de marcottes et de semis ne permettent pas cependant de prédire si l'un ou l'autre des modes de reproduction s'avère supérieur en terme de rendement à maturité. Selon Stanek (1968), les marcottes adultes auraient une croissance en hauteur aussi bonne sinon meilleure que des épinettes noires d'origine sexuée, mais la méthode utilisée pour identifier l'origine des individus semble comporter certaines incertitudes. La question demeure donc: est-ce qu'une marcotte d'épinette noire adulte a une croissance comparable à celle d'un individu d'origine sexuée de même âge et croissant dans des conditions de site et de densité similaires? La réponse à cette question constitue l'objectif principal de la présente étude.

La classe de drainage est souvent un critère important pour la classification des sites supportant des pessières noires (Linteau 1959; Page 1971; Vallée et Lowry 1972; Arnup *et al.* 1988). En effet, parmi les facteurs édaphiques considérés de façon usuelle, le régime hydrique serait la variable du site la mieux corrélée à l'accroissement en hauteur de l'épinette noire (Jeglum 1974; Lowry 1975; Page 1976); les individus croissant sur des sites mésiques auraient un accroissement moyen supérieur à ceux croissant sur des sites secs ou

humides (Lowry 1975). Pour ces raisons, la classe de drainage sera retenue dans le cadre de cette étude pour la classification des sites.

La présente étude est axée sur l'analyse de tiges, une technique développée en Allemagne au début du XIX^{ème} siècle (Zarnovican 1985). L'analyse de tige est fondée sur la mesure de la largeur des cernes annuels d'une tige sur des sections transversales prélevées à différentes hauteurs. Ces mesures permettent non seulement de reconstituer le patron de croissance en diamètre et en hauteur, mais aussi d'estimer le volume de bois produit annuellement depuis l'établissement de la tige par les formules de cubage usuelles (Husch *et al.* 1982). En l'absence de données de places-échantillons permanentes, l'analyse de tige s'avère la méthode la mieux indiquée pour la mesure et la comparaison des taux de croissance d'arbres individuels.

De façon plus spécifique, les objectifs de l'étude sont de:

- (a) Comparer la croissance en hauteur, en diamètre et en volume total d'épinettes noires adultes de seconde venue à celle d'épinettes noires issues de graines après feu de même âge et croissant dans des conditions de site et de densité similaires.
- (b) Évaluer l'effet de la taille de la régénération préétablie au moment de la coupe et de la période de suppression sur la croissance subséquente des épinettes noires de seconde venue.

CHAPITRE II

LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

Les travaux de terrain ont été effectués dans la partie septentrionale de la Réserve faunique des Laurentides, où sont situées les plus vieilles pessières noires de seconde venue du Saguenay-Lac Saint-Jean. Le nord de l'actuelle réserve faunique est exploité depuis les années 1890 par la compagnie Abitibi-Price, qui, au début, y alimentait ses usines de sciage et plus tard ses usines de pâtes et papier.

Le secteur à l'étude est situé entre 47°55' et 48°17' de latitude Nord et entre 71°30' et 71°50' de longitude Ouest (Figure 1). Le relief y est généralement vallonné, l'altitude moyenne étant de 420 m. Les dépôts de surface sont dominés par des tills glaciaires d'épaisseur variable datant du Wisconsinien (LaSalle *et al.* 1977), ponctués par des dépôts d'origine fluviale, fluvio-glaciaire ou organique.

La région étudiée est incluse à la fois dans la région écologique des Basses Laurentides (Rivière Métabetchouan, Région 8e) et celle des Moyennes Laurentides (Rivière Jacques Cartier, Région 8f), du Domaine de la sapinière à bouleau blanc (Thibault et Hotte 1985).

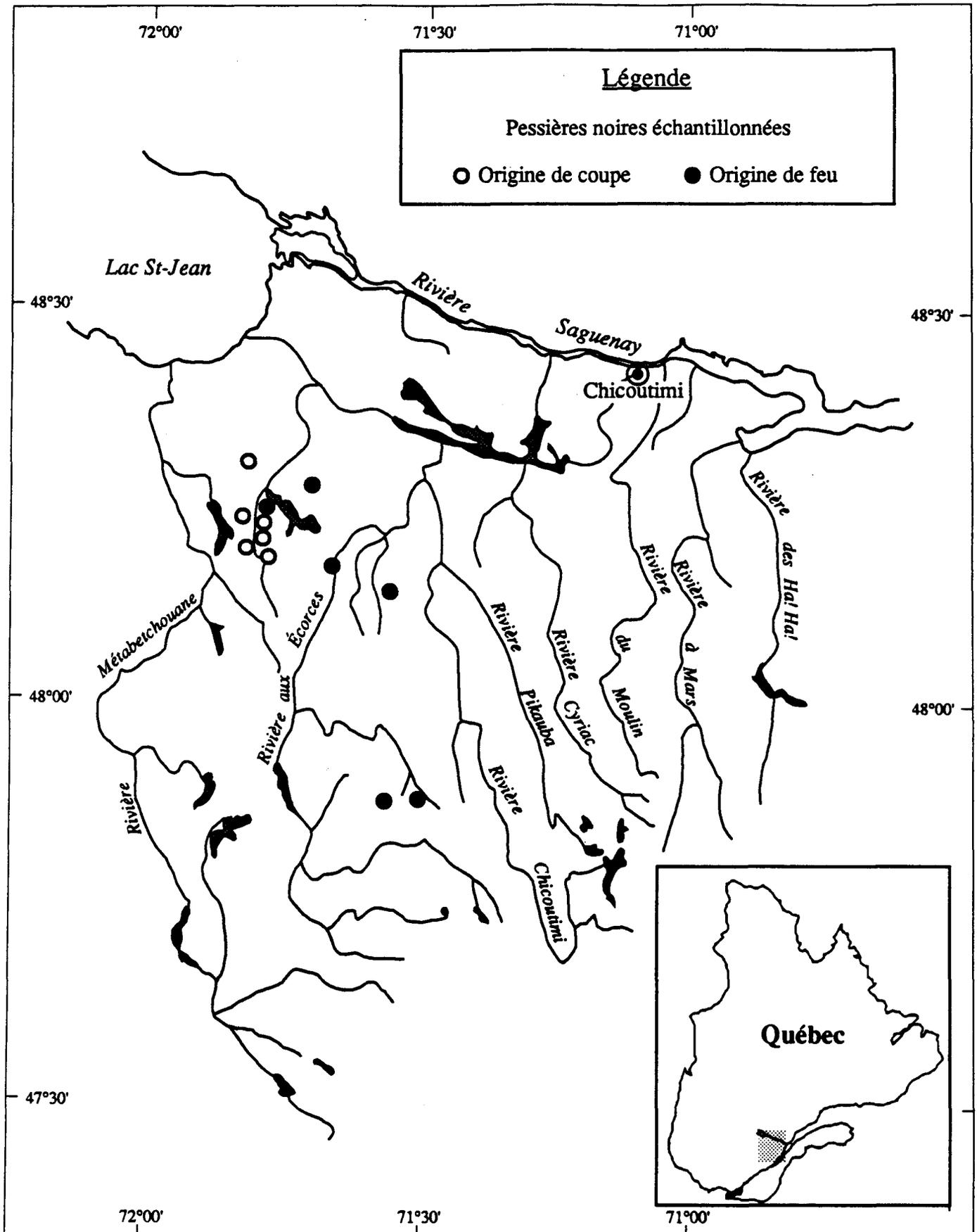


FIGURE 1: Localisation du secteur étudié et des pessières noires échantillonnées.

CHAPITRE III

MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 Choix des échantillons

Les travaux de terrain ont débuté par l'identification et la localisation de tous les peuplements mûrs d'épinette noire accessibles par route, dans la partie nord de la Réserve faunique des Laurentides. Les secteurs exploités par la compagnie Abitibi-Price au début du siècle ont pu être délimités à l'aide de ses anciens plans de coupe. Les pessières noires de seconde venue étaient identifiées sur le terrain par la présence de souche, laissées lors des exploitations d'hiver, ainsi que par une augmentation subite et marquée de la croissance radiale des individus adultes coïncidant avec l'année de la coupe. En effet, les épinettes noires de seconde venue établies avant la coupe présentent typiquement une croissance radiale très réduite de durée variable, suivie par une accélération de la croissance causée par la coupe du peuplement mûr qui dégage la régénération sous-jacente. Les épinettes noires issues de graines après feu ne présentent pas de telles augmentation du taux de croissance radiale. La date d'origine des peuplements issus de feu a été établie à l'aide de cicatrices portées par des épinettes noires épargnées par le feu (Arno et Sneck 1977), ainsi que par l'âge des drageons de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) (Mercier *et al.* 1989) et des rejets de souche de bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) établis promptement après le feu. En ce qui concerne les peuplements de seconde venue, la date d'origine a été déterminée grâce à l'année d'accélération de la croissance radiale, en assumant ainsi qu'elle ait eu lieu le printemps suivant la coupe d'hiver. La densité a été estimée dans chaque peuplement par la surface terrière mesurée au prisme (Husch *et al.*

1982). De plus, la classe de drainage (Commission Canadienne de Pédologie 1978) a été évaluée pour chaque peuplement identifié. Par la suite, les pessières identifiées ont été divisées en sites secs (drainage excessif à bon), mésiques (drainage modérément bon à imparfait) et humides (drainage mauvais à très mauvais).

À l'origine, douze pessières ont été choisies parmi les peuplements identifiés, suivant un échantillonnage aléatoire stratifié, à raison d'une par strate. Le type de site (humide, mésique ou sec) la densité (faible ou forte) et l'origine (coupe ou feu) constituaient les variables de stratification. L'origine des peuplements échantillonnés a été confirmée par l'examen de la structure d'âge, établie en comptant les cernes annuels sur des sections transversales prélevées à la base de tous les individus dont le diamètre à hauteur de poitrine (1,3 m) est de plus de 2,5 cm, inclus dans une place-échantillon de 10 m par 20 m. Les peuplements d'épinette noire établis après le passage d'un feu ont une structure d'âge équienne, correspondant à une installation ponctuelle des semis suivant le feu (Heinselman 1981; Gagnon 1989; St-Pierre 1989), tandis que les pessières noires de seconde venue présentent typiquement une structure d'âge inéquienne (Horton et Groot 1988; Morin et Gagnon 1991). Suite à l'examen des structures d'âge, le peuplement de seconde venue Lau-89-09, croissant sur une station sèche, a été rejeté en raison de la forte mortalité probablement induite par une importante défoliation par la Tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.).

Toutes les tiges de plus de 4 cm de DHP ont été cartographiées dans chaque place-échantillon de 10 m par 20 m. Les arbres marchands (DHP \geq 9 cm) furent par la suite sectionnés au niveau du sol, à 30 cm, 60 cm, 1 m, 1,3 m, 2 m et à tous les mètres suivants afin de procéder à une analyse de tige. Les tiges ainsi sectionnées ont ensuite été

classifiées en fonction de leur densité ponctuelle mesurée en 1989, qui se veut un estimateur du niveau de compétition subie par un individu (Spurr 1962). La densité ponctuelle associée à une tige est en fait la surface terrière totale mesurée par la méthode angulaire de Bitterlich (Husch *et al.* 1982) en prenant le centre de la tige comme point de mesure; on assume alors qu'il y a une forte corrélation entre la densité ainsi mesurée et le degré de compétition subie par la tige. Selon Daniels *et al.* (1986), il s'agit d'un estimateur acceptable du degré de compétition qui contribue significativement à la prédiction de la croissance. Cet estimateur a l'avantage de permettre la comparaison d'individus subissant des stress de compétition comparables même si la distribution spatiale des compétiteurs diffère. Dans cette étude, un prisme d'un facteur de surface terrière égal à 2 a été utilisé. Deux classes de densité ponctuelle ont été retenues, soit une classe de faible densité ponctuelle, qui s'étend de 20 à 34 m²/ha, et une classe de forte densité ponctuelle, de 40 à 54 m²/ha. La cartographie des tiges a permis de calculer le coefficient de Blackman (1942 *in* Greig-Smith 1983), permettant de déterminer le patron de dispersion des individus. Ce coefficient est fondé sur le rapport variance/moyenne du nombre d'individus comptés dans 50 parcelles de 4 m² établies dans chaque place échantillon. La signification des différences entre les coefficients observés et une distribution aléatoire des individus a été évaluée par un test de *t* ($\alpha = 0,05$).

Les tiges marchandes récoltées ont été stratifiées selon l'origine (coupe ou feu), le type de site (humide, mésique et sec) et la classe de densité ponctuelle (faible et forte). Une dizaine d'épinettes noires marchandes ont par la suite été choisies aléatoirement dans chacune des douze strates, sauf dans les strates correspondant aux épinettes de seconde venue sur station sèche (Tableau I). Le rejet du site Lau-89-09 est à la source de la

réduction de l'effectif dans ces deux strates, le site Lau-89-02 étant la seule autre pessière de seconde venue échantillonnée sur site sec.

TABLEAU I: Répartition du nombre d'échantillons en fonction de la classe de densité et du type de site.

	Type de site		
	Humide	Mésique	Sec
Origine de coupe			
<i>Faible densité</i>	10	10	2
<i>Forte densité</i>	10	10	9
Origine de feu			
<i>Faible densité</i>	10	10	11
<i>Forte densité</i>	10	10	10

3.2 Analyse de tige

Les courbes de croissance de chaque arbre ont été réalisées par analyse de tige, une technique éprouvée depuis plusieurs décennies (Zarnovican 1985). Au laboratoire, les sections récoltées ont été séchées puis finement poncées. La mesure des cernes de croissance ainsi que les calculs liés à l'analyse de tige ont été réalisés respectivement à l'aide des systèmes MacDENDRO™ et WINGTIGES™, produits conjointement par l'Institut national d'optique et l'Université du Québec à Chicoutimi (Guay *et al.* 1991). Le système MacDENDRO™ analyse l'image produite par un lecteur optique à balayage suivant un ou plusieurs rayons sur la section transversale, identifie les cernes annuels et en mesure la largeur. Pour chaque tige mesurée, il en résulte une matrice des largeurs de cernes à chaque année en fonction des sections prélevées à différentes hauteurs données. Il

est ensuite aisé de calculer le diamètre des sections à chaque année depuis l'établissement de l'individu. Dans le cadre de cette étude, les cernes étaient mesurés suivant deux rayons opposés, sauf dans les cas où l'excentricité ou l'asymétrie de la section exigeait l'emploi de quatre rayons disposés perpendiculairement, les deux premiers suivant le plus grand axe de la section.

Le volume compris entre deux sections est estimé par un tronc de cône, alors que la section de l'apex est estimée par un cône. Le volume total de la tige est obtenu par la sommation des volumes des troncs de cônes de la base à l'apex (Husch *et al.* 1982). Il est à noter qu'il s'agit ici d'un volume total sec sans écorce. La croissance en hauteur est estimée à l'aide de la formule de Carmean (1972) qui estime la position de l'apex par interpolation à partir du compte des cernes de croissance sur des sections de hauteur connue. Cette méthode fournit l'estimation de la croissance la plus précise (Dyer et Bailey 1987), bien que la longueur des sections ne permette pas de percevoir précisément les variations interannuelles d'accroissement en hauteur. Dans le cas d'arbres comportant plusieurs têtes, c'est la croissance en hauteur de la flèche dominante qui a été retenue. Afin de comparer adéquatement la croissance d'arbres d'origines différentes, les courbes de croissance et d'accroissement ont été superposées de façon à ce que les dates d'origine coïncident; elles correspondent arbitrairement à l'année "0" du peuplement. Rappelons ici qu'une courbe de croissance représente le changement de hauteur, de diamètre ou de volume en fonction du temps, tandis qu'une courbe d'accroissement indique l'évolution du taux de croissance en hauteur, en diamètre ou en volume dans le temps. On peut ainsi associer une courbe d'accroissement courant d'une tige à la dérivée première de sa courbe de croissance (Assman 1970).

