

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

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

**PAR MYLAINE FOURNIER
B.Sc. (Agr.) en Biologie**

**STRUCTURE ET CROISSANCE D'UN PEUPEMENT
D'ÉPINETTE NOIRE (*PICEA MARIANA*) ISSU
D'UNE COUPE D'UNE VINGTAINE D'ANNÉES DANS LA
RÉGION DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN**

OCTOBRE 1997



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

Dans l'est du Canada les forêts d'épinettes noires se régénèrent naturellement par graines après un feu de forêt. Avec la mise en place de la Stratégie de protection des forêts, en 1986, les compagnies forestières ont dû remplacer la coupe à blanc conventionnelle par la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) afin de favoriser le renouvellement naturel des forêts québécoises. Ceci soulève beaucoup de questions quant à la structure et à la croissance de jeunes peuplements d'épinettes noires issus de coupe. La grande amplitude de la structure de hauteur des épinettes suite à la coupe du peuplement principal, peut créer des conditions favorables à la compétition intraspécifique, et cette compétition peut être suffisante pour limiter l'établissement de nouvelles tiges ou la croissance des tiges déjà installées. Les objectifs de cette étude sont de premièrement, reconstituer le patron de croissance en hauteur, en diamètre et en volume d'un peuplement issu d'une coupe de 25 ans et deuxièmement, d'établir des indices biologiques de compétition entre les tiges de hauteurs différentes.

Lors d'une étude exhaustive, toutes les tiges d'un quadrat de 100 m² ont été cartographiées et plusieurs paramètres, tels la hauteur, le diamètre (hauteur de souche et de poitrine), l'abondance et la qualité de la cime, ont été mesurés. L'approche dendrochronologique a permis de constater que les tiges dominantes (>6 m) ont une croissance en hauteur, en diamètre et en volume significativement supérieure à celle des petites tiges. La quasi totalité du volume du peuplement est faite par les tiges de plus grande taille au moment de la coupe, mais certaines tiges de moins d'un mètre au moment de la coupe contribuent de façon importante au volume total du peuplement. Le délai de la reprise de croissance en hauteur des épinettes noires suite à l'élimination du couvert principal est causé par la dernière épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE). Cette épidémie, qui a sévi quelques années suivant la coupe dans la région étudiée, est également responsable des importantes baisses de croissance en hauteur, en diamètre et en volume des épinettes. Les épinettes de très petites tailles (<1 m au moment de l'épidémie) ont également subi d'importantes réduction de croissance.

La compétition intraspécifique en hauteur n'influence pas la croissance des tiges. Cependant, la TBE a probablement masqué les effets véritables de la compétition intraspécifique en hauteur entre les épinettes. Donc, l'effet de la TBE peut avoir des implications lors de la gestion des jeunes forêts d'épinette noire.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement mon directeur le Dr Réjean Gagnon pour sa grande disponibilité et ses précieux conseils.

Je remercie également Marie-Hélène Bouchard, Justin Proulx et Sylvain Quessy pour leur aide à la réalisation de la cartographie informatique, ainsi que Caroline Girard pour la mesure des échantillons. Merci à Jean-Martin Lussier pour ses conseils dans le domaine de la compétition. Je remercie Sophie Hardy pour nos nombreuses conversations sur notre sujet préféré: les épinettes noires. Pour son aide sur le terrain, sa patience avec mes <<problèmes d'ordinateur>> et pour tout les petits conseils qu'il m'a donné tout au long de ma maîtrise, je remercie Germain Savard, ing. for. Merci à Stéphanie Bissonnette pour la correction de ce mémoire.

Je remercie également le Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale pour son support financier.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	ii
RÉSUMÉ	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
CHAPITRE I	
INTRODUCTION	1
CHAPITRE II	
REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	4
2.1. La régénération préétablie dans les peuplements d'épinette noire	5
2.2. Le marcottage chez l'épinette noire	5
2.3. La croissance des marcottes	6
2.4. Reprise de croissance après coupe	7
2.5. Compétition intraspécifique	8
2.6. Épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.....	9
CHAPITRE III	
AIRE D'ÉTUDE.....	10
3.1. Localisation et description de l'aire d'étude	11
CHAPITRE IV	
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	13
4.1. Sélection du site.....	14
4.2. Reconnaissance générale du site et datation de la coupe forestière.....	14
4.3. Échantillonnage	16
4.3.1. La strate arborescente	16
4.3.2. La strate herbacée, les mousses et le sol forestier.....	19
4.3.3. La cartographie informatisée.....	19
4.4. Analyse de tige.....	19
4.4.1. Épinettes mesurant 65 cm et moins de hauteur.....	19
4.4.2. Épinettes mesurant plus de 66 cm de hauteur.....	20
4.5. Indices de compétition	20
4.6. Analyses statistiques.....	23
CHAPITRE V	
RÉSULTATS.....	24
5.1. Description du peuplement et date de la coupe forestière	25
5.2. Structure du peuplement.....	29

5.2.1. Structure d'âge.....	29
5.2.2. Structure de hauteur et de diamètre.....	30
5.3. Rapport existant entre la cime, le diamètre des racines et la croissance des épinettes.....	33
5.4. Effet de l'âge sur la hauteur finale	34
5.5. Croissance des épinettes.....	34
5.5.1. Croissance en hauteur.....	35
5.5.2. Croissance en diamètre.....	39
5.5.3. Croissance en volume	41
5.5.4. Comparaison des courbes de croissance en hauteur et en diamètre.....	45
5.6. Effet de la hauteur initiale sur la hauteur finale.....	48
5.7. Compétition intraspécifique	49
5.7.1. Choix de l'indice de compétition.....	49
5.7.2. Effet de la compétition.....	49
 CHAPITRE VI.....	 54
DISCUSSION.....	54
6.1. Structure du peuplement.....	55
6.1.1. Origine des tiges du peuplement étudié.....	55
6.1.2. Âge des tiges du peuplement.....	56
6.1.3. Les structures de hauteur et de diamètre des tiges du peuplement.....	56
6.2. Effet de l'âge sur la croissance des épinettes	57
6.3. Croissance des épinettes.....	57
6.3.1. Relation entre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et le délai de croissance en hauteur des tiges après la coupe.....	57
6.3.2. L'effet de la TBE sur la croissance des tiges	59
6.3.3. Croissance en volume des tiges du peuplement.....	62
6.3.4. Comparaison de la croissance en hauteur et en diamètre des tiges de peuplement.....	63
6.4. Effet de la hauteur initiale sur la hauteur finale.....	63
6.5. Effet de la compétition intraspécifique sur la croissance.....	65
6.5.1. Variations des indices de compétition en hauteur.....	66
 CHAPITRE VII	
CONCLUSION	68
 BIBLIOGRAPHIE	 71
 ANNEXE 1	
RELATION ENTRE LE DIAMÈTRE DES RACINES ET DE LA CIME EN RAPPORT AVEC LA CROISSANCE DES TIGES	84
ANNEXE 2	
LA RELATION ENTRE L'ÂGE DES ÉPINETTES ET LA HAUTEUR.....	88

ANNEXE 3	
LA CROISSANCE EN HAUTEUR DES TIGES.....	90
ANNEXE 4	
LA CROISSANCE EN DIAMÈTRE DES TIGES.....	93
ANNEXE 5	
LA CROISSANCE EN VOLUME.....	96
ANNEXE 6	
RELATIONS ENTRE LA HAUTEUR FINALE ET LA HAUTEUR INITIALE.....	99
ANNEXE 7	
LA COMPÉTITION ENTRE LES TIGES.....	101
ANNEXE 8	
ACCROISSEMENT EN VOLUME SPÉCIFIQUE (SVI).....	103

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1. Localisation du site de l'étude.....	12
Figure 4.1. Peuplement choisi pour l'étude.....	15
Figure 4.2. Photographie illustrant les sous-quadrats d'échantillonnage du peuplement.....	17
Figure 4.3. Critères de sélection des classes de qualité de la cime des épinettes.....	18
Figure 5.1. Cartographie de l'année d'établissement des épinettes.....	27
Figure 5.2. Cartographie des épinettes selon leur hauteur lors de l'échantillonnage (1995).....	28
Figure 5.3. Structure d'âge de la régénération naturelle après coupe.....	29
Figure 5.4. Structure de hauteur finale de la régénération naturelle.....	30
Figure 5.5. Structure de hauteur de la régénération naturelle immédiatement après la coupe (1971).....	31
Figure 5.6. Structure diamétrale de la régénération naturelle au moment de l'échantillonnage.....	32
Figure 5.7. Relation entre l'âge au niveau du sol et la hauteur finale des tiges.....	34
Figure 5.8. Croissance moyenne cumulée en hauteur et écart-types des épinettes regroupées par classe de hauteur finale.....	36
Figure 5.9. Croissance moyenne annuelle en hauteur et écart-types des épinettes regroupées par classes de hauteur finale.....	38
Figure 5.10. Croissance moyenne annuelle en diamètre au niveau du sol et écart-types des épinettes regroupées en classes de hauteur finale.....	40
Figure 5.11. Croissance moyenne cumulée en volume et écart-types des épinettes regroupées par classe de hauteur finale.....	42
Figure 5.12. Croissance moyenne annuelle en volume spécifique et écart-types des épinettes par classe de hauteur finale.....	44

Figure 5.13. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale dominante.....	46
Figure 5.14. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale intermédiaire.....	46
Figure 5.15. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale supprimée 1.....	47
Figure 5.16. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale supprimée 2.....	47
Figure 5.17. Relation entre la hauteur initiale et la hauteur finale des tiges.....	49
Figure 5.18. Relation entre la hauteur initiale, la hauteur finale et l'indice de compétition intraspécifique de 1971 des épinettes.....	53
Figure 6.1. Section d'une tige illustrant un cerne de croissance pâle en 1975.....	60
Figure A8.1. Croissance annuelle en volume spécifique de certaines tiges de la classe de hauteur dominante (>6 m).....	105
Figure A8.2. Croissance annuelle en volume spécifique de certaines tiges de la classe de hauteur intermédiaire (4-6 m).....	106
Figure A8.3. Croissance annuelle en volume spécifique de certaines tiges de la classe de hauteur supprimée 1 (1-4 m).....	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5.1. Hauteur totale, diamètre à hauteur de souche (DHS), âge au niveau du sol et pourcentage des épinettes préétablies.....	26
Tableau 5.2. Indices de compétition de hauteur pour les années 1971 et 1995 pour les différentes classes de hauteur.	51
Tableau 6.1. Résumé des dates de coupes, de la présence d'un délai de la reprise de croissance en hauteur des épinettes et de la présence d'une épidémie de la TBE pendant la coupe ou pendant les quelques années après la coupe.....	58
Tableau A1.1. Résultats des régressions entre le pourcentage de cime dans les 5 classes de qualité de la cime, le pourcentage de cime vivante et la hauteur finale des épinettes.....	85
Tableau A1.2. Résultats des régressions entre le pourcentage de cime dans les 5 classes de qualité de la cime, le pourcentage de cime vivante et le diamètre à la hauteur de souche des épinettes.	85
Tableau A1.3. Résultats de la régression entre le pourcentage de cime dans les classes 1 et 2 de qualité de la cime, le pourcentage de cime vivante et le pourcentage total des cimes dans les classes de qualité 1 et 2 et le volume finale des épinettes.....	86
Tableau A1.4. Résultats des régressions entre la hauteur finale et le diamètre à la hauteur de souche et la moyenne du diamètre des racines.....	86
Tableau A1.5. Données brutes de la hauteur totale (cm), du diamètre à la hauteur de souche (cm) et du diamètre des 5 plus importantes racines situées le plus près du niveau du sol (cm), de la moyenne des 5 racines (cm) des épinettes analysées.....	87
Tableau A2.1. Résultats de la régression entre l'âge au niveau du sol et la hauteur finale des épinettes.....	89
Tableau A2.2. Résultats de la régression entre l'âge au niveau du sol et la hauteur initiale des épinettes.....	89
Tableau A2.3. Résultats de l'analyse de variance entre l'âge au niveau du sol et les trois classes de hauteur initiale des épinettes.....	89
Tableau A2.4. Résultats des contrastes entre les trois classes de hauteur initiale (petite: -1,5 m, moyenne: 1,5-2,5 m et grande: +2,5m).....	89

Tableau A3.1. Résultats de la régression entre la hauteur finale et le diamètre à la hauteur de souche des épinettes.....	91
Tableau A3.2. Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées entre la croissance en hauteur et les classes de hauteur.....	91
Tableau A3.3. Contrastes entre les classes de hauteur dominante et intermédiaire (A) et dominante et supprimée 1 (B).	91
Tableau A3.4. Contrastes entre les classes de hauteur intermédiaire et supprimée 1 (A) et supprimée 1 et supprimée 2 (B).	92
Tableau A4.1. Résultats de la régression entre le diamètre à la hauteur de souche et la hauteur initiale des épinettes.....	94
Tableau A4.2. Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées entre la croissance en diamètre et les classes de hauteur.....	94
Tableau A4.3. Contrastes entre les classes de hauteur dominante et intermédiaire (A) et dominante et supprimée 1 (B).	94
Tableau A4.4. Contrastes entre les classes de hauteur intermédiaire et supprimée 1 (A) et supprimée 1 et supprimée 2 (B).	95
Tableau A5.1. Résultats de la régression entre la hauteur initiale et le volume final des épinettes.	97
Tableau A5.2. Résultats de l'analyse de variance à mesure répétées entre la croissance en volume et les classes de hauteur.	97
Tableau A5.3. Contrastes entre les classes de hauteur dominante et intermédiaire (A) et dominante et supprimée 1 (B).	97
Tableau A5.4. Contrastes entre les classes de hauteur intermédiaire et supprimée 1 (A) et supprimée 1 et supprimée 2 (B).	98
Tableau A6.1. Résultats de la régression entre la hauteur finale et la hauteur initiale de toutes les tiges, les tiges de moins de 1,5m, de plus de 2,5 m et entre 1,5 et 2,5 m de hauteur initiale.	100
Tableau A7.1. Résultats des régressions entre le taux de croissance en hauteur et les 4 indices de compétition calculés.	102
Tableau A7.2. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1971 et les classes de hauteur.....	102

Tableau A7.3. Contrastes de l' indice de compétition de 1971 entre les classes de hauteur.	102
Tableau A7.4. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1995 et les classes de hauteur.....	102
Tableau A7.5. Contrastes de l'indice de compétition de 1995 entre les classes de hauteur.	103
Tableau A7.6. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1971 et 1995 des tiges de la classe de hauteur supprimée 1.....	103
Tableau A7.7. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1971 des tiges de la classe intermédiaire et l'indice de compétition de 1995 des tiges de la classe de hauteur dominante.....	103

**CHAPITRE I
INTRODUCTION**

Les feux sont reconnus comme étant un élément important dans le fonctionnement des écosystèmes forestiers boréaux (Cogbill, 1985). Ils sont responsables de la naissance ainsi que de la destruction de beaucoup de pessières à épinettes noires (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) (Heinselman, 1981; Gagnon, 1989; LeBarron, 1939). Par contre, depuis le début du siècle, la récolte des forêts d'épinettes noires a sensiblement modifié la dynamique naturelle des peuplements, en remplaçant le feu par la coupe comme principal agent de perturbation.

Depuis l'époque de la mécanisation des coupes forestières, au début des années 60, la grande majorité des peuplements mûrs d'épinettes noires au Québec était récoltée par la coupe à blanc (Ruel, 1988). Cette méthode traditionnelle de coupe détruisait une grande partie de la régénération d'épinettes noires préétablie sous le couvert dominant (Frisque *et al.*, 1978).

Avec l'arrivée de la nouvelle Stratégie de protection des forêts du Québec en 1986, les compagnies forestières ont dû remplacer la coupe à blanc conventionnelle par la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) pour assurer le renouvellement des forêts québécoises (Anonyme, 1991). Il s'agit d'une méthode de coupe où l'ensemble des tiges du peuplement mûr est récolté par un abattage directionnel des arbres. Cette méthode limite la circulation de la machinerie sur les parterres de coupe afin de protéger la régénération naturelle (l'ensemble des arbres qui constitueront le prochain peuplement, soit les arbres de diamètre inférieur à 10 cm).

Les peuplements issus de coupes forestières diffèrent des peuplements issus de feux. Ces derniers sont établis à partir des graines, alors que les peuplements issus de coupe sont établis à partir de la régénération naturelle préétablie sous le couvert dominant, principalement composée de marcottes et de semis de la première cohorte (Lussier, 1996). Les peuplements issus de feux ont une structure d'âge équiennne, puisque tous les semis s'installent de 3 à 5 ans après le passage du feu (Saint-Pierre *et al.*, 1992). Pour ce qui est des peuplements issus de coupe, ils ont une structure d'âge inéquiennne, du type exponentiel négatif (Morin et Gagnon, 1991). Également, les populations issues

de coupe ont un avantage significatif sur les populations issues de graines en raison de la hauteur et du diamètre déjà plus élevés des marcottes au moment de la coupe (Morin et Gagnon, 1992; Pothier *et al.*, 1995). Cette régénération préétablie, à condition qu'elle réagisse bien à la libération de la compétition exercée par le couvert forestier, pourrait réduire la longueur de la prochaine révolution (Ferguson et Adams, 1980) et diminuer les besoins en régénération artificielle (Groot et Mattice, 1995; Groot et Arnup, 1995).

Comme ce type de régénération constituera la majorité des futurs peuplements d'épinettes noires dans la zone boréale, il est important d'étudier sa structure d'âge, de hauteur et de diamètre, ainsi que son potentiel de croissance. Le premier objectif de cette étude est de reconstituer de façon exhaustive le patron de croissance juvénile en hauteur, en diamètre et en volume des épinettes noires provenant d'un peuplement pur issu de coupe d'une vingtaine d'années. Dans un second temps, cette étude veut établir un modèle de croissance pour les vingt premières années suivant la coupe à blanc, et finalement, d'établir des indices biologiques de compétition intraspécifique des épinettes noires entre les différentes classes de hauteur. La méthodologie choisie pour répondre à ces objectifs diffère de la méthodologie habituellement utilisée lors de ce genre d'études (Boily et Doucet, 1991, 1993; Lussier, 1996; Morin et Gagnon, 1992). L'étude s'est faite en étudiant non seulement les croissances moyennes des tiges du peuplement comme c'est généralement le cas, mais également au niveau de chacune des tiges. De plus, une cartographie de toutes les tiges a été élaborée afin de suivre l'évolution de l'établissement des tiges du peuplement. La prise des sections utilisées lors de l'analyse de tige se fait à des intervalles de mesure beaucoup plus petits que d'habitude, afin d'obtenir le plus de détails possible concernant la croissance des tiges. Les hypothèses de base sont les suivantes: 1) la majorité de la régénération dans un peuplement pur d'épinettes noires est présente avant la coupe; 2) le niveau de compétition intraspécifique influence directement le taux de croissance des épinettes noires issues de coupe.

CHAPITRE II
REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1. La régénération préétablie dans les peuplements d'épinette noire

Les peuplements d'épinette noire récoltés dans la zone boréale possèdent généralement une abondante régénération naturelle préétablie (Bellefeuille, 1935; Doucet, 1985, 1990; Frisque *et al.*, 1978; Groot, 1984; Groot et Mattice, 1995; Morin et Gagnon, 1991, 1992; Ruel, 1988, 1989) c'est-à-dire un ensemble des tiges installées graduellement en sous-étage, jusqu'au moment de la récolte du peuplement ou d'une perturbation naturelle (Paquin et Doucet, 1992a). La densité de cette régénération naturelle préétablie d'épinettes noires est suffisante pour assurer la régénération adéquate des peuplements dans de nombreux secteurs, de son aire de distribution (Doucet et Boily, 1986; Frisque *et al.*, 1978; Groot, 1984). Une étude récente, conduite dans plus de 200 peuplements mûrs d'épinettes noires du Québec (Doucet, 1988) a démontré que plus de 70% de ces superficies étaient adéquatement régénérées avant coupe (coefficient de distribution >75% sur la base de 4m²). Donc, dans plusieurs secteurs, ces forêts ont le potentiel de se renouveler sans traitements sylvicoles additionnels.

2.2. Le marcottage chez l'épinette noire

Après le passage du feu, l'épinette noire s'établit en abondance au moyen de semences (Viereck et Johnson, 1990), mais autrement, la reproduction naturelle se fait principalement par marcottage (Cauboue et Tremblay, 1992; Doucet et Boily, 1987). Le marcottage, processus par lequel une branche vivante entre en contact avec le sol et s'y enracine, est un phénomène connu depuis longtemps (Cooper, 1911). Le marcottage de l'épinette noire est présent dans toute l'aire de distribution de cette espèce (Doucet et Boily, 1987; Stanek 1961). Les marcottes sont abondantes dans les peuplements ouverts (Fuller, 1913; Robinson 1974; Vincent, 1965), par contre, elles sont plus rares dans des peuplements denses (Van Nostrand 1971). Le marcottage se retrouve aussi bien sur station humide (Groot, 1984; Richardson, 1981; Stanek, 1961) que sur station sèche (Bellefeuille, 1935; Frisque *et al.*, 1978; LeBarron, 1948). La régénération préétablie d'épinettes noires est majoritairement composée de marcottes

(Doucet, 1985, 1988, 1995; Fowells, 1965; Ruel, 1988; 1989). Les marcottes peuvent représenter plus de 80% de cette régénération préétablie (Frisque et Vézina 1977; Groot 1984). L'étude de Doucet (1988) a permis de confirmer que 97% de la régénération dans un peuplement issu d'une coupe d'une vingtaine d'années provenait du marcottage. Selon Robinson (1974), certains peuplements seraient entièrement issus de marcottes.

2.3. La croissance des marcottes

Le potentiel de croissance des marcottes d'épinette noire est loin de faire l'unanimité. Plusieurs auteurs leur accordent beaucoup de valeur (Schoenicke et Schneider, 1954) et le potentiel d'atteindre des tailles importantes (LeBarron, 1948; Robinson, 1974; Stanek, 1961, 1968), alors que d'autres ne leur accordent que très peu de potentiel (Jarvis et Cayford, 1961; Johnston, 1971; Roy 1940).

Afin de faire la lumière sur cette ambiguïté, plusieurs études récentes ont comparé la croissance en hauteur des marcottes à celle des semis. Doucet et Boily (1986) ont étudié deux secteurs de coupe de 8 et 11 ans et ont démontré qu'une dizaine d'années après la coupe, les semis et les marcottes avaient un développement similaire. D'autres auteurs ont fait les mêmes observations pour des peuplements plus âgés (Doucet et Boily, 1988a; Frisque et Vézina, 1977; Lussier, 1991; Lussier *et al.*, 1992; Morin et Gagnon, 1991; Stanek, 1968). Le rendement à maturité de ce mode de reproduction a également été étudié. Morin et Gagnon (1992) ont démontré que les peuplements de seconde-venue ont le potentiel de produire des forêts exploitables, comparables aux tables de rendement disponibles pour l'épinette noire, à condition que le nombre de tiges à l'hectare soit adéquat. Des résultats semblables ont également été notés par Doucet, (1990), Horton et Groot (1987) et Paquin et Doucet, (1992a) (1992b).

2.4. Reprise de croissance après coupe

La majorité des tiges sous couvert réagissent à l'élimination du couvert arborescent par une augmentation importante de la croissance en hauteur. Les études réalisées dans des coupes âgées (quarante ans et plus) montrent une

reprise de croissance immédiatement après la coupe (Doucet, 1990; Morin et Gagnon, 1991; Paquin et Doucet, 1992a). Toutefois, lorsque des études semblables sont réalisées dans des coupes plus jeunes, les résultats diffèrent. Dans certains cas, il y a reprise de croissance immédiatement après la coupe (Doucet et Boily, 1995) ou au cours des 5 à 10 années qui suivent (Boily et Doucet, 1991, 1993; Doucet et Boily, 1986, 1988b). Cette croissance en hauteur de la régénération préétablie d'épinettes noires peut se poursuivre sur une longue période après l'ouverture du milieu (Morin et Gagnon, 1991; Paquin et Doucet, 1992b). Une augmentation de la croissance en diamètre (Crossley, 1976; Morin et Gagnon, 1992) et en volume après la coupe ont également été observées.

En dépit d'une reprise de croissance plus vigoureuse des petites tiges dans les quelques années qui suivent la coupe (Doucet, 1990; Horton et Groot 1987, Paquin et Doucet, 1992a; Pothier *et al.*, 1993.; Ruel *et al.*, 1991), les tiges de plus fortes dimensions seront celles qui domineront le peuplement à maturité (Doucet, 1990; Lussier *et al.*, 1992; Morin, 1988; Pothier *et al.*, 1995). Plusieurs études ont noté qu'une tendance similaire était également rapportée pour la contribution relative au volume marchand (Morin, 1988; Morin et Gagnon, 1991; Paquin et Doucet 1992b; Pothier *et al.*, 1993.)

La croissance en hauteur des épinettes issues de coupe est davantage liée à leur hauteur initiale (hauteur au moment de la coupe) qu'à leur "âge chronologique" (âge déterminé par le décompte des cernes annuels de croissance) (Boily et Doucet, 1993; Doucet, 1990; Lussier *et al.*, 1992; Paquin et Doucet, 1992a, 1992b; Pothier *et al.*, 1995). Cependant, la hauteur que peuvent atteindre les épinettes dépend non seulement de leur hauteur au moment de la coupe, mais aussi de "l'âge physiologique" des tiges (âge correspondant au stade de développement des tiges) (Pothier *et al.*, 1993.).

