



Environnement
Canada

Environment
Canada

Service
canadien des
forêts

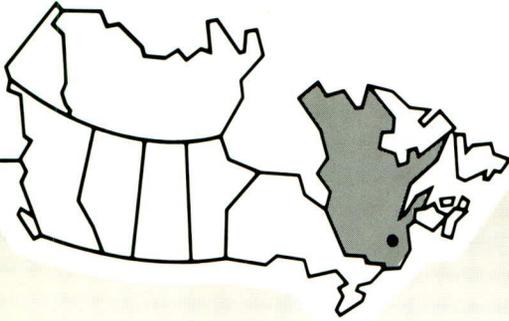
Canadian
Forestry
Service

Production stationnelle dans les sapinières en Gaspésie, Québec

R. Zarnovican

Rapport d'information LAU-X-64

Centre de recherches forestières des Laurentides



**CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES
LAURENTIDES**

Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Production stationnelle dans les sapinières en Gaspésie, Québec

R. Zarnovican

Rapport d'information LAU-X-64

1983



Centre de recherches forestières des Laurentides

Service canadien des Forêts

Environnement Canada

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:
Centre de recherches forestières des Laurentides
Service canadien des forêts
Environnement Canada
1080, route du Vallon
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

N° de catalogue Fo46-18/64F
ISSN 0703-2196
ISBN 0-662-92432-0

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1983

*This publication is also available in English under the title "Yield of
balsam fir stands in the Gaspé Region of Québec."*

TABLES DES MATIÈRES

	Pages
LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	iii
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
Enoncé du problème et but du travail	2
Description biophysique du massif boisé	3
MÉTHODES ET MATÉRIEL	4
Protocole dendrométrique	5
Protocole écologique	5
Analyse et traitement des données	6
RÉSULTATS ET DISCUSSION	7
Description des peuplements du massif boisé	7
Structure des peuplements	8
Composition floristique des strates inférieures	16
a. Établissement des groupes coenologiques	17
b. Quelques précisions sur la synécologie de trois principaux groupes coenologiques	22
Hauteur des arbres comme indice de la fertilité des stations	25
Croissance en hauteur des arbres: un bref examen	25
Etablissement des courbes de fertilité	28
CONCLUSION	42
REMERCIEMENTS	43
RÉFÉRENCES	43

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Composition des peuplements forestiers de la Gaspésie avant 1938 d'après Gobeil (1938)	8
Tableau 2. Matrice des corrélations simples entre les 17 espèces	19
Tableau 3. Valeurs propres, pourcentages et pourcentages cumulés pour K^3 de l'analyse en composantes principales de la matrice espèce-espèce	20
Tableau 4. Coordonnées des 17 espèces dans l'espace K^3 avec la fidélité de leur projection dans K^3	20
Tableau 5. Présence relative (%) des 5 groupes coenologiques dans 52 stations, avec l'identification de stations par le groupe coenologique	21
Tableau 6. Matrice des corrélations simples entre les groupes coenologiques et entre les groupes coenologiques et les principales variables dendrométriques et pédologiques	24
Tableau 7. Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier par classe d'âge de 5 ans	31
Tableau 8. Les paramètres de la fonction de Korf pour 5 courbes du domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier	35
Tableau 9. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le premier groupe coenologique exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans	40
Tableau 10. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le troisième groupe coenologique, exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans	40
Tableau 11. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le cinquième groupe coenologique exprimée par la hauteur moyenne et la classe d'âge de 5 ans	41
Tableau 12. Densité du bois de sapin baumier selon le groupe coenologique	41

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1. Distribution des stations d'étude selon leur surface terrière et leur nombre de tiges, chaque station est identifiée par le taux d'utilisation d'espace disponible.	10
Figure 2. Superficie moyenne par arbre d'après la surface terrière moyenne de 52 stations d'étude.	11
Figure 3. Distribution des stations d'étude selon leur nombre de tiges et leur surface terrière moyenne.	12
Figure 4. Distribution des stations d'étude selon leur hauteur réduite et leur surface terrière moyenne.	12
Figure 5. Distribution du nombre de tiges selon la classe du dhp.	14
Figure 6. Distribution des stations d'étude selon le coefficient d'asymétrie et la surface terrière moyenne; chaque station est identifiée par le coefficient d'aplatissement.	15
Figure 7. Distribution des groupes coenologiques typiques et dominants selon la superficie moyenne par arbre et la surface terrière moyenne.	23
Figure 8. Croissance en hauteur de deux sapins baumiers.	23
Figure 9. Temps de passage en hauteur chez le sapin baumier selon la période.	27
Figure 10. Accroissement annuel courant en hauteur pour l'épinette noire sur deux stations différentes.	27
Figure 11. Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier.	30
Figure 12. Variabilité de la croissance en hauteur selon l'âge.	30
Figure 13. Expression graphique de la relation entre C_2 et H_{50} .	32
Figure 14. Expression graphique de la relation entre C_3 et H_{50} .	32
Figure 15. Courbes de fertilité pour le sapin baumier.	34

	Page
Figure 16. Courbes des accroissements annuels courants en hauteur pour le sapin baumier.	34
Figure 17. Comparaison des courbes de fertilité avec quelques courbes de hauteurs établies par l'analyse de tiges.	36
Figure 18. Comparaison des courbes de fertilité avec les courbes publiées par Ker (1976) et Vézina et Linteau (1968).	36
Figure 19. Croissance en hauteur d'après les courbes de fertilité et d'après les groupes coenologiques (1er, 3e, 5e) selon l'âge.	37
Figure 20. Niveau de production de stations d'étude, exprimé par la surface terrière de plein boisement à ha selon le dhp moyen de peuplements.	38

RÉSUMÉ

Le présent travail examine la production stationnelle des sapinières de Gaspésie, au moyen de 52 stations d'étude provenant du massif boisé du Lac Joffre.

L'évaluation de la qualité stationnelle est faite à l'aide des indices dendrométriques et floristiques, mais principalement à l'aide des indices de fertilité à l'âge de 50 ans. Les indices de fertilité sont établis à l'aide de la fonction de croissance de Korf et des données sur la hauteur et l'âge total à partir d'analyse de 97 sapins [*Abies balsamea* (L.) Mill.] dominants.