Pour les épinettes noires de seconde venue, la durée de la période de suppression en sous-étage a été évaluée par le nombre de cernes entre la moelle et la reprise de croissance coïncidant avec l'année de la coupe.

3.3 Estimation de l'accroissement spécifique en volume

La simple comparaison de l'accroissement annuel en volume ne permet pas une juste évaluation de la productivité lorsque les arbres ne sont pas de taille comparable. Deux tiges peuvent par exemple présenter des accroissements en volume total identiques une année donnée; toutefois le plus petit des deux arbres se montrera le plus productif, le rapport de l'accroissement en volume sur la surface cambiale étant plus élevé. Ce rapport définit l'accroissement spécifique en volume (ASV ou SVI, *specific volume increment*). Duff et Nolan (1957) suggèrent d'appliquer l'ASV comme une mesure de la productivité ligneuse d'un arbre, permettant une juste comparaison de tiges de tailles différentes. L'ASV est généralement exprimé en $\text{cm}^3\text{cm}^{-2}$ et peut être interprété comme étant l'épaisseur moyenne de la couche de xylème produite une année donnée par unité de surface cambiale. Cette mesure a été utilisée notamment pour évaluer l'effet de traitements d'éclaircie et les pertes de croissance du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) causées par la Tordeuse des bourgeons de l'épinette (Piene 1980, 1981).

Dans la présente étude, l'accroissement spécifique en volume a été évalué en divisant à chaque année l'accroissement en volume courant par la surface cambiale moyenne, suivant la formule suivante:

$$ASV_n = \frac{V_n - V_{n-1}}{1/2(S_n + S_{n-1})}$$

où ASV représente l'accroissement spécifique en volume, V le volume, S la surface cambiale et n l'année.

La surface cambiale a été estimée en subdivisant la tige en tronçons, en utilisant la matrice des diamètres résultant de l'analyse de tige. La surface de chaque tronçon a été calculée à partir de la formule du tronc de cône, puis cumulée pour obtenir la surface totale de l'arbre. La surface du tronçon compris entre la dernière section du haut et l'apex a été estimée par la formule de surface d'un cône.

3.4 Traitements statistiques

L'ensemble des traitements statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel STATVIEW II™, suivant un seuil de signification établi à $\alpha = 0,05$. Les différences entre les groupes ont été évaluées à l'aide d'analyses de variance à un ou plusieurs critères de classification, selon le cas (Scherrer 1984). Suite à une analyse de variance à un critère de classification, le logiciel procède à un test de comparaison multiple des moyennes, employant le test P.L.S.D. de Fischer (Sokal et Rohlf 1981). Les symboles statistiques employés sont conformes à la notation suggérée par Scherrer (1984).

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

4.1 Description des peuplements

Les épinettes noires étudiées ont été récoltées dans des pessières noires presque pures, où le sapin baumier, le mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch), le peuplier faux-tremble et le bouleau à papier étaient parfois présents, occupant moins de 10% de la strate arborescente. Compte tenu de la nature de l'échantillonnage, la surface terrière, le volume marchand et la densité sont relativement variables (Tableau II). Entre 35 et 78% des tiges sur pied avaient un diamètre marchand (DHP \geq 9 cm). Au moment de l'échantillonnage, 8 à 46% des épinettes noires étaient mortes.

La plupart des pessières étudiées croissaient sur des sols podzolisés à différents degrés. Les sites mal drainés étaient situés sur des bas de pente ou des dépressions; ils étaient généralement associés à des sols organiques ou à une certaine gleyification. Les sites secs étaient pour leur part situés sur des hauts ou des milieux de pente, sur des dépôts grossiers d'épaisseur parfois réduite.

Les coupes à l'origine des peuplements de seconde venue ont été réalisées entre 1894 et 1941. La plupart des épinettes noires sur pied en 1989 (DHP \geq 2,5 cm) étaient établies avant la coupe, la période d'installation s'étendant dans certains cas jusqu'à 140 années avant cette dernière (Figure 2). Ces structures d'âge contrastent avec celles des peuplements d'origine sexuée, lesquels sont issus d'une installation ponctuelle après le

passage du feu (Figure 3). Tous les incendies forestiers qui ont initiés ces derniers ont eu lieu en 1919 ou 1922.

Les épinettes noires marchandes d'origine sexuée étaient distribuées de façon aléatoire dans cinq cas sur six, tandis que chez les peuplements de seconde venue, cette situation se présente dans quatre cas sur cinq. Pour ces peuplements, le coefficient de Blackman était compris entre 0,6862 et 1,0899, ce qui n'est pas significativement différent de 1, suivant une probabilité de 0,95. Les tiges marchandes étaient réparties en bouquets dans deux peuplements, l'un de seconde venue (Lau-89-04), l'autre provenant de feu (Lau-89-08). Leur coefficient de dispersion était respectivement de 3,36 et de 5,301, ce qui est significativement supérieur à 1 ($\alpha = 0,05$).

TABLEAU II: Caractéristiques biophysiques et dendrométriques des pessières noires étudiées.

Peuplement	Origine	Date	Type de site	Sous-groupe de sol	Surface terrière <i>m²/ha¹</i>	Volume marchand <i>m³/ha¹</i>	Densité <i>tiges/ha¹</i>	Mortalité <i>%¹</i>
LAU-89-01	Feu	1919	Humide	Mésisol typique	50,0	241	3250	12%
LAU-89-02	Coupe	1894	Sec	Régosol orthique	50,2	277	2800	34%
LAU-89-04	Coupe	1941	Humide	Podzol ferro-humique à orstein	21,0	69	3350	18%
LAU-89-05	Coupe	1925	Mésique	Podzol humique orthique	52,0	251	3950	39%
LAU-89-06	Coupe	1921	Humide	Mésisol humique	37,5	158	4000	24%
LAU-89-07	Coupe	1921	Mésique	Podzol ferro-humique orthique	44,8	201	4300	44%
LAU-89-08	Feu	1922	Sec	Podzol humo-ferrique orthique	35,5	162	2800	32%
LAU-89-10	Feu	1922	Sec	Podzol humo-ferrique orthique	47,8	154	5850	46%
LAU-89-11	Feu	1919	Mésique	Brunisol dystrique éluvié	40,8	229	2450	35%
LAU-89-12	Feu	1919	Mésique	Podzol ferro-humique orthique	46,6	199	4300	37%
LAU-89-13	Feu	1919	Humide	Podzol humo-ferrique gleyifié	24,8	120	1950	8%

¹ Évalué à l'intérieur d'une place-échantillon de 10 m X 20 m

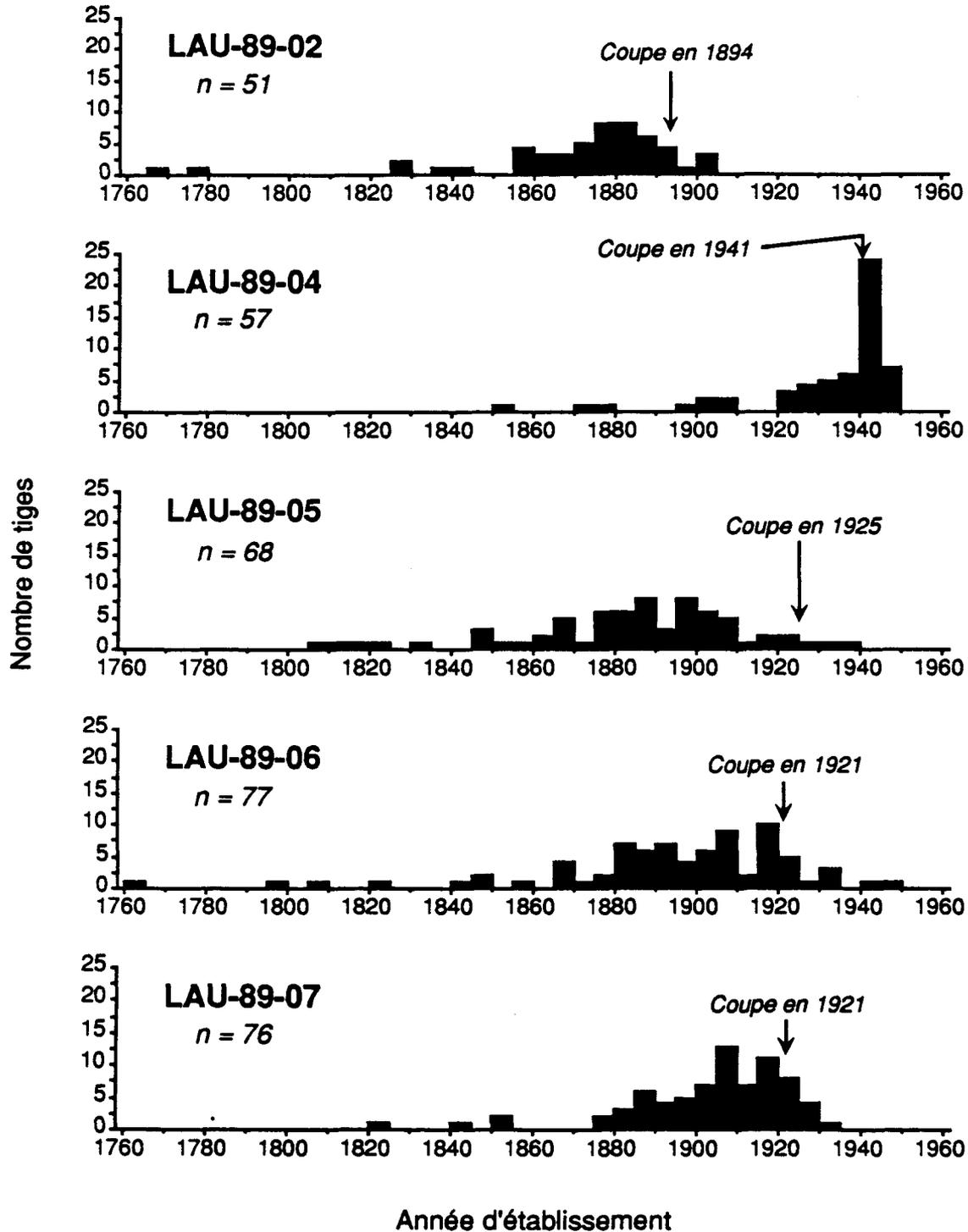


FIGURE 2: Structures d'âge des pessières noires de seconde venue (tiges de DHP \geq 2,5 cm, classes de 5 ans).

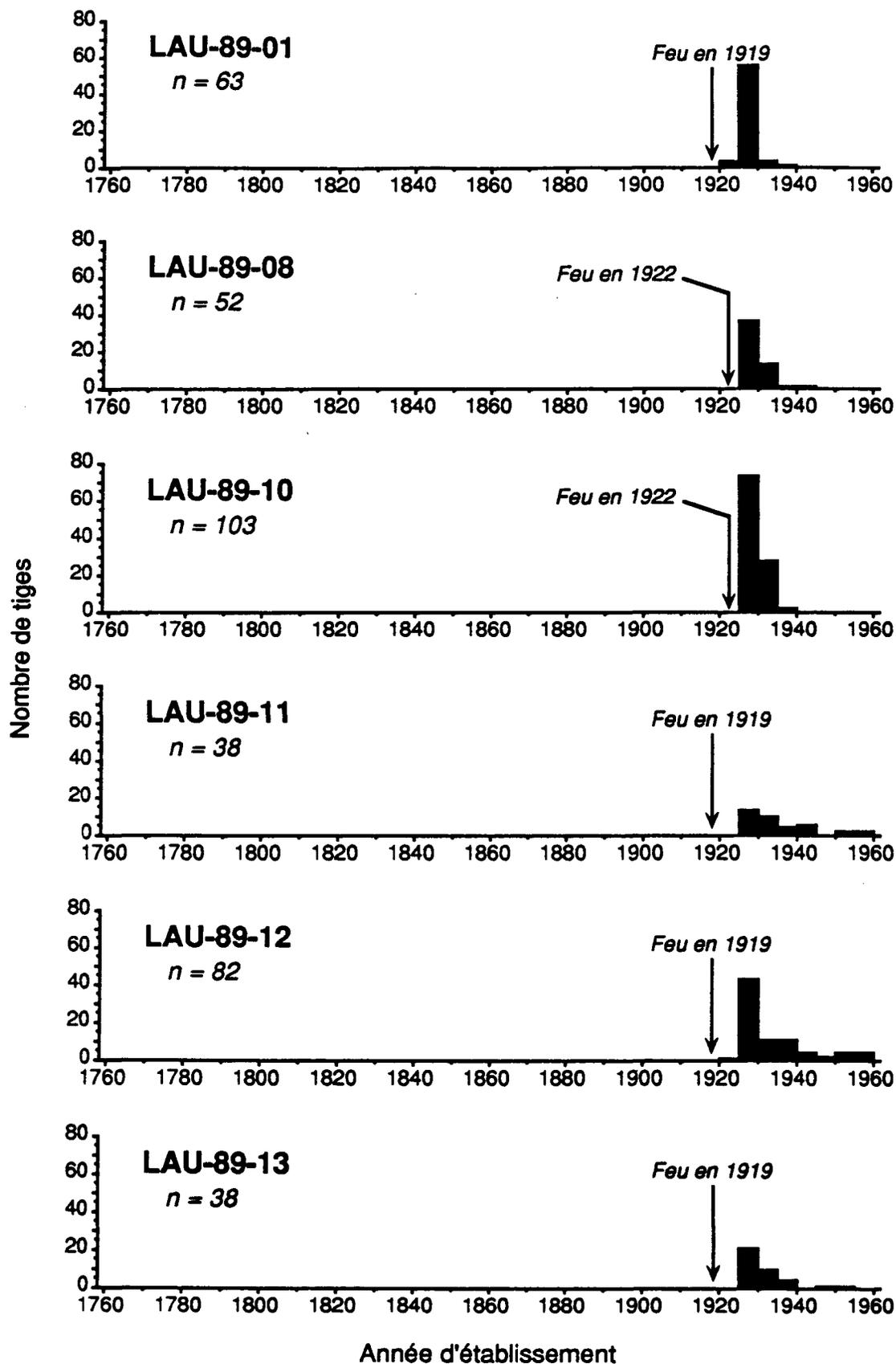


FIGURE 3: Structures d'âge des pessières noires d'origine de feu (tiges de DHP \geq 2,5 cm, classes de 5 ans).

4.2 Effet de la taille initiale et de la période de suppression sur la croissance des épinettes noires de seconde venue

Au moment de la coupe d'origine, la plupart des épinettes noires préétablies avaient une hauteur inférieure à deux mètres, bien qu'un maximum de 8,10 m ait été enregistré (Figure 4). Parmi les tiges ayant atteint 1,3 m à cette époque ($n = 19$), le DHP moyen était de 3,47 cm ($s^2 = 7,84$). Cette coupe mit fin à une période de suppression qui a été fort variable en durée, allant jusqu'à 140 ans, la majorité des tiges étudiées s'étant établies moins de quarante années avant la coupe initiale. La corrélation entre la hauteur initiale et la durée de suppression est toutefois faible ($r = 0,71$), en raison principalement de la forte variabilité dans la hauteur des épinettes supprimées depuis plus de 40 ans (Figure 5).

À l'examen du Tableau III, on constate que, de façon générale, la hauteur, le diamètre et le volume atteints après coupe sont mieux corrélés à la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe qu'à la durée de la période de suppression ou au DHP initial. Parmi les modèles descriptifs usuels, le modèle logarithmique serait celui qui décrit le mieux la relation entre la hauteur initiale et la hauteur atteinte après la coupe (Figure 6; Tableau IV). Ce modèle suggère que (a) les plus grands individus 20, 40 et 60 ans après la coupe d'origine étaient à l'origine les plus grands et que (b) l'accroissement annuel moyen (AAM) est maximal pour les épinettes préétablies ayant environ deux mètres au moment de la coupe. Pour les arbres de moins de deux mètres, l'AAM est croissant en fonction de la hauteur initiale, tandis qu'il est décroissant lorsque la hauteur initiale dépasse deux mètres (Figure 7a, Tableau V). On n'observe d'autre part aucune relation significative entre l'accroissement annuel moyen en hauteur à 60 ans et la

durée de la période de suppression (Figure 7b). Des relations similaires sont obtenues avec l'accroissement annuel moyen du DHP à 60 ans (Tableaux IV et V). En ce qui concerne l'accroissement annuel moyen du DHP, la relation est plus étroite avec la hauteur au moment de la coupe qu'avec la durée de la période de suppression. Dans ce dernier cas, le coefficient de corrélation de Pearson n'est que de - 0,144, une valeur jugée non significative à un seuil de 5%.