2.5. Compétition intraspécifique

Dans les peuplements d'épinettes noires, la régénération préétablie laissée sur le parterre de coupe présente une grande variabilité de tailles des

tiges (Boily et Doucet, 1993; Paquin et Doucet, 1992b). Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces différences de taille: 1) des différences d'âge, 2) des différences génétiques, 3) l'hétérogénéité des conditions environnementales, 4) l'effet des herbivores, parasites et pathogènes et 5) la compétition (Tomé et Buckhart, 1989; Weiner et Thomas, 1986). Selon Doucet (1990) et Paquin et Doucet (1992a), la structure de hauteur de la régénération préétablie peut créer des conditions de compétition suffisamment intense après coupe pour limiter la croissance des petites tiges ou de celles qui pourraient s'installer par la suite.

La compétition intraspécifique serait donc un élément important dans la croissance des épinettes noires issues de coupe. Plusieurs auteurs caractérisent cette compétition en utilisant les termes symétrique et asymétrique (Brand et Magnussen, 1988). La compétition symétrique fait référence à une situation de consommation des ressources proportionnellement à la taille de l'individu (<<resource-depletion>>), c'est-à-dire que les individus de plus grande taille exploitent davantage les ressources que les individus de plus petite taille. La compétition symétrique a généralement lieu lorsque les minéraux et l'eau constituent les facteurs limitants. Par contre, lorsque la lumière est le principal facteur limitant, on parle de compétition asymétrique, où les individus de grande taille exploitent les ressources de façon excessive par rapport à leur taille relative, donc au détriment des individus de petite taille. Ce type de compétition est principalement associé aux peuplements bi-étagés dans lesquels on retrouve une classe d'arbres dominante et une classe supprimée (Ford, 1975; Newton, 1990; Weiner et Thomas, 1986).

En général on retrouve, dans la littérature, deux types d'indices de compétition: les indices dépendants ou indépendants de la distance entre les arbres (Bigging et Dobbertin, 1992). Les indices de compétition indépendants de la distance incluent la liste et les dimensions des arbres, ainsi que des variables caractéristiques du peuplement sans égard à la disposition des arbres. Ces modèles sont généralement efficaces et simples, puisque les données nécessaires à leur élaboration sont disponibles dans les inventaires forestiers. Les modèles dépendants de la distance prédisent la croissance des arbres en fonction de leur environnement immédiat en faisant intervenir la distance des

arbres voisins et leurs caractéristiques (Tomé et Buckhart, 1989). Les études traitant de la comparaison des deux types d'indices (indépendants et dépendants de la distance) ont révélé qu'il n'y avait pas de grandes différences entre les résultats d'analyse obtenus pour chacun des deux types (Daniels 1976, Daniels *et al.*, 1986; Martin et Ek, 1984).

2.6. Épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Les épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) représentent un phénomène cyclique faisant partie intégrante de la dynamique de la forêt boréale (Baskerville, 1975; Morin et Laprise, 1990). Les deux hôtes principaux de la TBE sont le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss.) (Blais, 1965; Maclean, 1984). Plusieurs auteurs, dont Baskerville (1975) et Blais (1983) affirment que des vastes peuplements de sapins matures sont un pré-requis aux invasions par la TBE. Pourtant, des études ont démontrées que des peuplements d'épinettes noires purs peuvent subir des réductions de croissance importante suite à la défoliation par la TBE (Basham, 1994; Blais, 1957; 1962; Hatcher, 1964; Lussier, 1996; Miller et Rusnock, 1993; Krause et Morin, 1997, en prép.; Raske et Sutton, 1986). Une étude (Basham, 1994) réalisée en Ontario estime les pertes liées à la dernière épidémie (1967-1987) à 11 438 000 m³ dans les forêts d'épinettes noires; environ 70% des pertes sont dues à la mortalité et le reste à la diminution de croissance. Cependant, aucune étude n'a été retrouvée permettant de constater l'effet de la défoliation par la TBE sur la dynamique de la croissance des épinettes noires de petites tailles.

CHAPITRE III
AIRE D'ÉTUDE

3.1. Localisation et description de l'aire d'étude

Le site d'échantillonnage se situe à environ 70 kilomètres au nord de Chicoutimi (figure 3.1), près de la baie de la Boiteuse, entre les ZEC du lac de la Boiteuse et Onatchiway. Le site se situe plus précisément à moins d'un kilomètre de l'entrée de la ZEC du lac de la Boiteuse (48,59'8"N et -71,09',49"O). Cette région a fait l'objet de récoltes forestières par la compagnie forestière Abitibi-Price à la fin des années 70.

Le site étudié se situe dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc, dans la région écologique des Basses Laurentides (Rivière Métabetchouan, région 8e) (Thibault, 1987) et dans la région B.1a Laurentides-Onatchiway (Rowe, 1972). Ce site est caractérisé par un sol de type podzol humo-ferrugineux sur un dépôt de type fluvio-glaciaire. Le climat régional est un climat subpolaire subhumide continental (Proulx *et al.*, 1987). La température moyenne annuelle est autour de 2,2°C (Station Hémon 49° latitude et 72° longitude) (Rowe 1972). La moyenne mensuelle du mois de janvier est de -18,7°C et de 16,6°C pour le mois de juillet. Les précipitations annuelles sont abondantes entre les mois de mai et septembre, avec 497,3 mm de pluie. La moyenne annuelle de précipitations est de 861,4 mm, soit 204,4 mm sous forme de neige et 657 mm de pluie (Anonyme, 1993).

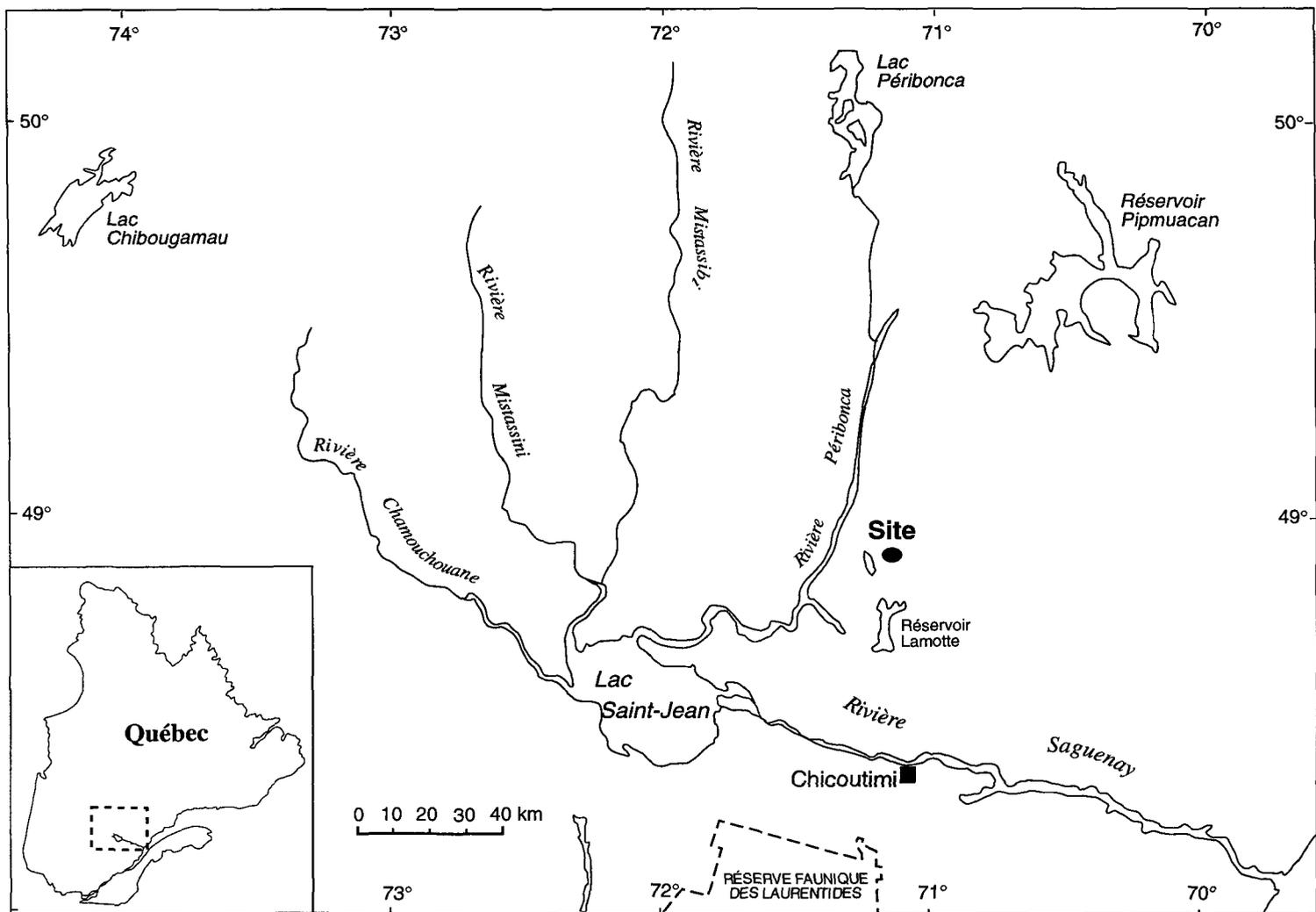


Figure 3.1. Localisation du site d'étude.

CHAPITRE IV
MATÉRIEL ET MÉTHODES

4.1. Sélection du site

Une recherche préliminaire d'aires potentielles d'études a été effectuée par le biais des informations cartographiques de la compagnie forestière Abitibi-Price, dans des secteurs de coupes d'une vingtaine d'années dans la région d'Onatchiway. La recherche préliminaire s'est effectuée dans la région d'Onatchiway où les cartes forestière du ministère des Ressources naturelles signalaient la présence de peuplement d'épinettes noires issues de coupes récentes dans cette région. Le peuplement recherché devait être constitué uniquement d'épinettes noires et devait être issu d'une coupe forestière datant d'environ une vingtaine d'années. Également, le peuplement devait avoir une classe de drainage moyenne et présenter une régénération naturelle abondante. Depuis la coupe, le peuplement sélectionné devait avoir été exempt de toute perturbation naturelle (feu, chablis) ou artificielle (intervention sylvicole) (figure 4.1).

4.2. Reconnaissance générale du site et datation de la coupe forestière

Le site d'étude a fait l'objet d'une reconnaissance générale à l'automne 1995. La présence de vieilles souches tronçonnées retrouvées sur le sol forestier confirmait une coupe forestière passée. Le principal but de cette étude préliminaire était de vérifier l'état actuel de la régénération, soit la quantité et la distribution spatiale, ainsi que la date de la coupe forestière. Celle-ci a été déterminée à l'aide de cartes forestières provenant du Ministère des Ressources naturelles, des cicatrices sur des arbres provenant des opérations forestières, ainsi qu'à partir de l'accélération de la croissance radiale des tiges libérée de l'oppression du couvert principal. Ces cicatrices se retrouvent sur des arbres résiduels non abattus lors de la coupe forestière. Quelques arbres ayant une cicatrice de coupe ont été abattus et transportés en entier au laboratoire, où quelques sections transversales ont été coupées et finement poncées. Par la suite, la date exacte de la coupe fut déterminée par le décompte des cernes de croissance annuelle, allant de l'écorce à la blessure laissée par la coupe.



Figure 4.1. Peuplement choisi pour l'étude.

4.3. Échantillonnage

4.3.1. La strate arborescente

L'échantillonnage a été effectué de la mi-octobre au début novembre 1995. À l'intérieur du site et de manière représentative du peuplement, un quadrat de 10X10m (100 m²) a été délimité. Le site était composé de deux parties: une première où la densité des arbres était élevée et une seconde moins dense, qui était probablement un ancien chemin de coupe utilisé lors de l'abattage des arbres. Le quadrat a été mis en place afin de bien représenter ces deux parties. Un système de cartographie a ensuite été élaboré à l'intérieur du quadrat. Celui-ci a été subdivisé en 25 sous-quadrats de 2X2 m (4 m²) afin de faciliter la cartographie des arbres (figure 4.2)

Une fois le système de sous-quadrats mis en place, l'échantillonnage des arbres a débuté. Chaque arbre enraciné, marcottes ou semis, a été numéroté et cartographié. La cartographie a été faite de façon à attribuer, à chaque arbre, des coordonnées (X, Y). Un numéro et une lettre ont aussi été assignés à chaque sous-quadrat (A1 à E5). Ensuite, la hauteur (à partir du niveau du sol), la hiérarchie (supprimé, intermédiaire, dominant) ainsi que les diamètres à la base (niveau du sol) et à la hauteur de poitrine (1,30 m) ont été notés pour chaque arbre retrouvé dans le quadrat. Le diamètre des 5 plus importantes racines le plus près du niveau du sol a également été mesuré. Pour terminer, l'étude de la longueur et de la qualité de la cime a été réalisée. Cinq classes de qualité de la cime ont été établies pour étudier ce paramètre (figure 4.3).

Le diamètre à la base de 17 anciennes souches de la coupe de 1971 retrouvées dans le quadrat a été mesuré. La cartographie de ces souches a également été réalisée. De plus, 18 arbres et 4 souches situés à l'extérieur du quadrat (près du périmètre), mais qui pouvaient avoir un effet possible de compétition sur la croissance des arbres situés dans le quadrat, ont également été mesurés. Six cent quatre-vingt-cinq (685) tiges ont été échantillonnées et 667 ont été rapportées en entier ou en sections au laboratoire afin d'effectuer l'analyse de tige.



Figure 4.2. Photographie illustrant les sous-quadrats d'échantillonnage du peuplement.

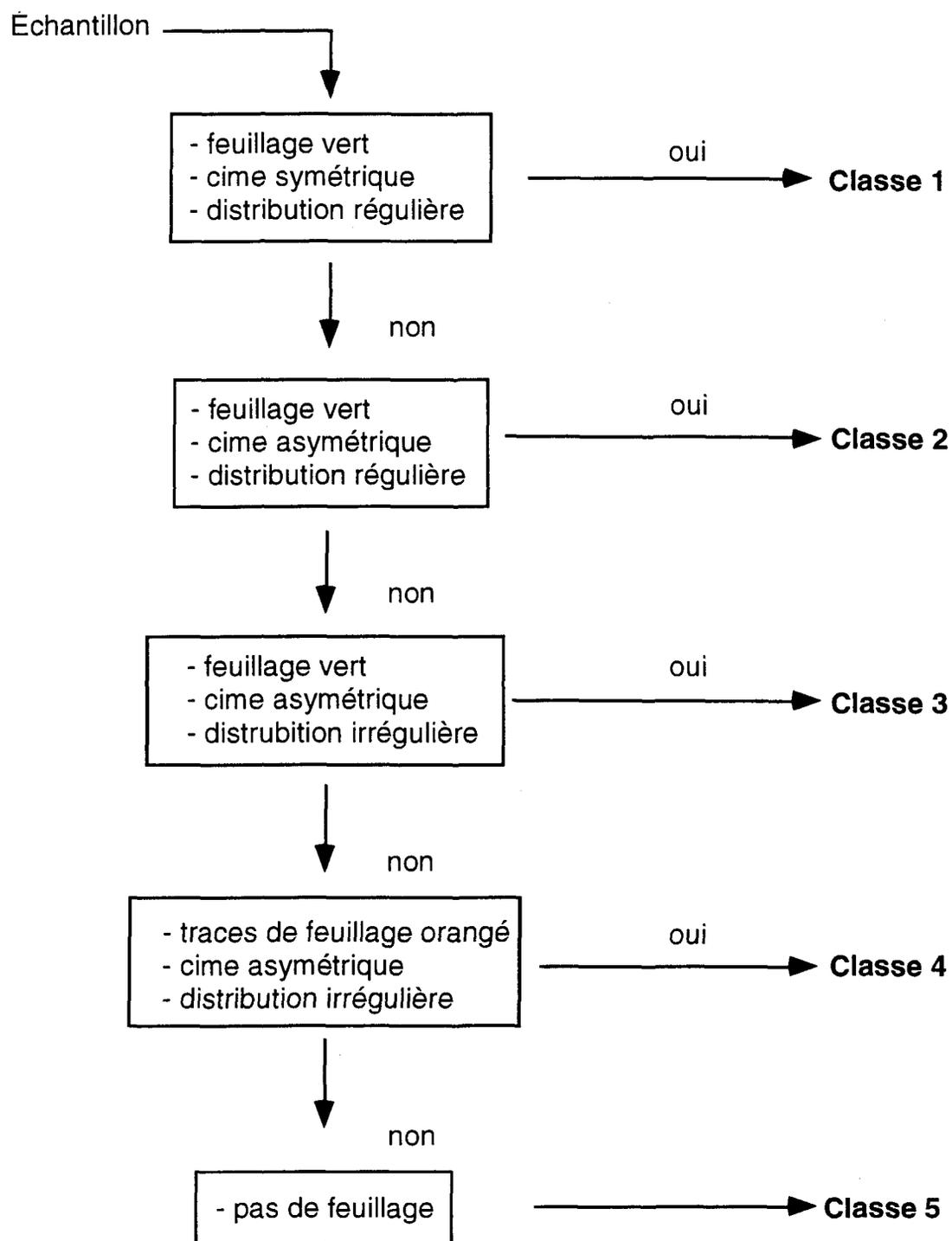


Figure 4.3. Critères de sélection des classes de qualité de la cime des épinettes.

4.3.2. La strate herbacée, les mousses et le sol forestier

Toutes les espèces de mousses et de lichens ainsi que toutes les plantes herbacées retrouvées à l'intérieur du quadrat ont été identifiées. Un pèdon a été creusé à l'intérieur du quadrat afin de vérifier le drainage, le type de sol, le dépôt et de mesurer l'épaisseur de chaque horizon du sol.

4.3.3. La cartographie informatisée

Dans un premier temps, les coordonnées du point d'échantillonnage ont été ajoutées aux coordonnées de chaque arbres dans le logiciel MicroSoft Excel 4.0 et 5.0 puis, cette nouvelle base de données a été transférée dans le logiciel MapInfo™ 4.1. Par la suite, chaque sous-quadrat a été représenté par des polygones constituant le quadrat d'échantillonnage. Chaque arbre cartographié a par la suite été placé à l'intérieur du quadrillage à l'aide de points. À partir de cet espace de travail, plusieurs paramètres (hauteur, diamètre, espacement entre les tiges...) ont été traités individuellement ou en groupe pour mettre en évidence les aspects les plus susceptibles de démontrer l'effet de la compétition intraspécifique.

4.4. Analyse de tige

4.4.1. Épinettes mesurant 65 cm et moins de hauteur.

L'âge des épinettes a été déterminé par le décompte des cicatrices du bourgeon terminal jusqu'au niveau du sol. Au total, 362 tiges de moins de 65 cm de hauteur ont été échantillonnées et 331 d'entre elles ont été mesurées. Trente et une tiges n'ont pas été mesurées parce que leur pousse terminale ont été brisées lors du transport ou elles ont tout simplement été perdues lors du transport. Tout d'abord, les tiges ont été nettoyées à l'aide d'une brosse pour en dégager les débris et ainsi faciliter la localisation des cicatrices. Ensuite, toutes les cicatrices ont été dénombrées à partir de l'apex jusqu'au niveau du sol, dans le but de déterminer l'âge au niveau du sol des tiges. De plus, pour connaître précisément la croissance en hauteur de ces tiges, les distances entre les

cicatrices ont été mesurées à l'aide d'une règle, sous la loupe binoculaire à grossissement minimal de 4x.

4.4.2. Épinettes mesurant plus de 66 cm de hauteur.

Les tiges de 66 cm et plus ont été divisées en quatre classes, selon leur hauteur. La classe n°1 représente les tiges dont la hauteur varie entre 66 et 100 cm et la classe n°2 regroupe les tiges de 101 à 400 cm de hauteur. La troisième classe, celle qui comprend les tiges de 401 à 600 cm, représente la classe des arbres intermédiaires alors que la dernière classe, regroupant les tiges de 601 cm et plus, constitue la classe des arbres dominants. Dans chacune des classes, 10 tiges, soit 40 sur 305, ont été choisies pour en faire l'analyse de tige. Les méthodes utilisées sont celle du décompte des cernes annuels et de l'interdatation. Une section transversale a été prise au niveau du sol, ainsi qu'à chaque 20 cm, jusqu'à l'apex. Toutes les mesures de croissance en hauteur, en diamètre et en volume ont été effectuées à l'aide des logiciels WinDendro™ 6.0.4, MacTrim™ (Régent Instruments Inc.) et l'interdatation s'est fait sur les logiciels WingZ 1.1 (Régent Instruments Inc.) et SAS 6.03 (SAS Institute Inc., 1988). L'estimation des hauteurs, lors de l'interdatation, s'est fait suivant la méthode de Carmean (Dyer et Robert, 1987).

Dix-huit tiges additionnelles ont été choisies aléatoirement parmi les classes de hauteur intermédiaire et supprimée 1 afin d'y faire le décompte des cernes pour y déterminer l'âge au niveau du sol et la hauteur au moment de la coupe dans le but de les incorporer au calcul des indices de compétition.

4.5. Indices de compétition

Un indice de compétition a été choisi pour calculer l'effet de la compétition entre les différentes classes de hauteur des épinettes noires. On retrouve peu d'indices simples de compétition adaptés aux caractéristiques des épinettes noires, matures ou immatures dans la littérature; il a donc fallu adapter les indices déjà existants. L'indice utilisé dans cette étude est l'indice de distance de Hegyi (1974) (<<size-ratio distance-dependent index>>). Cet indice a été créé

pour mesurer l'effet de la compétition intraspécifique dans les peuplements de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.).

L'indice de compétition en diamètre (<<DCI, diameter-distance competition index>>) de Hegyi (1974) est présenté ci-dessous,

$$ICD = \sum^n \{(D_i / D_j) / DIST_{i-j}\},$$

- où ICD est l'indice de compétition de l'arbre sujet;
 D_i est le diamètre à la hauteur de poitrine de l'arbre compétiteur;
 D_j est le diamètre à la hauteur de poitrine de l'arbre sujet;
 $DIST_{i-j}$ est la distance entre l'arbre compétiteur et l'arbre sujet;
 n est le nombre de compétiteurs dans un cercle à rayon fixe.

Cet indice a été modifié plusieurs fois afin de répondre aux buts de cette étude. La première modification a consisté à remplacer le diamètre à la hauteur de poitrine par le diamètre à la hauteur de souche, puisqu'un grand nombre des tiges de l'étude ont une hauteur inférieure à 1,3 m. Une deuxième modification apportée à l'indice est d'incorporer une variable de hauteur dans le modèle afin de mesurer l'effet de la compétition entre les différentes classes de hauteur. Alors, la première version de l'indice de Hegyi utilisée dans cette étude est:

$$IC^* = \sum^n \{[(D_i / D_j) + (H_i / H_j)] / DIST_{i-j}\},$$

- où IC^* est l'indice de compétition modifié de Hegyi de l'arbre sujet;
 D_i est le diamètre à la hauteur de souche de l'arbre compétiteur;
 D_j est le diamètre à la hauteur de souche de l'arbre sujet;
 H_i est la hauteur finale de l'arbre compétiteur;
 H_j est la hauteur finale de l'arbre sujet;
 $DIST_{i-j}$ est la distance entre l'arbre compétiteur et l'arbre sujet;
 n est le nombre de compétiteurs dans le cercle dont le rayon est fixé à 2 m.

Un rayon de 2 m a été sélectionné puisqu'il s'agit d'un peuplement immature et qu'un rayon de 2 m respecte les normes de plantation pour cette

espèce. L'utilisation d'un rayon de cette dimension est retrouvé dans la littérature (Lieffers, 1986; Weiner, 1984).

Une autre modification de l'indice de Hegyi a été réalisée par Lorimer (1983) afin de valider l'effet de la proximité des arbres compétiteurs et de l'arbre sujet. Lorimer (1983) a donc créé une version de l'indice de Hegyi ne prenant pas compte de l'effet de la distance entre les arbres.

$ICDia = \sum^n (D_j / D_i)$ (avec un rayon fixe de 3,50 m multiplié par la moyenne des rayons de la cime des arbres dominants).

où $ICDia$ est l'indice de compétition de diamètre de l'arbre sujet.

Dans la formule, les diamètres sont mesurés à la hauteur de poitrine, mais encore une fois, ils sont remplacés par les diamètres à la hauteur de souche. Puisque la mesure de diamètre des cimes n'a pas été faite lors de l'échantillonnage, le rayon du cercle de compétition est demeuré fixe à 2 m. Une quatrième modification a été réalisée pour étudier l'effet de la hauteur avec le même rayon;

$ICH = \sum^n (H_j / H_i)$,

où ICH est l'indice de compétition en hauteur de l'arbre sujet.

Un autre paramètre a ensuite été additionné à l'indice ICH pour vérifier l'effet de la cime dans la compétition entre les classes de hauteur;

$ICHC = \sum^n \{(H_j / H_i) + (C_j / C_i)\}$

où $ICHC$ est l'indice de compétition de houppier de l'arbre sujet;
C est la longueur de la cime vivante.

Dans la littérature, il est question de plusieurs autres indices plus récents et plus complexes, mais l'indice choisi devait être simple et efficace, être

applicable sur le terrain et tenir compte des paramètres mesurés lors de l'échantillonnage. Lorimer (1983) affirme que l'indice de Hegyi est simple, pratique et explique les variations de croissance aussi précisément que d'autres indices (Daniels *et al.*, 1986; Tomé et Buckhart, 1989).

Donc, les quatre indices qui ont été calculés sont:

1) l'indice modifié de Hegyi, $IC^* = \sum^n \left[\left\{ \left(\frac{D_i}{D_j} \right) + \left(\frac{H_i}{H_j} \right) \right\} / \text{Dist}_{j-i} \right]$,

2) l'indice de diamètre, $IC_{Dia} = \sum^n (D_j / D_i)$,

3) l'indice de hauteur, $ICH = \sum^n (H_j / H_i)$,

4) l'indice de houppier, $ICHC = \sum^n \left\{ \left(\frac{H_j}{H_i} \right) + \left(\frac{C_j}{C_i} \right) \right\}$, tous avec un rayon de 2 m.