Bien que le domaine de la croissance en hauteur à 50 ans soit suffisamment grand pour refléter plusieurs classes de fertilité, la comparaison de la croissance apicale de différents groupements végétaux, ainsi que la comparaison de la densité du bois ne les confirment pas. De plus, l'ordination des stations selon la surface terrière de plein boisement et le dhp moyen met en évidence l'existence d'un seul niveau de production. Les résultats indiquent que la qualité stationnelle de l'ensemble de sites considérés est la même et que les indices de fertilité ne reflètent que la variabilité dans la croissance en hauteur, résultat probable des épidémies répétées de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de ses conséquences.

ABSTRACT

The yield of balsam fir stands is examined from results of 52 forest stands in the Joffre Lake area in Quebec's Gaspé region.

Site quality was based on site index (i.e. average height at 50 years) and some stand characteristics. Site index curves were established on the basis of Korf's growth function, from stem analysis of 97 dominant balsam fir [*Abies balsamea* (L.) Mill.] trees.

Even though at 50 years the height-growth range represent a sufficiently large variation reflecting the possibility of several site classes, the comparison of height growth and wood density in different plant groups do not confirm these results. Moreover, the ordination of fully stocked stands according to mean dbh indicate that yield level was the same for the group of sites studied and that site indices reflect nothing more than variations in height growth, which may be explained by the effects of repeated spruce budworm outbreaks.

INTRODUCTION

L'augmentation constante de la consommation de la matière ligneuse par l'industrie forestière québécoise imposera sûrement la mise en oeuvre de principes d'aménagement intensif.

Or, comme l'ont fait remarquer Bolghari et Vézina (1975), l'élaboration de tels principes sera facilitée par des données précises sur la production de peuplements forestiers au niveau stationnel, et surtout par la connaissance des facteurs qui ont une incidence directe sur cette production. Il devient donc primordial d'une part, de définir les meilleures façons de mesurer la production ligneuse et d'autre part, d'analyser, évaluer et si possible, mesurer les facteurs du milieu pouvant influencer directement cette production.

Parmi les méthodes d'étude des facteurs du milieu, il faut signaler, dans le contexte québécois, l'application de l'approche de Cajander par Linteau (1957) et Lafond (1967) et celle de Braun-Blanquet par Jurdant (1964) et autres.

Parmi ces auteurs, seuls à notre connaissance, Linteau et Lafond ont abordé l'évaluation de la production et des facteurs écologiques dans les sapinières. Ainsi, Linteau (1957) a établi une classification écologique des stations forestières pour le territoire appelé par cet auteur "des Conifères du Nord-Est". Le milieu de croissance était classé selon les critères floristiques et édaphiques, tandis que la productivité était estimée à partir d'un modèle graphique d'indice de fertilité (I50) à l'âge de référence de 50 ans. Notons au passage que les paramètres "guides", d'une station étaient la hauteur dominante et l'âge total. A partir des paramètres "guides" on a attribué à la station un indice de fertilité et une classe de fertilité. Il convient de rappeler que le faisceau des courbes d'indices de fertilité est un modèle "anamorphe" *sensu* Tesch (1981) et il est destiné au deux essences, soit l'épinette noire [*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.] et le sapin baumier [*Abies balsamea* (L.) Mill.].

Lafond (1967) a également abordé le rapport station-production ligneuse. Le milieu de croissance est identifié et classé à l'aide de la végétation arborescente, arbustive et herbacée pour former le type forestier auquel l'auteur attribue une classe de productivité. L'examen des travaux cités plus haut permet de constater que l'effort fut consacré d'avantage à l'étude de la végétation et du sol, qu'à l'évaluation de la productivité sur le plan dendrométrique.

Énoncé du problème et but du travail

L'aptitude d'une station à produire la matière ligneuse est évaluée par la vitesse de cette production à l'aide de différents indices. Cet aspect fut étudié par Decourt (1973) et cet auteur en a reconnu cinq principaux types, à savoir: les indices climatiques, floristiques, dendrométriques, écologiques et mixtes.

D'une façon générale, la pratique forestière utilise surtout les indices dendrométriques et notamment celui basé sur la hauteur à un âge donné, qu'on appelle "indice de fertilité" ou "site index". La hauteur est choisie de préférence à toute autre caractéristique dendrométrique, puisqu'elle ne dépend que très faiblement du taux de boisement au sens de Zarnovican (1982), qu'elle est en corrélation étroite avec la production totale en volume et qu'elle est pratiquement indépendante des interventions sylvicoles. Cette assertion est connue sous le nom de "loi de Eichhorn élargie", mais comme il a été démontré par Assmann (1955, 1961, 1965, 1974) la liaison hauteur production totale existe si le niveau de production est le même.

Le faisceau des courbes de fertilité est établi selon deux méthodes principales à savoir la méthode dite spatiale avec les courbes dites anamorphes et la méthode temporelle à partir de l'analyse de tiges avec les courbes dites polymorphes, Tesch (1981). La méthode dite temporelle est préférée à toute autre puisque, suite aux travaux de Curtis (1964), Heger (1968), Beck (1971), Carmean (1979), Griffin et Johnson (1980), les avantages en sont évidents.

L'évaluation de la productivité des sapinières à l'aide de courbes polymorphes a été effectuée par Griffin et Johnson (1980) dans l'Etat du Maine, mais, à notre connaissance, cet indice de productivité n'a jamais été établi pour les sapinières du Québec et particulièrement celles de la Gaspésie. Afin de vérifier l'efficacité de différents indices de productivité, nous nous proposons d'examiner la structure des peuplements d'étude et en particulier l'évolution dans le temps de la structure "diamétrale", basée sur la distribution du nombre de tiges par classe du dhp. De plus, nous examinerons les relations entre le nombre des tiges et le dhp moyen des peuplements, la hauteur réduite des peuplements et le dhp moyen et nous comparerons nos résultats avec les résultats d'autres auteurs afin d'établir si l'ensemble des 52 stations d'étude peut être considéré comme une série de croissance au sens de Turnbull (1963)¹. Dans un deuxième temps, nous classerons la végétation des peuplements étudiés et nous établirons les groupes coenologiques et leur valeur indicatrice sur la productivité des sapinières.