L'AAM en volume total à 60 ans présente une relation linéaire positive avec la hauteur initiale et la période suppression (Figures 8a et 8b, Tableau V). On remarque toutefois que le coefficient de détermination (R^2) est plus élevé pour la régression qui considère la hauteur initiale.

TABLEAU III: Coefficient de corrélation de Pearson entre la taille de la régénération préétablie (hauteur et DHP initiaux) et la durée de la période de suppression avec la taille atteinte après la coupe.

	Hauteur initiale	DHP initial	Période de suppression
Hauteur			
20 ans	0,87***	0,83***	0,61***
40 ans	0,75***	0,70***	0,49***
60 ans	0,67***	0,63***	0,42***
DHP			
20 ans	0,88***	0,85***	0,64***
40 ans	0,78***	0,76***	0,55***
60 ans	0,67***	0,66***	0,46***
Volume			
20 ans	0,95***	0,95***	0,69***
40 ans	0,84***	0,84***	0,62***
60 ans	0,72***	0,73***	0,52***

Légende: * significatif ($\alpha \leq 0,05$)
 ** hautement significatif ($\alpha \leq 0,01$)
 *** très hautement significatif ($\alpha \leq 0,001$)

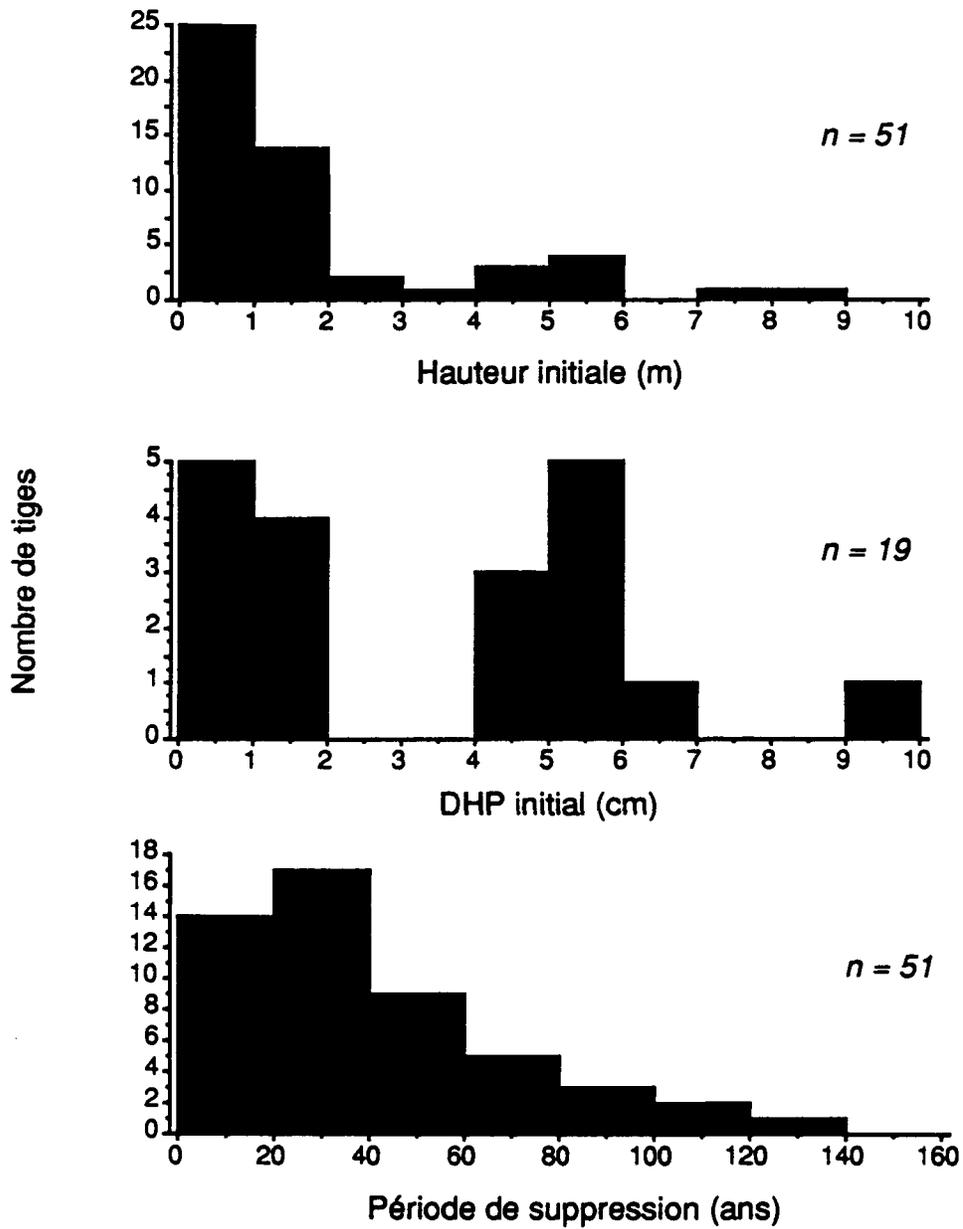


FIGURE 4: Fréquences de la hauteur et du DHP au moment de la coupe ainsi que de la durée de suppression pour l'ensemble des épinettes noires de seconde venue étudiées.

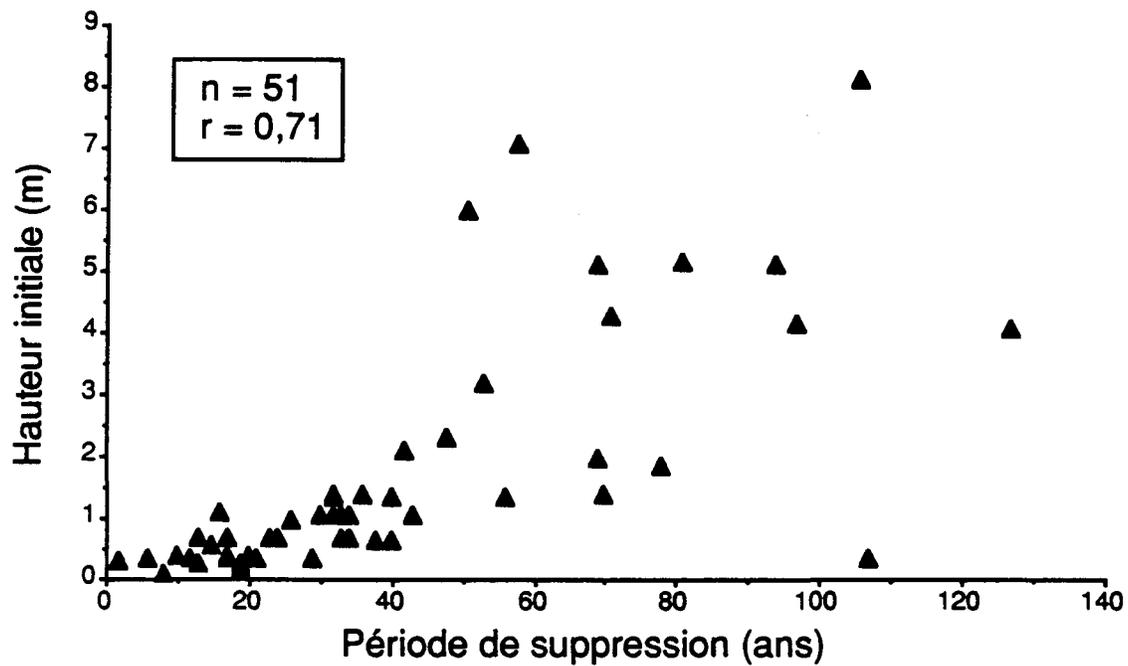


FIGURE 5: Hauteur initiale des épinettes noires préétablies en fonction de la période de suppression.

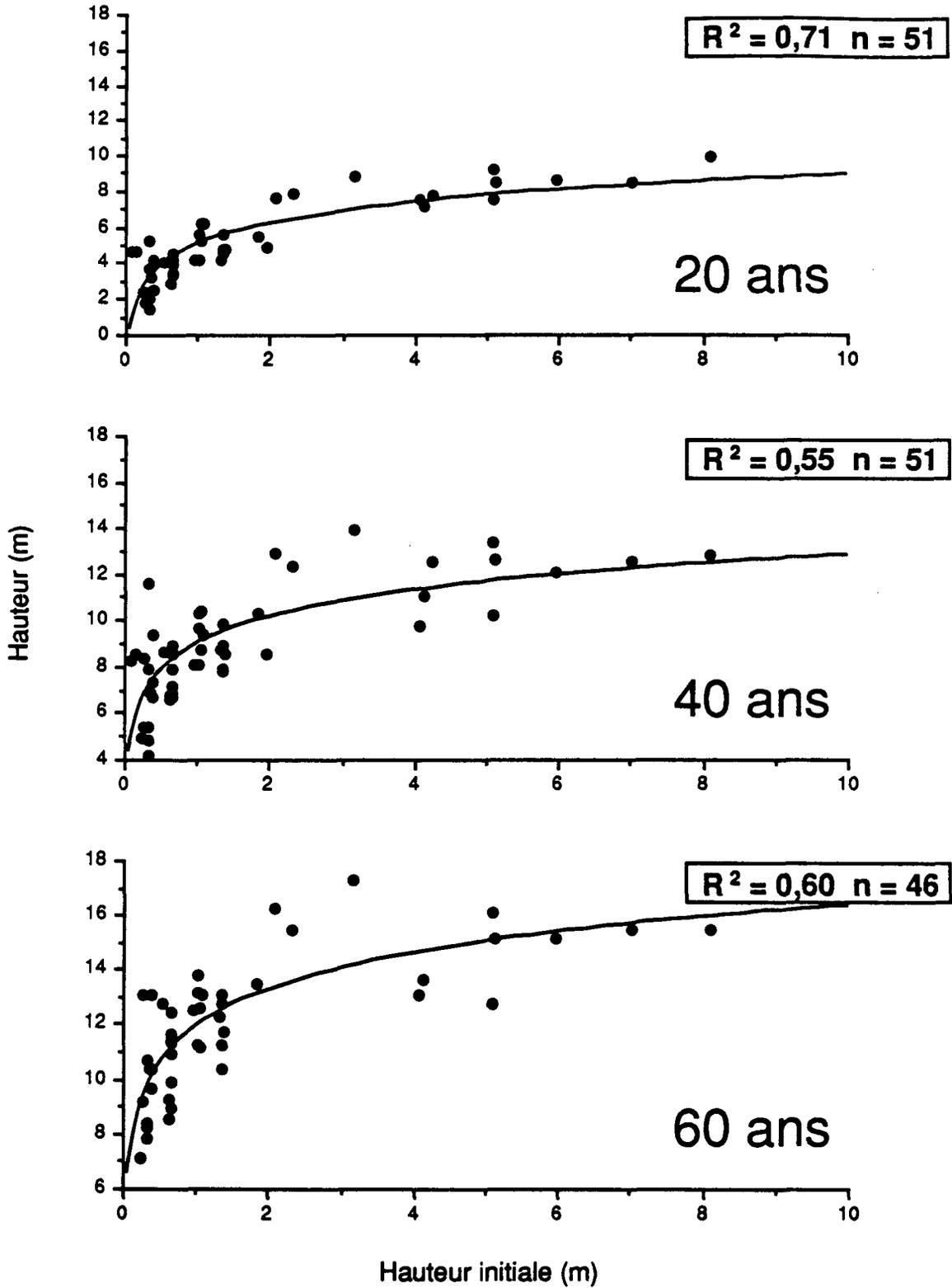


FIGURE 6: Relation entre la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe et la hauteur, 20, 40 et 60 ans plus tard.

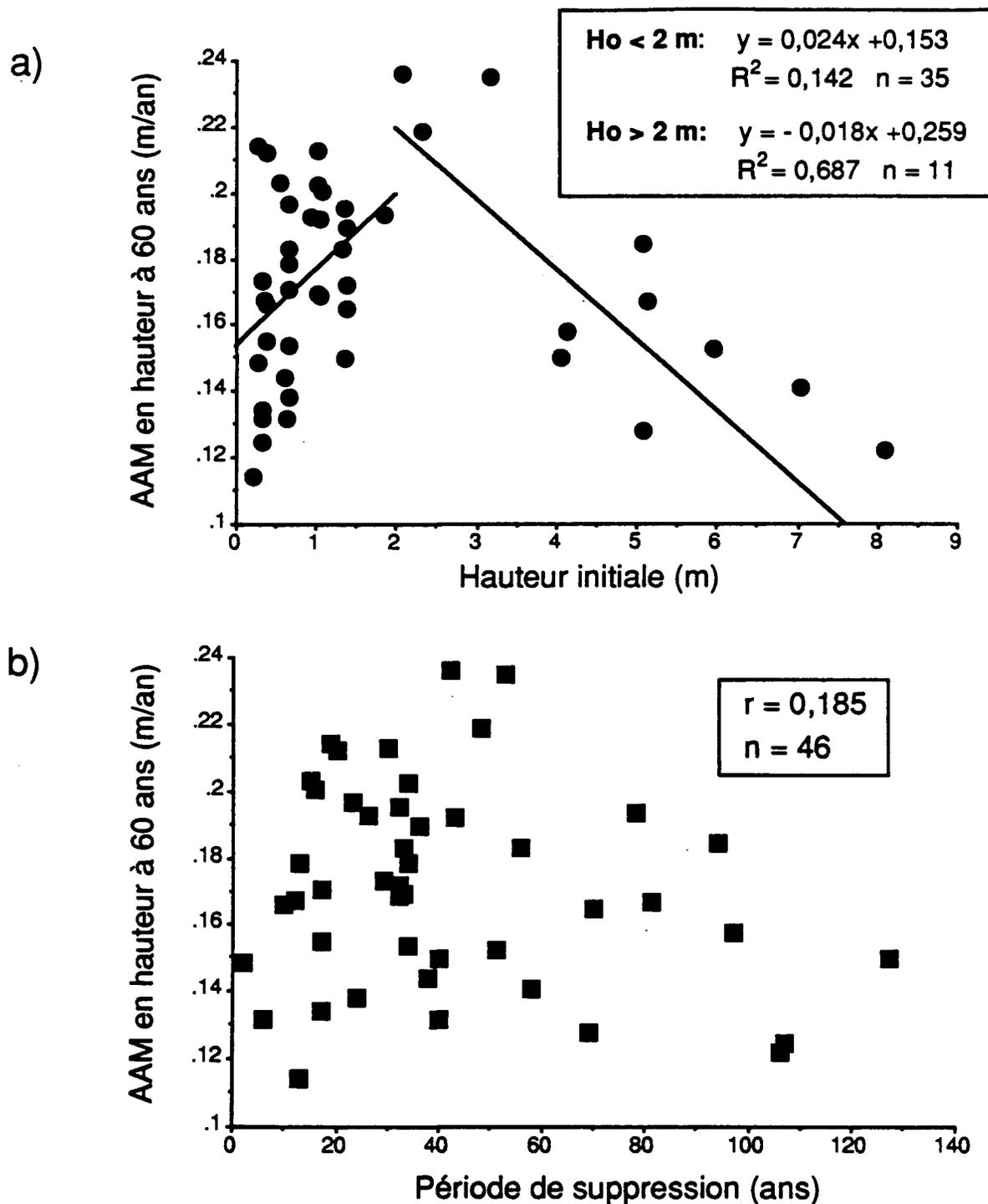
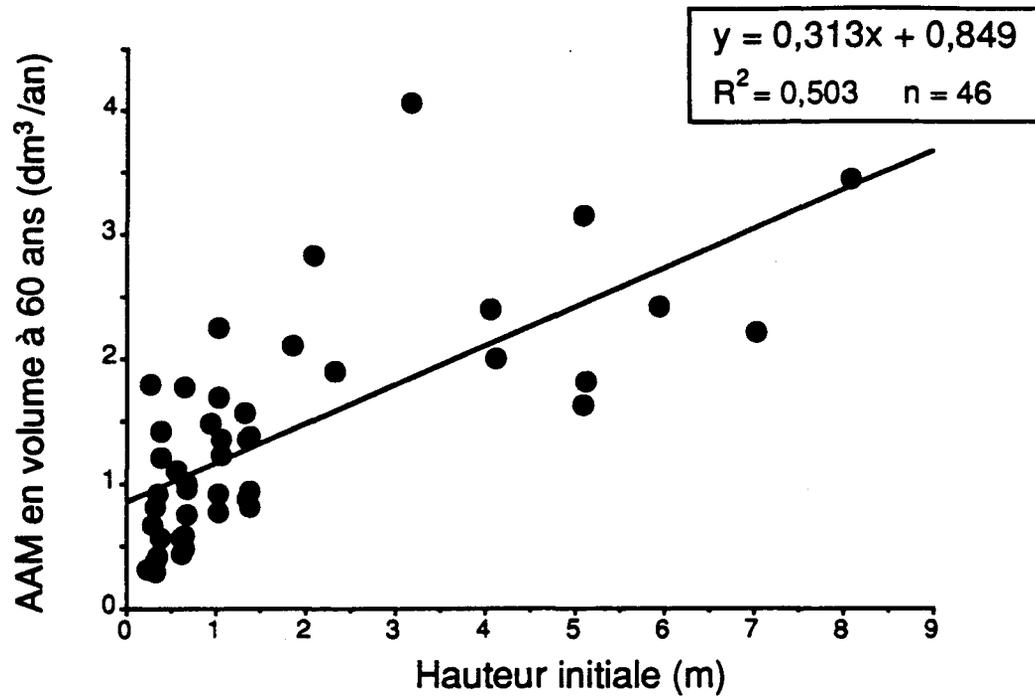