4.6. Analyses statistiques

Afin de déterminer quel indice de compétition était le mieux corrélé à la croissance en hauteur, les résultats des calculs des quatre indices ont été ramenés à une forme linéaire afin de réaliser des régressions linéaires simples entre chaque indice de compétition et la hauteur finale.

Afin de comparer les courbes de croissance en hauteur, en diamètre et en volume, une analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées (Seber, 1984) a été effectuée sur le logiciel Systat™ 5.2 (Systat Inc). Par la suite, les contrastes entre chaque moyenne ont été calculés afin de déterminer quelles étaient les moyennes qui diffèrent (Berk et Steagall, 1994). Une analyse de variance a également été utilisée pour comparer les résultats de l'indice de compétition choisi pour chaque classe de hauteur et pour établir une comparaison entre les deux années calculées soit 1971 et 1995.

CHAPITRE V RÉSULTATS

5.1. Description du peuplement et date de la coupe forestière

L'épinette noire était l'espèce arborescente dominante. Il y avait trois individus de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) ainsi que deux individus de saule (*Salix* sp.). La strate arbustive était constituée de *Ledum groenlandicum* Retz., *Kalmia angustifolia* L., *Vaccinium* sp., et de *Chiogenes hispidula* (L.) T&G., *Cornus canadensis* L. composait la strate herbacée tandis que *Pleurozium schreberi* (BSG.) Mitt., *Hylocomium splendens* (HEDW.) BSG. et des espèces de *Sphagnum* sp., *Polytricum* sp. et *Cladina* sp. dominaient la strate muscinale. Le lichen *Peltigera* sp. se retrouvait sur l'écorce de quelques épinettes. Le drainage était moyen, la pente faible (14%) et l'épaisseur de la matière organique était d'environ 10 cm. Il y avait des traces de charbon dans le sol, ce qui indique le passage de feux dans l'histoire du peuplement. Les blessures de débardage de quatre arbres laissés lors de la coupe ont été datées à l'aide du décompte des cernes annuels. Dans tous les cas, la date de la blessure correspondait à l'année 1971.

La densité totale des tiges a été estimée, en 1995, à 63 000 tiges à l'hectare. La surface terrière totale est de 17,57 m² et la surface terrière marchande est de 2,75 m². Le coefficient de distribution est de 96%. La hauteur moyenne ainsi que le diamètre et l'âge à hauteur de souche des tiges de chaque classe de hauteur sont présentés dans le tableau 5.1. La majorité des tiges (56,25%) se sont installées avant la coupe (tableau 5.1). Vingt-cinq (25) tiges atteignent une hauteur supérieure à 1,3 m en 1995, 24 de celles-ci (96%) sont d'origine préétablies. Le patron d'établissement des tiges est représenté à la figure 5.1. La densité des arbres dans chaque sous-quadrat est différente. Certaines parties du quadrat sont beaucoup plus denses que d'autres, mais de façon générale, les sous-quadrats du haut (figure 5.2) sont plus dense que ceux du bas. La distribution des tiges selon leur hauteur dans le quadrat en 1995 est présentée à la figure 5.2. Les tiges de la classe de hauteur dominante (couleur rouge) sont distribuées aléatoirement dans le quadrat, tandis que les tiges des classes de hauteur intermédiaire (couleur bleue) et supprimées (couleur verte) semblent présenter une distribution contagieuse à partir d'un arbre dominant.

Tableau 5.1. Hauteur totale, diamètre à hauteur de souche (DHS), âge au niveau du sol et pourcentage des épinettes préétablies.

Classes de hauteur			Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Âge	% de tiges préétablie
Dominante 6,1 à 11,0 m n= 10	Moyenne		8,26	15,43	71,30	100
	Écart type		1,26	3,28	15,06	
	Minimum		6,32	10,90	42,00	
	Maximum		10,42	21,6	91,00	
Intermédiaire 4,1 à 6,0 m n= 10	Moyenne		4,84	8,48	57,00	100
	Écart type		0,73	1,86	15,14	
	Minimum		4,01	6,30	31,00	
	Maximum		5,95	12,40	83,00	
Supprimée 1 1,1 à 4,0 m n= 10	Moyenne		1,93	3,12	32,50	90
	Écart type		0,91	1,85	10,83	
	Minimum		1,03	1,00	21,00	
	Maximum		3,95	6,10	57,00	
Supprimée 2 0,66 à 1,0 m n= 10	Moyenne		0,77	1,01	24,00	20
	Écart-type		0,10	0,39	9,67	
	Minimum		0,66	0,60	15,00	
	Maximum		0,98	1,90	48,00	
Supprimée 3 0,65 m et moins n= 331	Moyenne		0,41	0,46	15,70	0,04
	Écart type		0,14	0,25	3,77	
	Minimum		0,27	0,10	9,00	
	Maximum		0,62	1,00	22,00	

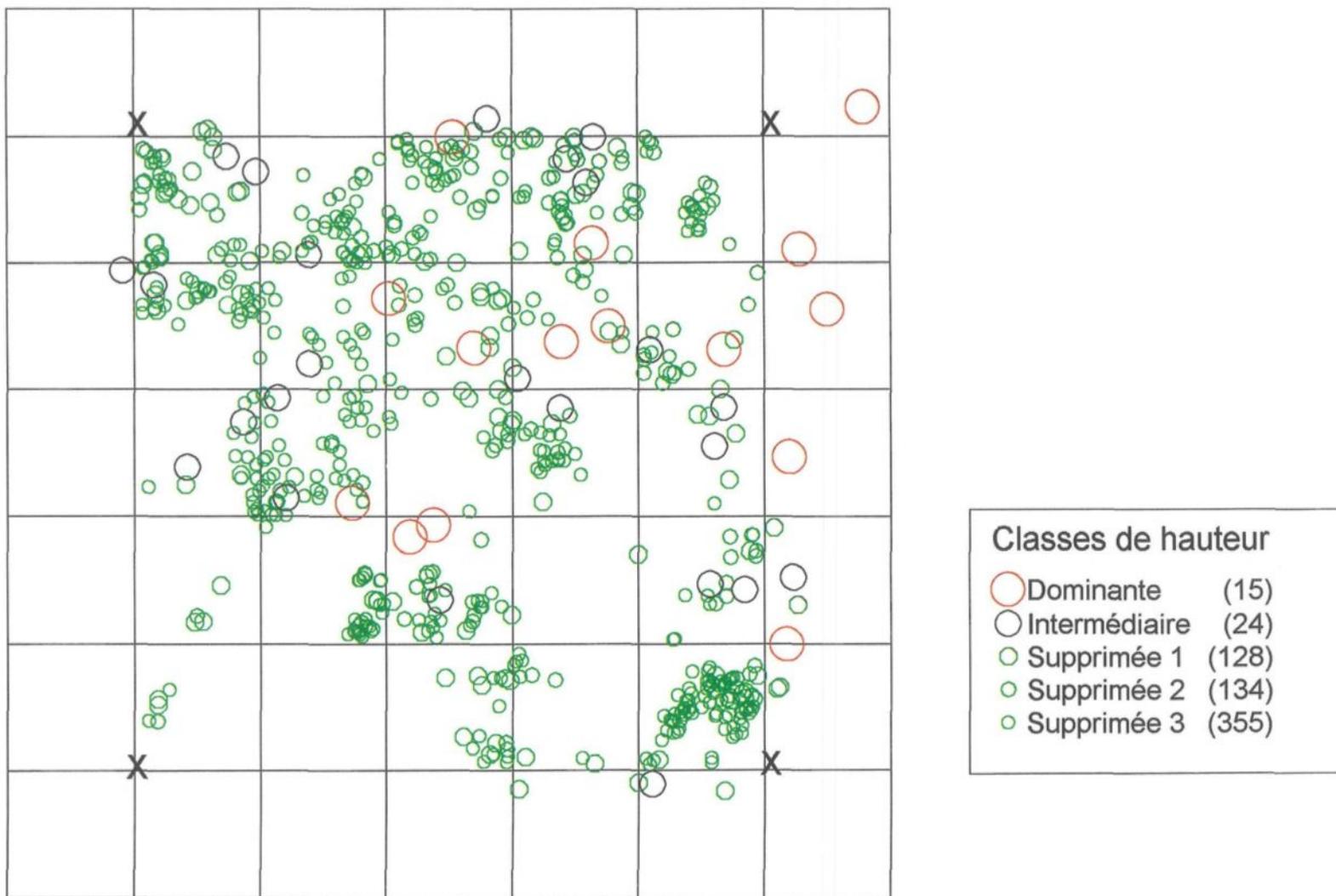


Figure 5.1. Cartographie des épinettes selon leur hauteur finale en 1995 (le quadrat (10X10 m) est délimité par les "X").

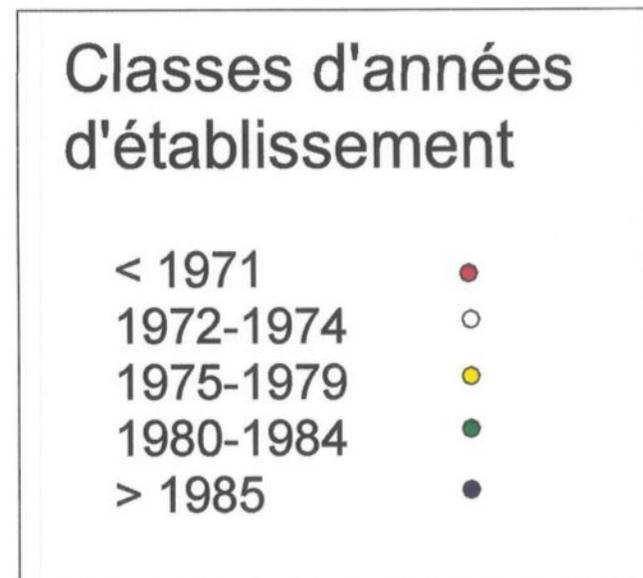
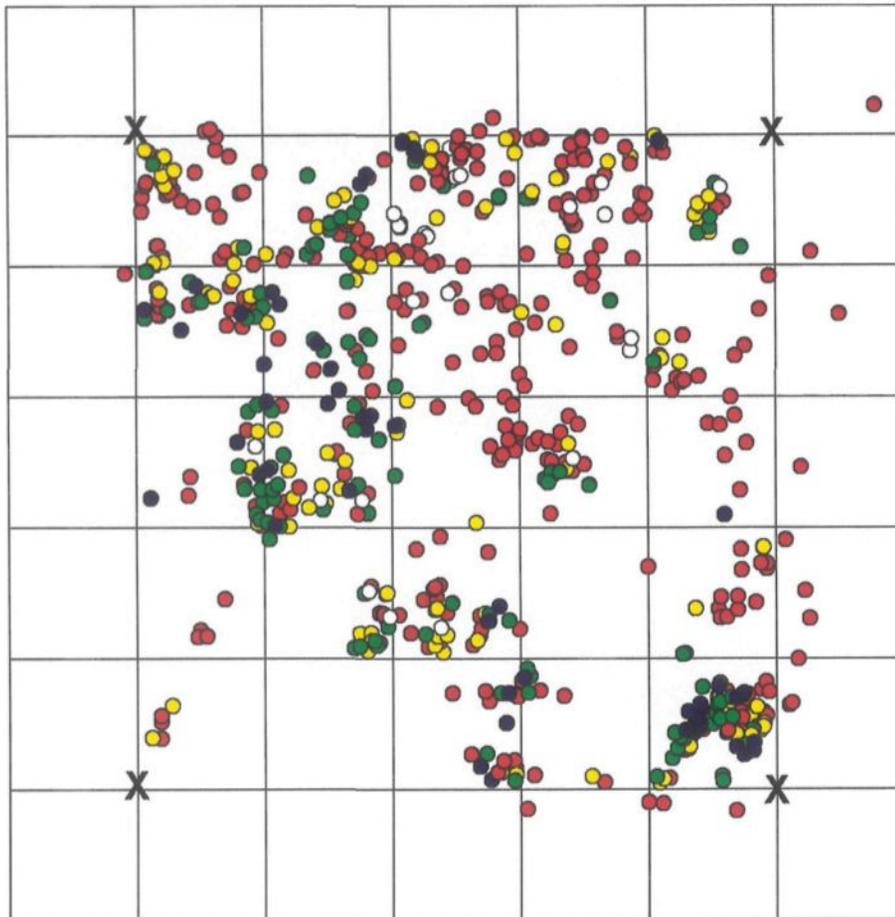


Figure 5.2. Cartographie de l'année d'établissement des épinettes (le quadrat (10X10 m) est délimité par les "X").

5.2. Structure du peuplement

5.2.1. Structure d'âge

La structure d'âge est inéquienne de type exponentiel négatif (Morin et Gagnon, 1991) (figure 5.3). Elle a été élaborée à partir du décompte des cernes au niveau du sol. La majorité des tiges se sont établies avant la coupe, avec un maximum dans les années 1961 à 1981. Il y a peu de tiges qui se sont établies dans les années 1901 à 1960. Toutefois, un grand nombre de tiges se sont établies après la coupe, surtout de 1971 à 1980.

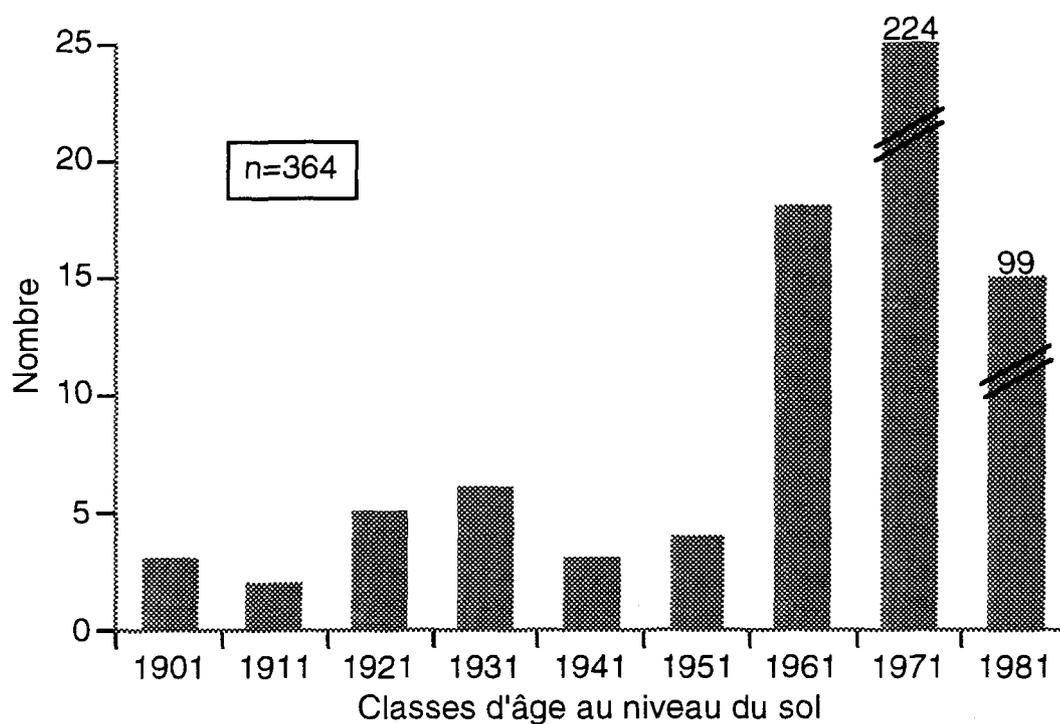


Figure 5.3. Structure d'âge de la régénération naturelle après coupe.

5.2.2. Structure de hauteur et de diamètre

La structure de hauteur finale (figure 5.4) démontre qu'il y a beaucoup (89%) de tiges de petite taille (moins de 2 mètres). Les tiges de grande taille sont peu nombreuses, plus particulièrement dans les classes de hauteur de 6-7 mètres et de 10 mètres et plus.

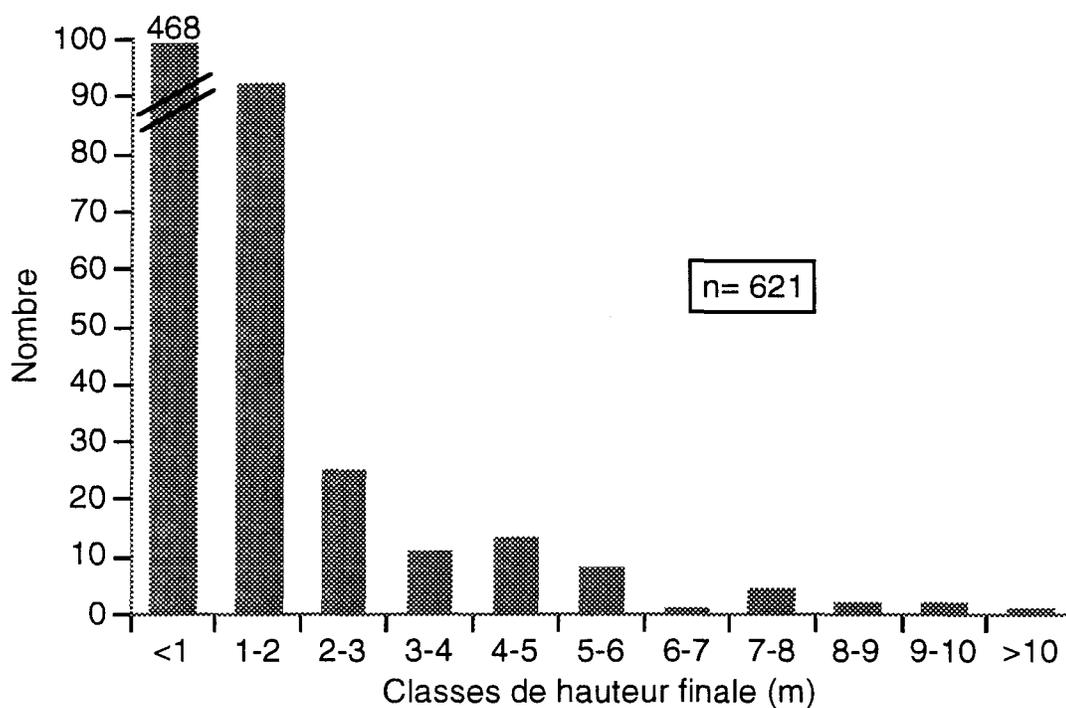


Figure 5.4. Structure de hauteur finale de la régénération naturelle.

La structure de hauteur immédiatement après la coupe (figure 5.5) démontre qu'il y avait beaucoup de tiges de petite taille. En effet, plus de la moitié (58%) sont de moins d'un mètre de hauteur au moment de la coupe. Il n'y avait pas de tiges de 3,1 à 5 mètres de hauteur après la coupe.

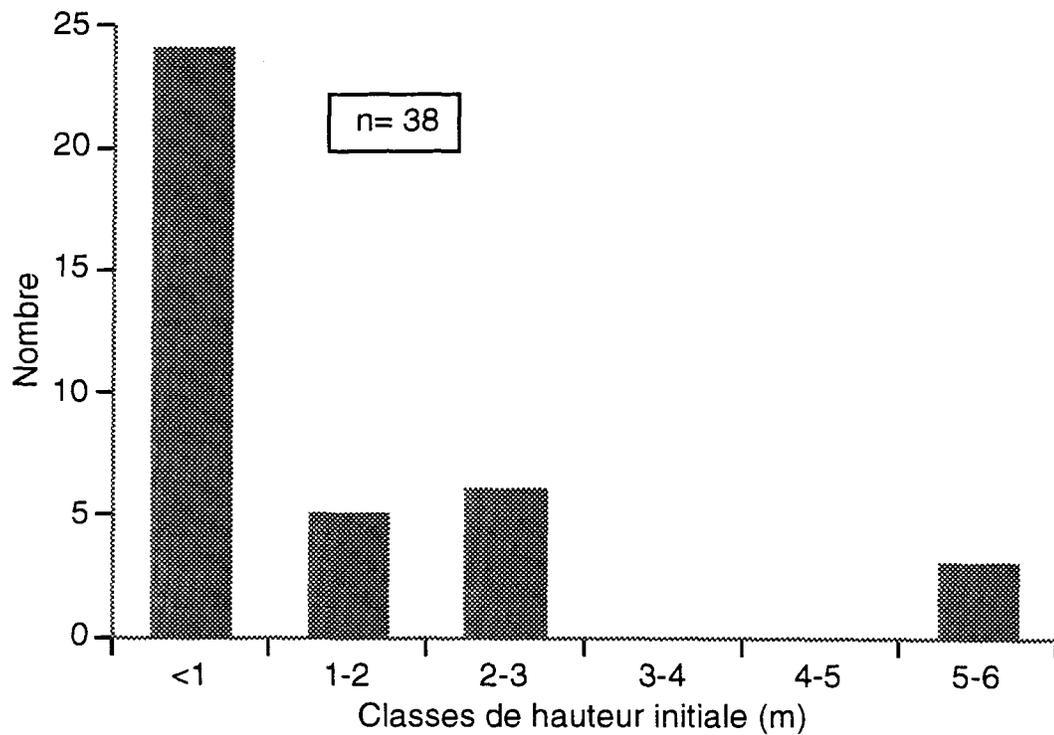


Figure 5.5. Structure de hauteur de la régénération naturelle immédiatement après la coupe (1971).

La structure diamétrale des tiges au moment de l'échantillonnage est présentée à la figure 5.6. Elle démontre que les tiges sont distribuées de façon exponentielle. La majorité (87%) des tiges ont un diamètre au niveau du sol inférieur à 3 cm. Il y a peu de tiges distribuées dans les classes de diamètre de 15 à 21 cm de diamètre.

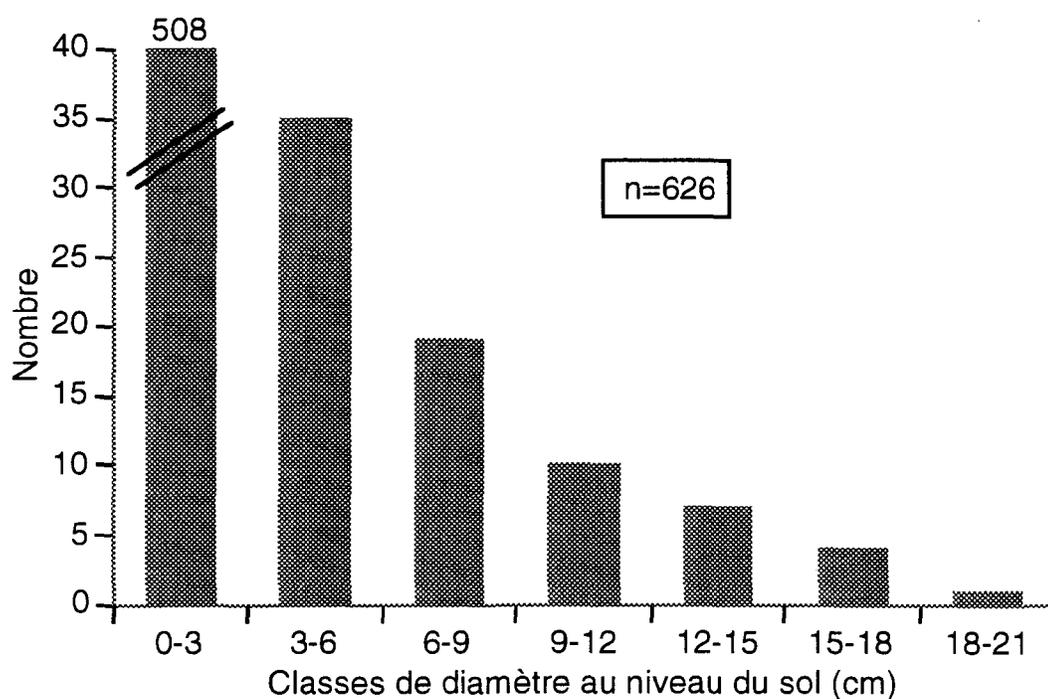


Figure 5.6. Structure diamétrale de la régénération naturelle au moment de l'échantillonnage.

5.3. Rapport existant entre la cime, le diamètre des racines et la croissance des épinettes.

Le pourcentage de cime à l'intérieur de chaque classe de qualité de la cime (classes de 1 à 5), ainsi que le pourcentage de cime vivante totale ne sont pas reliés à la hauteur ($R^2=0,011$), au diamètre à la hauteur de souche ($R^2=0,065$) ou au volume final ($R^2=0,006$) des épinettes (annexe 1). Puisqu'il n'y a aucune relation entre la cime et la hauteur et/ou le DHS des épinettes, la longueur et la qualité de la cime n'ont pas été retenues pour cette étude. Plus de détails concernant le diamètre ou la circonférence de la cime à plusieurs niveaux le long de la tige auraient pu permettre d'obtenir des relations plus conclusives.

Le diamètre des 5 plus importantes racines qui sont situées le plus près du niveau du sol est fortement relié à la hauteur finale ($R^2=0,812$) et au diamètre à la hauteur de souche ($R^2=0,842$) (annexe 1). Puisque le diamètre des racines est fortement relié aux paramètres habituellement utilisés lors de ce genre d'étude, soit la hauteur finale et le diamètre (DHS), seul ces derniers paramètres ont été retenus. Afin d'obtenir des résultats plus conclusifs sur la relation entre les racines et la croissance des épinettes, le système racinaire aurait dû être excavé en entier, ou la longueur des racines mesurées.