Toutefois, nos efforts porteront surtout sur l'examen de la croissance en hauteur chez le sapin baumier et sur les principaux facteurs qui l'influencent, pour établir les indices de fertilité à partir des courbes polymorphes. Finalement, nous examinerons la valeur pratique des indices floristiques et des indices de fertilité en comparant nos résultats avec les résultats sur la densité du bois sec et nous examinerons le niveau de production de 52 stations d'étude.

Description biophysique du massif boisé

Le massif boisé du Lac Joffre est situé à cheval entre les cantons Joffre et Dunière dans le comté de Matane, et plus particulièrement entre 48°43'30" et 48°46'30" de latitude nord et entre 66°34'00" et 66°40'30" de longitude ouest. De forme rectangulaire, le massif a une superficie d'environ 45 km². Sur le plan orographique, le massif fait partie de la plaine

¹ Population dynamics in mixed forest stands. A system of mathematical models of mixed stand growth and structure. Thèse, non publiée, Washington, 186 p.

méridionale, au sud de la chaîne principale de Chic-Chocs, dont elle est séparée par un profond sillon. L'altitude du massif varie entre 290 et 580 m, le relief y est montueux avec des pentes très prononcées dans la zone de l'ancienne érosion fluviale.

La plus grande partie du territoire a pour substrat des grès schisteux finement grenus avec quelques affleurements de dolomie. Le dépôt de surface est formé essentiellement de saprolite dont l'épaisseur varie de 2 à 5 m; par contre le dépôt glaciaire est pratiquement inexistant et, lorsqu'il est identifiable, il dépasse rarement quelques dizaines de centimètres (Lebuis et David 1977).

Le climat de Chic-Chocs fut l'objet d'une étude de Gagnon (1970). On peut caractériser le climat du massif boisé de la façon suivante: la température annuelle moyenne est de 0 à +2°C, avec des précipitations totales annuelles variant entre 1016 et 1219 mm, dont la moitié sont des averses de neige (380 à 500 cm). La période de croissance est relativement courte et n'excède pas 80 jours par année. D'après la classification de Rowe (1972) le massif fait partie de la section B.2 - Gaspésie.

Quant aux sols du massif boisé, ils appartiennent au sous-groupe podzol humo-ferrique orthique au sens de la Commission canadienne de pédologie (C.C.P., 1978), avec granulométrie squelettique loameuse, et contact lithique généralement supérieur à un mètre. D'après la réaction, on peut parler dans l'ensemble de sols acides à l'exception de quelques profils décrits sur la dolomie, dont la réaction fut neutre. Le taux de saturation en bases est faible, et il ne dépasse guère 8 % pour les horizons B.

MÉTHODES ET MATÉRIEL

Nous avons établi 52 stations d'étude de forme circulaire d'une surface de 500 m² dont le rayon fut ajusté selon la pente.

Le choix de l'emplacement de la station fut effectué selon l'homogénéité des critères suivants:

- critères écologiques, comme la pente, l'exposition, la position sur la pente, le drainage, qui peuvent à priori influencer la croissance;
- critères dendrométriques, tel l'état du couvert arborescent, la présence de perturbations, etc.

Les stations ont été établies le long de transects, dont l'orientation correspond au gradient écologique reconnaissable sur les photos aériennes noir et blanc à l'échelle de 1:15 000. Il convient de préciser que nous avons éliminé de notre échantillonnage les dépôts organiques et les superficies récemment coupées.

Protocole dendrométrique

Dans chaque station d'étude nous avons énuméré les tiges par classe du dhp de 2 cm pour toutes les essences à partir de 4 cm au dhp. De plus de 2 à 4 arbres furent abattus. Le choix des arbres a été fait de telle sorte qu'ils ne présentaient aucun défaut visible sur la cime et sur le tronc, de plus leur dhp devait être le plus près du dhp du 95 percentile sur la courbe cumulative du nombre des tiges. Les arbres ainsi choisis ont été découpés en sections de 1 m de longueur, sauf pour la section de souche, laquelle était de 80 cm. Le premier disque a été prélevé à 40 cm au-dessus du sol. Au total nous avons prélevé les disques de 111 arbres dominants de sapin baumier et de 23 épinettes blanches sur lesquels nous avons effectué l'analyse complète des tiges.

Protocole écologique

La description de chaque station sur le plan biophysique comprenait trois séries d'observations, à savoir; le milieu physique, la végétation des strates herbacées, et finalement le sol. Le milieu physique a été décrit par la pente, l'exposition, la forme de la pente, la position sur la pente et le microrelief.

La végétation des strates inférieures a été échantillonnée par la méthode des segments (Godron 1971)². Le dispositif expérimental en forme

² Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse, non publiée, Montpellier, 245 p.

de croix, orienté systématiquement selon les points cardinaux, était composé de deux cordes perpendiculaires de dix segments d'un mètre chacun. Le point d'intersection des deux cordes correspondait au centre de la station et au-dessus de chaque segment la fréquence d'apparition des espèces fut notée. Soulignons que la végétation arborescente a été analysée selon la proportion des différentes essences en pourcentage de la surface terrière totale de la station. Le sol de la station a été étudié à l'aide du profil localisé près du centre de la station et décrit selon les critères de la Commission canadienne de pédologie (C.C.P., 1978). Notre description portait sur l'épaisseur, les limites, la couleur, le pH, la consistance, la texture, la structure et la pierrosité des horizons. Finalement, nous avons prélevé 5 échantillons d'humus d'une façon systématique au milieu du rayon de la station à partir du nord à 72° d'intervalle.

Analyse et traitement des données

Les données dendrométriques concernant la croissance des arbres proviennent exclusivement d'analyses de tiges. C'est une technique très efficace et son usage est ancien (Guttenberg 1915). Elle se prête bien à l'analyse de la croissance et notamment à l'établissement des courbes d'indices de fertilité (Curtis 1964; Guttenberg 1915; Schwappach 1902; Duchovnikov 1972; etc.). Nous avons suivi la méthodologie de Korf (1953) pour effectuer l'analyse des tiges, et établir les données dendrométriques de base à savoir: l'âge, la hauteur, le dhp, la surface terrière, le volume, la hauteur réduite et le coefficient de forme. Dans l'établissement des courbes d'indices de fertilité, nous nous sommes inspirés des méthodologies de Panek (1976) et de Tveite (1969). Quant à l'expression mathématique de la croissance, nous avons utilisé avec profit la fonction de croissance de Korf (Zarnovican 1979), dont les paramètres furent définis à l'aide de programme "PAR" du Biomedical Computer Programs, P-series (Dixon 1977).