FIGURE 7: Relations entre l'accroissement annuel moyen (AAM) en hauteur 60 ans après la coupe et (a) la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe ainsi que (b) la période de suppression.

a)



b)

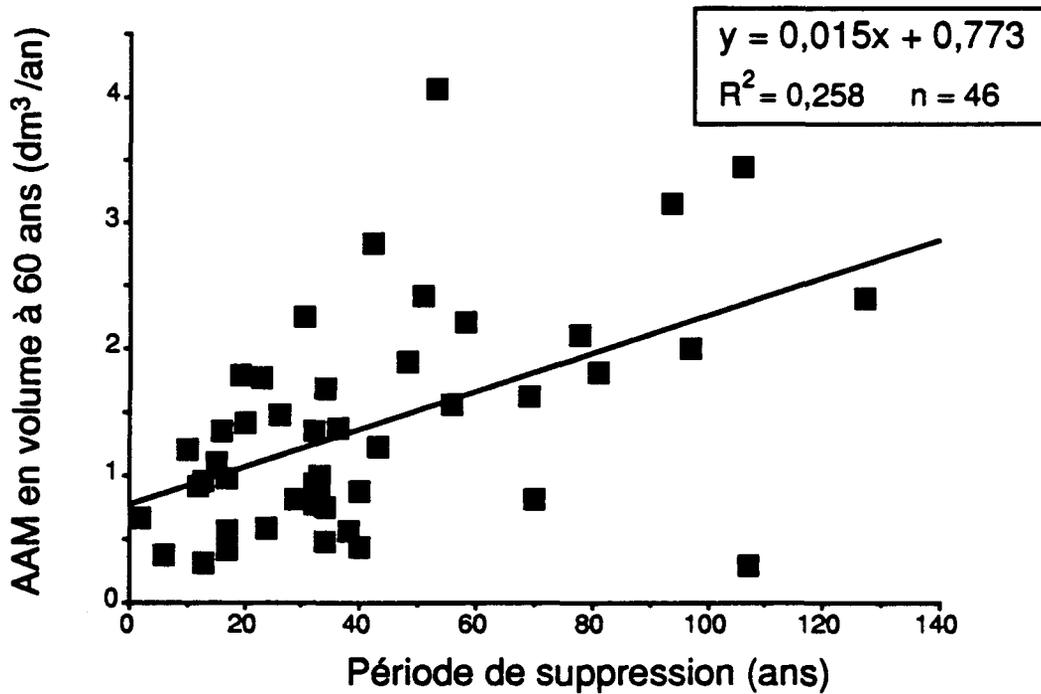


FIGURE 8:

Relations entre l'accroissement annuel moyen (AAM) en volume total 60 ans après la coupe et (a) la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe ainsi que (b) la période de suppression.

TABLEAU IV: Équations de régression de la hauteur (en m) du DHP (en cm) et du volume (en dm³) 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de la hauteur initiale (Ho, en m) des épinettes noires préétablies.

Y	MODÈLE	Coefficient de régression		R ²	n
		b ₀	b ₁		
Hauteur					
20 ans	Y= b ₀ + b ₁ log (Ho)	5,0684	3,8281	0,71	51
40 ans	Y= b ₀ + b ₁ log (Ho)	9,0208	3,7973	0,55	51
60 ans	Y= b ₀ + b ₁ log (Ho)	11,9396	4,4271	0,60	46
DHP					
20 ans	Y= b ₀ + b ₁ log (Ho)	55,1674	50,8218	0,69	51
40 ans	Y= b ₀ + b ₁ log (Ho)	97,4867	43,3528	0,46	51
60 ans	Y= b ₀ + b ₁ log (Ho)	120,6917	51,6541	0,53	46
Volume					
20 ans	Y= b ₀ + b ₁ Ho	- 0,2016	7,2843	0,89	51
40 ans	Y= b ₀ + b ₁ Ho	20,258	14,0248	0,65	51
60 ans	Y= b ₀ + b ₁ Ho	50,6971	19,3712	0,52	46

TABLEAU V: Équations de régression de l'accroissement annuel moyen en hauteur (en m), en diamètre (en cm) et en volume (en dm³) 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de la hauteur initiale (Ho, en m) des épinettes noires préétablies

MODÈLE Y= b ₀ + b ₁ Ho					
Y		Coefficient de régression		R ²	n
		b ₀	b ₁		
Hauteur					
	Ho < 2m	0,1529	0,024	0,14	35
	Ho > 2m	2,2585	- 0,0183	0,69	11
DHP					
	Ho < 2m	1,5377	0,3695	0,17	35
	Ho > 2m	2,5478	- 0,1655	0,49	11
VOLUME					
		0,3128	0,8492	0,50	46

4.3 Évaluation de l'effet du régime hydrique et de la compétition intraspécifique

Les analyses de variance à trois critères de classification effectuées sur les données de hauteur, de DHP et de volume total, 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement (Tableau VI), révèlent que:

- (a) le type de site et la classe de densité ponctuelle ont un effet significatif ($\alpha = 0,05$) sur la hauteur atteinte à 20, 40 et 60 ans.
- (b) l'origine des tiges n'a d'effet significatif sur la hauteur qu'à 20 et 40 ans.
- (c) le type de site n'a d'effet significatif sur le volume et le diamètre que 40 et 60 ans après l'origine du peuplement.
- (d) la classe de densité et l'origine des tiges n'ont d'effets significatifs sur le volume et le DHP qu'à 20 ans.

Toutefois, si l'on regroupe les tiges par groupes de même origine, type de site et densité (Tableaux VII, VIII et IX), on constate que d'une part les épinettes noires associées à une faible densité ponctuelle ne présentent pas nécessairement une croissance supérieure en hauteur, en diamètre et en volume, et que d'autre part, les épinettes croissant sur des sites mésiques n'ont pas systématiquement une meilleure croissance que celles se trouvant dans des sites plus secs ou plus humides. En effet, en comparant par exemple la hauteur des tiges d'origine, d'âge et de classe de densité similaires (Tableau VII), on remarque que dans quatre cas sur douze, le groupe le plus performant est associé à un site mésique. En contrepartie, les tiges croissant sur des sites secs et humides ont une hauteur significativement supérieure dans respectivement un et deux cas sur douze. Dans les cinq cas restants, la hauteur moyenne atteinte par des tiges croissant dans les trois types de site était comparable. De la même façon, si on compare la hauteur des épinettes noires

croissant sur des sites similaires (l'origine et l'âge étant identiques), les individus associés à des faibles densités ne se montrent significativement supérieurs que dans un cas sur 18. Dans six cas, la hauteur moyenne des tiges associées à la classe de densité élevée est significativement supérieure, tandis que la plupart du temps (11 cas sur 18), aucune différence significative n'est observée entre les classes de densité.

TABLEAU VI: Résultats des neuf analyses de variance à trois critères de classification: valeurs du F de Fisher pour le type de site, la classe de densité et l'origine.

	Facteurs		
	Origine	Type de site	Classe de densité
Hauteur			
À 20 ans	59,056 ***	3,269 *	27,253 ***
À 40 ans	5,251 *	8,263 **	9,567 **
À 60 ans	0,161	10,534 ***	5,394 *
DHP			
À 20 ans	44,148 ***	1,907	22,689 ***
À 40 ans	0,108	5,855 **	0,742
À 60 ans	3,094	9,964 ***	0,245
Volume total			
À 20 ans	22,772 ***	2,241	11,872 **
À 40 ans	1,293	6,258 *	2,651
À 60 ans	1,571	13,149 ***	0,300

Légende: * significatif ($\alpha \leq 0,05$)
 ** hautement significatif ($\alpha \leq 0,01$)
 *** très hautement significatif ($\alpha \leq 0,001$)

TABLEAU VII: Hauteur 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de l'origine, du type de site et de la classe de densité ponctuelle¹.

	Type de site		
	Humide	Mésique	Sec
Origine de coupe			
À 20 ans			
<i>Faible densité</i>	4,62 bc	3,71 cd	2,17 d
<i>Forte densité</i>	5,53 b	7,57 a	4,18 c
À 40 ans			
<i>Faible densité</i>	8,64 bc	8,14 bcd	6,04 d
<i>Forte densité</i>	9,10 b	11,93 a	7,52 cd
À 60 ans			
<i>Faible densité</i>	10,04 b	11,44 b	9,79 b
<i>Forte densité</i>	11,68 b	15,04 a	11,31 b
Origine de feu			
À 20 ans			
<i>Faible densité</i>	1,78 b	2,25 b	3,50 a
<i>Forte densité</i>	3,65 a	2,23 b	2,75 ab
À 40 ans			
<i>Faible densité</i>	6,94 c	8,46 ab	8,07 abc
<i>Forte densité</i>	8,90 a	7,22 bc	7,46 bc
À 60 ans			
<i>Faible densité</i>	11,26 b	12,93 a	10,94 b
<i>Forte densité</i>	12,37 ab	10,68 b	10,26 b

¹Note: Les comparaisons de moyenne n'ont été effectuées qu'entre les groupes de même origine et de même âge. Les valeurs moyennes qui sont suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($\alpha = 0,05$) d'après un test de comparaison multiple P.L.S.D. de Fisher (Sokal et Rohlf 1981).

TABLEAU VIII: Diamètre à hauteur de poitrine 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de l'origine, du type de site et de la classe de densité ponctuelle¹.

	Type de site		
	Humide	Mésique	Sec
Origine de coupe			
À 20 ans			
<i>Faible densité</i>	4,89 bc	3,89 c	2,48 c
<i>Forte densité</i>	6,10 b	8,53 a	4,37 c
À 40 ans			
<i>Faible densité</i>	9,59 b	8,71 b	7,44 b
<i>Forte densité</i>	9,86 b	12,59 a	8,03 b
À 60 ans			
<i>Faible densité</i>	9,91 b	11,60 b	11,37 ab
<i>Forte densité</i>	11,88 b	14,97 a	11,45 b
Origine de feu			
À 20 ans			
<i>Faible densité</i>	0,82 d	1,32 cd	3,65 ab
<i>Forte densité</i>	3,96 a	2,89 abc	2,24 bcd
À 40 ans			
<i>Faible densité</i>	7,16 d	11,57 a	10,98 ab
<i>Forte densité</i>	9,53 bc	9,23 bc	8,69 cd
À 60 ans			
<i>Faible densité</i>	11,42 c	16,53 a	13,96 b
<i>Forte densité</i>	11,88 bc	12,00 bc	11,02 c

¹Note: Les comparaisons de moyenne n'ont été effectuées qu'entre les groupes de même origine et de même âge. Les valeurs moyennes qui sont suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($\alpha = 0,05$) d'après un test de comparaison multiple P.L.S.D. de Fisher (Sokal et Rohlf 1981).

TABLEAU IX: Volume total 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement en fonction de l'origine, du type de site et de la classe de densité ponctuelle¹.

	Type de site		
	Humide	Mésique	Sec
Origine de coupe			
À 20 ans			
<i>Faible densité</i>	7,70 b	4,30 b	1,98 b
<i>Forte densité</i>	13,71 b	28,57 a	7,81 b
À 40 ans			
<i>Faible densité</i>	40,56 b	30,11 b	16,63 b
<i>Forte densité</i>	42,89 b	82,92 a	27,00 b
À 60 ans			
<i>Faible densité</i>	46,09 b	71,10 b	56,16 b
<i>Forte densité</i>	75,90 b	144,67 a	67,74 b
Origine de feu			
À 20 ans			
<i>Faible densité</i>	0,51 a	0,90 a	4,09 a
<i>Forte densité</i>	3,93 a	1,30 a	1,55 a
À 40 ans			
<i>Faible densité</i>	18,33 c	50,38 a	44,27 ab
<i>Forte densité</i>	37,64 abc	30,58 abc	26,15 bc
À 60 ans			
<i>Faible densité</i>	65,44 b	148,18 a	93,56 b
<i>Forte densité</i>	80,92 b	83,32 b	57,26 b

¹Note: Les comparaisons de moyenne n'ont été effectuées qu'entre les groupes de même origine et de même âge. Les valeurs moyennes qui sont suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($\alpha = 0,05$) d'après un test de comparaison multiple P.L.S.D. de Fisher (Sokal et Rohlf 1981).

4.4 Comparaison de la croissance d'épinettes noires de seconde venue à celle d'épinettes d'origine de feu.

Pour fins de comparaison, les épinettes noires de seconde venue ont été regroupées en fonction de leur taille initiale, puisque cette dernière semble être le facteur le mieux corrélé à la croissance de la régénération préétablie suivant la coupe. Les épinettes noires d'origine sexuée ont pour leur part été regroupées en un seul ensemble, une ségrégation en fonction du drainage ou de la densité étant jugée inutile compte tenu de l'importance de la variance intragroupe lorsque les tiges sont regroupées en fonction de ces deux facteurs. Ainsi, quatre groupes ont été retenus, soit (a) les épinettes d'origine sexuée, (b) les épinettes de seconde venue dont la hauteur au moment de la coupe (H_0) était inférieure à 1m, (c) les épinettes de seconde venue dont H_0 était comprise entre 1m et 2m et finalement les épinettes de seconde venue dont H_0 était supérieure à 2m.

Croissance en hauteur

La Figure 9a présente les courbes moyennes de croissance en hauteur, qui illustrent la variation moyenne de la hauteur des tiges en fonction du temps. Les courbes moyennes d'accroissement courant en hauteur (Figure 9b) correspondent à la moyenne des taux de croissance annuel en hauteur en fonction du temps. Pour en simplifier la lecture, les résultats sont présentés à intervalles de cinq ans, bien que la croissance ait été évaluée sur une base annuelle. L'échelle de temps adoptée ici correspond au nombre d'années depuis l'origine du peuplement, ce qui permet d'éliminer certaines incertitudes quant à la date d'établissement des individus.