5.4. Effet de l'âge sur la hauteur finale

L'âge des tiges, au niveau du sol, est relié à leur hauteur finale ($R^2=0,739$, $p<0,05$) (figure 5.7), il est également relié à leur hauteur initiale ($R^2=0,778$, $p<0,01$) (annexe 2). L'âge au niveau du sol des épinettes varie entre 9 et 91 ans en 1995 (tableau 5.1) et entre 1 et 66 ans au moment de la coupe.

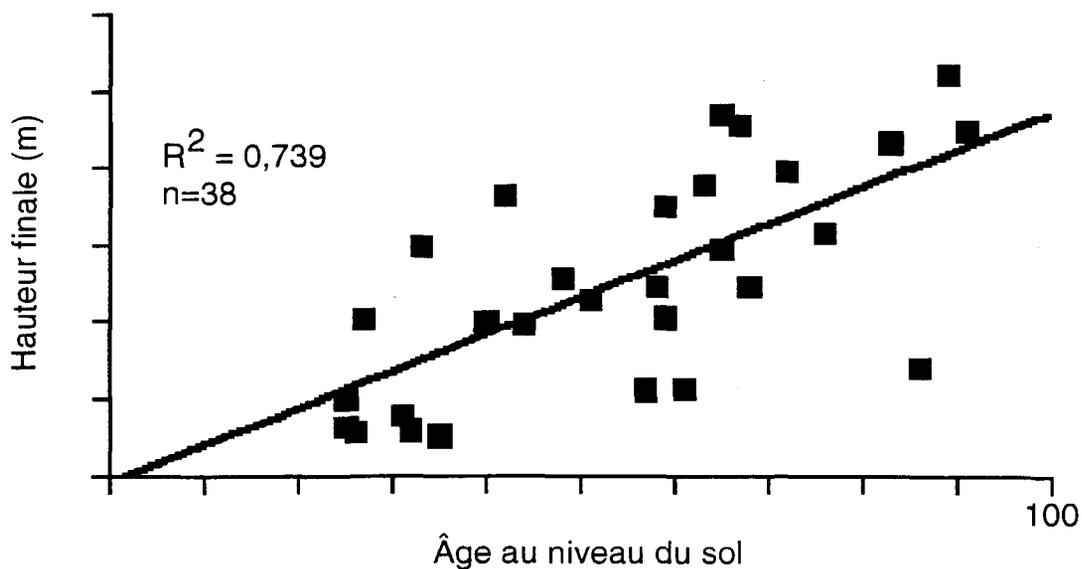


Figure 5.7. Relation entre l'âge au niveau du sol et la hauteur finale des tiges.

5.5. Croissance des épinettes.

Les tiges de la classe de hauteur supprimée 3 (0-0,66 m) ont été omises des résultats de croissance, puisque l'interdatation entre ces tiges est presque impossible. Le fait que ces tiges soient petites augmente leur chances d'avoir un nombre restreint de cernes de croissance ou encore d'avoir été longtemps en suppression pouvant avoir comme conséquence d'augmenter la présence de cernes manquants, ce qui réduit la précision de l'interdatation. Deux épinettes ont également été retirées des résultats. La première en raison de la quantité élevée de bois de compression qui peut biaiser les résultats de l'analyse de tige et l'autre était impossible à interdater. Donc, trente-huit (38) tiges ont été utilisées pour étudier la croissance des épinettes.

5.5.1. Croissance en hauteur

La hauteur finale atteinte par les tiges est fortement reliée au diamètre (DHS) final ($R^2 = 0,954$, $p < 0,01$). La croissance cumulée des tiges des quatre classes est présentée à la figure 5.8. La croissance moyenne après la coupe est régulière, malgré une très grande variation de hauteur entre les tiges de chaque classe, particulièrement pour la classe dominante. La reprise de croissance, les premières années suivant la coupe est de faible amplitude, particulièrement pour les tiges intermédiaire et supprimées. Les tiges dominantes et intermédiaires ont eu un accroissement moyen respectif de 1,04 m et 49 cm en 7 années de croissance (1971 à 1978). Les tiges supprimées 1 et 2 ont eu un accroissement moyen de moins de 33 cm pendant cette même période.

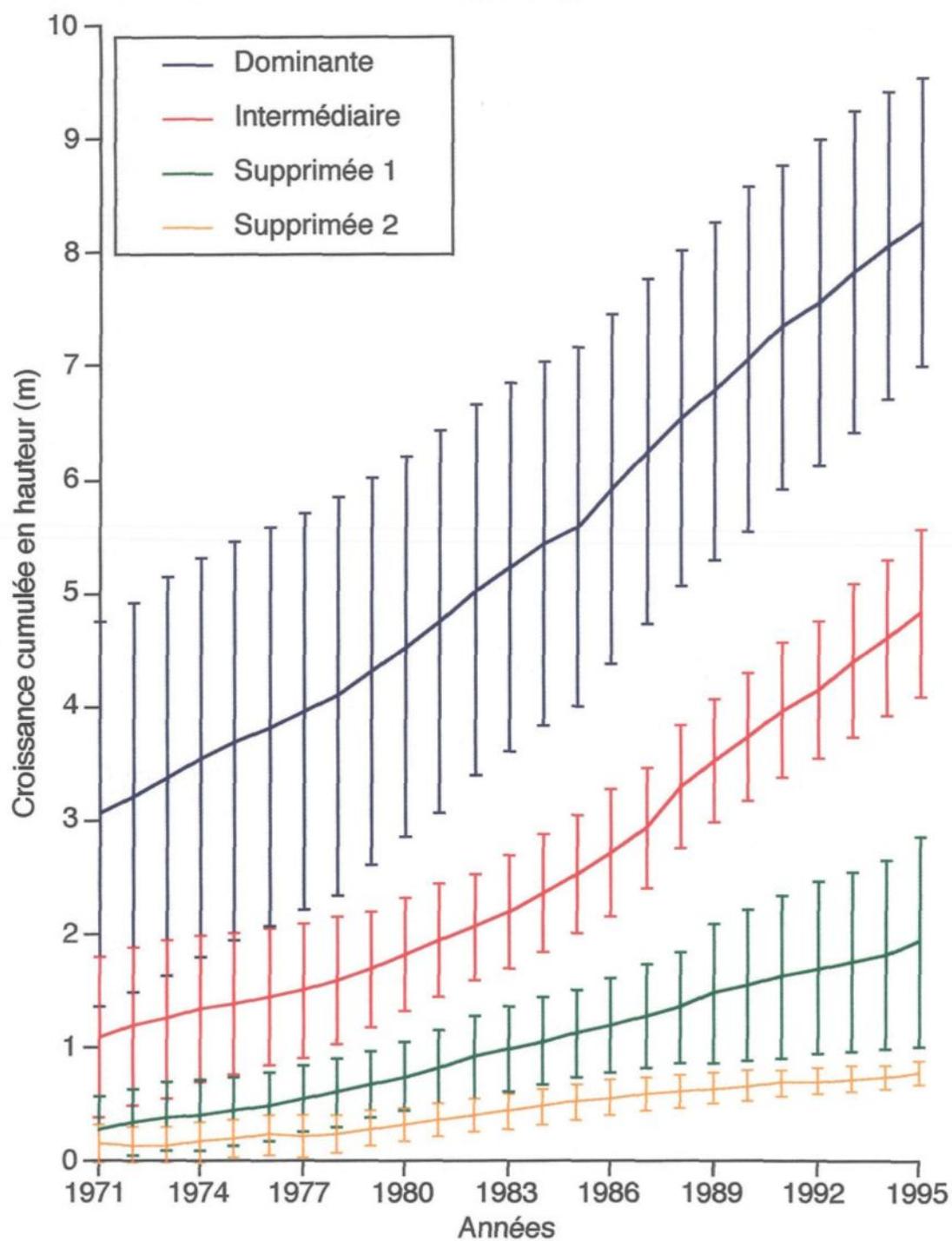


Figure 5.8. Croissance moyenne cumulée en hauteur et des écart-types des épinettes regroupées par classe de hauteur finale (dominante: >6 m, intermédiaire: 4-6 m, supprimée 1: 1-4 m et supprimée 2 <1 m).

L'accroissement annuel en hauteur des tiges des quatre classes de hauteur est présentée à la figure 5.9. Contrairement aux courbes de croissance cumulée, les courbes de croissance moyenne annuelle démontrent des périodes de croissance plus lente pour l'ensemble des tiges de chacune des classes (réduction de l'écart type) vers les années 1976 et 1992. Toutefois, une autre baisse de croissance est observée vers 1985, cependant les tiges intermédiaires et supprimées 2 ne semblent pas suivre cette tendance. Suite à la baisse de croissance de 1992, le taux moyen de croissance en hauteur des tiges dominantes et intermédiaires baisse un peu, tout en continuant d'osciller, tandis que celui des tiges supprimées semble être à la hausse.

Il y a des différences entre les taux de croissance des tiges des quatre classes de hauteur. La croissance des tiges dominantes est significativement différente de celle des autres classes pendant toute la période après la coupe. Toutefois, la croissance des tiges intermédiaires est significativement différente de celle des deux classes de tiges supprimées pendant les 15 dernières années après la coupe. La croissance des tiges des deux classes de hauteur supprimées n'est pas significativement différente (annexe 3).

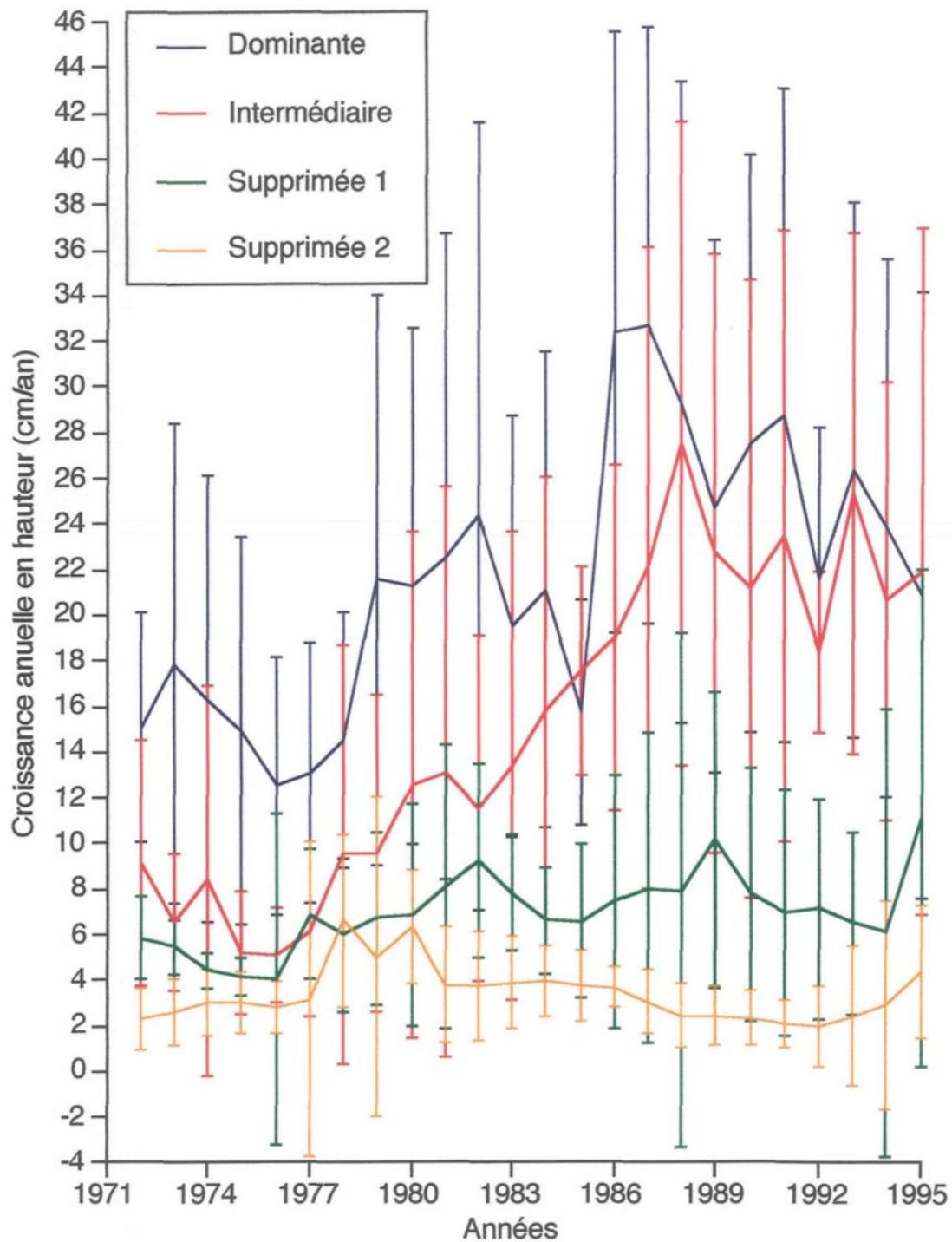


Figure 5.9. Croissance moyenne annuelle en hauteur et écart-types des épinettes regroupées par classes de hauteur finale (définitions des classes de hauteur voir la figure 5.8).

5.5.2. Croissance en diamètre

Le diamètre final au niveau du sol est relié à la hauteur initiale ($R^2= 0,75$, $p<0,01$) des épinettes (annexe 4). La croissance moyenne annuelle en diamètre est présentée à la figure 5.10. Comme c'est le cas pour la croissance en hauteur, il y a une très grande variation des taux de croissance entre les tiges d'une même classe de hauteur. On remarque une baisse de croissance en diamètre vers 1976-77, 1984, 1988-89 et 1995 pour les tiges dominantes. Les tiges intermédiaires ont une croissance faible au début des années 1970 et lors de l'échantillonnage en 1995, mais entre les deux périodes, la croissance est relativement stable. Les supprimées 1 ont une faible croissance en 1971-76 et en 1984-87. La croissance des tiges supprimées 2 est relativement stable pendant toute la période étudiée. La croissance en diamètre est à la baisse à partir de 1992 pour toutes les tiges sauf celles de la classe de hauteur supprimée 1. Les courbes de croissance en diamètre sont significativement différentes entre les classes de hauteur. La croissance en diamètre des tiges dominantes est significativement différente de celle des autres classes. La différence de croissance entre les tiges intermédiaires et supprimée 1 est significative, sauf pour les 5 premières années après la coupe. La croissance des tiges des classes de hauteur supprimées 1 et 2 n'est pas significativement différente d'une classe à l'autre (annexe 4).

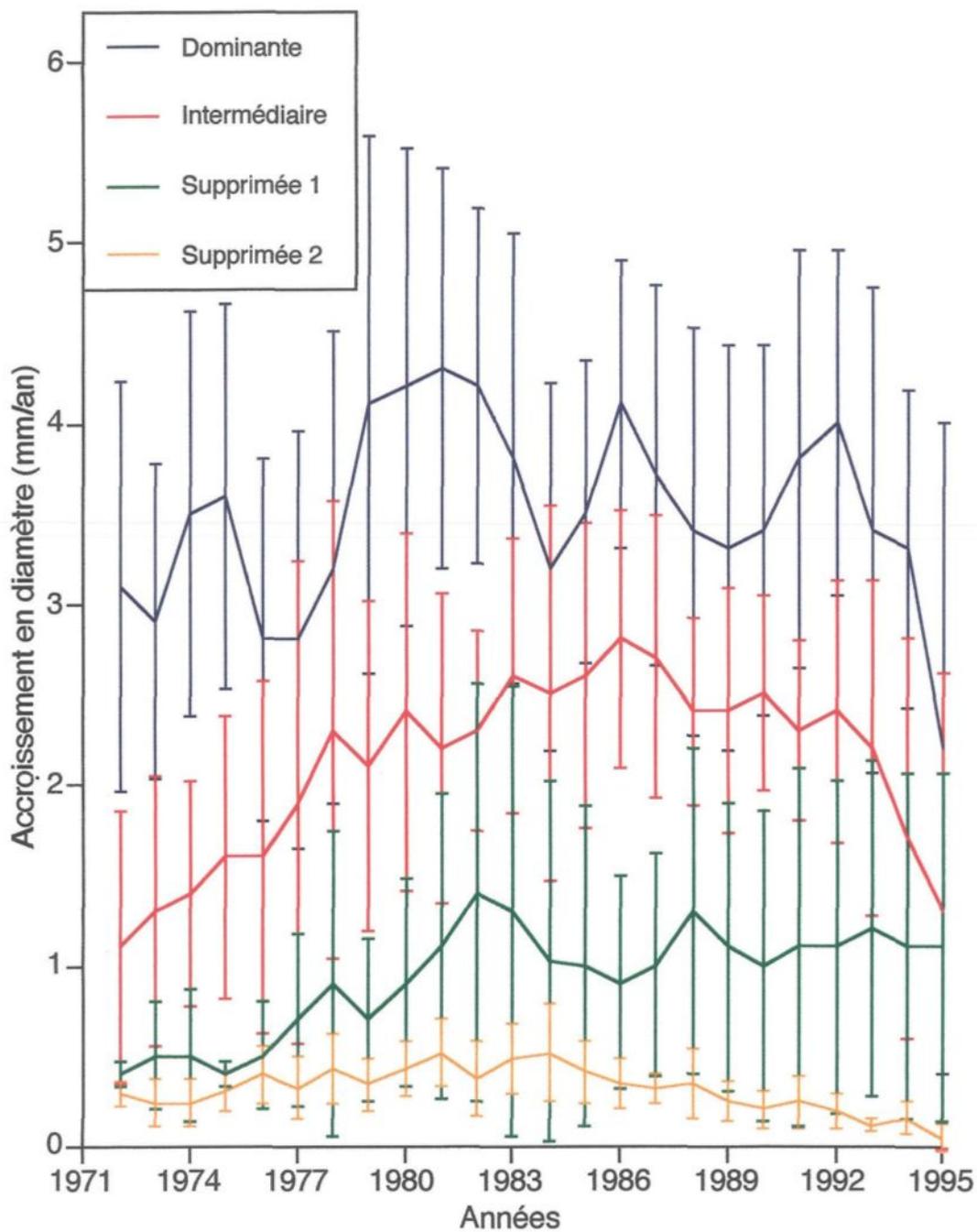


Figure 5.10. Croissance moyenne annuelle en diamètre au niveau du sol et écart-types des épinettes regroupées en classes de hauteur finale (définitions des classes de hauteur voir la figure 5.8).

5.5.3. Croissance en volume

Le volume final des épinettes est relié à leur hauteur initiale ($R^2= 0,778$, $p<0,01$) (annexe 5). La croissance moyenne cumulée en volume est présentée à la figure 5.11. Encore une fois, il y a une très grande variation de croissance entre les tiges d'une même classe de hauteur, plus particulièrement pour les tiges de la classe dominante. Les tiges dominantes fournissent l'apport majeur du volume total du peuplement. Les tiges de cette dernière classe ont une croissance moyenne cumulée en volume beaucoup plus importante que les tiges des autres classes de hauteur. La différence entre la croissance des tiges dominantes et celle des tiges supprimées 1 et 2 est significative pour toute la période après la coupe. Cependant, la différence entre les tiges dominantes et les tiges intermédiaires est significative seulement pour les 15 dernières années après la coupe. Les différences de croissance entre les tiges des classes intermédiaire, supprimée 1 et 2 ne sont pas significativement différentes (annexe 5).

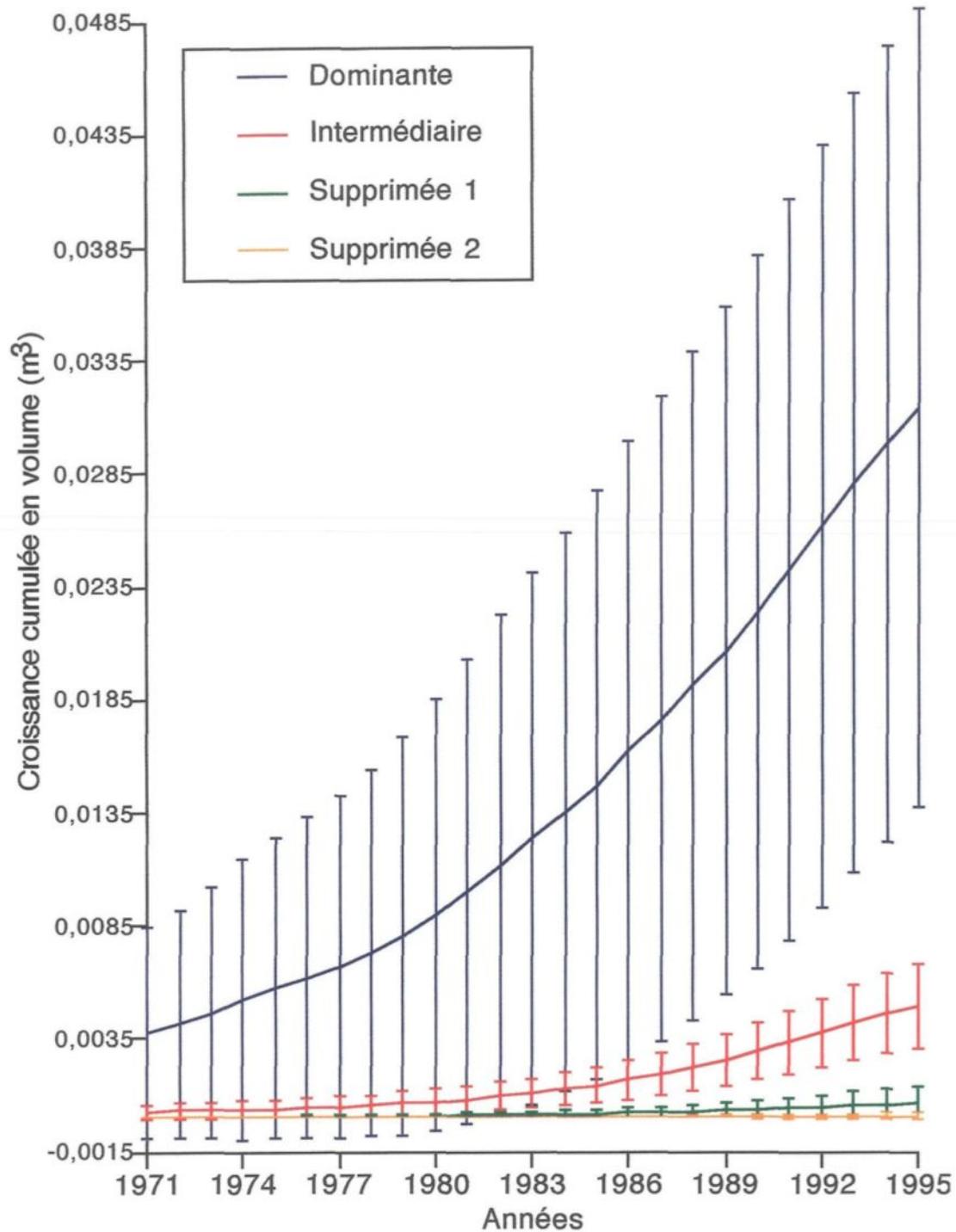


Figure 5.11. Croissance moyenne cumulée en volume et écart-types des épinettes regroupées par classe de hauteur finale (définitions des classes de hauteur voir la figure 5.8).

La croissance annuelle moyenne en volume spécifique est présentée à la figure 5.12. Une grande variation de la croissance est notée pour toutes les classes de hauteur. Deux baisses de croissance importantes, à partir de 1976 et de 1985, ont été observées dans toutes les classes de hauteur. Les tiges de la classe de hauteur dominante ont été plus affectées par la première baisse que les tiges des autres classes de hauteur. La croissance en volume spécifique est à la baisse à partir de 1986, soit 15 ans après la coupe, pour les tiges dominantes et intermédiaires, et en 1979 et 1982 pour les tiges de la classe supprimée 1 et 2 respectivement. Une troisième baisse de croissance a été observée pour toutes les classes de hauteur, mais tout particulièrement pour les classes dominante et intermédiaire, à partir de 1992 jusqu'à 1995.

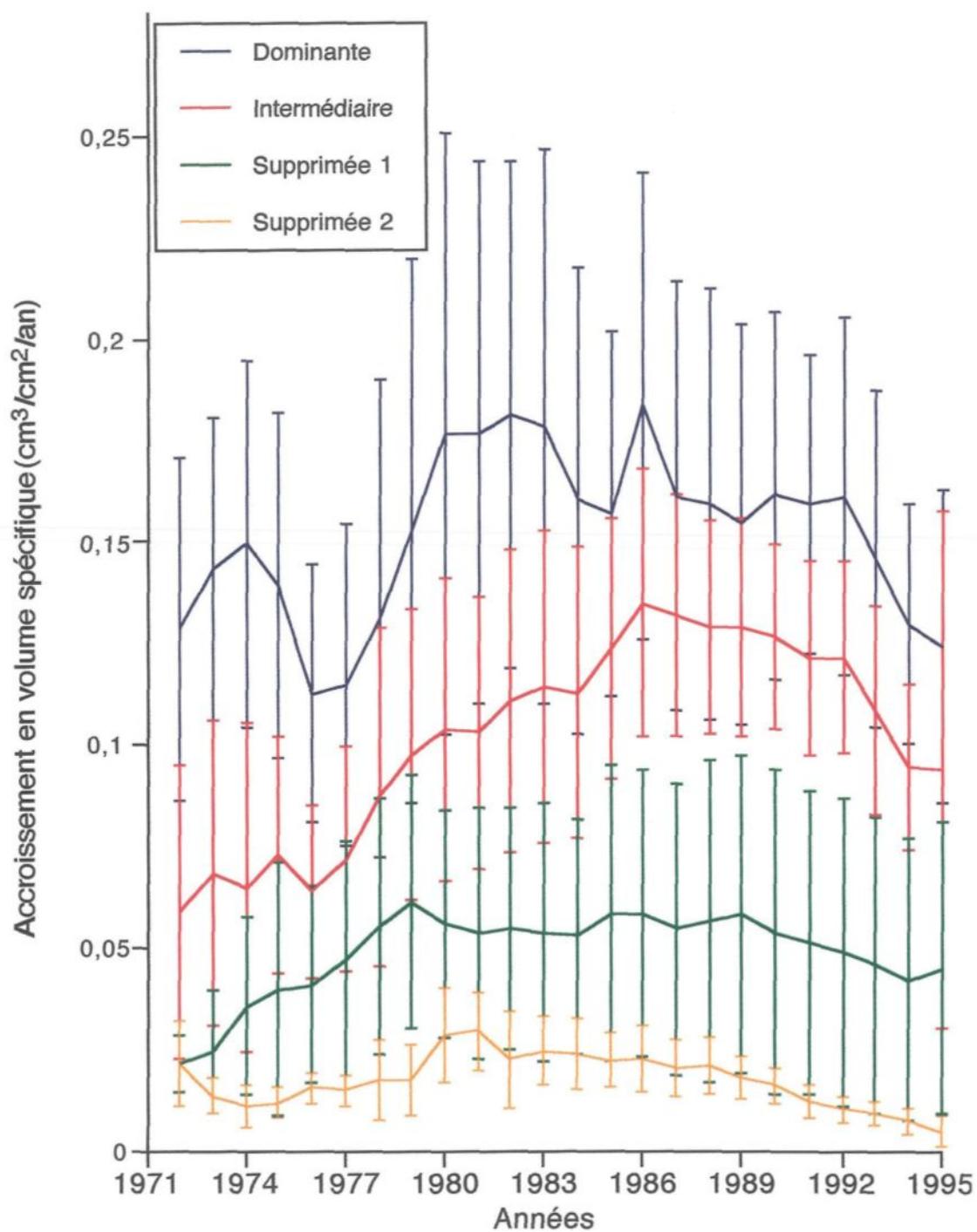


Figure 5.12. Croissance moyenne annuelle en volume spécifique et écart-types des épinettes par classe de hauteur finale (définitions des classes de hauteur voir la figure 5.8).