L'analyse de la végétation des strates inférieures et notamment l'établissement des groupes coenologiques ont été effectués à l'aide de l'analyse en composantes principales, et les calculs inhérents ont été effectués grâce aux programmes "Sacados" de Boudoux et Bonenfant (1979).

Les analyses des sols et de l'humus ont été effectuées selon les méthodes prônées par la Commission canadienne de pédologie (McKeague 1977), pour établir notamment le pH et l'azote total des humus, le carbone humique et fulvique et la texture du sol minéral exprimée par le diamètre des particules à 50 % de la courbe texturale. Quant à l'étude de la densité du bois, trois échantillons furent prélevés de chaque tiers de l'arbre, puis séchés au poids constant et mesurés pour déterminer le poids spécifique.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Description des peuplements du massif boisé

Les peuplements forestiers du massif boisé du Lac Joffre sont nettement dominés par le sapin baumier; selon les données de 52 stations d'étude cette essence occupe en moyenne 83 % ($s_x=10$ %) de la surface terrière. L'épinette blanche, même si elle est constamment présente, n'occupe que 14 % ($s_x=9$ %) de cette surface terrière. Quant aux autres essences (bouleau blanc [*Betula papyrifera* Marsh.] et épinette noire), elles n'occupent sporadiquement que 2 à 3 % de la surface terrière des peuplements étudiés.

Il est difficile d'établir que cette composition est climacique, puisqu'aucune recherche historique sur cette question n'a été effectuée dans la région. En l'absence des données forestières au Service de l'inventaire du Ministère d'Énergie et des Ressources du Québec pour la région d'étude d'avant 1965, la reproduction des données sur la composition des forêts en Gaspésie publiées par Gobeil en 1938, nous paraît extrêmement utile.

Les données du tableau 1 mettent en évidence que dans la composition des peuplements avant 1938, la proportion d'épinette blanche et des feuillus était 3 fois supérieure à celle d'aujourd'hui. Mais suite aux attaques de la mouche à scie [*Gilpinia hercyniae* Htg.] et du dendroctone [*Dendroctonus piceaperda* Hopk.] de l'épinette blanche (Gobeil 1938 et Martineau 1943) dans les années 1935-1940, et au dépérissement du bouleau à papier vers la même période (Martineau, communication personnelle), sans

Tableau 1. Composition des peuplements forestiers de la Gaspésie avant 1938 d'après Gobeil (1938)

Bassins de rivière	Pourcentage en volume				
	Épinette	Sapin	Cèdre	Pin	Feuillus
Matane	33	49	1		17
Cap Chat					
Sainte-Anne					
Marsouis	36	52	1	1	10
Madeleine					
Darmouth					
York	41	38	3	1	7
Saint-Jean					
Malbaie					
Grande Rivière					
Grand Pabos	27	37	5	4	27
Petit Pabos					
Duval					
Hall	27	36	2	1	34
Bonaventure					
Petite Cascapedia					
Grande Cascapedia	39	50	1	-	10
Saumons					
Nouvelle					
Escuminac	20	52	4	1	23
Total	34	46	2	1	17

Détails pour feuillus: Bouleau 51; Tremble 34; Merisier 11.

oublier les coupes abusives, la composition des peuplements dans la région du massif boisé a changé. Le sapin baumier a été favorisé au détriment de l'épinette blanche et du bouleau à papier, lequel sapin baumier est devenu à son tour une proie facile de la tordeuse des bourgeons de l'épinette [*Choristoneura fumiferana* (Clem.)]. Devant cette situation, il nous paraît présomptueux d'établir la composition climacique à partir des simples relevés floristiques actuels. Nous sommes d'avis que, dans l'aménagement des sapinières, on devrait procéder à leur conversion pour former des peuplements plus résistants dont la composition serait déterminée par une étude historique et écologique sérieuse.

Structure des peuplements

Nous avons démontré dans une étude récente, qu'il existe une grande similitude morphologique entre le sapin baumier et l'épinette blanche

(Zarnovican 1982). De plus, il nous a été possible d'établir, à l'aide d'un modèle prédictif linéaire, le boisement naturel de nos 52 stations d'étude. Pour cette raison, nous abordons la structure "diamétrale" de peuplements par l'examen de leur boisement. A cette fin, nous avons reproduit à la figure 1, la distribution de 52 stations selon leur surface terrière et le nombre des tiges par station. En plus d'y reproduire les isolignes qui rejoignent les stations de même boisement, nous y avons reproduit, à titre de comparaison, les données de tables de rendement de Ker (1976), de Vézina et Linteau (1968), de Boudoux (1978), pour le sapin baumier et les données de Hausser in Korf (1953) pour le sapin pectiné. Il faut noter que l'ensemble de nos stations, malgré une variabilité évidente, représente une distribution logique, c. à d. pour le même taux d'utilisation et un nombre de tiges croissant, la surface terrière décroît, ce qui se confirme aussi dans les résultats des auteurs précédemment cités. En comparant le taux maximal d'utilisation, qui correspond d'après nos résultats à 84 %, on remarque une similitude entre nos données et celles de Ker (1976), tandis que le boisement de Vézina et Linteau (1968) correspond à environ 70 % du nôtre. Quant aux données de Boudoux (1978), la comparaison met en évidence le taux d'utilisation remarquablement faible observé par ce dernier. Ces constatations se confirment dans la comparaison effectuée à la figure 2. Nous y avons ordonné les 52 stations selon la superficie disponible par arbre et par station, et selon la surface terrière moyenne des stations. De plus, nous y avons ajouté les données semblables de Ker (1976), de Vézina et Linteau (1968) et de Boudoux (1978). La relation entre la superficie disponible et la surface terrière moyenne est plus étroite que celle illustrée à la figure 1 et de plus, on peut constater la similitude entre nos données et celles de Ker (1976). Pour évaluer la densité de nos stations nous les avons ordonnés à la figure 3 selon le nombre des tiges, et la surface terrière moyenne, nous y avons reproduit les données correspondantes de Ker, Vézina et Linteau, et Boudoux. L'examen de nos observations révèle l'existence d'une relation très étroite entre le nombre de tiges observées et la surface terrière moyenne de la station. Cette relation peut s'ajuster remarquablement bien par une fonction exponentielle négative:

$$n = 242,71 \text{ st} \quad -1,028095 \\ \text{moy}$$

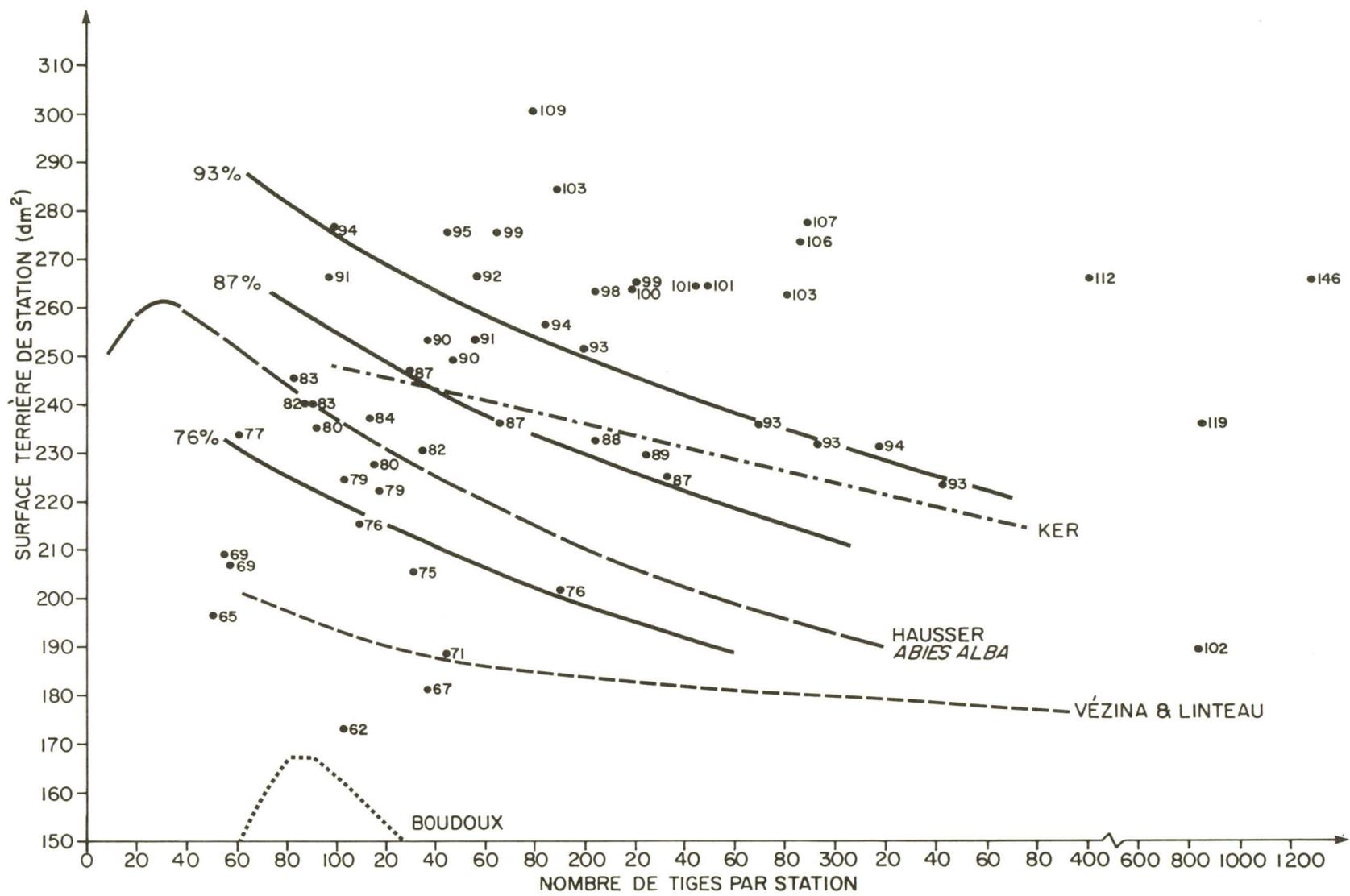


Figure 1. Distribution des stations d'étude selon leur surface terrière et leur nombre de tiges, chaque station est identifiée par le taux d'utilisation d'espace disponible.