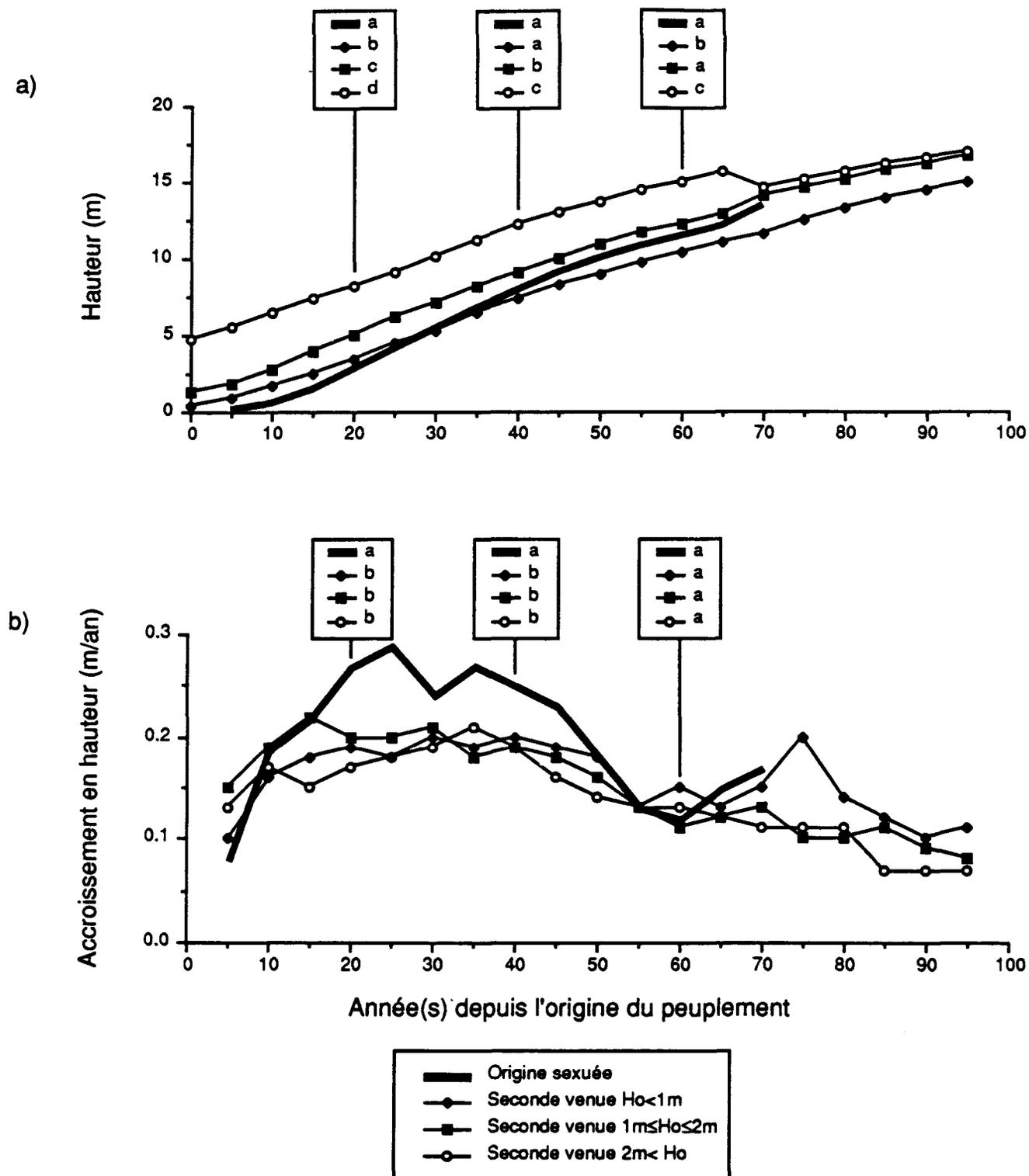


FIGURE 9: Croissance moyenne en hauteur d'épinettes noires de seconde venue regroupées selon leur taille au moment de la coupe, comparée à celle d'individus d'origine sexuée.
 Les cartouches indiquent les résultats des comparaisons de moyenne effectuées 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement. L'absence de différence significative ($\alpha=0,05$) entre deux moyennes est indiquée par des lettres identiques.

Il est à noter que certaines discontinuités dans les courbes de croissance et d'accroissement sont attribuables à des variations dans l'effectif des échantillons, comme en témoigne la Figure 10. Ces fluctuations sont dues d'une part au fait que la date d'origine diffère d'un peuplement à l'autre, et d'autre part à certaines variations dans la date d'établissement et le taux de croissance des épinettes noires d'origine sexuées. Compte tenu du faible effectif à partir de 70 ans après l'origine du peuplement et de la forte variance associée aux données de croissance, toute conclusion portant sur cette période n'aurait qu'une valeur spéculative.

À l'examen des courbes de croissance et d'accroissement (Figures 9a et 9b), on constate premièrement qu'avant la vingtième année du peuplement, le taux de croissance augmente de façon générale, malgré certaines fluctuations interannuelles. L'accroissement en hauteur atteint son maximum vers la vingtième année (Figure 11), demeurant plutôt constant jusqu'à la quarantième année. À ce moment s'amorce une baisse progressive du taux de croissance en hauteur. Les taux d'accroissement en hauteur à 20, 40 et 60 ans diffèrent peu entre les trois groupes d'épinette noire de seconde venue, si bien que l'écart de hauteur entre ces groupes se maintient dans le temps.

Les épinettes noires d'origine sexuée ont un comportement différent: si au stade juvénile, elles sont significativement plus petites que les tiges de seconde venue, un taux de croissance nettement supérieur leur permet, environ trente années après l'origine du peuplement, de rejoindre en hauteur les épinettes de seconde venue dont la hauteur initiale était inférieure à 1 m. À 60 ans, les épinettes d'origine sexuée ont une hauteur comparable à celle des individus de seconde venue dont la hauteur initiale était comprise entre 1 et 2 m.

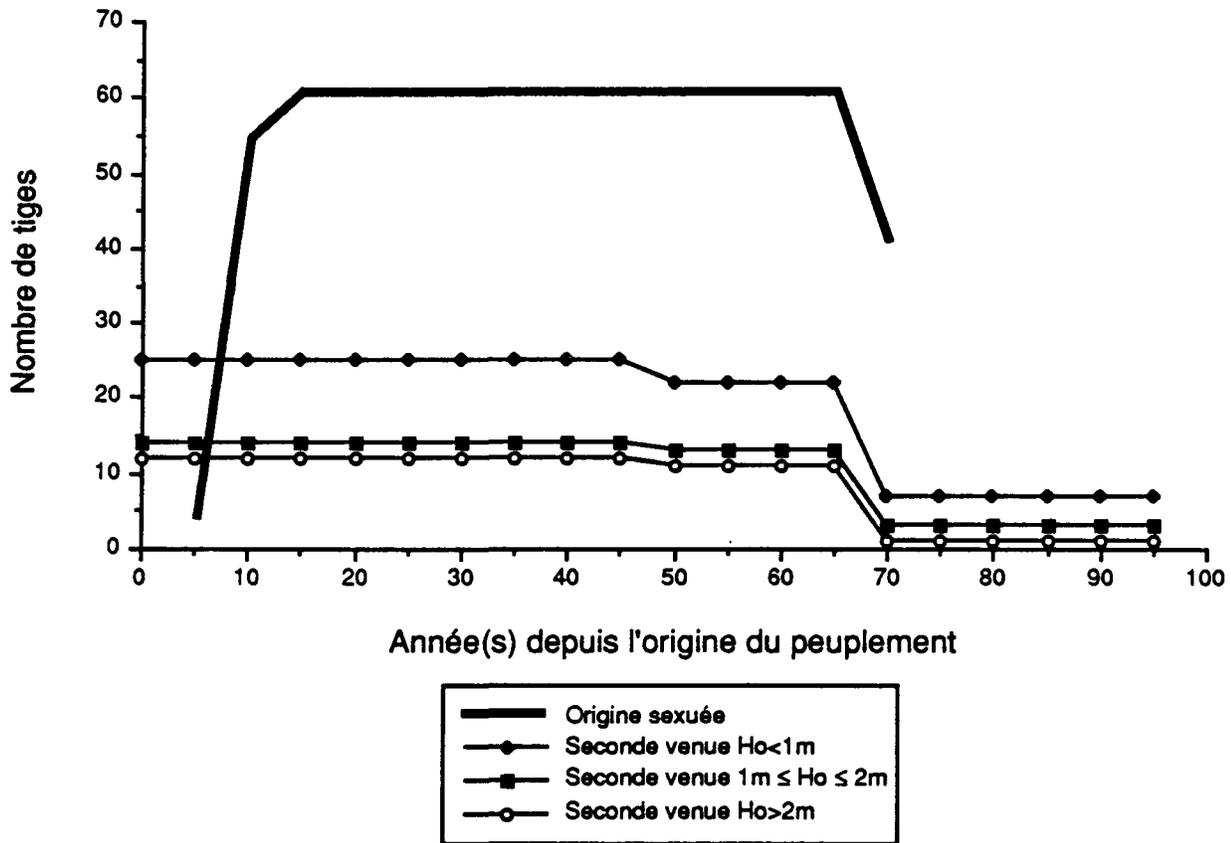
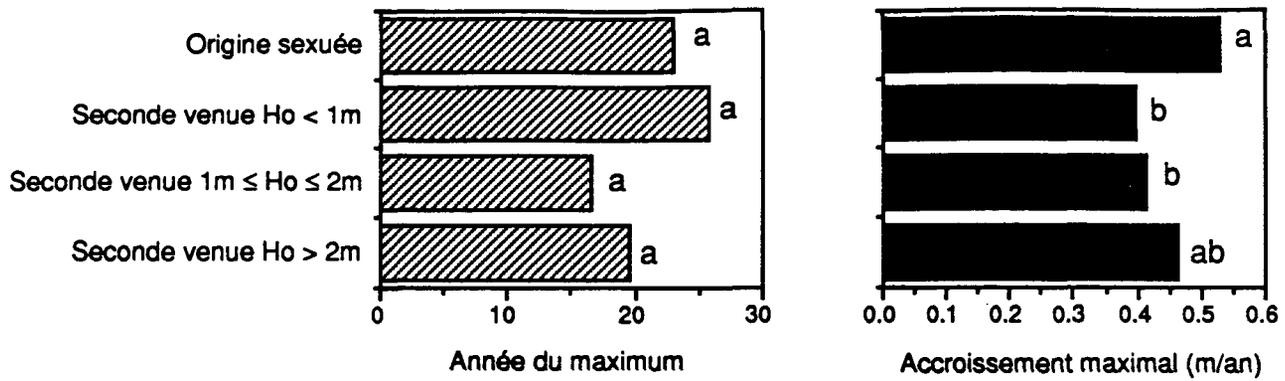
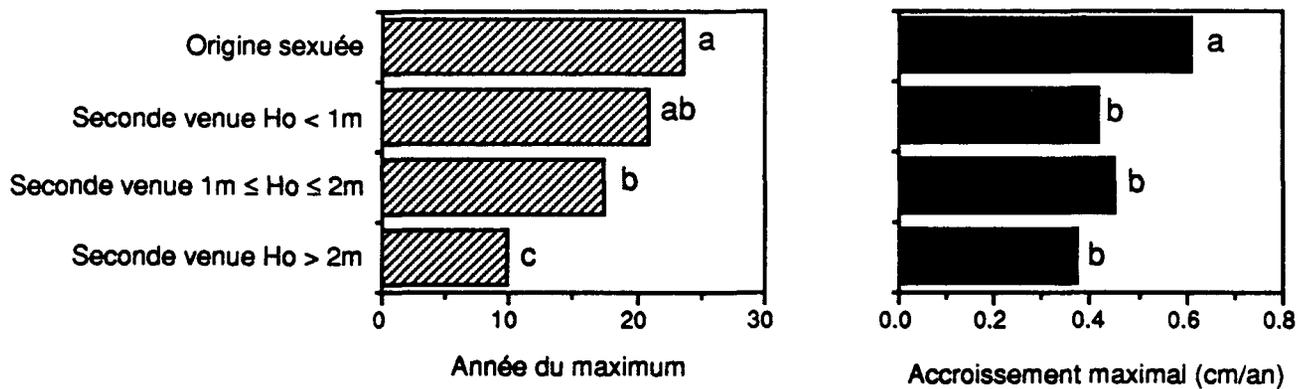


FIGURE 10: Variation des effectifs pour l'évaluation de la croissance moyenne en hauteur.

Accroissement en hauteur



Accroissement en DHP



Accroissement spécifique en volume

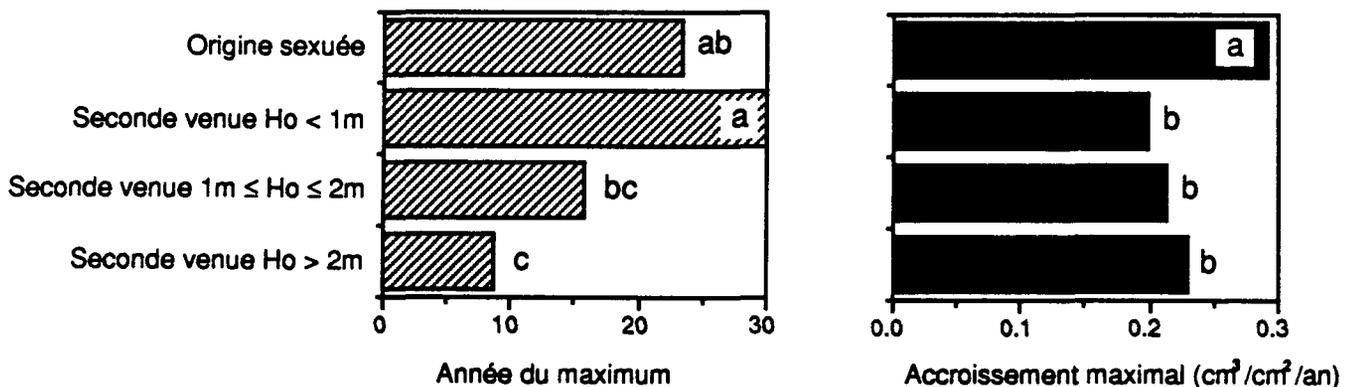


FIGURE 11: Moyennes des valeurs maximales d'accroissement en hauteur, d'accroissement en diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et d'accroissement spécifique en volume (ASV) en fonction de l'origine et de la classe de hauteur initiale (H_o). Les valeurs moyennes qui sont suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($\alpha=0,05$) d'après un test de comparaison multiple P.L.S.D. de Fisher (Sokal et Rohlf 1981).

À ce moment, l'accroissement en hauteur des individus issus de graines est comparable à celui des tiges de seconde venue.

Croissance en diamètre à hauteur de poitrine

Le patron de croissance en diamètre diffère selon la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe (Figure 12a). En effet, le taux de croissance du DHP des épinettes préétablies dont la taille initiale est inférieure à 2 m augmente jusqu'à la vingtième année, puis décroît de façon régulière. Cette situation diffère des individus plus grands dont le taux de croissance du DHP culmine dix ans plus tôt (Figure 11), malgré ce que suggère la courbe moyenne d'accroissement (Figure 12b). Vingt ans après l'origine du peuplement, les épinettes noires de seconde venue de grande taille ($H_0 > 2\text{m}$) présentent un accroissement annuel en diamètre significativement inférieur à celui des marcottes plus petites. À 40 et 60 ans, aucune différence significative n'apparaît entre les trois groupes d'épinettes préétablies. Les plus grandes marcottes au moment de la coupe maintiennent néanmoins un DHP significativement supérieur, en raison de leur avance initiale.