5.5.4. Comparaison des courbes de croissance en hauteur et en diamètre.

Les figures 5.13 à 5.16 permettent de comparer la croissance annuelle en hauteur et en diamètre des quatre classes de hauteur. En ce qui concerne les tiges dominantes, la tendance générale de la courbe de croissance annuelle en hauteur coïncide assez bien avec celle de la croissance en diamètre (figure 5.13). Les baisses de croissance en hauteur et en diamètre de 1976 sont synchronisées. Les fluctuations dans la croissance des tiges intermédiaires sont plus accentuées chez la courbe de croissance en hauteur (figure 5.14). Les fluctuations de croissance annuelle en hauteur et en diamètre ne coïncident plus après ces années. Les courbes de croissance annuelle en hauteur et en diamètre des tiges de la classe supprimée 1 et 2 maintiennent la même tendance pendant les 25 années après la coupe (figure 5.15 et figure 5.16). La baisse de croissance des tiges supprimées 1 de 1976 est synchronisée. En général, les baisses de croissance des tiges de la classe de hauteur intermédiaire sont plus accentuées dans les courbes de croissance en hauteur (figure 5.14).

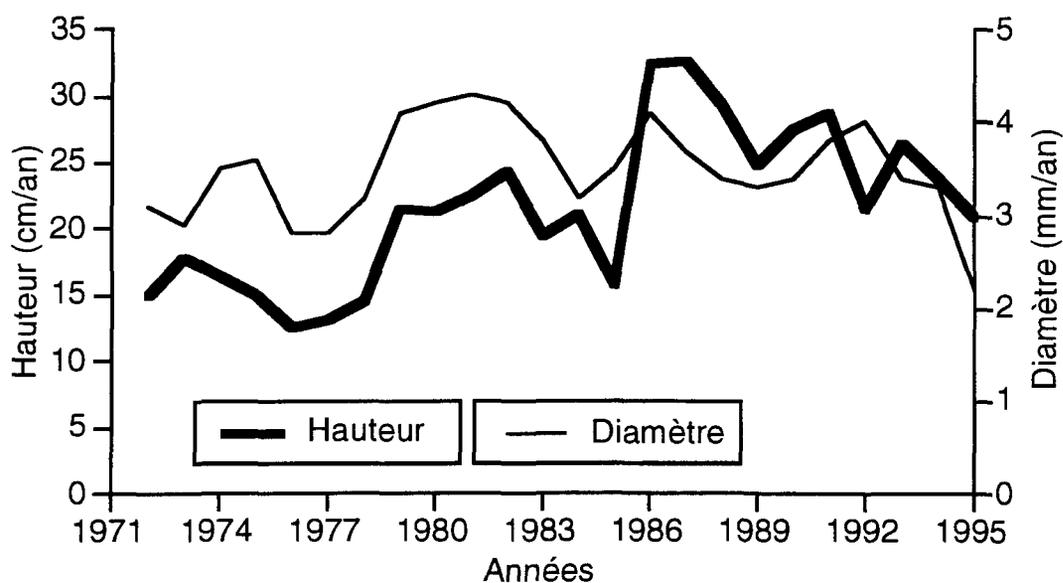


Figure 5.13. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale dominante.

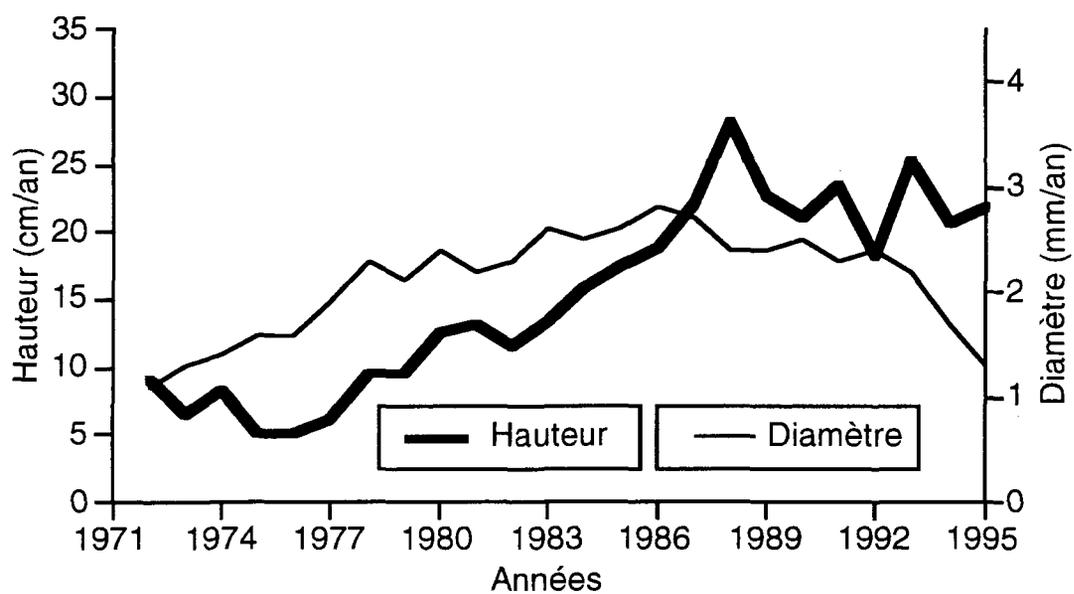


Figure 5.14. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale intermédiaire.

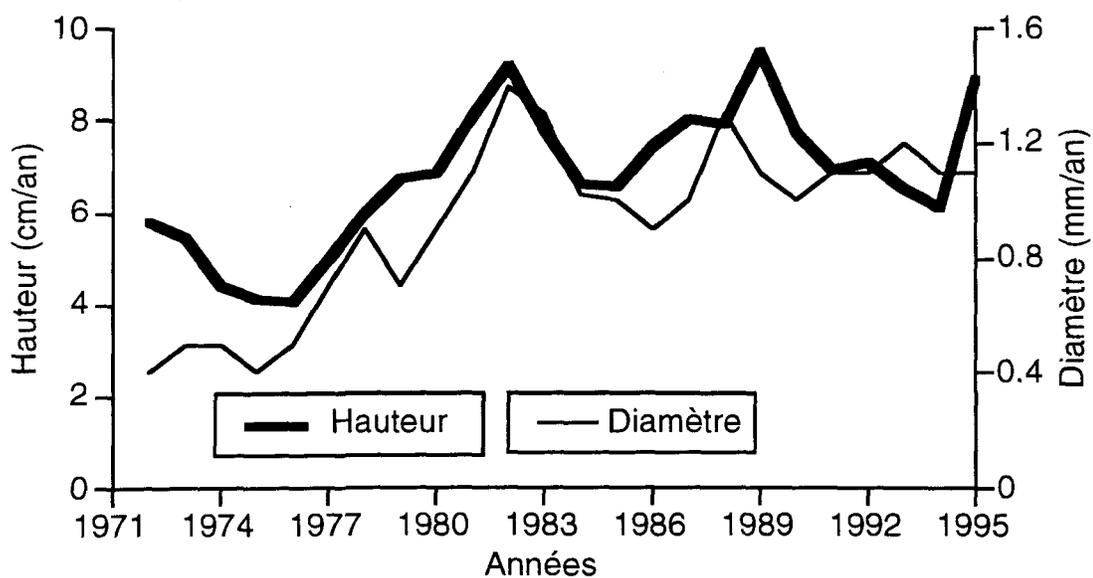


Figure 5.15. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale supprimée 1.

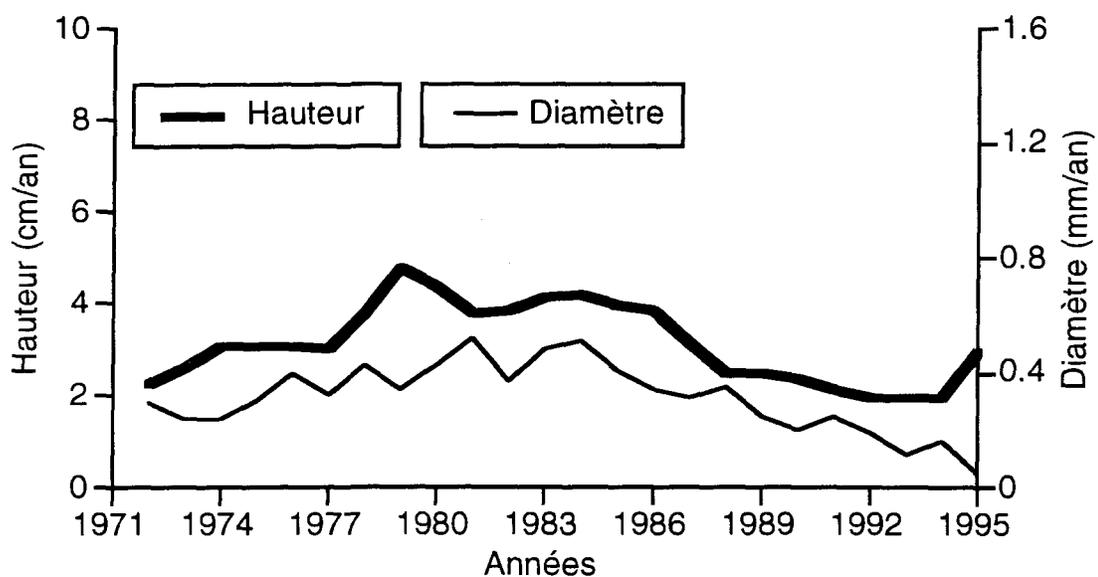


Figure 5.16. Croissance annuelle moyenne en hauteur (cm/an) et en diamètre au niveau du sol (mm/an) des tiges de la classe de hauteur finale supprimée 2.

5.6. Effet de la hauteur initiale sur la hauteur finale.

La hauteur finale atteinte par les tiges est reliée ($R^2=0,705$, $p<0,01$) à leur hauteur au moment de la coupe (figure 5.17) (annexe 6). Malgré cette bonne relation, 11 tiges sur 38 ne suivent pas cette tendance, soit 29%. Ces tiges changent de classe de hauteur avec les années. Un peu plus de la moitié (57%) des tiges de la classe intermédiaire au moment de la coupe (tiges mesurant entre 1,5 et 2,5 m) ont changé de classe de hauteur 25 ans plus tard, c'est-à-dire 4 tiges sur 7 sont passées à la classe dominante alors que les 3 autres sont demeurées dans la classe intermédiaire. Ce phénomène se répète pour les tiges de la classe supprimée au moment de la coupe (tiges mesurant moins de 1,5 m); 27% des tiges ont changé de classe. En effet, 6 tiges sur 26 sont devenues intermédiaires, une est devenue dominante et les 19 dernières tiges sont demeurées supprimées. Par contre, ce phénomène ne s'applique pas aux tiges de la classe dominante au moment de la coupe (tiges mesurant plus de 2,5 m), puisque 25 ans plus tard, toutes les tiges de cette classe (5) sont demeurées dominantes.

Malgré la bonne relation entre ces deux paramètres, cette relation diffère lorsque l'étude se fait au niveau des groupes de hauteurs au moment de la coupe. La hauteur finale des tiges, dont la hauteur au moment de la coupe se situait entre 1,5-2,5 m, n'est pas reliée ($R^2=0,057$) à leur hauteur initiale. Cependant, la hauteur finale est beaucoup plus reliée à la hauteur initiale des tiges de 2,5 m et plus ($R^2=0,568$) et des tiges de moins de 1,5 m ($R^2= 0,627$, $p<0,01$) de hauteur au moment de la coupe (annexe 6).

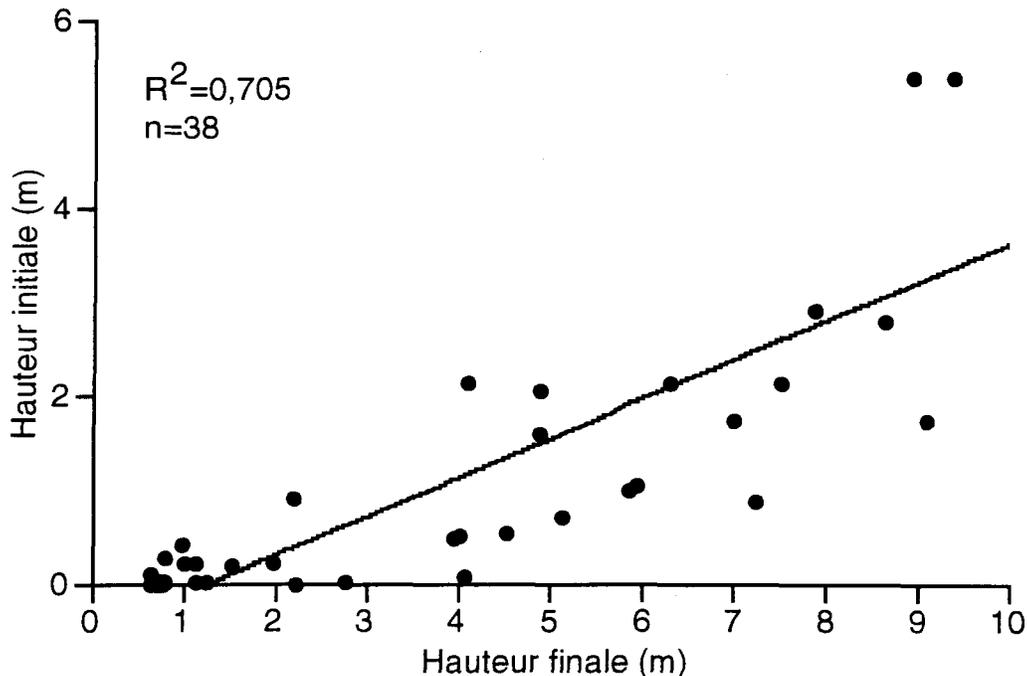


Figure 5.17. Relation entre la hauteur initiale et la hauteur finale des tiges.

5.7. Compétition intraspécifique

5.7.1. Choix de l'indice de compétition

L'indice de compétition retenu pour l'analyse est l'indice de hauteur $ICH = \sum_n (H_j / H_i)$ (Lorimer, 1983), où ICH est l'indice de compétition de hauteur, H_j est la hauteur totale de l'arbre voisin et H_i est la hauteur totale de l'arbre sujet. Les régressions entre chaque indice de compétition et la hauteur finale sont présentées dans l'annexe 7 et la plus forte est obtenue avec l'indice de compétition de hauteur. Puisque le but principal est d'étudier la compétition entre les différentes classes de hauteur, cet indice a donc été retenu pour mesurer la compétition entre les tiges des classes de hauteur dominante, intermédiaire et supprimée 1.

5.7.2. Effet de la compétition

En général, l'indice de compétition est plus élevé pour les tiges de petite taille (hauteur finale de moins de 1,5 m) que pour les tiges de grande taille au moment de la coupe (figure 5.18). Les indices de compétition des tiges varient entre 0 et 224,98 (tableau 5.2). La compétition a été mesurée immédiatement après la coupe, en 1971, et l'année de l'échantillonnage, en 1995. Les indices de compétition des années 1971 et 1995 des tiges dominantes sont en moyenne plus bas que ceux des tiges intermédiaires et supprimées. Cependant, cette différence n'est pas significative, puisque seulement les indices de compétition des tiges supprimées 1 sont significativement différents des indices des tiges dominantes et intermédiaires (annexe 7). Par contre, les moyennes des indices des tiges dominantes et intermédiaires de 1971 et 1995 ne sont pas significativement différentes (annexe 7). En général, les moyennes des indices de compétition des trois classes de hauteur ont diminuées de 1971 à 1995 (tableau 5.2).

Tableau 5.2. Indices de compétition de hauteur pour les années 1971 et 1995 pour les différentes classes de hauteur.

Classes	Arbre	Indice (71)	Moyenne	Indice (95)	Moyenne
Dominante	B3-50	2,083	4,270 ^a	3,114	3,964 ^a
	C1-55	8,300		1,904	
	C2-1	2,080		3,678	
	C2-10	4,954		4,187	
	C4-33	1,824		2,809	
	C4-34	4,259		3,533	
	D1-1	5,443		4,478	
	D2-6	5,046		5,801	
	D2-13	7,018		6,981	
	E2-17	1,695		3,155	
Intermédiaire	A2-16	5,000	6,672 ^a	1,151	4,904 ^a
	A3-21	3,857		4,787	
	B1-15	5,000		8,478	
	B3-23	5,375		4,478	
	C4-19	8,188		3,512	
	D1-31	7,486		4,149	
	E2-4	20,944		13,571	
	E3-6	3,200		2,907	
	E4-9	1,000		1,099	
	Supprimée 1	A1-5		137,000	
A4-4		0,000	0,000		
B1-27		210,000	24,386		
B2-20		18,380	16,484		
B4-30		61,000	18,058		
C1-8		41,800	25,174		
C1-16		23,100	6,734		
D1-2		42,320	38,543		
D1-37		26,042	20,165		
D2-8		224,986	47,701		

La figure 5.18 représente la relation entre la hauteur initiale et la hauteur finale des épinettes. La hauteur finale est divisée en trois groupes. Le premier groupe, représenté en vert, est composé de tiges ayant une hauteur finale de moins de 2,5 m, une hauteur initiale de moins de 1,5 m et un indice de compétition relativement élevé (tableau 5.2). Ce sont toutes des tiges de la classe de hauteur supprimée 1. Les tiges représentées en bleu, constituent le deuxième groupe. Leur indice de compétition est généralement plus faible (tableau 5.2), leur hauteur finale plus de 2,5m et leur hauteur initiale varie entre 11 cm et 3 m. Les tiges retrouvées dans ce groupe sont des tiges intermédiaires et dominantes. Le troisième groupe, représenté en gris, est composé uniquement de tiges dominantes. Ces tiges ont une hauteur finale de plus 8,5 m, une hauteur initiale de plus de 5 m et un indice de compétition également faible (tableau 5.2).

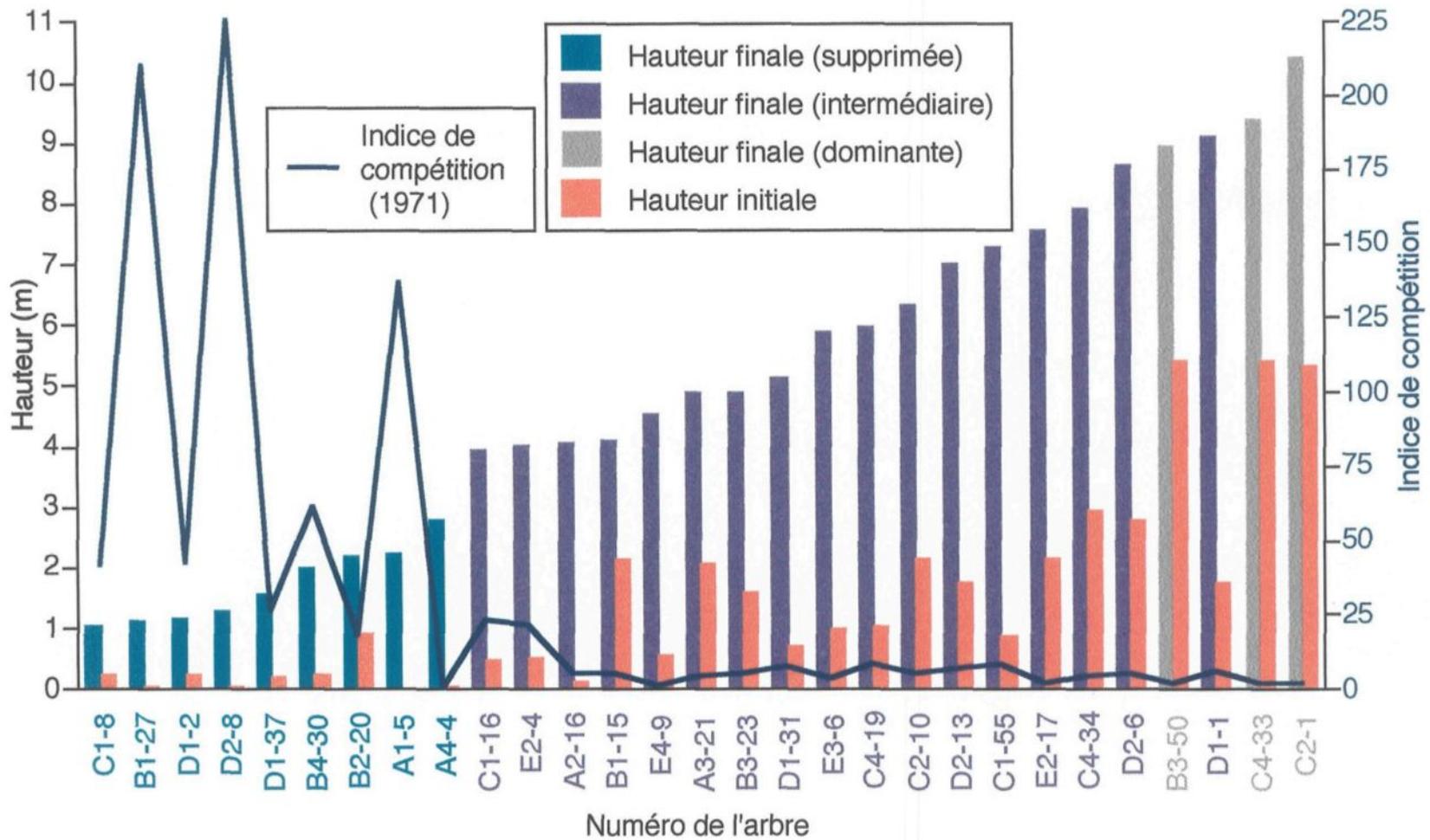


Figure 5.21. Relation entre la hauteur initiale, la hauteur finale et l'indice de compétition intraspécifique de 1971 des tiges.

**CHAPITRE VI
DISCUSSION**

6.1. Structure du peuplement

6.1.1. Origine des tiges du peuplement étudié

La majorité des tiges du peuplement est issue de marcottes préétablies avant la coupe de 1971. Des résultats similaires ont été observés dans plusieurs études portant sur la structure de peuplements d'épinettes noires issus de coupe au Québec (Cauboue et Tremblay, 1992; Doucet, 1985, 1988, 1995; Doucet et Boily, 1987; Frisque et Vézina, 1977; Ruel, 1988, 1989) et en Ontario (Groot, 1984; Horton et Groot, 1987, 1988). Le peuplement était composé, après la coupe en 1971, principalement de tiges de moins d'un mètre de hauteur. Ce genre de peuplement a également été observé par Lussier (1996) et Morin et Gagnon (1991). Les tiges dominantes en 1995 sont toutes préétablies. Certaines d'entre elles ont probablement été épargnées lors de l'exploitation forestière puisqu'elles n'avaient pas atteint une taille marchande. Donc, elles pourraient être des tiges datant de la première cohorte, celle-ci établie à partir de graines à la suite d'un feu. Le passage d'un feu a été confirmé par les restes de charbon de bois retrouvés dans le sol.

Comme l'épinette noire a la capacité de produire des marcottes en bas âge (Viereck et Johnson, 1990), la majorité des tiges des classes de hauteur intermédiaire et supprimée sont préétablies et issues de marcottes. La connexion avec l'arbre-mère était encore visible étant donné l'âge relativement peu élevé du peuplement (la coupe datant de 25 ans). Cette connexion est de plus en plus difficile à retrouver avec l'âge (Stanek, 1961). Par contre, certaines des tiges de la classe de hauteur supprimée se sont établies après la coupe (post établies), encore une fois par marcottage. L'établissement de nouvelles tiges dans le peuplement se fait graduellement par marcottage, puisque le mode d'établissement des marcottes est continu durant la vie du peuplement et que l'établissement de semis est presque nul (Mallik et Newton, 1988). Sims et Walsh (1994) ont confirmé que de l'ensemble des tiges inventoriées dans 49 peuplements, 96% étaient des marcottes et que seulement 4% étaient établies à partir de graines. Une étude de Doucet (1988a) a démontré également que

jusqu'à 97% de la régénération dans un peuplement d'épinette noire est composée de marcottes.