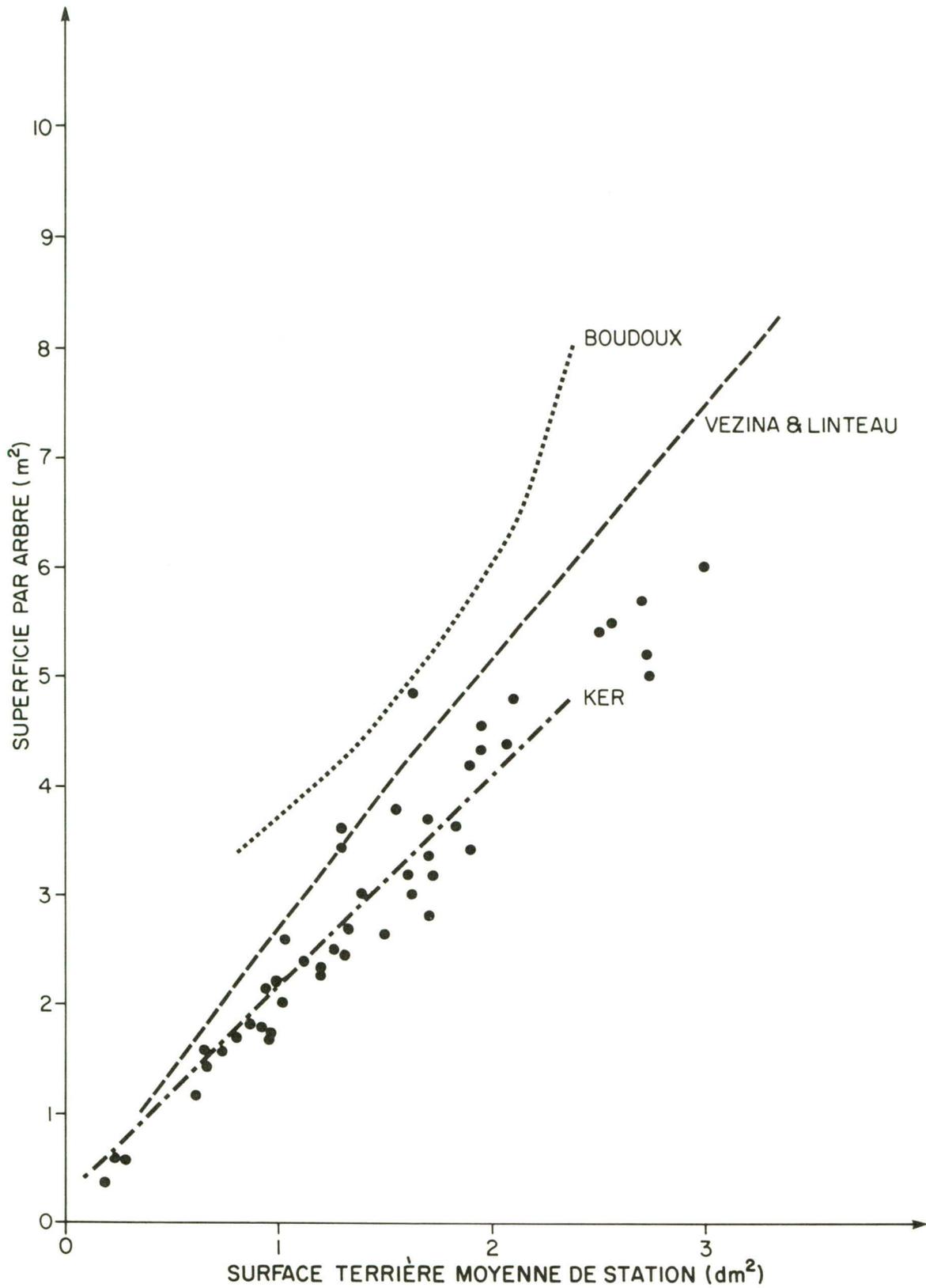


Figure 2. Superficie moyenne par arbre d'après la surface terrière moyenne de 52 stations d'étude.

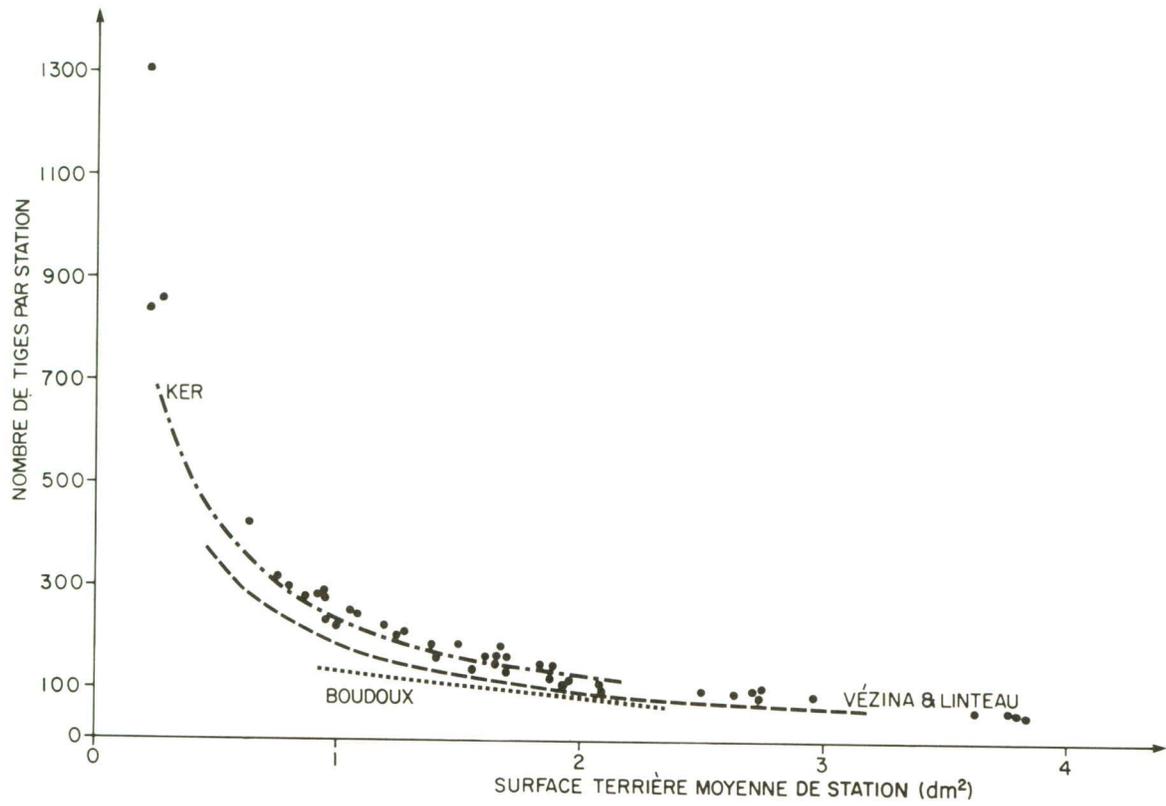


Figure 3. Distribution des stations d'étude selon leur nombre de tiges et leur surface terrière moyenne.