La courbe de croissance en diamètre des semis a une forme comparable à celle des épinettes de seconde venue dont la taille initiale est inférieure à 2 m, bien que l'accroissement maximal soit enregistré plus tard, soit en moyenne 23,6 années après l'origine du peuplement (Figure 11). Malgré le retard pris pour atteindre la hauteur de 1,3 m, les semis rattrapent rapidement les épinettes noires de seconde venue grâce à un accroissement en diamètre significativement supérieur jusqu'à la soixantième année. En conséquence, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement, les épinettes d'origine sexuée ont

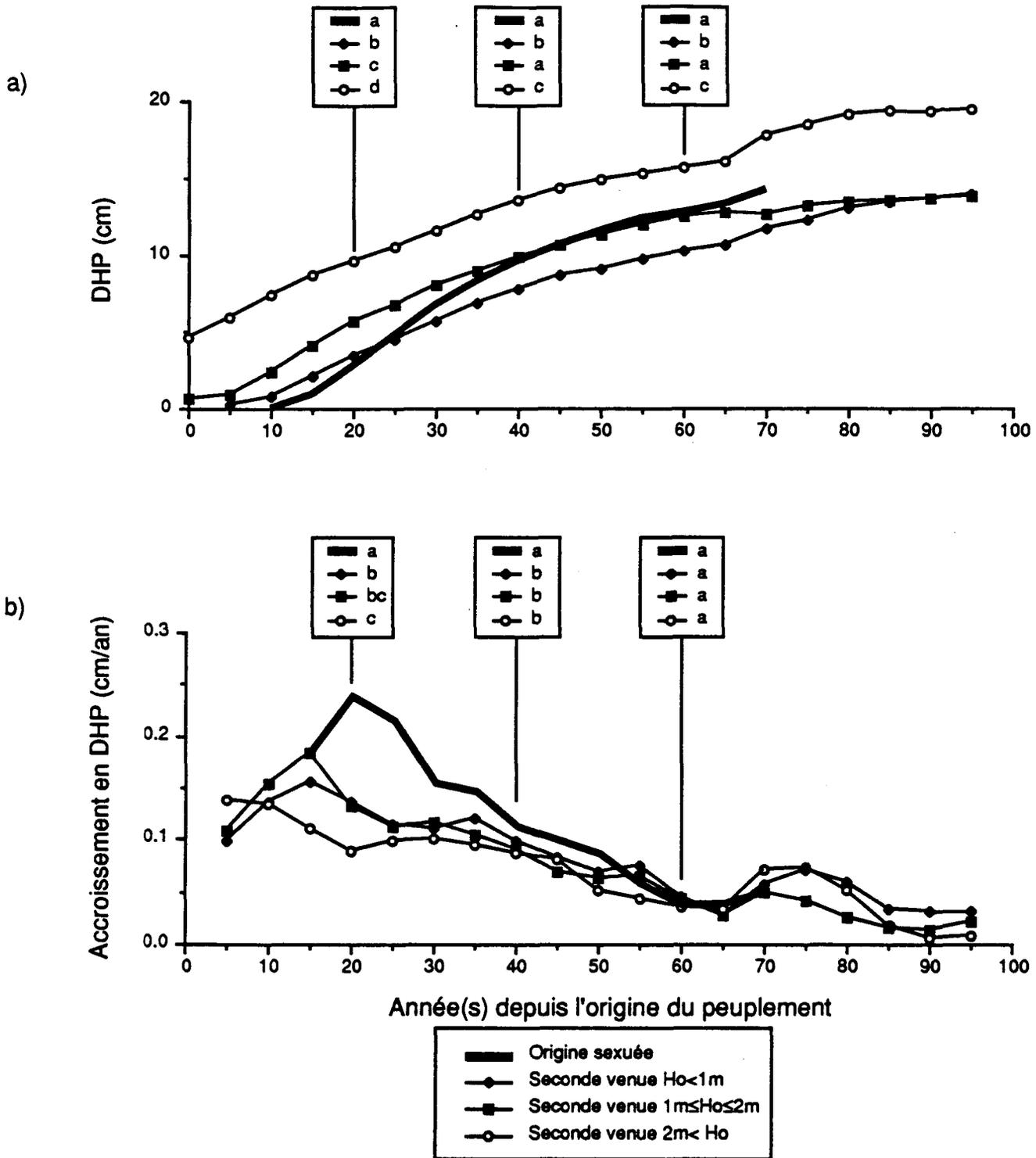


FIGURE 12: Croissance moyenne en DHP d'épinettes noires de seconde venue regroupées selon leur taille au moment de la coupe, comparée à celle d'individus d'origine sexuée.
 Les cartouches indiquent les résultats des comparaisons de moyenne effectuées 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement. L'absence de différence significative ($\alpha=0,05$) entre deux moyennes est indiquée par des lettres identiques.

une croissance comparable à celle des marcottes dont la taille initiale était comprise entre 1 et 2 m.

Croissance en volume total

Le patron de croissance en volume diffère des patrons de croissance en hauteur et en diamètre du fait que le taux de croissance culmine beaucoup plus tard (Figure 13b). La plupart des tiges montrent une importante réduction du taux de croissance en volume pendant les vingt dernières années de leur vie. Cette baisse de croissance coïncide avec la dernière épidémie de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette qui sévit de 1975 à 1986 dans la Réserve faunique des Laurentides. Le décalage entre les périodes de réduction de croissance des quatre groupes d'épinettes est dû aux différences dans les dates d'origine des peuplements. L'apparente reprise de croissance des marcottes après la soixante-cinquième année s'explique de façon similaire, puisqu'après cette date, l'échantillon n'est constitué que de quelques tiges provenant d'un peuplement de seconde venue dégagé en 1894. La dernière épidémie n'a affecté ce peuplement que vers sa soixante-quinzième année, ce qui cause une hausse artificielle de la moyenne des taux de croissance de l'année 65 à l'année 75 (après l'établissement du peuplement).

Ici encore, la meilleure croissance est assurée par les marcottes initialement de grande taille ($H_0 > 2$ m): leur accroissement en volume total est significativement supérieur jusqu'à la soixantième année après l'origine du peuplement (Figure 13b). Pendant les quarante premières années, les marcottes de moyenne taille ($1 \text{ m} \leq H_0 \leq 2\text{m}$) présentent en

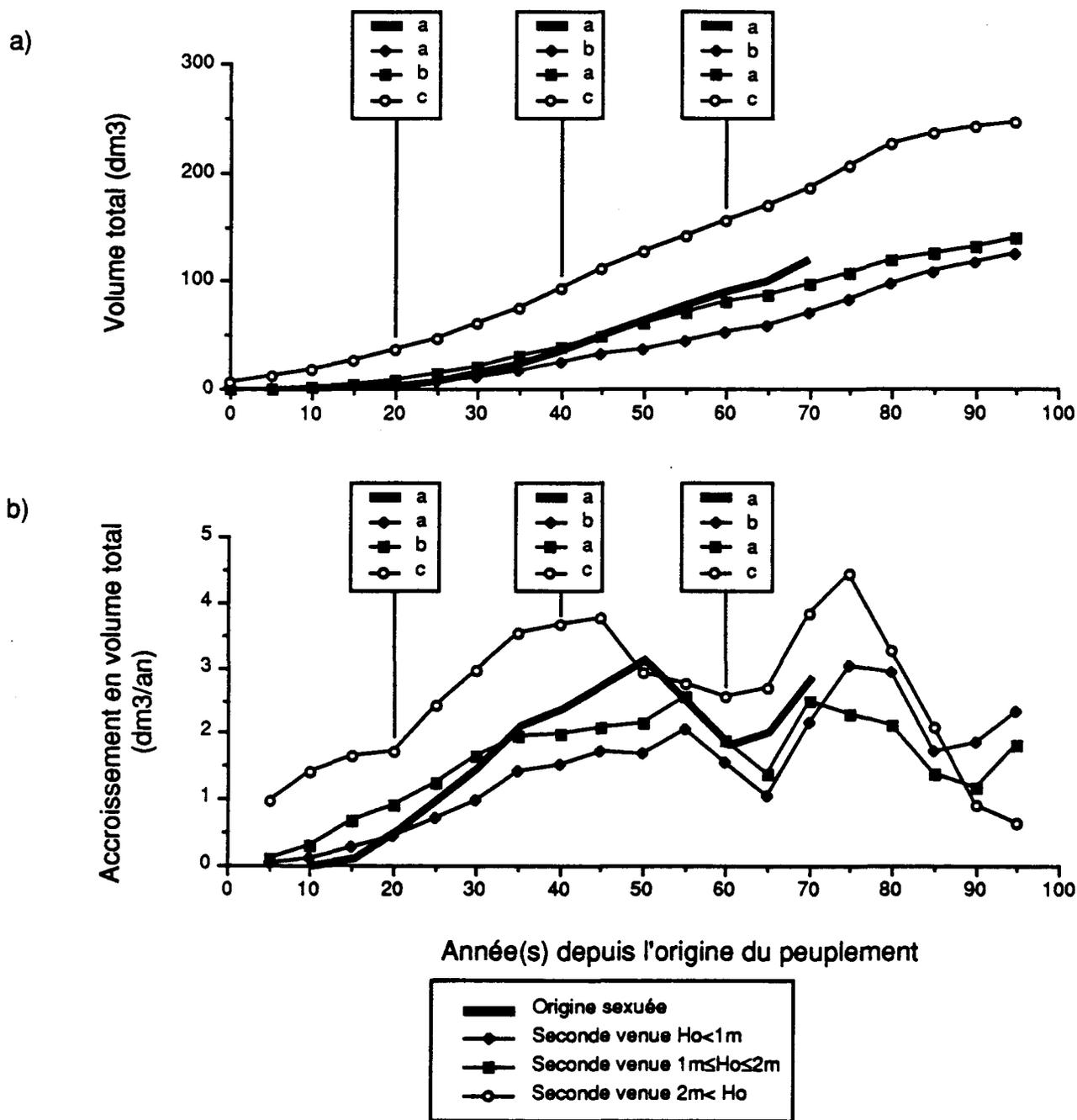


FIGURE 13: Croissance moyenne en volume total d'épinettes noires de seconde venue, comparée à celle d'individus d'origine sexuée.

Les cartouches indiquent les résultats des comparaisons de moyenne effectuées 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement. L'absence de différence significative ($\alpha=0,05$) entre deux moyennes est indiquée par des lettres identiques.

moyenne un taux de croissance en volume supérieur aux marcottes qui avaient moins d'un mètre au moment de la coupe.

À partir de la quarantième année, il n'y a plus de différence significative entre ces deux groupes. Tout comme la hauteur et le DHP, le volume atteint jusqu'à 60 ans après la coupe est significativement différent entre les trois groupes d'épinettes de seconde venue. On remarque cependant qu'avec les années, un écart croissant se creuse entre les plus grandes marcottes ($H_0 > 2$ m) et les individus plus petits.

Les épinettes noires d'origine sexuée et les petites marcottes se comportent de façon similaire 20 ans après l'origine du peuplement (i.e. aucune différence significative dans le volume et l'accroissement) (Figures 13a et 13b). Une augmentation subséquente de l'accroissement permet aux semis de rejoindre le volume atteint par les marcottes de taille moyenne ($1 \text{ m} \leq H_0 \leq 2 \text{ m}$). À 40 et 60 ans, ces dernières ont un accroissement comparable aux épinettes d'origine sexuée.

Accroissement spécifique en volume

La courbe d'accroissement spécifique en fonction du temps (Figure 14) suit un patron analogue à la courbe d'accroissement en diamètre (Figure 12b). L'ASV croît rapidement jusqu'à un certain maximum, après lequel il décroît avec le temps. Dans l'ensemble, l'accroissement spécifique en volume après la coupe semble peu affecté par la hauteur initiale des épinettes noires préétablies, comme en témoigne l'absence de différences significatives entre les trois groupes de marcottes 20, 40 et 60 années après la

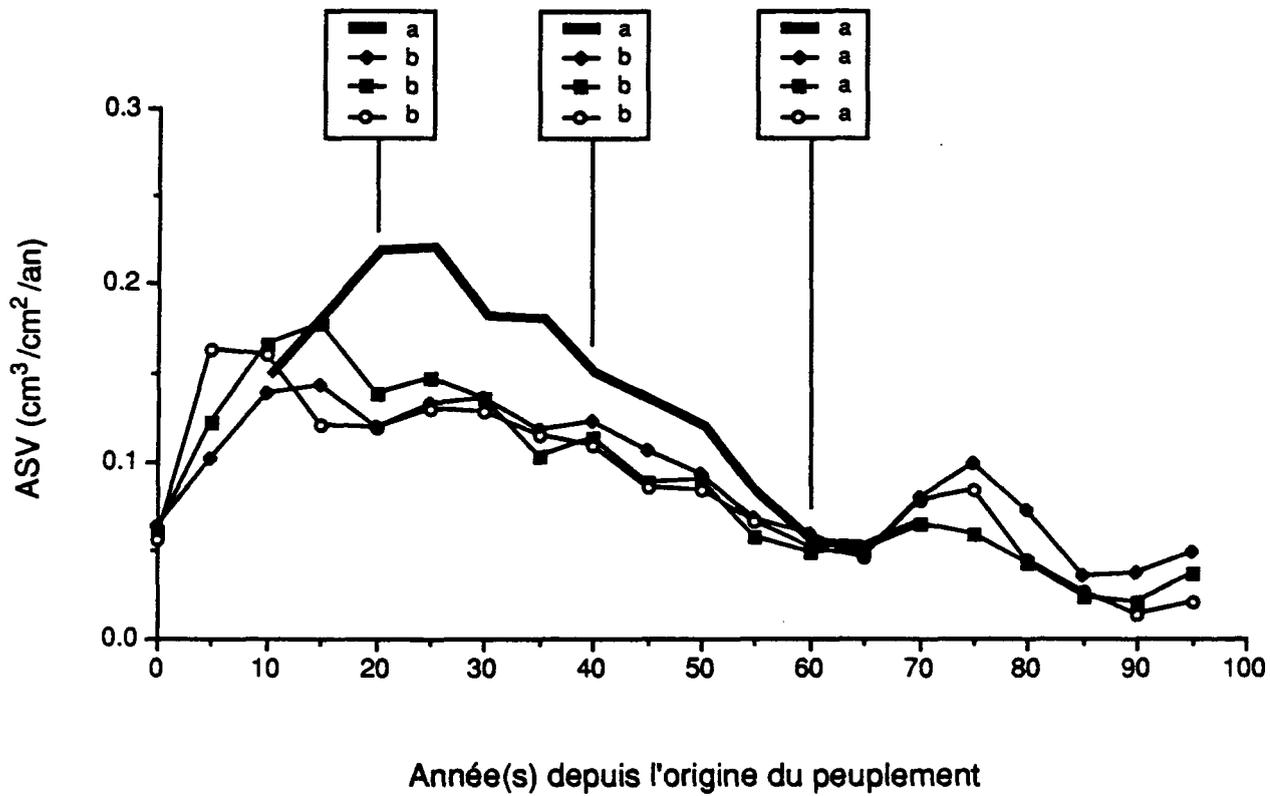


FIGURE 14: Courbes moyennes d'accroissement spécifique en volume d'épinettes noires de seconde venue, comparées à celle d'individus d'origine sexuée.

Les cartouches indiquent les résultats des comparaisons de moyenne effectuées 20, 40 et 60 ans après l'origine du peuplement. L'absence de différence significative ($\alpha=0,05$) entre deux moyennes est indiquée par des lettres identiques.

coupe. On remarque toutefois que les marcottes de forte taille ($H_0 > 2\text{m}$) atteignent leur maximum significativement plus tôt que les plus petits individus ($H_0 < 1\text{m}$), l'ASV culminant respectivement vers la neuvième et la trentième années après la coupe, en moyenne (Figure 11). L'ASV maximum des marcottes de moyenne taille est atteint vers la seizième année, cette moyenne étant significativement différente de celle des petits individus, mais non pas des marcottes les plus grandes ($\alpha = 0,05$). L'ASV maximum, tout comme les ASV à 20, 40 et 60 ans, ne diffèrent pas de façon significative entre les trois groupes d'épinettes de seconde venue.