6.1.2. Âge des tiges du peuplement

L'âge mesuré au niveau du sol des épinettes n'est pas leur âge réel, puisque le système racinaire des épinettes noires est du type adventif caulinaire (LeBarron, 1945). Le décompte du nombre de cernes d'une section prise à la base de la tige ne révèle donc pas l'âge exact de l'arbre (DesRochers, 1996; Riverin, 1994), étant donné que le collet se retrouve sous le niveau du sol (Staneek, 1961, 1968). Les tiges sont en réalité plus âgées que l'âge mesuré par le simple décompte des cernes. Horton et Groot (1987) ont démontré que l'âge total réel d'une tige peut être supérieur de 10 à 15 ans - cet écart pouvant même aller jusqu'à 19 ans (DesRochers, 1996) - à l'âge évalué à partir du décompte des cernes annuels des disques prélevés à la hauteur de souche. L'âge réel des marcottes est difficile à établir puisque les branches, dont elles sont issues, ont déjà plusieurs années de croissance au moment de l'enracinement. L'année d'établissement, c'est-à-dire l'année de la libération de l'arbre-mère, ne peut être déterminée avec précision (Morin et Gagnon, 1991).

6.1.3. Les structures de hauteur et de diamètre des tiges du peuplement

Les structures finales de hauteur et de diamètre (au niveau du sol) démontrent une grande variation de dimensions qui peut être expliquée par le recrutement continu des marcottes. En 1995, ces fluctuations de diamètre et de hauteur dépendaient de l'état de la régénération sous couvert avant la coupe, état qui est déterminé par le type de station et la composition du peuplement (Groot, 1984) de même que par le nombre et la dimension des tiges laissées sur place lors de l'exploitation forestière. La structure de hauteur initiale démontre un grand nombre de petites tiges et peu de grandes tiges, ce qui est caractéristique d'un peuplement d'épinettes noires issu de coupe. Ces résultats corroborent ceux observés dans les forêts d'épinette noire issues de coupe au Québec par Boily et Doucet (1993) et Morin et Gagnon (1992) et en Ontario par Horton et Groot (1994) et Groot et Mattice (1994).

6.2. Effet de l'âge sur la croissance des épinettes

La relation entre l'âge et la croissance des épinettes a également été étudiée par plusieurs auteurs. Cependant, les résultats diffèrent. Notre étude démontre que l'âge au niveau du sol est corrélé positivement à la hauteur finale. Malgré qu'il y ait une bonne relation entre ces deux paramètres, la hauteur finale des tiges de 55 à 70 ans varie énormément. Ceci concorde avec les résultats des études de Doucet et Boily (1993), Paquin et Doucet (1992a) et Pothier *et al.* (1993). Ce dernier affirme que, 50 ans après la coupe, les épinettes de plus forte taille étaient celles qui étaient les plus âgées. Les résultats de notre étude montrent que l'âge au niveau du sol est également corrélé à la hauteur au moment de la coupe, ce qui a également été observé par Ouellet (1996) et Pothier *et al.* (1993). Ces deux études concluent de façon générale, que les tiges de grande taille au moment de la coupe étaient plus âgées que celles de plus petite taille, comme dans notre étude.

6.3. Croissance des épinettes

En sous-étage, la croissance des épinettes est faible (Frisque et Vézina, 1977; Groot, 1984). Cependant, les tiges réagissent à l'élimination du couvert par une augmentation de la croissance en hauteur. Cette réaction positive peut se poursuivre assez longtemps (Crossely, 1976; Morin et Gagnon, 1991; Paquin et Doucet, 1992b). Théoriquement, après la coupe du couvert principal, il y a plus de ressources et de lumière disponibles pour la croissance des arbres (Ferguson et Adams, 1980; Cannell et Grace, 1983), puisque la compétition pour ces ressources est fortement diminuée. Toutefois, les résultats de notre étude démontrent que, immédiatement après la coupe, il y a un délai dans la reprise de croissance en hauteur des épinettes de toutes les classes de hauteur.

6.3.1. Relation entre la tordeuse des bourgeons de l'épinette et le délai de croissance en hauteur des tiges après la coupe

Le délai de reprise de croissance en hauteur des épinettes dans notre étude est semblable à certains des peuplements d'épinettes noires issus de

coupes étudiées par Bertrand (1997), Boily et Doucet (1991, 1993), Doucet et Boily (1986, 1988a). Cependant, d'autres études montrent une reprise de croissance rapide, sans délai, après une coupe forestière (Doucet, 1990; Morin et Gagnon, 1992; Paquin et Doucet, 1992a). Il semble alors y avoir une ambiguïté. Les études présentant un délai de reprise de croissance après la coupe ont été réalisées dans des coupes récentes, datant de 1966 à 1984. Tandis que les études faites à partir de coupes plus anciennes, c'est-à-dire entre les années 1920 à 1955, présentent une reprise de croissance rapide après la coupe (tableau 6.1). Certains auteurs ont attribué ce délai de croissance à plusieurs facteurs, entre autres les caractéristiques de terrains, comme le pourcentage de la pente, la situation topographique, l'altitude, l'épaisseur de l'humus, le type de dépôt, le pourcentage de pierrosité (Bertrand, 1997) et le régime hydrique (Boily et Doucet, 1991, 1993; Doucet et Boily, 1988a). Une autre étude mentionne que la manière de choisir les échantillons peut avoir une influence sur les résultats (Doucet et Boily, 1986).

Tableau 6.1. Résumé des dates de coupes, de la présence d'un délai de la reprise de croissance en hauteur des épinettes et de la présence d'une épidémie de la TBE pendant la coupe ou pendant les quelques années après la coupe.

Auteurs	Date de la coupe	Délai de la reprise de croissance	Épidémies de la TBE
Coupes récentes			
Bertrand (1997)	1975-1977	oui	oui
Boily et Doucet (1991)	1966-1969	oui	oui
Boily et Doucet (1993)	1965-1968	oui	oui
Doucet et Boily (1986)	1974-1977	oui	oui
Doucet et Boily (1988a)	1975-1981	oui	oui
Coupes anciennes			
Doucet (1990)	1925-1953	non	non
Morin et Gagnon (1992)	1940-1950	non	oui
Paquin et Doucet (1992a)	1924-1941	non	non

À la lumière de nos résultats, nous proposons une nouvelle explication. Il y a un événement particulier à toutes les études réalisées dans les coupes récentes qui ne se retrouve pas dans les études faites dans des coupes plus anciennes: c'est le passage d'une épidémie sévère de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) durant la période d'étude. En effet, à la fin des années 70 et au début des années 80, une épidémie de la TBE a touché tout l'est du Canada (Blais, 1983; Sanders *et al.*, 1985), incluant la région d'Onatchiway où notre étude a eu lieu (Krause et Morin, en prép.; Lussier, 1996; Morin, 1994; Morin et Laprise, 1990). On retrouve dans certains de nos échantillons un cerne pâle, daté à 1975, soit l'année précédant la diminution de la croissance radiale (figure 6.1) qui, selon Krause et Morin (1995b), est caractéristique de la première année d'une période de défoliation. La présence de ce cerne pâle et les baisses de croissance en hauteur et en diamètre synchrones avec les autres études sur la chronologies des épidémies de la TBE (Blais, 1983 et Morin et Laprise 1990) confirment le passage d'une épidémie de la TBE dans le peuplement étudié. Il y a eu une deuxième vague épidémique pendant les années 80 (Krause et Morin , en prép.). Suite à la mise en évidence que l'épidémie peut être la cause du délai de la reprise de croissance des épinettes noires après la coupe, il serait peut-être nécessaire de réinterpréter les résultats des études antérieures.

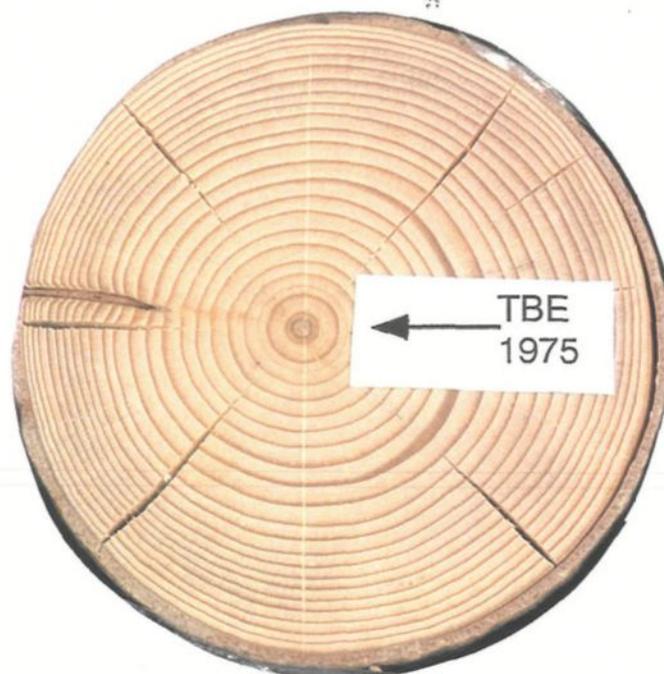


Figure 6.1. Section d'une tige illustrant un cerne de croissance pâle en 1975.

6.3.2. L'effet de la TBE sur la croissance des tiges

L'épidémie de la TBE est responsable du délai de croissance après coupe, visible par les baisses de croissance annuelle en hauteur, en diamètre et en volume vers 1976 et 1985. Nous ne connaissons pas la cause de la baisse de croissance de la dernière période (1992-1995). Des baisses de croissance en diamètre et en volume dues à la défoliation par la TBE ont déjà été observées par Krause et Morin (en prép.) et Lussier (1996) durant ces mêmes années. Peu d'études ont traité de la relation entre la TBE et l'épinette noire (Blais, 1957;

Mattson, 1985; Sheperd, 1985). Cependant, des études récentes ont démontré que l'épinette noire pouvaient être sévèrement endommagées par la TBE (Basham, 1994; DesRochers, 1996; Lussier, 1996; Miller et Rusnock, 1993; Krause et Morin, en prép.; Raske et Sutton, 1986). L'effet de l'épidémie sur la croissance des tiges a souvent été analysé à partir de la croissance en diamètre (Blais, 1958; Krause 1997; Krause et Morin, 1995a, en prép.; Morin, 1994; Morin *et al.*, 1993; Ostaff et Maclean, 1995 et Raske et Sutton, 1986). Notre étude met en évidence que dans les pessières noires, les épinettes de très petite taille (80 cm en 1975) ont également été affectées par la défoliation de l'insecte. D'autres études dendrochronologiques confirment ces résultats, dont l'étude de Hardy (en prép.). L'auteure a observé des baisses de croissance chez les épinettes de petite taille lors de l'épidémie de la TBE qui a sévi au début des années 50 dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

Toutefois, l'épidémie n'a pas affecté toutes les tiges au même degré. Plusieurs auteurs constatent la vulnérabilité à la défoliation par la TBE des sapins baumiers de petites tailles ou en sous-étage dans un peuplement mature (Baskerville et Maclean, 1979; Blais, 1958; Graighead, 1925; Maclean et Ostaff, 1989). Cette vulnérabilité s'observe également chez les épinettes noires. Les courbes de croissance démontrent que les épinettes des classes de hauteur supprimée 1 et 2 n'ont pas eu de reprise de croissance après l'épidémie. D'après Lussier (1996) ceci peut être expliqué par le faible développement du système racinaire de ces petites marcottes. Toutefois, les tiges de la classe dominante ont eu une reprise de croissance après la période épidémique.

Les tiges de la classe de hauteur intermédiaire ont eu une reprise de croissance en hauteur assez importante suite à l'épidémie. Cette reprise peut être expliquée par le fait que ces tiges ne semblent pas avoir été affectées par la deuxième vague de l'épidémie.

6.3.3. Croissance en volume des tiges du peuplement

La courbe de croissance cumulée en volume indique que la classe de hauteur qui contribue le plus au volume total du peuplement est la classe dominante. Ces résultats concordent avec ceux de Groot et Mattice (1994), Horton et Groot (1987), Morin et Gagnon (1991), Paquin et Doucet (1992a), (1992b), Pothier *et al.*, (1993), (1995). Parmi les tiges dominantes qui contribuent le plus au volume total, la majorité (60%) étaient dans les plus hautes (plus de 2,0 m) au moment de la coupe, mais certaines avaient une hauteur de moins d'un mètre. Par conséquent, pour augmenter le volume total d'un peuplement, il faut laisser sur place, lors de l'exploitation forestière, le plus de grandes tiges possible. Il est aussi nécessaire de protéger les tiges de petite taille, puisque 25 ans plus tard celles-ci pourront contribuer de façon importante au volume total du peuplement. Lussier (1996) et Pothier *et al.* (1995) ont obtenus des résultats semblables.

Néanmoins, même si à prime abord l'ensemble des tiges intermédiaires ont été moins affectées par la défoliation par la TBE, il n'en reste pas moins que lorsque nous étudions individuellement chaque tige, certaines variations sont observées (annexe 8). Les tiges qui ont une croissance en volume spécifique inférieure à la moyenne de leur classe de hauteur pendant la période épidémique (1976-1980) auraient été défoliées plus sévèrement que celles avec une croissance supérieure à la moyenne. Prenons par exemple les tiges A4-4 et A2-16. Elles ont une hauteur initiale semblable et une hauteur finale différente. La tige A4-4 a été atteinte sévèrement par la TBE comparativement à la moyenne de sa classe, donc elle a atteint une hauteur finale inférieure à celle de la tige A2-16, qui elle a été affectée moins sévèrement. Le même fait est observé avec les tiges A3-21 et D2-13. Toutes les deux sont parties de la même classe de hauteur. La tige D2-13 a une croissance en volume spécifique supérieure à la moyenne de sa classe pendant les années épidémiques et la tige A3-21 a une croissance inférieure à la moyenne de sa classe, donc la tige D2-13 a surpassé la tige A3-21.

Donc, il semble que la défoliation par la TBE affecte les tiges d'une manière irrégulière. Les baisses de croissance pendant l'épidémie peuvent se poursuivre pendant toute la durée épidémique et peuvent avoir des répercussions sur la croissance de ces tiges à long terme. L'épidémie peut être responsable d'une grande partie des variations observées dans la croissance en hauteur des épinettes de la même classe, donc de la dynamique hiérarchique du peuplement.

6.3.4. Comparaison de la croissance en hauteur et en diamètre des tiges de peuplement

L'analyse de la comparaison de la croissance annuelle en hauteur par rapport à la croissance annuelle en diamètre montre qu'elles ne sont pas toujours synchronisées. Le manque de synchronisme peut s'expliquer en partie par les limitations rencontrées lors de l'analyse de tige. Pour cette étude, les disques nécessaires pour la réalisation de l'analyse ont été pris à chaque 20 cm tout au long de la tige. Cependant, cette mesure, quoique plus petite que la mesure habituellement utilisée lors des analyses de tiges (1 m), est probablement encore trop grande pour faire une analyse de tige très précise. Selon notre étude réalisée à partir d'épinettes de petite taille, des sections de 10 cm auraient été plus adéquates pour faire une analyse de tige détaillée. Également, la courte période d'étude (1971 à 1995) a probablement augmenté l'imprécision de l'interdatation. De plus, la destruction totale ou partielle du bourgeon terminal par la TBE a un impact plus important sur l'accroissement en hauteur qu'en diamètre pour les tiges de la classe de hauteur intermédiaire.

6.4. Effet de la hauteur initiale sur la hauteur finale

La relation entre la hauteur au moment de la coupe et la hauteur finale des tiges a souvent été mentionnée dans la littérature. Plusieurs auteurs affirment que la hauteur finale des tiges est fortement reliée à la hauteur initiale (Doucet, 1990; Doucet et Boily, 1993; Lussier, 1996; Paquin, 1990; Paquin et Doucet, 1992a; Pothier *et al.*, 1993; 1995). Les résultats de notre étude démontrent que la hauteur initiale peut expliquer environ 60% de la variation de la hauteur finale

atteinte pour les tiges de petite taille (<1,5 m) au moment de la coupe. Lussier (1991) a également observé des résultats similaires. D'après cette dernière étude, la hauteur au moment de la coupe est la variable la mieux liée à la croissance des épinettes noires de seconde-venue. L'accroissement annuel moyen en hauteur à 20 ans et la hauteur initiale sont positivement corrélés lorsque cette dernière est inférieure à deux mètres (Lussier, 1991). Les tiges D2-8, B1-27, C1-8, D1-2 et D1-37 (figure 5.18) ont une faible hauteur initiale (moins de 26 cm) et elles sont toutes demeurées petites 25 ans plus tard, avec une hauteur finale de moins de 1,55 m. Il y a toutefois quelques exceptions: les tiges A1-5, A4-4 et A2-16. Ces tiges ont une hauteur initiale de moins de 12 cm et ont atteint des hauteurs finales de plus de 2 m et même plus de 4 m.

Selon Lussier (1991), ces tiges demeurent supprimées puisqu'elles sont jeunes et qu'elles n'ont pas eu suffisamment de temps pour développer adéquatement leur système racinaire par rapport à leur surface foliaire. De plus, ces tiges sont établies par marcottage, c'est-à-dire qu'elles ont été physiologiquement dépendantes de l'arbre-mère pendant un certain temps (Stanek, 1961), ce qui peut ralentir le développement de leurs propres racines. Ces petites tiges n'ont pas réagi aussi fortement à la coupe que les tiges des classes de hauteur intermédiaire et dominante, contrairement à ce que Doucet (1990) et Ruel *et al.* (1991) ont observé.

La hauteur finale des tiges de grande taille au moment de la coupe (>2,5 m) est corrélée à leur hauteur initiale. La régression entre ces deux paramètres n'est pas significative, probablement due au fait du nombre restreint de l'échantillon. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Lussier (1991) qui démontre que, 20 ans après la coupe, la hauteur initiale des tiges de plus de deux mètres au moment de la coupe est corrélée avec leur hauteur finale. Les tiges de grande taille au moment de la coupe, c'est-à-dire les tiges B3-50, C4-33 et C2-1, ont toutes gardées leur avance en hauteur sur les tiges de plus petite taille.

Curieusement, la hauteur finale des tiges de taille moyenne (1,5-2,5 m) au moment de la coupe est difficilement prévisible à partir de la hauteur initiale.

Mentionnons, par exemple, les tiges B1-15, C2-10 et D1-1 (figure 5.18). Elles ont une hauteur initiale entre 1,74 et 2,16 m, toutefois, leur hauteur finale varie énormément. La tige D1-1, qui avait la plus petite taille a, 25 ans plus tard, grandement surpassé les autres. Ce genre de scénario se répète plusieurs fois. Donc, la hauteur finale des tiges de petite (<1,5 m) et de grande (>2,5 m) taille est, de façon générale, prévisible à partir de leur hauteur initiale. Toutefois, ceci ne s'applique pas dans le cas des tiges de taille moyenne au moment de la coupe (1,5 - 2,5 m), probablement dû à l'action sélective de la TBE.

6.5. Effet de la compétition intraspécifique sur la croissance

L'épidémie de la TBE qui a sévi pendant la période d'étude a également des effets sur la dynamique de la compétition. La défoliation peut masquer les effets véritables de la compétition intraspécifique. Malgré ces réserves, une brève discussion sur la compétition intraspécifique est présentée.

La croissance des épinettes dépend de plusieurs facteurs, mais deux sont prépondérants: la densité du peuplement et la quantité de lumière reçue par les tiges. Les tiges supprimées dans notre étude semblent se regrouper près d'une tige intermédiaire ou dominante, ce qui est caractéristique du patron d'établissement par bouquet des marcottes (Frisque et Vézina, 1977; Pothier *et al.*, 1995; Stanek, 1961). Ce patron d'établissement favorise ainsi la compétition entre les tiges d'un même bouquet.

Dans le passé, l'analyse de la compétition a généralement été réalisée en fonction de moyennes au niveau du peuplement: la densité moyenne et la dimension moyenne des arbres. Quoique cette formule soit pratique, elle peut masquer l'importance et la grande variation de croissance des arbres (Weiner, 1984). D'après Bella (1971) et Clark (1990), le comportement et l'évolution d'une population peuvent être mieux expliqués en analysant la compétition individuelle entre les tiges. De plus, la croissance en hauteur, quoique moins affectée par la compétition (Curtis, 1967) est plus rarement étudiée que la croissance en diamètre ou en volume. La croissance en hauteur joue un rôle déterminant dans la hiérarchisation des tiges à l'intérieur du peuplement. Cette variable est moins

dépendante du développement du houppier que la croissance en diamètre (Courbaud *et al.*, 1993). Ceci étant dit, l'indice de compétition utilisé dans notre étude a donc été un indice portant sur la hauteur et il a été calculé à l'échelle des tiges individuelles et non à l'échelle du peuplement.

6.5.1. Variations des indices de compétition en hauteur

Notre étude démontre l'existence d'une variation dans les indices de compétition en hauteur chez les épinettes. Les petites épinettes ont des indices de compétition plus élevés en 1971 et 1995 que les épinettes de plus grande taille. Cependant, si la marcotte supprimée est encore reliée à l'arbre-mère, sa croissance est dépendante de celle-ci. Les écarts entre les indices de compétition de hauteur tend à diminuer avec le temps, plus particulièrement entre les tiges dominantes et intermédiaires. Les différences entre les moyennes des indices de compétition de 1971 et 1995 demeurent significatives même si les indices de compétition extrêmes de la tige E2-4 sont retirés des calculs des moyennes.

Lorsque la figure 5.18 est étudiée, nous observons que l'effet de la compétition intraspécifique en hauteur n'affecte pas la croissance des tiges. Par exemple, les tiges A4-4 et A2-16 ont une hauteur initiale semblable et ont atteint des hauteurs finales différentes. Cependant, pour les deux années mesurées, la tige A4-4 avait un indice de compétition plus faible que la tige A2-16 et pourtant cette dernière a atteint une hauteur finale supérieure. Ce genre de situation se répète plusieurs fois.

Peu d'études (Lussier, 1996) ont été réalisées sur la compétition intraspécifique des épinettes noires. Les résultats de ces études démontrent qu'il y a une compétition intraspécifique symétrique entre les épinettes noires. Cependant, plusieurs facteurs peuvent expliquer l'écart entre leurs résultats et les nôtres, dont le fait que les peuplements échantillonnés dans l'étude de Lussier (1996) étaient plus âgés, c'est-à-dire que le processus d'auto-éclaircie était déjà enclenché. Toutefois, il faut noter que l'étude de Lussier (1996) conclut que la compétition intraspécifique n'explique qu'une faible portion des variations

de l'accroissement radial au sein des peuplements. Des résultats similaires ont été obtenus par Newton et Jolliffe (1990) qui ont réalisé une étude sur la compétition dans un peuplement d'épinettes noires issu d'une coupe d'une quinzaine d'années et ont démontré que la compétition pour la lumière n'était pas significative à ce stade d'évolution du peuplement. Toutefois, cette dernière étude a été réalisée pendant une période épidémique, comme dans notre étude, donc la défoliation par la TBE a probablement influencé les résultats sur la dynamique de la compétition.

CHAPITRE VII
CONCLUSION

Nos résultats démontrent que la majorité des tiges du peuplement sont préétablies, ce qui confirme notre première hypothèse. L'épinette noire se régénère graduellement après coupe, et ce, par marcottage. Au moment de la coupe, le peuplement était composé principalement de tiges de petite taille et de faible diamètre.

L'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui a sévi au début de la période de l'étude est responsable du délai de la reprise de croissance en hauteur après la coupe. Plusieurs tiges, plus particulièrement de la classe de hauteur intermédiaire et supprimée, ont eu une reprise de croissance lente et tardive après la coupe. L'étude a démontré que les tiges de toutes tailles ont subi d'importantes baisses de croissance, surtout en hauteur, pendant la longue période épidémique et certaines tiges, plus particulièrement les tiges supprimées, n'ont pas eu de reprise de croissance après le passage de l'épidémie. De plus, les effets de la TBE sont plus visibles sur la croissance en hauteur qu'en diamètre chez les petites tiges. Donc, il est important de tenir compte des effets de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans les études réalisées en période épidémique ou post-épidémique dans des peuplements immatures d'épinettes noires.

Les tiges de grande taille au moment de la coupe sont grandement responsables du volume final du peuplement. Toutefois, plusieurs tiges de moins d'un mètre au moment de la coupe ont également contribué au volume total. Donc, il est primordial de protéger ces petites tiges, puisqu'à long terme elles assureront le renouvellement du peuplement avec un temps de rotation grandement réduit. Alors, la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) qui vise à protéger les tiges non marchandes aura un impact positif important sur la régénération naturelle des peuplements d'épinettes noires.

La hauteur finale des tiges de petite (<1,5 m) et de grande (>2,5 m) taille au moment de la coupe est fortement liée à la hauteur initiale de ces tiges. Toutefois, l'épidémie de la TBE est probablement responsable du fait que la



hauteur finale des tiges de moyenne taille (1,5-2,5 m) au moment de la coupe est difficilement prévisible à partir de leur hauteur initiale.