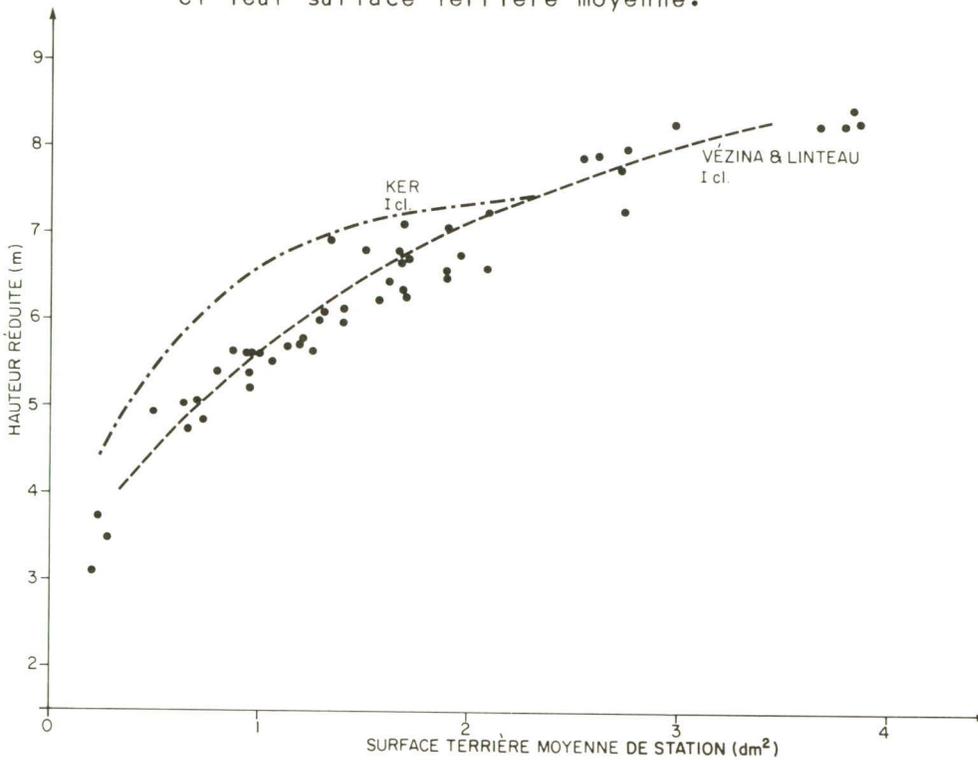


Figure 4. Distribution des stations d'étude selon leur hauteur réduite et leur surface terrière moyenne.

avec un coefficient de détermination R^2 égal à 0,965 et l'erreur-type de l'estimation a pour valeur 18,1 %. A nouveau on peut remarquer la similitude entre les données de Ker et nos observations, par contre il est étonnant de constater que la même relation chez Boudoux est linéaire. La comparaison du taux d'utilisation et de la densité observée dans le massif boisé du lac Joffre avec les données semblables de Ker, Vézina et Linteau, et de Boudoux met en évidence que le boisement naturel est très variable (Zarnovican, 1982), mais qu'il est possible de le corriger à l'aide du taux maximal d'utilisation de la surface disponible, et déceler ainsi le niveau de production des stations d'étude. Selon nos résultats, l'existence d'un seul niveau de production a été constaté pour les 52 stations d'étude.

Parmi les caractéristiques dendrométriques qui permettent de juger la productivité des stations, signalons la hauteur réduite des peuplements. Rappelons que la hauteur réduite est calculée comme étant le rapport entre le volume sur pied et la surface terrière correspondante. La hauteur réduite a été introduite au Québec par Popovich (1974), pour évaluer la productivité des plantations d'épinette blanche sous le vocable "volume par unité de surface terrière". Dans le cas du massif boisé, la distribution de stations d'étude selon leur hauteur réduite et leur surface terrière moyenne (figure 4), met en évidence une relation très étroite entre la hauteur réduite et la surface terrière et son ajustement par une fonction exponentielle,

$$h_{\text{red}} = 5,5486 \text{ st}_{\text{moy}}^{0,32906}$$

donne les résultats suivants: le coefficient de détermination est égal à 0,956 et l'erreur-type de l'estimation est de 4,4 %. A l'opposé des constatations précédentes, la figure 4 met en évidence la similitude entre les données de Vézina et Linteau (1968) et nos observations, quant aux données de Ker (1976), la figure 4 permet de constater que sa hauteur réduite est nettement supérieure à la nôtre pour la surface terrière moyenne de 0 à 2 dm^2 et qu'elle plafonne nettement après 2 dm^2 . Suite aux résultats avec l'ordination de stations d'étude selon le boisement, le nombre de tiges et la hauteur réduite, voir figures 1, 2, 3 et 4, il est naturel de considérer les 52 stations comme une série de croissance. Ainsi,