La courbe moyenne d'accroissement spécifique en volume des épinettes noires d'origine sexuée suit un patron similaire. Les valeurs atteintes par les semis sont toutefois significativement plus élevées jusqu'à la soixantième année après l'origine du peuplement. L'ASV maximum est atteint en moyenne 23 ans après le feu, ce qui est comparable aux marcottes de petite et moyenne taille. La moyenne des valeurs maximales est significativement supérieure à celle des individus de seconde venue ($0,292 \text{ cm}^3\text{cm}^{-2}\text{an}^{-1}$ contre $0,210 \text{ cm}^3\text{cm}^{-2}\text{an}^{-1}$ pour les marcottes).

CHAPITRE V

DISCUSSION

5.1 Effet de la taille initiale sur la croissance des épinettes noires de seconde venue.

Parmi les facteurs considérés dans cette étude, la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe est la variable la mieux corrélée à la hauteur, au DHP et au volume des épinettes noires de seconde venue, ainsi qu'à leur accroissement annuel moyen en hauteur, en DHP et en volume évalué 60 ans après la coupe. Ces résultats suggèrent que la réaction de croissance de la régénération préétablie dépend plus du degré de développement des systèmes foliaire et racinaire au moment de la coupe que de la durée de la période de suppression. Cette hypothèse tend à confirmer les résultats de Paquin (1990), qui a constaté que des arbres de dimensions comparables, mais ayant subi des périodes de suppression de différentes durées, ont des croissances similaires une fois dégagés, un phénomène qui a déjà été observé chez le sapin pectiné (*Abies alba* Miller) (Magin 1959 in Assman 1970) et le sapin baumier (Morris 1948).

La difficulté d'évaluer précisément la durée de la période de suppression pourrait expliquer en partie la faible corrélation entre cette variable et les accroissements annuels moyens en hauteur et en diamètre après coupe. Il peut y avoir, certaines années, absence de formation d'un cerne de croissance sur une partie ou sur l'ensemble de la tige en conditions de suppression (Turberville et Hough 1939). Le nombre de cernes comptés à la base des tiges sous-estime alors leur âge réel. Ce phénomène expliquerait, partiellement du moins, la faible relation entre la hauteur et l'âge des plus vieilles tiges au moment de la

coupe, puisque les chances d'avoir des cernes manquants augmentent vraisemblablement avec la durée de la période de suppression. À ce problème s'ajoute l'impossibilité d'établir avec certitude le moment de l'établissement de la régénération préétablie à partir d'un simple examen visuel. En effet, on ne peut distinguer le xylème formé lorsque la marcotte n'était encore qu'une branche, de celui formé à partir du moment où le système racinaire est formé. Conséquemment, en estimant la durée de la période de suppression par le nombre de cernes entre la moelle et l'année d'accélération de la croissance, on surestime la période de suppression, ce biais étant difficile à évaluer. Une certaine variation du degré d'oppression des tiges établies sous couvert pourrait aussi expliquer la faible corrélation entre la hauteur des marcottes et le nombre de cernes comptés à la base. On peut en effet supposer qu'une marcotte profitant d'une trouée dans le couvert aurait une meilleure croissance qu'une autre constamment à l'ombre. Malheureusement, les résultats de la présente étude ne permettent pas de définir les conditions de croissance de chaque marcotte avant coupe. Ces observations soulignent le manque de connaissances relatives au phénomène du marcottage proprement dit et le besoin de recherches supplémentaires sur le développement de la régénération sous couvert.

Le modèle logarithmique semble le mieux décrire la relation entre la hauteur de la régénération préétablie et sa hauteur 20, 40 ou 60 ans plus tard, compte tenu des coefficients de détermination (R^2) élevés obtenus, ce qui s'apparente aux tendances observées par Horton et Groot (1987) chez des épinettes noires de seconde venue croissant dans des tourbières de l'Ontario ainsi que par Paquin (1990) chez des sujets provenant de la région de la Côte-Nord. L'examen de la relation entre la hauteur de la régénération préétablie au moment de la coupe et l'accroissement annuel moyen en hauteur 60 ans plus tard montre que ce dernier est positivement corrélé à la hauteur initiale lorsqu'elle est

inférieure à 2 m. Cette tendance pourrait s'expliquer par le faible développement du système racinaire des petites marcottes par rapport à leur surface foliaire, une observation souvent faite après l'excavation de marcottes sous couvert. Dans cette perspective, l'élimination du couvert principal par la coupe produirait d'importants stress hydriques chez les plus petites tiges. Ces stress seraient moins importants chez les individus plus grands, puisque leur système racinaire serait proportionnellement mieux développé, ce qui leur permettrait une meilleure reprise de croissance après coupe. Cette hypothèse s'applique aux marcottes de moins de deux mètres au moment de la coupe, puisqu'après ce point, l'AAM en hauteur à 60 ans est inversement relié à la hauteur initiale. On peut supposer ici que chez les tiges de plus de deux mètres, le rapport des surfaces racinaires et foliaires varie peu en fonction de la hauteur de la régénération préétablie et que l'AAM en hauteur à 60 ans dépend plutôt de la position de la cime par rapport au couvert principal. Il est en effet possible qu'avant la coupe, la cime des plus grandes marcottes aient atteint le couvert principal, bénéficiant ainsi de conditions de lumière plus favorables que les individus dominés. Les changements occasionnés par la suppression du couvert principal auraient donc moins d'importance dans le cas des plus grandes marcottes, produisant ainsi une moins grande reprise de croissance.

Un dernier aspect pourrait expliquer en partie la faible croissance des plus petites marcottes ($H_0 < 1\text{m}$). Dans certains cas, il est advenu que des épinettes noires de moins d'un mètre de hauteur au moment de la coupe ne présentent pas d'accélération de la croissance distinctement visible sur la section de la base, principalement en raison du faible nombre de cernes précédant la coupe. Compte tenu du fait que le premier cerne de la section de la base a été formé avant la coupe, ces tiges ont été retenues comme étant établies avant coupe. Or, puisqu'il est impossible d'établir avec certitude le moment de

l'établissement de la régénération préétablie, il est fort probable qu'une partie des tiges formant le groupe des épinettes noires de seconde venue de moins d'un mètre au moment de la coupe représente en fait des individus établis après la coupe par marcottage. L'arbre-mère ne pouvant être qu'une épinette noire préétablie, ces nouvelles marcottes ont dû subir une certaine dépendance physiologique vis-à-vis cette dernière pendant une certaine période de temps suivant la coupe. Dans l'état actuel des connaissances, il est toutefois difficile d'évaluer exactement l'effet de cette suppression physiologique sur les courbes moyennes de croissance, puisqu'il nous est impossible de distinguer les petites marcottes préétablies de celles établies après la coupe et dont la branche d'origine a été formée avant l'origine du peuplement.

Bien qu'il y ait une relation claire entre la hauteur au moment de la coupe et l'accroissement annuel moyen en hauteur et en diamètre à 60 ans, cette tendance comporte une importante variabilité. Il en résulte que lorsque les marcottes sont classées en fonction de leur hauteur initiale, la variance au sein des groupes est telle qu'il n'y a aucune différence significative entre les patrons d'accroissement en hauteur et en diamètre après coupe. En effet, si certaines différences sont observées pendant les vingt premières années après la coupe, ces différences s'estompent par la suite, les taux d'accroissement étant comparables sur plus des deux tiers de la vie du peuplement. La supériorité des grandes marcottes en hauteur et en diamètre provient donc principalement du fait qu'elles étaient initialement plus grandes, les taux de croissance étant tels que les différences de hauteur et de diamètre entre les trois groupes d'épinettes noires de seconde venue se maintenaient dans le temps. Ces résultats semblent s'opposer aux observations de Paquin (1990), qui identifia des patrons de croissance différents en fonction de la taille des marcottes au moment de la coupe. Cette différence pourrait s'expliquer par la méthodologie employée. En effet, les

courbes de croissance présentées par Paquin (1990) ont été produites par régression polynômiale, ce qui permet de réduire l'importance des variations interannuelles au profit d'une tendance générale. Notre étude est plutôt fondée sur la comparaison des moyennes des taux d'accroissement de chaque groupe, ce qui permet une appréciation de la variance des données.

En ce qui concerne la croissance en volume, on constate une relation positive entre la hauteur initiale et le taux de croissance après coupe, ce qui a pour effet d'augmenter l'écart entre les différents groupes de marcottes. Une même corrélation a été constatée entre l'accroissement annuel moyen en volume à 60 ans et la hauteur initiale de la régénération préétablie. Ces observations contrastent avec les relations constatées entre la hauteur des marcottes au moment de la coupe et la croissance en hauteur et en diamètre. Pour expliquer ces différences, il est important ici de rappeler la différence fondamentale entre l'accroissement en hauteur ou en diamètre et l'accroissement en volume. L'accroissement en hauteur et en diamètre sont des mesures de croissance dans une seule dimension (i.e. verticale ou horizontale), cette croissance étant le fruit de l'activité méristématique apicale ou cambiale, selon le cas. L'évaluation de l'accroissement en volume est plutôt une mesure tridimensionnelle de la croissance d'un arbre, résultant à la fois de l'activité du cambium et de l'accroissement de la surface cambiale. Ainsi, en examinant les courbes d'accroissement spécifique en volume, on constate que la quantité de xylème produit par unité de surface cambiale est comparable entre les trois groupes de marcottes. En conséquence, la supériorité du taux de croissance en volume des grandes marcottes est due à leur plus grande surface cambiale, l'activité cambiale étant peu affectée par la taille initiale de la régénération préétablie. Ces observations s'opposent à celles d'Horton et Groot (1987), selon lesquels l'ASV est inversement corrélé à la hauteur initiale

des épinettes de seconde venue. Leurs résultats sont toutefois discutables, puisque d'une part, ils n'ont fait l'objet d'aucune analyse statistique et que d'autre part les valeurs présentées correspondent presque au double des valeurs recensées dans la littérature (Duff et Nolan 1957, Piene 1981).

5.2 Effet de la classe de drainage sur la croissance de l'épinette noire

Selon l'analyse de variance, la classe de drainage a un effet significatif sur la croissance des épinettes noires étudiées, une conclusion partagée par plusieurs auteurs (Page 1971,1976; Jeglum 1974; Lowry 1975). Toutefois, la variance est telle qu'il est difficile d'associer systématiquement une bonne croissance à des conditions de drainage favorables. Deux hypothèses peuvent être avancées pour tenter d'expliquer cette importante variabilité. La première suggère que le drainage n'a pas d'effet marqué sur la croissance des épinettes étudiées parce qu'il ne constitue pas un facteur limitant cette dernière. Les différences observées entre les épinettes provenant de différents peuplements seraient alors attribuables à l'action d'autres variables écologiques avec lesquelles le régime hydrique pourrait interagir. Ces variables pourraient être d'ordre édaphique, comme la quantité de minéraux disponibles (Van Cleve *et al.* 1983) ou bien d'ordre génotypique, comme le suggèrent les travaux de Monserud (1987). En effet, des observations effectuées sur le sapin de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), tendent à démontrer que l'indice de station (i.e. la hauteur moyenne des dominants atteinte à 50 ans) est mieux corrélé à un indice de variabilité génotypique développé pour cette expérience qu'aux variables édaphiques et pédologiques usuelles. Selon cet auteur, les différences observées dans la croissance des arbres issus de divers peuplements d'une même région seraient

attribuables à des différences d'ordre génotypique plutôt qu'à des variations édaphiques. La seconde hypothèse met en doute la valeur de la classe de drainage comme descripteur du régime hydrique. En effet, même si l'évaluation de la classe de drainage a nécessité l'emploi de plusieurs facteurs d'identification dans le but de réduire les erreurs d'appréciation, il en demeure néanmoins que la détermination de la classe de drainage est un exercice essentiellement subjectif de description générale du régime hydrique. Il est donc probable que le bilan hydrique ait un effet plus important sur la croissance de l'épinette noire que ne le suggèrent nos observations, mais que l'usage des classes de drainage induise des erreurs de mesure telles qu'elles masquent la réalité.

5.3 Comparaison de la croissance d'épinettes de seconde venue à celle d'individus issus de graines après feu.

La taille initiale étant le principal facteur régissant la croissance des épinettes noires de seconde venue, on serait porté à croire que les épinettes d'origine sexuée ont une croissance comparable à celle de la régénération préétablie de moins d'un mètre de hauteur au moment de la coupe. Or, les quarante premières années suivant l'origine du peuplement, les semis ont un taux de croissance supérieur à ceux des marcottes (hauteur, DHP, ASV), ce qui leur permet de rejoindre les dimensions des épinettes de seconde venue de taille moyenne ($1\text{m} \leq H_0 \leq 2\text{m}$) au terme de cette période. Dès lors, les semis et les marcottes de taille moyenne se comportent de façon similaire.

A priori, il est tentant de conclure que les différences entre les taux de croissance des épinettes noires de seconde venue et ceux des épinettes d'origine sexuée

s'expliquent principalement par le fait que les arbres étaient répartis en bouquets, fruits du marcottage. La compétition intraspécifique serait conséquemment plus importante au sein des peuplements issus de coupe. Cependant, nos résultats ne démontrent aucune différence entre la distribution des tiges marchandes de seconde venue et celle de peuplements provenant de feu. Ceci confirme les observations de Horton et Groot (1987), qui n'ont observé aucune différence dans la répartition spatiale des tiges marchandes ($DHP \geq 9\text{cm}$) des peuplements d'origine de coupe et de feu, ces dernières étant distribuées aléatoirement. Lorsque toutes les tiges étaient considérées, les tiges des peuplements issus de feu présentaient en général une distribution aléatoire. Pour leur part, les arbres de seconde venue avaient un patron de distribution variable, tantôt en bouquet, tantôt aléatoire (Horton et Groot 1987), et ce probablement à cause de large trouées (Doucet 1988b). La régénération après feu ne semble pas garantir d'autre part une égale répartition des semis, puisque ces derniers s'établiraient préférentiellement au pied des semenciers, formant ainsi des bouquets denses (St-Pierre *et al.* 1991). La distribution aléatoire des épinettes noires adultes issues de feu suggère une importante mortalité au sein des bouquets de semis de forte densité. L'absence de relation significative entre la croissance et la densité ponctuelle telle que mesurée suggère que la compréhension des phénomènes de compétition entre les arbres d'un même peuplement nécessite des outils autres que la simple analyse de la répartition horizontale des tiges. Des indices de compétition fondés sur la position relative de la cime de l'arbre par rapport à ses voisins permettraient d'ajouter une dimension verticale et peut-être d'obtenir de meilleures corrélations. Cependant, la compétition étant un processus dynamique qui implique autant les parties aériennes que souterraines des arbres, il semble difficile d'évaluer son effet sur une grande période par une simple estimation ponctuelle fondée uniquement sur des mesures de cime. Selon Daniels *et al.* (1986), aucun indice de compétition n'est applicable de façon universelle, certains

convenant mieux à des espèces ou à des stades de développement particuliers; l'essai de plusieurs autres approches serait donc à souhaiter pour étudier l'effet de la compétition sur la croissance de l'épinette noire.

Une autre hypothèse permettrait d'expliquer la supériorité des taux de croissance des épinettes noires d'origine de feu. Les écosystèmes boréaux sont caractérisés par une importante accumulation d'éléments minéraux dans la couverture morte, qui se décompose lentement en raison de conditions climatiques défavorables (MacLean *et al.* 1983). Le passage d'un incendie forestier permet la remise en circulation de ces éléments "immobilisés", ce qui se traduit par une augmentation de la quantité de nutriments disponibles et une augmentation significative de la productivité végétale. En raison de la faible importance des apports externes d'éléments minéraux et de la lenteur du processus de minéralisation de l'humus, la quantité d'éléments disponibles et conséquemment la production végétale auraient tendance à décroître en absence de feu. Cette situation pourrait s'appliquer aux peuplements de seconde venue. En effet, sur les sites étudiés, le dernier feu remonte vraisemblablement à plus de 120 ans, compte tenu de la structure d'âge des peuplements. Les peuplements de seconde venue n'auraient pas pu profiter des conditions dont ont bénéficié les peuplements d'origine sexuée, régénérés immédiatement après le feu.