Les effets véritables de la compétition intraspécifique en hauteur n'affecte pas la croissance des épinettes noires dans un peuplement de issu de coupe d'une vingtaine d'années. Toutefois, il faut noter que l'effet de la TBE a probablement influencée la dynamique de la compétition intraspécifique en hauteur entre les tiges, ce qui peut ensuite masquer l'impact réel de cette compétition. Donc, la seconde hypothèse de notre étude n'a pu être vérifiée en raison de l'action de la TBE.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme, 1991. Un projet de stratégie: Aménager pour mieux protéger les forêts. Gouvernement du Québec, service des communications, ministère de l'Énergie et des Ressources. 151p.
- Anonyme 1993. Normales climatiques au Canada: 1961-1990. Environnement Canada. Service de l'environnement atmosphérique. 157p.
- Basham, J.T. 1994. Black Spruce Annual Volume Losses to Pests Estimated at 30% of Current Annual Increment in Ontario. Canadian Forest Service, Ontario. Technical Note n° 76.
- Baskerville, G.L. 1975. Spruce Budworm: Super Silvicultural. Forestry Chronicle 51: 4-6.
- Baskerville, G.L. et D.A., Maclean. 1979. Budworm-Caused Mortality and 20 Year Recovery in Immature Balsam Fir Stands. Canadian Forestry Service, Maritimes. Report M-X-102.
- Bella, I.E. 1971. A New Competition Model for Individual Trees. Forest Science 17: 364-372.
- Bellefeuille, R. 1935. La reproduction des peuplements d'épinette noire dans les forêts du Nord-Québec. Forestry Chronicle 11: 323-340.
- Berk, K.N. and J.W. Steagall. 1994. Analyse statistiques de données avec Student Systat. International Thompson Publishing, France. 586p.
- Bertrand, P. 1997. Évaluation du délai de croissance des marcottes d'épinette noire après coupe. Ministère des Ressources naturelles, conseillers forestiers, Portneuf, région Côte Nord, projet n° 2014. 40p.
- Bigging, G.S et M. Dobbertin. 1992. A Comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. Forest Science 38(3): 695-720.

- Blais, J.R. 1957. Some Relationships of the Spruce Budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) to Black Spruce, *Picea mariana* (Moench) Voss. Forestry Chronicle 33: 364-372.
- Blais, J.R. 1958. The Vulneribility of Balsam Fir to Spruce Budworm Attack in Northwestern Ontario with Special Reference to the Physiological Age of the Tree. Forestry Chronicle 34: 405-422.
- Blais, J.R. 1962. Collection and Analysis of Radial Growth Data from Trees for Evidence of Past Spruce Budworm Outbreaks. Forestry Chronicle 38: 474-478.
- Blais, J.R. 1965. Spruce Budworm Outbreaks in the Past Three Centuries in the Laurentide Park, Quebec. Forest Science 11: 130-138.
- Blais, J.R. 1983. Trends in the Frequency, Extent, and Severity of Spruce Budworm Outbreaks in Eastern Canada. Canadian Journal of Forest Research 13: 539-547.
- Boily, J. et R. Doucet. 1991. Croissance en hauteur de la régénération d'épinette noire dans des coupes d'une vingtaine d'années. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, Direction de la recherche, note de recherche forestière n° 42. 10p.
- Boily, J. et R. Doucet. 1993. Croissance juvénile de marcottes d'épinette noire en régénération après récolte du couvert dominant. Canadian Journal of Forest Research 23: 1396-1401.
- Brand, D.G. et S. Magnussen. 1988. Asymmetric, Two-sided Competition in Even-aged Monocultures of Red Pine. Canadian Journal of Forest Research 18: 901-910.
- Cannell, M.G.R. et J. Grace. 1993. Competition for Light: Detection, Measurement and Quantification. Canadian Journal of Forest Research 23: 1969-1979.

- Cauboue, M. et J. Tremblay. 1992. Les stations forestières de la haute Côte-Nord. Méthodologie et synthèse générale. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, Direction de la recherche, note de recherche forestière n° 55. 14p.
- Clark, J.S. 1990. Integration of Ecological Levels: Individual Plant Growth, Population Mortality and Ecosystem Processes. *Journal of Ecology* 78: 275-299.
- Cogbill, C.V. 1985. Dynamics of the Boreal Forest of the Laurentian Highlands. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 252-261.
- Cooper, W.S. 1911. Reproduction by Layering Among Conifers. *Botanical Gazette* 52: 369-379.
- Courbaud, B., F. Houllier et C. Rupe. Un modèle de croissance en hauteur des arbres en pessière pure irrégulière de montagne. *Ann. Sci. For.* 50: 337-351.
- Crossley, D.I. 1976. Growth Response of Spruce and Fir to Release from Suppression. *Forestry Chronicle* 52: 17-21.
- Curtis, R.O. 1967. Height-diameter and Height-diameter-age Equations for Second-growth Douglas Fir. *Forest Science* 13: 365-375.
- Daniels, R.F. 1976. Simple Competition Indices and Their Correlation with Annual Lobolly Pine Tree Growth. *Forest Science* 22(4): 454-456.
- Daniels, R.F., H.E. Burkhart et T.R. Clason. 1986. A Comparison of Competition Measures for Predicting Growth of Lobolly Pine Trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 1230-1237.
- DesRochers, A. 1996. Détermination de l'âge de l'épinette noire (*Picea mariana*) en sous-étage de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) dans la forêt boréale, Québec. Mémoire de maîtrise en ressources renouvelables, Université du Québec à Chicoutimi. 81p.

- Doucet, R. 1985. Importance de la régénération préétablie dans la succession des peuplements forestiers après coupe dans les forêts publiques du Québec. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, service de la recherche forestière, rapport interne n° 247. 16p.
- Doucet, R. 1988. La régénération préétablie dans les peuplements forestiers naturels au Québec. *Forestry Chronicle* 64: 116-120.
- Doucet, R. 1990. Long Term Development of Black Spruce Advance Growth Released by Cutting, dans B.D. Titus, M.B. Lavigne, P.F. Newton et W.J. Meades, éditeurs. *The Silvics and Ecology of Boreal Spruces, 1989 IUFRO Working Party S1.05-12 Symposium Proceedings, Newfoundland, 12-17 août, 1989. For. Can. Inf. Rep. N-X-271, 113-121pp.*
- Doucet, R. et J. Boily. 1986. Croissance en hauteur de marcottes et de plants à racines nues d'épinette noire, ainsi que de plants de pin gris. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 1365-1368.
- Doucet, R. et J. Boily. 1987. Bibliographie annotée sur le marcottage de l'épinette noire. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche et du développement, service de la recherche appliquée, mémoire n° 90. 32p.
- Doucet, R. et J. Boily. 1988a). Croissance en hauteur de la régénération artificielle et de marcottes d'épinette noire croissant côte à côte. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche et du développement, service de la recherche appliquée, mémoire n° 93. 33p.
- Doucet, R. et J. Boily. 1988b). Développement des bouquets de marcottes d'épinette noire dans des coupes récentes au Québec. *Naturaliste Canadien* 115: 139-147.
- Doucet, R. et J. Boily. 1995. Croissance en hauteur de la régénération d'épinette noire et de sapin baumier après la coupe. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche, note de recherche forestière n° 68. 4p.

- Dyer, M.E. et B.L. Robert. 1987. A Test of Six Methods for Estimating True Height from Stem Analysis Data. *Forest Science* 33 (1): 3-13.
- Ferguson, D.E et D.L. Adams. 1980. Response of Advance Grand Fir Regeneration to Overstory Removal in Northern Idaho. *Forest Science* 26(4): 537-545.
- Ford, E.D. 1975. Competition and Stand Structure in Some Even-aged Plant Monocultures. *Journal of Ecology* 63: 311-333.
- Fowells, H.A. 1965. Silvics of Forest Trees of the United States. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook n° 271. 288-298pp.
- Frisque, G. et P.E. Vézina. 1977. Reproduction de l'épinette noire (*Picea mariana*) après coupe à blanc de superficie réduite. *Canadian Journal of Forest Research* 7: 648-655.
- Frisque, G., G.F. Weetman, et E. Clemmer. 1978. Analyse, 10 ans après coupe de bois à pâte, des problèmes de régénération dans l'est du Canada. Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC), rapport technique n° RT-23. 67p.
- Fuller, G.D. 1913. Reproduction by Layering in the Black Spruce. *Botanical Gazette* 55: 452-457.
- Graighead, F.C. 1925. Relation Between Mortality of Trees Attacked by the Spruce Budworm (*Caoecia fimbriana* Clem.) and Previous Growth. *Journal of Agricultural Research* 30: 541-555.
- Groot, A. 1984. Stand and Site Conditions Associated with Abundance of Advanced Growth in Northern Clay Section of Ontario. Canadian Forestry Service, Environment Canada, information report n° O-X-385.
- Groot, A. et R.W. Arnup. 1995. Survival of Black Spruce Advance Growth Following Three Harvesting Methods. Natural Resources Canada, Forest Service-Ontario, Technical Note n° 53. 4p.

- Groot, A. et C.R. Mattice. 1995. Second-growth Black Spruce Stands on Peatlands Provide Lessons for Current Silviculture. Natural Resources Canada, Forest Service-Ontario, Technical Note n° 62. 4p.
- Hatcher, R.J. 1964. Spruce Budworm Damage to Balsam Fir in Immature Stands, Quebec. *Forestry Chronicle* 40: 372-383.
- Hegy, F. 1974. A Simulation Model for Managing Jack Pine Stands. *Dans Growth Models for Tree and Stand Simulation*. Edited by J. Fries. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden. 74-90pp.
- Heinselman, M.L. 1981. Fire and Succession in the Conifer Forests of Northern North America. -Pages 374-406 *Dans* West, D.C., H.H., Shugart, et D.B. Botkin (éditeurs). *Forest Succession, Concepts and Application*. Springer-Verlag, New York. 517p.
- Horton, B.J. et A. Groot. 1987. Development of Second-growth Black Spruce Stands on Peatlands in Northeastern Ontario. Horton Forestry Services Ltd., Stouffville. 50p.
- Horton, B.J. et A. Groot. 1988. Age and Size Structure of Natural and Second-growth Black Spruce Peatland Stands in Northeastern Ontario. Horton Forestry Services Ltd., Stouffville. 41p.
- Horton, B.J. et A. Groot. 1994. Age and Size Structure of Natural and Second-growth Peatland *Picea mariana* Stands. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 225-233.
- Jarvis, J.M. et J.H. Cayford. 1961. Regeneration Following Various Methods of Cutting in Black Spruce Stands in Manitoba. *Forestry Chronicle* 27: 339-349.
- Johnston, W.F. 1971. Management Guide for the Black Spruce Type in the Lake States. USDA For. Serv., North Centr. For. Exper. Sta., Res. Pap. NC-64. 11p.

- Krause, C. 1997. The Use of Dendrochronological Material from Buildings to Get Information about Past Spruce Budworm Outbreaks. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 65-75.
- Krause, C. et H. Morin. 1995a. Changes in Radial Increment in Stems and Roots of Balsam Fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) after Defoliation by Spruce Budworm. *Forestry Chronicle* 71(6): 747-754.
- Krause, C. et H. Morin. 1995b. Impact of Spruce Budworm Defoliation on the Number of Latewood Tracheids in Balsam Fir and Black Spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 2029-2034.
- LeBarron, R.K. 1939. The Role of Fire in Reproduction of Black Spruce. *The Minnesota Academy of Science, Proceedings* 7: 11-14.
- LeBarron, R.K. 1945. Adjustment of Black Spruce Root System to Increasing Depth of Peat. *Ecology* 26(3): 309-311.
- LeBarron, R.K. 1948. Silvicultural Management of Black Spruce in Minnesota. United States Department of Agriculture, Circular n° 791. 60p.
- Lieffers, V.J. 1986. Stand Structure, Variability in Growth and Intraspecific Competition in a Peatland Stand of Black Spruce *Picea mariana*. *Holarctic Ecology* 9: 58-64.
- Lorimer, G. 1983. Test of Age-independent Competition Indices for Individual Trees in Natural Hardwood Stands. *Forest Ecology and Management* 6: 343-360.
- Lussier, J.-M. 1991. Comparaison de la croissance de marcottes d'épinette noire adultes à celle d'individus issus de graines après feu. Mémoire de maîtrise en ressources renouvelables, Université du Québec à Chicoutimi. 61p.
- Lussier, J.-M. 1996. Reconstitution de la dynamique récente de pessières noires vierges et de seconde-venue. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal. 125 p.

- Lussier, J.-M., H. Morin et R. Gagnon. 1992. Comparaison de la croissance de marcottes d'épinette noire (*Picea mariana*) adultes après coupe à celle d'individus issus de graines après feu. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 1524-1535.
- Maclean, D.A. 1984. Effects of Spruce Budworm Outbreaks on the Productivity and Stability of Balsam Fir Forests. *Forestry Chronicle* 60: 273-279.
- Maclean, D.A et D.P. Ostaff. 1989. Patterns of Balsam Fir Mortality Caused by an Uncontrolled Spruce Budworm Outbreak. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1087-1095.
- Mallik, A.U. et P.F. Newton. 1988. Inhibition of Black Spruce Seedling Growth by Forest-Floor Substrates of Central Newfoundland. *Forest Ecology and Management* 23: 273-283.
- Martin, G.L. et A.R. Ek. 1984. A Comparison of Competition Measures and Growth Models for Predicting Plantation Red Pine Diameter and Height Growth. *Forest Science* 30(3): 731-743.
- Mattson, W.J. 1985. Role of Host Plants in the Population Dynamics of the Spruce Budworm. *Dans CANUSA, Recent Advances in Spruce Budworm Research*. Sanders, C.J., R.W. Stark, E.J. Mullins et J. Murphy (éditeurs), Ottawa, Ontario. 124-125p.
- Miller, A. et P. Rusnock. 1993. The Rise and Fall of the Silvicultural Hypothesis in Spruce Budworm (*Choristoneura fumiferana*) Management in Eastern Canada. *Forest Ecology and Management* 61: 171-189.
- Morin, H. 1988. Évolution de la croissance de peuplements d'épinettes noires issus de marcottes, une quarantaine d'années après coupe, au Lac Saint-Jean, *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, Sainte-Foy.
- Morin, H. 1994. Dynamics of Balsam fir Forests in Relation to Spruce Budworm Outbreaks in the Boreal Zone of Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 730-741.

- Morin, H. et D. Laprise. 1990. Histoire récente des épidémies de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette au nord du Lac St-Jean, Québec: une analyse dendrochronologique. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1-8.
- Morin, H. et R. Gagnon. 1991. Structure et croissance de peuplements d'épinette noire issus de régénération préétablie, une quarantaine d'années après coupe au Lac Saint-Jean, Québec. *Forestry Chronicle* 67 (3): 275-283.
- Morin, H. et R. Gagnon. 1992. Comparative Growth and Yield of Layer- and Seed-origin Black Spruce (*Picea mariana*) Stands in Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 465-473.
- Morin, H., D. Laprise et Y. Bergeron. 1993. Chronology of Spruce Budworm Outbreaks Near Lake Duparquet, Abitibi Region, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 23:1497-1506.
- Newton, P.F. 1990. Initial Size Hierarchy Development within Second-growth Black Spruce Stands. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 1720-1731.
- Newton, P.F. et P.A. Jolliffe. 1993. Aboveground Dry Matter Partitioning, Size Variation and Competitive Processes within Second-growth Black Spruce Stands. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1917-1929.
- Ostaff, D.P. et D.A. Maclean. Patterns of Balsam Fir Foliar Production and Growth in Relation to Defoliation by Spruce Budworm. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 1128-1136.
- Ouellet, F. 1996. Évolution de la régénération de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) à la suite d'une coupe à blanc mécanisée et modélisation de la croissance en phase juvénile. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec. 61p.
- Paquin, R. et R. Doucet. 1992a). Croissance en hauteur à long terme de la régénération préétablie dans des pessières noires boréales régénérées par marcottage, au Québec. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 613-621

- Paquin, R. et R. Doucet. 1992b). Productivité de pessières noires boréales régénérées par marcottage à la suite de vieilles coupes totales au Québec. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 601-612.
- Pothier, D., J. Boily et R. Doucet. 1995. The Effect of Advance Regeneration Height on Future Yield of Black Spruce Stands. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 536-544.
- Pothier, D., J. Boily et R. Doucet. 1993 Influence des caractéristiques de la régénération préexistante d'épinette noire sur la croissance des tiges individuelles. *Dans Proceedings of the International Workshop: Forest Growth Models and their Uses*, les 18-19 novembre. C.-H. Ung (éditeur) Ressources naturelles Canada, Forêts Canada. 138-147p.
- Proulx, H. G. Jacques, A.-M. Lamothe et J. Litynski. 1987. Climatologie du Québec méridional. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la météorologie, 198p.
- Raske, A.G. et W.J. Sutton. 1986. Decline and Mortality of Black Spruce Caused by Spruce Budworm Defoliation and Secondary Organisms. Government of Canada, Canadian Forestry Service, Newfoundland Forestry Center, Information Report N-X-236. 29p.
- Régent Instruments Inc. WinDendro™ version 6.0.4. Installation, introduction et guide d'utilisation. 165 Fatima Ave, Ville de Québec, P.Q., Canada, G1P 2C7 et l'Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi, Québec.
- Richardson, J. 1981. Black Spruce Research by the Canadian Forestry Service in Newfoundland. Canadian Forest Service, Information report n° N-X-206. 36p.
- Riverin, S. 1994. Dynamique d'installation de la régénération dans une pessière ouverte à Cladonie localisée dans la zone de la pessière noire fermée, nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Mémoire de maîtrise en ressources renouvelables, Université du Québec à Chicoutimi. 66p.

- Robinson, F.C. 1974. A Silviculture Guide to the Black Spruce Working Group. Ontario, Ministry of Natural Resources, Forest Resources Branch. 42p.
- Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada. Ministère de l'Environnement, service canadien des forêts. Publication n°1300F.
- Roy, H. 1940. Spruce Regeneration: Quebec. Forestry Chronicle 16: 10-20.
- Ruel, J.-C. 1988. La régénération préétablie et l'exploitation forestière dans les peuplements 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, Sainte-Foy.
- Ruel, J.-C. 1989. Régénération de peuplements d'épinette noire après coupe à blanc mécanisée: résultats préliminaires. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche, note de recherche forestière n° 37. 17p.
- Ruel, J.-C., R. Doucet et J. Boily. 1991. Étude de la mortalité initiale de la régénération préétablie de sapin et d'épinette noire après une coupe avec protection de la régénération. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche, note de recherche forestière n° 44. 9p.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS (Statistical Analysis System) Introductory Guide for Personal Computers, Release 6.03 Edition. Cary, NC, USA.
- Schoenicke, R.E. et A.E., Schneider. 1954. The Extent and Character of Regeneration in Uncut Black Spruce Swamp Stands of North Central Minnesota. University of Minnesota, School of Forestry, Minnesota Forestry Notes n° 26. 2p.
- Seber, G.A. 1984. Multivariate Observation. Wiley, New York. 686p.
- Sheperd, R.F. 1985. A Theory on the Effects of Diverse Host-climate Environments in British Columbia on the Dynamics of the Western Spruce

- Budworm. *Dans CANUSA, Recent Advances in Spruce Budworm Research.* Sanders, C.J., R.W. Stark, E.J. Mullins et J. Murphy (éditeurs), Ottawa, Ontario. 60-70p.
- Sims, R.A. et S.A. Walsh. 1994. Black Spruce Advance Growth: An Important Basis for Stand Renewal. Canadian Forest Service-Ontario, Technical Note n° 54. 3p.
- Stanek, W. 1961. Natural Layering of Black Spruce in Northern Ontario. *Forestry Chronicle* 37(3): 245-259
- Stanek, W. 1968. Development of Black Spruce Layers in Quebec and Ontario. *Forestry Chronicle* 44: 25-28.
- Systat Inc. 1992. Getting Started, Version 5.2 Edition. Evanston, IL. 236 p.
- Thibault, M. 1987. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation. Carte, service de la recherche, ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec.
- Tomé, M et H.E. Buckhart. 1989. Distance-Dependent Competition Measures for Predicting Growth of Individual Trees. *Forest Science* 35(3): 816-831.
- Van Nostrand, R.S. 1971. Strip Cutting Black Spruce in Central Newfoundland to Induce Regeneration. Canadian Forest Service, Publication n° 1294. 21p.
- Viereck, L.A. et W.F. Johnston. 1990. *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Black Spruce *In The Silvics of North America*, USDA Forest Service. 227-237pp.
- Vincent, A.B. 1965. Black spruce: A Review of its Silvics, Ecology and Silviculture. Canadian Department of Forest Publications n° 1100.
- Weiner, J. 1984. Neighbourhood Interference amongst *Pinus rigida* Individuals. *Journal of Ecology* 72: 183-195.

Weiner, J et S.C. Thomas. 1986. Size Variability and Competition in Plant Monocultures. *OIKOS* 47: 211-222.

ANNEXE 1
RELATION ENTRE LE DIAMÈTRE DES RACINES ET DE LA CIME EN
RAPPORT AVEC LA CROISSANCE DES TIGES

Relation entre la cime et la croissance

1) Croissance en hauteur

Tableau A1.1. Résultats des régressions entre le pourcentage de cime dans les 5 classes de qualité de la cime, le pourcentage de cime vivante et la hauteur finale des épinettes.

Variables	N	R2	Coefficient	p
In 1	611	0,100	34,809	0,0000
Constante			37,005	0,0001
Régression				0,0000
In 2	611	0,003	5,926	0,1487
Constante			91,458	0,0000
Régression				0,1487
In 3	611	0,018	-14,2548	0,0007
Constante			136,569	0,0000
Régression				0,0007
In 4	611	0,070	26,406	0,0000
Constante			45,177	0,0000
Régression				0,0000
In 5	611	0,059	-35,173	0,0000
Constante			222,814	0,0000
Régression				0,0000
In vivante	611	0,011	14,209	0,0107
Constante			49,259	0,0258
Régression				0,0107

2) Croissance en diamètre

Tableau A1.2. Résultats des régressions entre le pourcentage de cime dans les 5 classes de qualité de la cime, le pourcentage de cime vivante et le diamètre à la hauteur de souche des épinettes.

Variables	N	R2	Coefficient	p
In 1	594	0,118	0,743	0,0000
Constante			0,191	0,3191
Régression				0,0000
In 2	594	0,006	0,156	0,0564
Constante			1,298	0,0000
Régression				0,0564
In 3	594	0,015	-0,247	0,0024
Constante			2,198	0,0000
Régression				0,0025
In 4	594	0,075	0,537	0,0000
Constante			0,419	0,0407
Régression				0,0000
In 5	594	0,063	-0,725	0,0000
Constante			4,078	0,0000
Régression				0,0000
In vivante	594	0,065	1,523	0,0000
Constante			-4,531	0,0000
Régression				0,0000

3) Croissance en volume

Tableau A1.3. Résultats de la régression entre le pourcentage de cime dans les classes 1 et 2 de qualité de la cime, le pourcentage de cime vivante et le pourcentage total des cimes dans les classes de qualité 1 et 2 et le volume finale des épinettes.

Variables	N	R2	Coefficient	p
Classe1	38	0,040	0,000413	0,2287
Constante			0,000159	0,9845
Régression				0,2287
Classe 2	38	0,148	-0,000443	0,0172
Constante			0,0180	0,0001
Régression				0,0172
Cime vivante	38	0,006	0,000076	0,6412
Constante			0,00375	0,7678
Régression				0,6412
Classe 1 + Classe 2	38	0,047	-0,000198	0,1925
Constante			0,0178	0,0120
Régression				0,1925

Relation entre les racines et la croissance

Croissance en hauteur et diamètre

Tableau A1.4. Résultats des régressions entre la hauteur finale et le diamètre à la hauteur de souche et la moyenne du diamètre des racines.

Hauteur finale

Variables	N	R2	Coefficient	p
diamètre racines	594	0,812	110,621	0,0000
Constante			57,619	0,0000
Régression				0,0000

Diamètre à la hauteur de souche

Variables	N	R2	Coefficient	p
diamètre racines	596	0,842	2,186	0,0000
Constante			6,653	0,0000
Régression				0,0000

Tableau A1.5. Données brutes de la hauteur totale (cm), du diamètre à la hauteur de souche (cm) et du diamètre des 5 plus importantes racines situées le plus près du niveau du sol (cm), de la moyenne des 5 racines (cm) des épinettes analysées.

#arbre	hauteur	diamètre	rac. 1	rac. 2	rac. 3	rac. 4	rac. 5	moyenne
A1-5	223	2,7	1,8	1,9	1,7	0,5	0,4	0,45
A2-16	408	6,3	1,8	4,3	2,9	1,9	0,8	2,34
A2-51	71	1,1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,26
A3-21	489	9,8	2,7	5	1,7	1,4	11,2	4,4
A4-4	278	6,1	3	3,5	2,6	3	3,2	3,06
B1-15	410	7	2,1	1,4	1,6	0,5	0,3	1,18
B1-27	114	2,1	1,3	0,8	0,4	0,5	0,7	0,74
B2-20	221	3,9	0,5	1,3	0,9	0,5	0,6	0,76
B3-23	491	12,4	2,3	2,1	1,4	5,3	3,3	2,88
B3-36	98	1,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
B3-50	896	17,6	11	15,2	1,2	12,5	1,9	8,36
B4-30	198	5,1	2,5	1,5	1,5	1,8	1,1	1,68
C1-16	395	5,4	3,9	5,5	1,2	0,5	3,5	2,92
C1-55	727	12,8	7,3	1,4	7,5	8,1	1,3	5,12
C1-8	103	1,7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,24
C2-1	1042	21,6	9,1	3,4	10,3	10,8	2,3	7,18
C2-10	632	15	8,4	11,3	5,8	4,3	5,4	7,04
C2-22	66	0,8	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,14
C4-19	595	9	3	2,5	3	2,6	3,1	2,84
C4-33	940	18	12,5	7,1	10,4	11,3	10,1	10,28
C4-34	790	12,5	11,7	6,5	3,2	8,5	6,3	7,24
D1-1	911	17,5	12,8	9,5	6,1	13,2	2,1	8,74
D1-2	116	1,4	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,26
D1-31	514	7,9	3,5	2,5	6,3	7,4	2,1	4,36
D1-37	154	1,8	1	0,8	0,7	0,7	0,5	0,74
D1-43	74	1	0	0	0	0	0	0
D2-13	701	10,9	7,3	4,8	6,8	8,1	0,9	5,58
D2-6	865	15,6	2,2	9,5	8,1	5,2	9,8	6,96
D2-8	127	1	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
E1-26	77	1,2	0,1	0,1	0,1	0	0	0,06
E2-1	66	0,7	0	0	0	0	0	0
E2-17	754	12,8	9,2	2,7	3,9	1,9	0,6	3,66
E2-4	401	6,9	0,5	3,2	2,6	1,9	2,1	2,06
E3-6	590	9,1	2,7	5,2	3,1	1,7	2,7	3,08
E4-17	81	1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12
E4-9	454	8	4,6	3,3	5,5	4,8	2,5	4,14
E5-55	75	0,8	0	0	0	0	0	0
E5-62	85	0,9	0	0	0	0	0	0

ANNEXE 2
LA RELATION ENTRE L'ÂGE DES ÉPINETTES ET LA HAUTEUR

Tableau A2.1. Résultats de la régression entre l'âge au niveau du sol et la hauteur finale des épinettes.