La plupart des épinettes noires étudiées présentent une réduction significative de l'ASV ainsi que de l'accroissement en hauteur et en diamètre pendant les quinze années précédant l'échantillonnage, cette période coïncidant avec la dernière épidémie de Tordeuse des bourgeons de l'épinette dans la Réserve faunique des Laurentides (Blais 1983). En effet, dans le secteur à l'étude, les survols aériens réalisés annuellement par le Ministère de

l'énergie et des ressources du Québec indiquent une défoliation sévère des peuplements par cet insecte de 1975 à 1986. La réduction de croissance associée à la défoliation par la Tordeuse semble avoir eu la même ampleur chez les semis et les marcottes, bien que la réaction des épinettes noires pendant la période de défoliation soit relativement variable. La littérature fait peu état de l'impact de la Tordeuse sur la croissance de l'épinette noire, si ce n'est des travaux de Blais (1964) qui évalua une perte de croissance en DHP de l'ordre de 18% sur un échantillon de quatre arbres. L'action de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette sur ces quinze années semble avoir contribué à l'aplanissement des différences entre les taux de croissance des épinettes d'origine de coupe et de feu. Avec les données actuelles, il n'est toutefois pas possible de prédire si cette similarité entre semis et marcottes se maintiendra ou si l'on peut s'attendre à une accélération de la croissance des semis.

CHAPITRE VI

CONCLUSIONS

Nos résultats démontrent que la hauteur au moment de la coupe est la variable la mieux corrélée à la croissance des épinettes noires de seconde venue. L'accroissement annuel moyen et la hauteur initiale sont positivement corrélés lorsque cette dernière est inférieure à deux mètres, tandis que la corrélation entre ces deux variables est négative lorsque la hauteur initiale dépasse deux mètres. Cette relation comporte toutefois une importante variabilité, si bien que dans le cas de la hauteur et du DHP, les taux de croissance des petites, moyennes et grandes marcottes ne sont pas significativement différents sur plus des deux tiers de la vie du peuplement. La différence de taille observée 60 ans après l'origine du peuplement serait donc principalement attribuable à l'avance des individus les plus grands au moment de la coupe. Pour ce qui est du volume total, la différence entre les marcottes de plus de deux mètres au moment de la coupe et les individus plus petits s'accroît avec le temps, en raison d'un taux de croissance positivement corrélé à taille initiale. Les épinettes noires d'origine sexuée croissent en hauteur et en diamètre à un rythme plus rapide que les marcottes, ce qui leur permet de rejoindre les épinettes noires de seconde venue dont la taille initiale est comprise entre 1 et 2 m, quarante années après l'origine du peuplement. Dès lors, le comportement des semis se compare à celui des marcottes de moyenne taille.

On comprend alors que la performance des peuplements de seconde venue comparée à celle des peuplements naturels issus de graines après feu dépendra d'abord de la densité de la régénération préétablie et de la répartition des tiges parmi les classes de

hauteur. À la lumière de nos résultats, on serait porté à croire que lors de coupes forestières, il n'est pas nécessaire de protéger la régénération préétablie de moins d'un mètre compte tenu de sa faible croissance comparativement aux semis. Il ne faut toutefois pas oublier que ces petites marcottes formeront probablement les individus les plus grands au moment de la seconde coupe, soit celle du peuplement de seconde venue parvenu à maturité. De nouvelles recherches, axées sur la structure et l'évolution des peuplements de seconde venue, permettraient de mieux comprendre la dynamique des pessières noires après coupe et de les comparer aux peuplements vierges, issus de graines après feu.

L'absence d'effets significatifs de la densité ponctuelle et de la classe de drainage met en évidence la nécessité de travaux de recherches supplémentaires axés d'une part sur la nature et l'importance de la compétition au sein des pessières noires d'origine de coupe ou de feu, et d'autre part sur les relations entre les variables édaphiques et la croissance de l'épinette noire. À ce propos, l'hypothèse d'une réduction de croissance associée à l'accumulation des nutriments dans la couverture morte en absence de feu ouvre une autre avenue de recherche intéressante, ce qui ajoute une perspective nouvelle à l'évaluation de l'utilisation des marcottes préétablies pour régénérer les pessières noires. Finalement, la présente étude a permis d'identifier des pertes de croissance associées à la dernière épidémie de Tordeuse des bourgeons de l'épinette, un phénomène jusqu'à maintenant peu documenté. D'autres travaux de recherche seraient nécessaires pour évaluer l'importance de ces pertes de croissance et pour mieux définir l'action de la Tordeuse sur la structure et la dynamique des pessières noires boréales.

CHAPITRE VII

RÉFÉRENCES CITÉES

- Arno, S.F. et K.M. Sneck. 1977.** *A method for determining fire history in coniferous forests of the mountain West.* U.S. Dep. Agric. For. Serv. Gen.Tech. Rep. INT-42.
- Arnup, R.W., B.A. Campbell, R.P. Raper, M.F. Squires, K.D. Virgo, V.H. Wearn et R.G. White. 1988.** *A silvicultural guide for the spruce working group in Ontario.* Ministry of Natural Resources of Ontario, Toronto, Ont. 100 p.
- Assman, E. 1970.** *The principles of forest yield study.* Pergamon Press. New York 506 p.
- Blais, J.R. 1964.** *Account of a recent spruce budworm outbreak in the Laurentide Park region of Quebec and measures for reducing damage in future outbreaks.* For.Chron. 40: 313-323.
- Blais, J.R. 1983.** *Trends in the frequency, extent, and severity of spruce budworm outbreaks in eastern Canada.* Can. J. For. Res. 13: 539-547.
- Boudoux, M. 1978.** *Tables de rendement empiriques pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris au Québec.* Serv. Inf., Min. Terres For., Québec. 101 p.
- Canuel, B. 1989.** *Guide d'utilisation de la coupe avec protection de la régénération (Abattage mécanisé).* Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. Service des traitements sylvicoles. Québec. 30 p.

- Carmean, W.H.** 1972. *Site index curves for upland oaks in the central states*. For. Sci. 18: 102-120.
- Commision Canadienne de Pédologie.** 1978. *Le système canadien de classification des sols*. Gouvernement du Canada, Ministère de l'Agriculture, Direction de la recherche, Publication 1646, 170 p.
- Daniels, R.F., H.E. Bukhart, et T.R. Clason.** 1986. *A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pines trees*. Can. J. For. Res. 16: 1230-1237.
- Doucet, R.** 1988a. *La régénération préétablie dans les peuplements forestiers naturels au Québec*. For. Chron. 64: 116-120.
- Doucet, R.** 1988b. *Bilan de cinq années de recherche sur le marcottage de l'épinette noire*. in "Les mécanismes de régénération de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement" Compte rendu des conférences tenues à Chicoutimi, les 18 et 19 août 1988, Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec, Sainte-Foy.
- Doucet, R. et J. Boily.** 1986. *Croissance en hauteur comparée de marcottes et de plants à racines nues d'épinette noire, ainsi que de pin gris*. Can. J. For. Res. 16: 1365-1368.
- Duff, G.H. et N.J. Nolan.** 1957. *Growth and morphogenesis in the canadian forest species. II. Specific increment and their relation to the quantity and activity of growth in Pinus resinosa*. Can. J. Bot. 35: 527-572.
- Dyer, M.E. et R.L. Bailey.** 1987. *A test of six methods for estimating true height from stem analysis data*. For. Sci. 33: 3-13.

- Frisque, G. et P.-É. Vézina. 1977.** *Reproduction de l'épinette noire (Picea mariana) après coupe à blanc de superficie réduite.* Can. J. For. Res. 7: 648-655.
- Gagnon, R. 1988.** *La dynamique des peuplements équiennes d'épinette noire. Dans " Les mécanismes de régénération de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement".* Compte-rendu du colloque tenu à l'Université du Québec à Chicoutimi, les 18 et 19 août 1988. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Ste-Foy, Québec.
- Gagnon, R. 1989.** *Maintien des limites abruptes entre les peuplements d'épinettes noires (Picea mariana) et des formations de feuillus intolérants (Populus tremuloides et Betula papyrifera) dans la région du Saguenay-Lac Saint-Jean (Québec).* Nat. Can. 116:117-124.
- Guay, R., R. Gagnon et H. Morin 1991.** *A new automatic and interactive tree ring measurement system based on line scan camera.* For. Chron.(Sous presse).
- Groot, A. 1984.** *Stand and site conditions associated with abundance of advanced growth in the northern clay section of Ontario.* Envir. Canada, Serv. Can. For., Rapp. d'inf. O-X-358, 15 p.
- Grieg-Smith, P. 1983.** *Quantitative plant ecology.* Third Edition. University of California Press. Berkeley. 359 p.
- Hatcher, R.J. 1964.** *Regeneration stocking in black spruce cutover and cutover-and-burned stands in Quebec.* Dept. For. Can., For. Res. Br., Quebec District, Rep. 64-Q-28.
- Heinselman, M.L. 1973.** *Fire in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota.* Quat. Res. 3: 329-382.

- Heinselman, M.L. 1981.** *Fire and succession in the conifer forests of Northern North America.*- Pages 374-406 in West, D.C., Shugart, H.H. et Botkin, D.B. (éditeurs). *Forest succession, concepts and application.* Springer-Verlag, New-York, 517 p.
- Horton, B.J. et A. Groot. 1987.** *Development of second-growth black spruce stands on peatlands in Northeastern Ontario.* Horton Forestry Service Limited, R.R. 4 Stouffville, Ontario. 30 p.
- Husch, B., C.I. Miller et T.W. Beers. 1982.** *Forest mensuration.* J. Wiley and sons. NY. 402 p.
- Jeglum, J.K. 1974.** *Relative influence of moisture-aeration and nutrients on vegetation and black spruce growth in northern Ontario.* Can. J. For. Res. 14: 114-126.
- LaSalle, P., G. Martineau et L. Chauvin. 1977.** *Morphologie, stratigraphie et déglaciation dans la région de Beauce - Monts Notre-Dame - Parc des Laurentides.* Ministère des richesses naturelles, Service de l'exploration géologique. Québec. 74 p.
- LeBarron, R.K. 1939.** *The role of fire in the reproduction of black spruce.* The Minnesota Academy of Science, Proceedings, 7:11-14.
- Linteau, A. 1959.** *Classification des stations forestières de la section du nord-est, région forestière boréale du Québec.* Ministère du nord canadien et des ressources nationales, Direction des forêts, Ottawa
- Lowry, G.L. 1975.** *Black spruce productivity as related to soil and other site factors.* Soil Science Society of America Proceedings 39:125-131.

- MacLean, D.A., S.J. Woodley, M.G. Weber et R.W. Wein. 1983.** *Fire and nutrient cycling.*- Pages. 111-132 in R.W.Wein et D.A. MacLean (éditeurs) *The role of fire in Northern Circumpolar Ecosystems* J.Wiley and sons Ltd., New-York.
- Mercier, R., R. Gagnon et Y. Bergeron. 1989.** *Croissance radiale du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx) issus de graine ou de drageon, dans la forêt boréale.* Annales de l'ACFAS 57: 313.
- Monserud, R.A. 1987.** *Variations on a theme of site index.* In Ek, A.R., S.R. Shifley et T.E. Burk (éditeurs). *Forest growth modelling and prediction vol.1* Proceedings of the IUFRO Conference August 23-27, 1987. Minneapolis, Minnesota. (Society of American Foresters Publication No SAF-87.12).
- Morin, H. et R.Gagnon. 1991.** *Structure et croissance de peuplements d'épinettes noires issus de régénération préétablie, une quarantaine d'années après coupe au Lac Saint-Jean, Québec.* For. Chron. 67: 275-283.
- Morris, R.F. 1948.** *How old is a balsam fir tree ?* For. Chron. 24: 106-110.
- Page, G. 1971.** *Properties of some common Newfoundland forest soils and their relation to forest growth.* Can. J. For. Res. 1: 174-192.
- Page, G. 1976.** *Quantitative evaluation of site potential for spruce and fir in Newfoundland.* For. Sci. 22: 131-143.
- Paquin, R. 1990.** *Productivité et croissance en hauteur de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) dans des pessières noires boréales régénérées par marcottage, dans de vieilles coupes au Québec.* École des gradués, Université Laval. Mémoire de maîtrise. 75 p.

- Piene, H. 1980.** *Effects of insect defoliation on growth and foliar nutrients of young balsam fir.* For. Sci. 26: 665-673.
- Piene, H. 1981.** *Early growth responses to operational spacing young balsam fir stands on the Cape Breton Highlands, Nova Scotia.* Serv. Can. For., Centre de foresterie des Maritimes, Rapp. d'inf. M-X-125. 29 p.
- Richardson, J. 1981.** *Black spruce research by the Canadian Forestry Service in Newfoundland.* Serv. Can. For., Rapp. d'inf. N-X-206. 36 p.
- Ruel, J.-C. 1988.** *La régénération préétablie et l'exploitation forestière dans les peuplements d'épinettes noires.* In "Les mécanismes de régénération de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement" Compte rendu des conférences tenues à Chicoutimi, les 18 et 19 août 1988, Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec, Sainte-Foy.
- Scherrer, B. 1984.** *Biostatistique.* Gaétan Morin Éditeur, Montréal 850 p.
- Sokal, R.R. et F.J. Rohlf. 1981.** *Biometry.* 2e édition. Freeman & Co. San Francisco. 859 p.
- Spurr, S.H. 1962.** *A measure of point density.* For. Sci. 8: 85-96.
- Stanek, W. 1968.** *Development of black spruce layers in Quebec and Ontario.* For. Chron. 44: 25-28.
- St-Pierre, H. 1989.** *Régénération après feu du pin gris (Pinus banksiana Lamb.) et de l'épinette noire (Picea mariana (Mill.)B.S.P.) dans la forêt boréale, Lac Desautels, Réserve faunique Ashuapmushuan, Québec.* Mémoire de maîtrise. Université Laval. 52 p.

- St-Pierre, H., R. Gagnon et P. Bellefleur. 1991.** Distribution spatiale de la régénération après feu de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.)B.S.P.) et du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) dans la forêt boréale, Lac Desautels, Réserve faunique Ashuapmushuan, Québec. Can. J. Bot. 69: 717-721.
- Thibault, M. et D. Hotte. 1985.** *Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation.* (Carte au 1: 1 250 000) Service de la recherche, Ministère de l'énergie et de ressources du Québec. Québec.
- Turberville, H.W. et A.F. Hough. 1939.** *Errors in age counts of suppressed trees.* J. For. 37: 417-418.
- Vallée, G. et G.L. Lowry. 1972.** *Application of multiple regression and principal component analysis to growth prediction and phytosociological studies of black spruce stands.* Rech. Serv. Dept. Lands and Forests Québec Gov. Res. Pap No.7. 101 p.
- Van Cleve, K., L. Oliver, R. Schlentner, L.A. Viereck et C.T. Dyrness. 1983.** *Productivity and nutrient cycling in taiga forest ecosystems.* Can. J. For. Res. 13: 747-766.
- Van Wagner, C.E. 1978.** *Age-class distribution and the forest fire cycle.* Can. J. For. Res. 8: 220-227.
- Viereck, L.A. 1983***The effects of fire in black spruce ecosystems of Alaska and Northern Canada.- Pages 201-221 In Wein, R.W. et MacLean, D.A. (éditeurs). The role of fire in Northern circumpolar ecosystems. SCOPE 18 . Wiley & Sons, New-York, 322 p.*
- Vincent, A.B. 1964.** *Comparative growth of black spruce seedlings and layers under an alder canopy.* Pulp Pap. Mag. Can. 65: WR381-WR383.

Zarnovican, R. 1985. *Analyse de tige: une méthode à redécouvrir.* Nat. Can. 112: 253-260.