Variables	N	r	R ²	Coefficient	p
Hauteur	37	0,860	0,739	0,0639	0,0000
Constante				20,964	0,0000
Régression					0,0000

Tableau A2.2. Résultats de la régression entre l'âge au niveau du sol et la hauteur initiale des épinettes.

Variables	N	r	R ²	Coefficient	p
Hauteur initiale	37	0,875	0,765	0,1310	0,0000
Constante				31,590	0,0000
Régression					0,0000

Tableau A2.3. Résultats de l'analyse de variance entre l'âge au niveau du sol et les trois classes de hauteur initiale des épinettes.

Source	Somme de carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Classes de hauteur initiale	13014,267	2	6507,134	38,436	0,0000
Erreur	5756,057	34	169,295		

Tableau A2.4. Résultats des contrastes entre les trois classes de hauteur initiale (petite: -1,5 m, moyenne: entre 1,5 m et 2,5 m et grande: +2,5 m).

Classes de hauteur	Somme des carrés	Degré de liberté	F	p
Petite et moyenne	6226,611	1	36,779	0,0000
Erreur	5756,057	34		
Petite et grande	9204,167	1	54,367	0,0000
Erreur	5756,057	34		
Moyenne et grande	512,609	1	3,028	0,0909
Erreur	5756,057	34		

ANNEXE 3
LA CROISSANCE EN HAUTEUR DES TIGES

Tableau A3.1. Résultats de la régression entre la hauteur finale et le diamètre à la hauteur de souche des épinettes.

Variables	N	r	R ²	Coefficient	p
Diamètre	596	0,977	0,954	50,175	0,0000
Constante				23,456	0,0000

Tableau A3.2. Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées entre la croissance en hauteur et les classes de hauteur.

Analyse intergroupes

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Classe	1011,986	3	337,329	41,684	0,000
Erreur	218,498	27	8,093		

Analyse intragroupes

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p	G-G
Temps	192,277	8	24,035	162,903	0,000	0,000
Temps * classes	82,826	24	3,451	23,391	0,000	0,000
Erreur	31,869	216	0,148			

Tableau A3.3. Contrastes entre les classes de hauteur dominante et intermédiaire (A) et dominante et supprimée 1 (B).

A				B			
Année	Degré de liberté	F	p	Année	Degré de liberté	F	p
1971	1	16,035	0,0000	1971	1	17,059	0,0003
1974	1	19,672	0,0000	1974	1	21,570	0,0001
1977	1	24,830	0,0000	1977	1	26,876	0,0000
1980	1	33,693	0,0000	1980	1	38,929	0,0000
1983	1	44,108	0,0000	1983	1	54,130	0,0000
1986	1	52,398	0,0000	1986	1	72,850	0,0000
1989	1	53,302	0,0000	1989	1	93,733	0,0000
1992	1	56,431	0,0000	1992	1	112,150	0,0000
1995	1	58,446	0,0000	1995	1	135,026	0,0000

Tableau A3.4. Contrastes entre les classes de hauteur intermédiaire et supprimée 1 (A) et supprimée 1 et supprimée 2 (B).

A				B			
Année	Degré de liberté	F	p	Année	Degré de liberté	F	p
1971	1	1,738	0,1984	1971	1	0,0295	0,8648
1974	1	2,338	0,1379	1974	1	0,0851	0,7727
1977	1	2,838	0,1036	1977	1	0,1707	0,6828
1980	1	4,667	0,0398	1980	1	0,4240	0,5204
1983	1	7,222	0,0122	1983	1	0,9195	0,3461
1986	1	11,826	0,0019	1986	1	1,3278	0,2593
1989	1	20,503	0,0001	1989	1	2,1373	0,1553
1992	1	27,874	0,0000	1992	1	2,7015	0,1118
1995	1	38,501	0,0000	1995	1	3,5008	0,0722

ANNEXE 4
LA CROISSANCE EN DIAMÈTRE DES TIGES

Tableau A4.1. Résultats de la régression entre le diamètre à la hauteur de souche et la hauteur initiale des épinettes.

Variables	N	r	R ²	Coefficient	p
Hauteur	38	0,866	0,750	0,035	0,0000
Constante				3,125	0,0000
Régression					0,0000

Tableau A4.2. Résultats de l'analyse de variance à mesures répétées entre la croissance en diamètre et les classes de hauteur

Analyse intergroupes

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Classe	271773,213	3	90591,071	29,159	0,000
Erreur	83883,519	27	3106,797		

Analyse intragroupes

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p	G-G
Temps	73207,949	8	5400,993	171,7868	0,000	0,000
Temps * classes	21864,059	24	911,003	28,9758	0,000	0,000
Erreur	6791,0592	216	31,4401			

Tableau A4.3. Contrastes entre les classes de hauteur dominante et intermédiaire (A) et dominante et supprimée 1 (B).

A				B			
Année	Degré de liberté	F	p	Année	Degré de liberté	F	p
1971	1	12,010	0,0018	1971	1	27,656	0,0000
1974	1	17,169	0,0003	1974	1	38,371	0,0000
1977	1	20,407	0,0001	1977	1	46,178	0,0000
1980	1	23,462	0,0000	1980	1	53,484	0,0000
1983	1	27,018	0,0000	1983	1	64,069	0,0000
1986	1	29,181	0,0000	1986	1	74,165	0,0000
1989	1	32,089	0,0000	1989	1	86,250	0,0000
1992	1	33,409	0,0000	1992	1	91,559	0,0000
1995	1	37,370	0,0000	1995	1	101,789	0,0000

Tableau A4.4. Contrastes entre les classes de hauteur intermédiaire et supprimée 1 (A) et supprimée 1 et supprimée 2 (B).

A				B			
Année	Degré de liberté	F	p	Année	Degré de liberté	F	p
1971	1	3,055	0,0918	1971	1	0,059	0,8089
1974	1	3,998	0,0558	1974	1	0,020	0,8876
1977	1	4,929	0,0350	1977	1	9,608	0,0045
1980	1	5,850	0,0226	1980	1	10,694	0,0029
1983	1	7,482	0,0109	1983	1	13,061	0,0012
1986	1	9,787	0,0042	1986	1	15,944	0,0005
1989	1	12,465	0,0015	1989	1	19,882	0,0001
1992	1	13,636	0,0010	1992	1	24,953	0,0000
1995	1	15,017	0,0006	1995	1	31,468	0,0000

ANNEXE 5
LA CROISSANCE EN VOLUME

Tableau A5.1. Résultats de la régression entre la hauteur initiale et le volume final des épinettes.

Variables	N	r	R ²	Coefficient	p
Hauteur initiale	38	0,882	0,778	0,000093	0,0000
Constante				-0,00112	0,4754
Régression					0,0000

Tableau A5.2. Résultats de l'analyse de variance à mesure répétées entre la croissance en volume et les classes de hauteur.

Analyse intergroupes

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Classe	1471,811	4	367,953	2254,54E+2	0,0000
Erreur	0,044	27	0,001		

Analyse intragroupes

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p	G-G
Temps	326,301	8	40,787	0,616E+5	0,0000	0,0000
Temps *	523,048	32	16,345	0,247E+5	0,0000	0,0000
classes						
Erreur	0,143	216	0,006			

Tableau A5.3. Contrastes entre les classes de hauteur dominante et intermédiaire (A) et dominante et supprimée 1 (B).

A				B			
Année	Degré de liberté	F	p	Année	Degré de liberté	F	p
1971	1	0,0597	0,8089	1971	1	1,137	0,2956
1974	1	0,0203	0,8876	1974	1	1,390	0,2486
1977	1	9,6086	0,0045	1977	1	10,953	0,0027
1980	1	10,6940	0,0029	1980	1	12,335	0,0016
1983	1	13,0161	0,0012	1983	1	15,251	0,0006
1986	1	15,9447	0,0005	1986	1	19,286	0,0002
1989	1	19,8825	0,0001	1989	1	25,026	0,0000
1992	1	24,9534	0,0000	1992	1	32,628	0,0000
1995	1	31,4686	0,0000	1995	1	42,206	0,0000

Tableau A5.4. Contrastes entre les classes de hauteur intermédiaire et supprimée 1 (A) et supprimée 1 et supprimée 2 (B).

A				B			
Année	Degré de liberté	F	p	Année	Degré de liberté	F	p
1971	1	1,632	0,2123	1971	1	0,8385	0,3679
1974	1	1,660	0,2085	1974	1	0,8424	0,3668
1977	1	0,041	0,8395	1977	1	0,0001	0,9906
1980	1	0,055	0,8153	1980	1	0,0003	0,9858
1983	1	0,084	0,7740	1983	1	0,0006	0,9800
1986	1	0,150	0,7007	1986	1	0,0013	0,9715
1989	1	0,280	0,6005	1989	1	0,0028	0,9579
1992	1	0,488	0,4908	1992	1	0,0055	0,9413
1995	1	0,747	0,3949	1995	1	0,0098	0,9217

ANNEXE 6
RELATIONS ENTRE LA HAUTEUR FINALE ET LA HAUTEUR INITIALE

Tableau A6.1. Résultats de la régression entre la hauteur finale et la hauteur initiale de toutes les tiges, les tiges de moins de 1,5m, de plus de 2,5 m et entre 1,5 et 2,5 m de hauteur initiale.

Variables	N	r	R ²	Coefficient	Probabilité
Hauteur finale et hauteur initiale	38	0,84	0,705	1,705	0,000
Constante				2,038,	0,000
Régression					0,000
H. finale et h. initiale (<1,5 m)	26	0,792	0,627	4,564	0,000
Constante				0,948	0,009
Régression					0,000
H. finale et h. initiale (1,5-2,5 m)	7	0,240	0,057	-1,783	0,605
Constante				9,735	0,184
Régression					0,605
H. finale et h. initiale (>2,5m)	5	0,754	0,568	0,511	0,141
Constante				6,833	0,010
Régression					0,141

ANNEXE 7
LA COMPÉTITION ENTRE LES TIGES

Tableau A7.1. Résultats des régressions entre le taux de croissance en hauteur et les 4 indices de compétition calculés.

Variables	N	r	R ²	Coefficient	p
Ln IC*	29	0,743	0,552	-0,0557	0,0000
Constante				0,0453	0,0238
Régression					0,0000
Ln ICH	29	0,766	0,586	-0,0694	0,0000
Constante				0,3211	0,0000
Régression					0,0000
Ln ICDia	29	0,743	0,552	-0,0581	0,0000
Constante				0,2997	0,0000
Régression					0,0000
Ln ICHC	29	0,492	0,242	-0,0532	0,0067
Constante				0,3153	0,0000
Régression					0,0067

Tableau A7.2. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1971 et les classes de hauteur.

Source	Somme de carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Classes de hauteur	42,157	2	21,078	33,451	0,0000001
Erreur	15,753	25	0,630		

Tableau A7.3. Contrastes de l'indice de compétition de 1971 entre les classes de hauteur.

Classes de hauteur	Somme des carrés	Degré de liberté	F	p
Dominante et intermédiaire	27,330	1	0,0116	0,9149
Erreur	610,393E+2			
Dominante et supprimée 1	275,208E+2	1	11,7226	0,0020
Erreur	610,393E+2			
Intermédiaire et supprimée 1	244,114E+2	1	10,3981	0,0033
Erreur	610,393E+2			

Tableau A7.4. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1995 et les classes de hauteur.

Source	Somme de carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Classes de hauteur	1771,70	2	885,850	11,721	0,000235
Erreur	1964,87	26	75,571		

Tableau A7.5. Contrastes de l'indice de compétition de 1995 entre les classes de hauteur.

Classes de hauteur	Somme des carrés	Degré de liberté	F	p
Dominante et intermédiaire	4,183	1	0,0553	0,8158
Erreur	196,487E+1			
Dominante et supprimée 1	142,300E+1	1	18,8297	0,0001
Erreur	196,487E+1			
Intermédiaire et supprimée 1	120,210E+1	1	15,9066	0,0004
Erreur	196,487E+1			

Tableau A7.6. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1971 et 1995 des tiges de la classe de hauteur supprimée 1.

Source	Somme de carrés	Degrée de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Tiges supprimées	16603,95	1	16603,95	4,778	0,0423
Erreur	62546,52	18	3474,81		

Tableau A7.7. Résultats de l'analyse de variance entre l'indice de compétition de 1971 des tiges de la classe intermédiaire et l'indice de compétition de 1995 des tiges de la classe de hauteur dominante.

Source	Somme de carrés	Degrée de liberté	Moyenne des carrés	F	p
Tiges	34,747	1	34,747	2,065	0,168
Erreur	286,09	17	16,83		

ANNEXE 8
ACCROISSEMENT EN VOLUME SPÉCIFIQUE (SVI)
DE CERTAINES TIGES

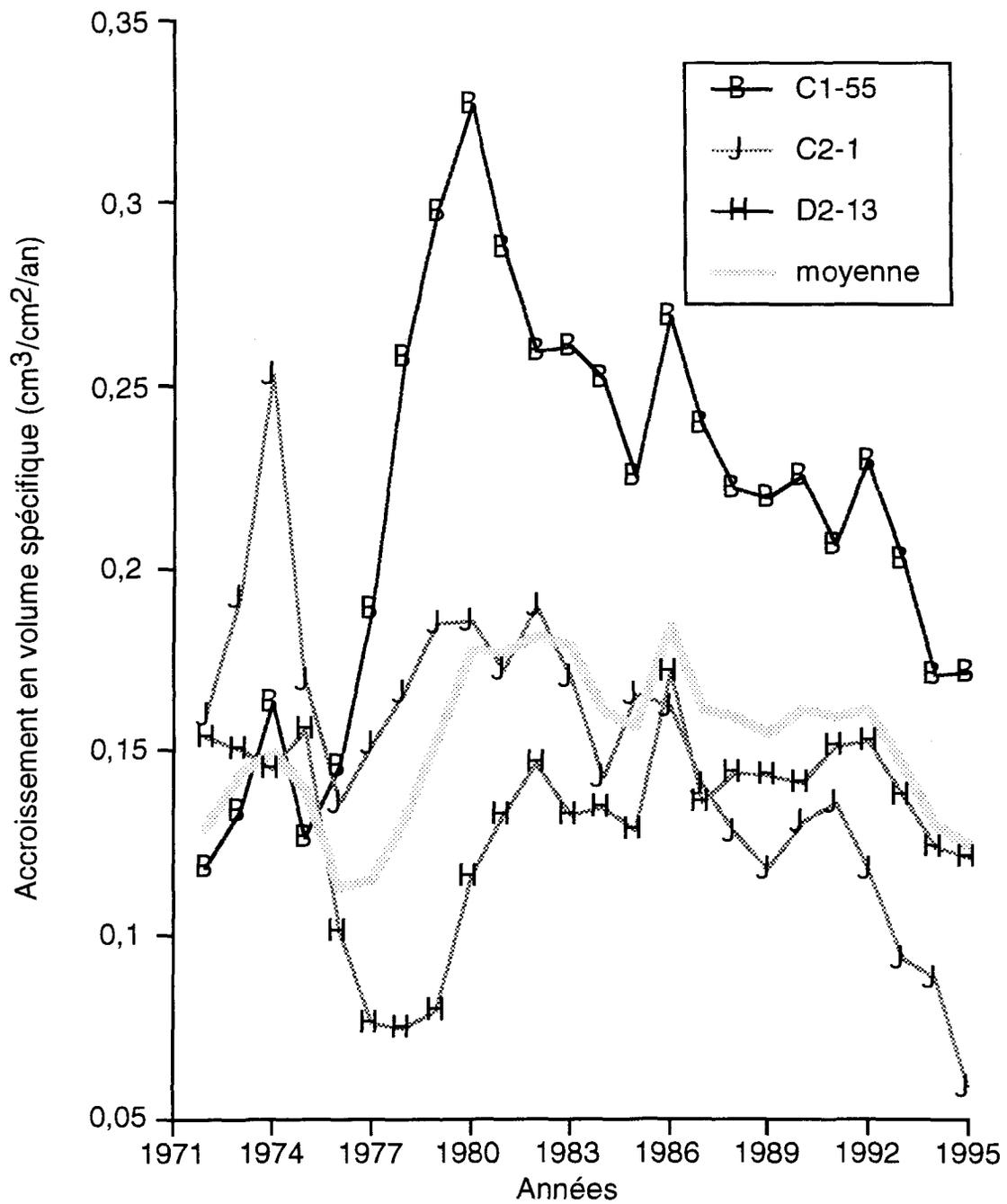


Figure A8.1. Croissance annuelle en volume spécifique de certaines tiges de la classe de hauteur dominante (>6 m) (la moyenne a été calculée à partir de la croissance de toutes les tiges de la classe).

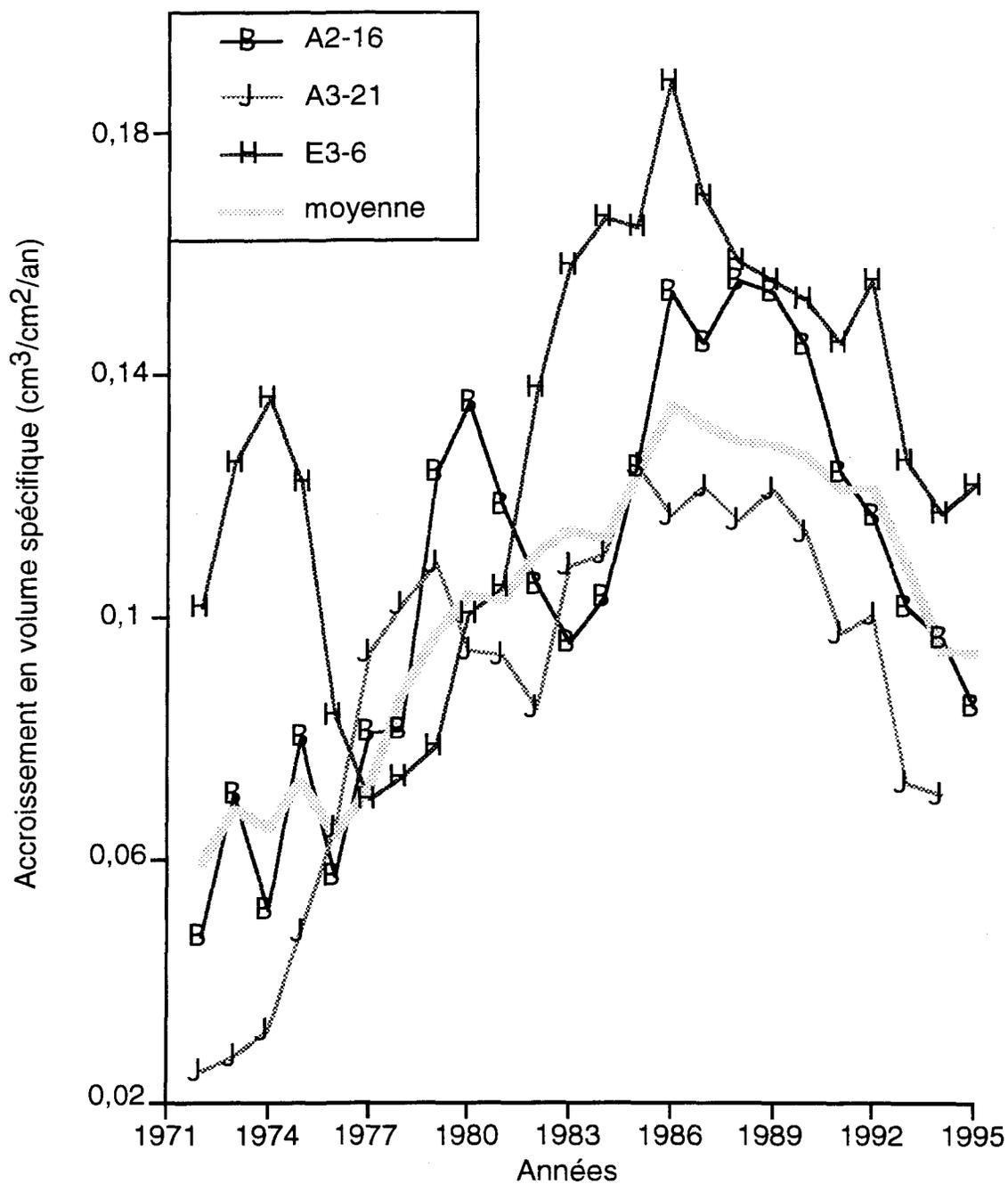


Figure A8.2. Croissance annuelle en volume spécifique de certaines tiges de la classe de hauteur intermédiaire (4-6 m) (la moyenne a été calculée à partir de la croissance de toutes les tiges de la classe).

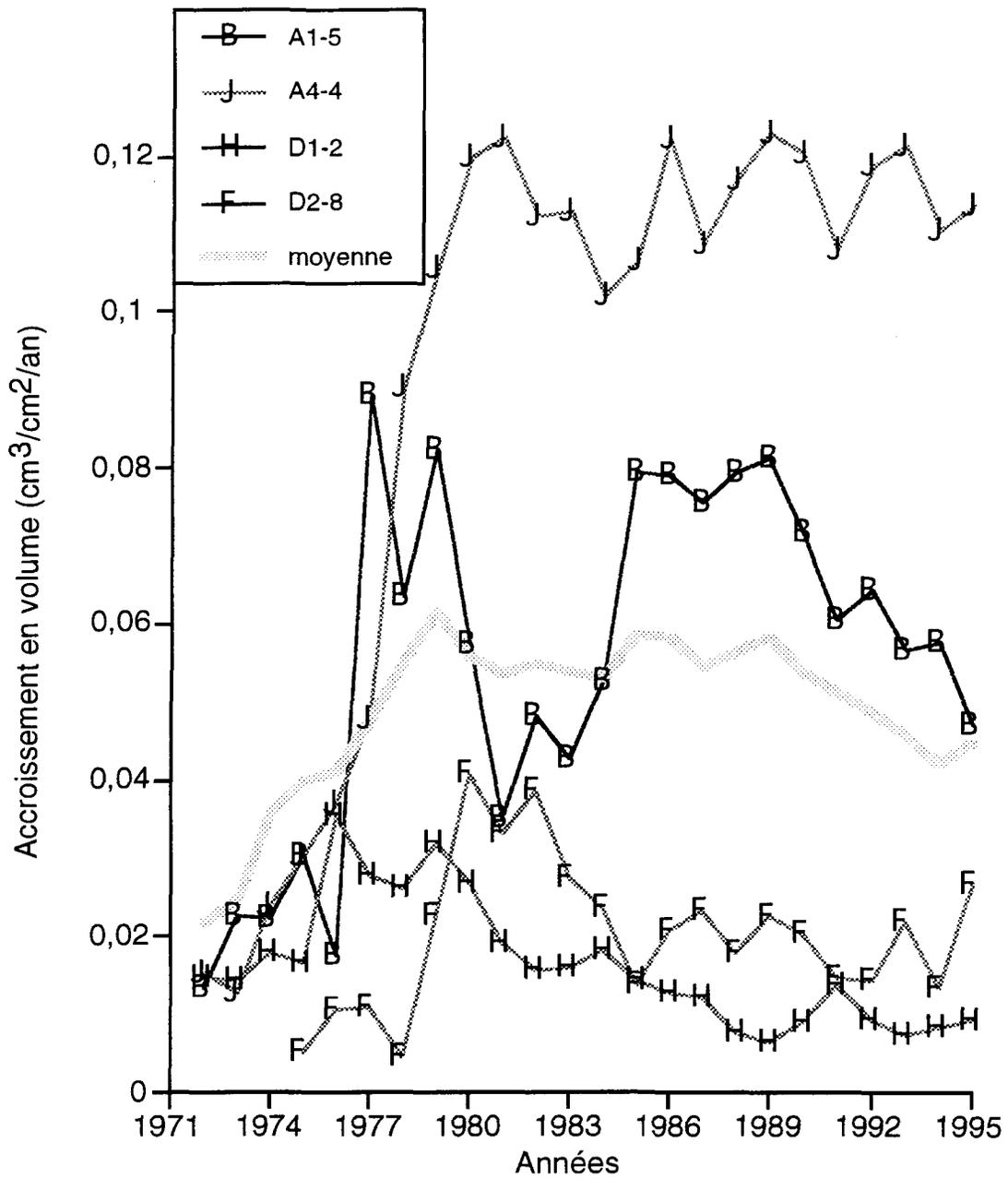


Figure A8.3. Croissance annuelle en volume spécifique de certaines tiges de la classe de hauteur supprimée 1 (1-4 m) (la moyenne a été calculée à partir de la croissance de toutes les tiges de la classe).