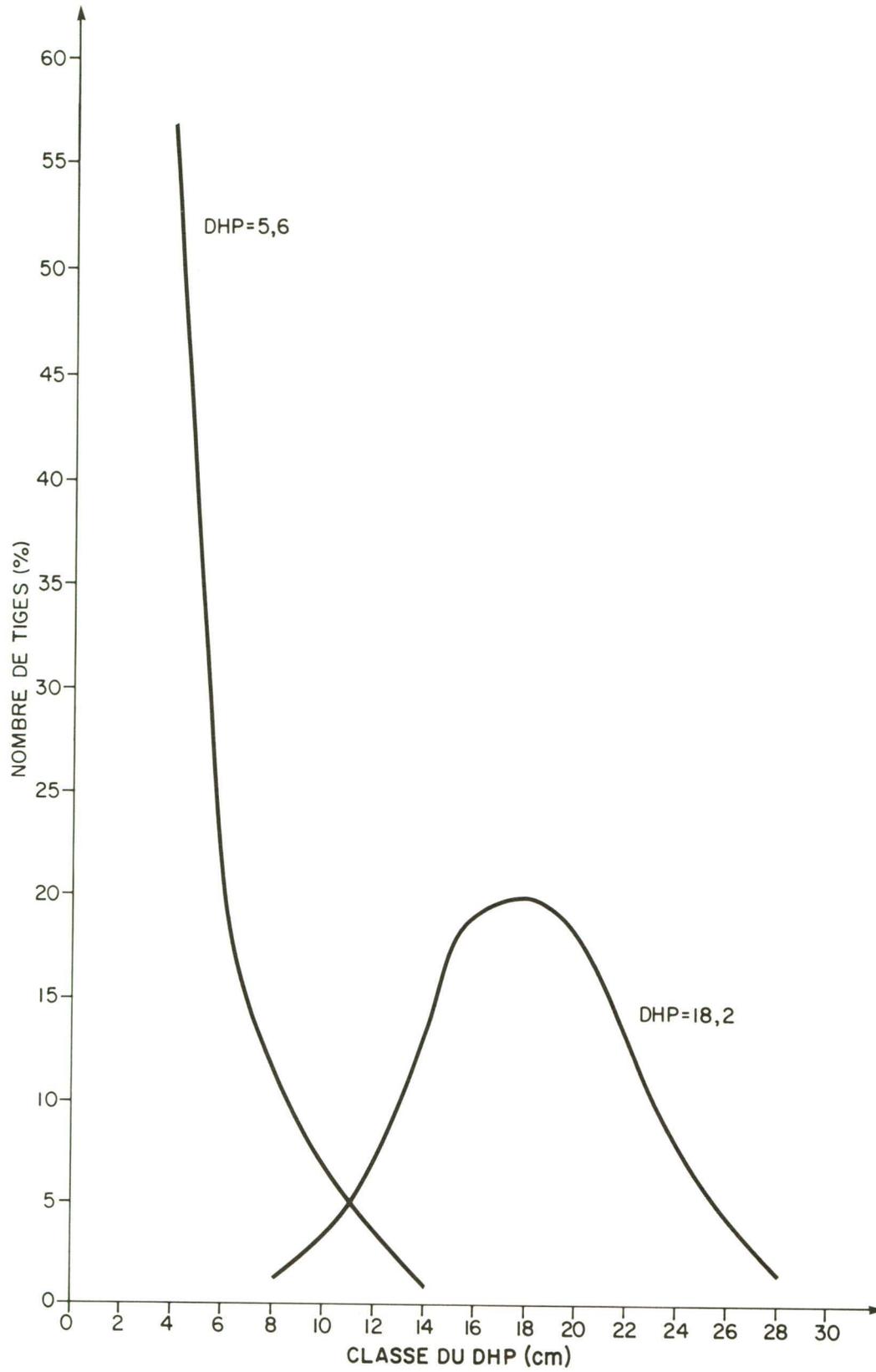


Figure 5. Distribution du nombre de tiges selon la classe du dhp.

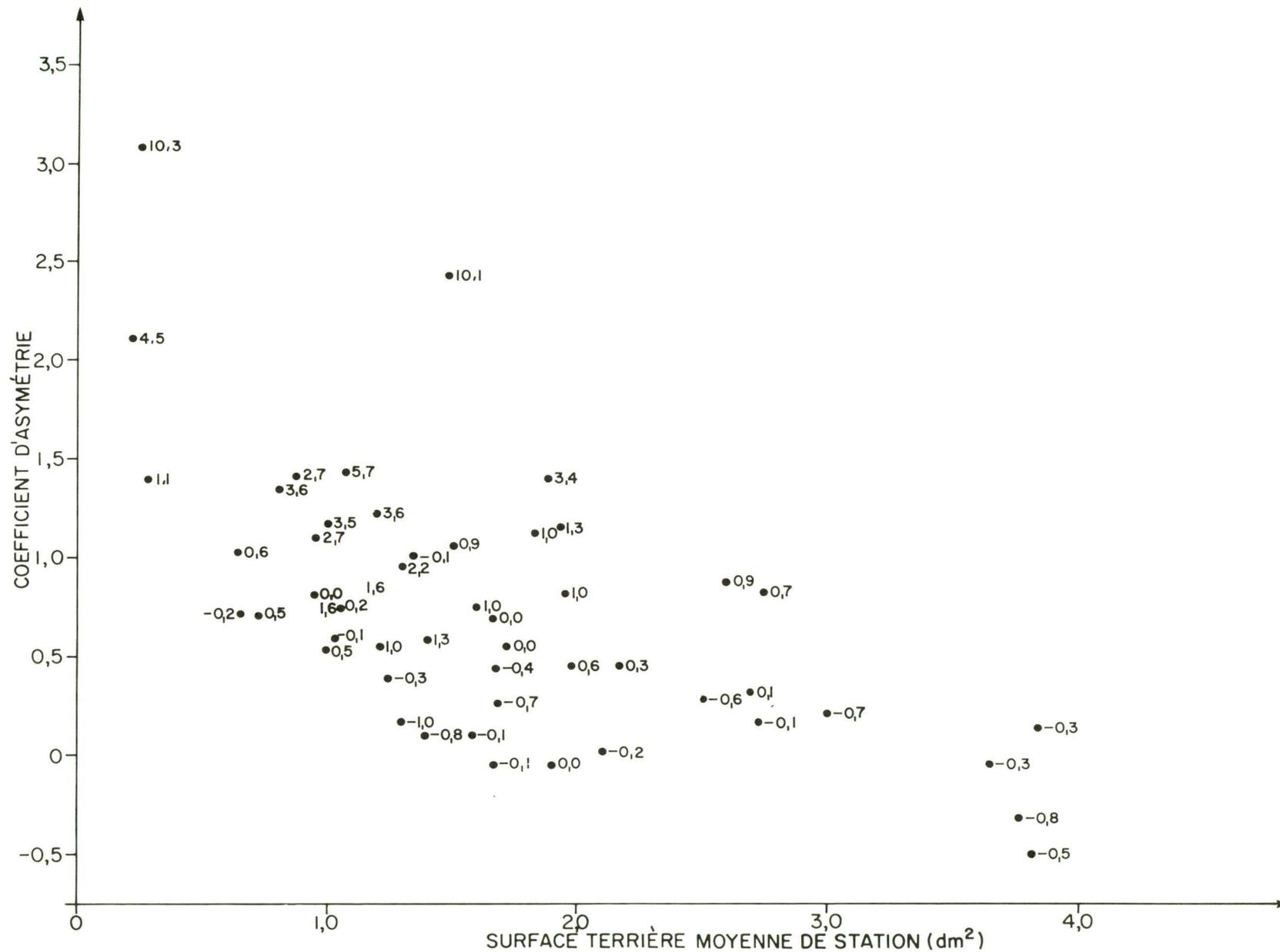


Figure 6. Distribution des stations d'étude selon le coefficient d'asymétrie et la surface terrière moyenne; chaque station est identifiée par le coefficient d'aplatissement.

il apparaît logique d'examiner l'évolution de la structure "diamétrale" des sapinières dans le temps. Cet examen a pour but de connaître si la structure "diamétrale" inéquienne persiste avec le temps, ou au contraire, si les sapinières tendent vers des peuplements normaux. Pour illustrer cette assertion, nous avons reproduit à la figure 5, la distribution du nombre des tiges par classe de diamètre pour deux stations. A gauche de la figure, la distribution correspond au peuplement jeune dont le dhp moyen arithmétique est de 5,6 cm. C'est une distribution asymétrique à gauche avec un coefficient d'asymétrie égal à 1,4 et le coefficient d'aplatissement (la kurtose) a pour valeur 1,1 (valeurs calculées pour le nombre réel des tiges par classe du dhp). La distribution à droite de la figure représente un peuplement plus âgé quasi normal, dont le dhp arithmétique moyen est de 18,2 cm, le coefficient d'asymétrie est égal à 0,1 et le coefficient d'aplatissement est égal à -0,009. Dans le but de connaître, au moins partiellement, la tendance relative au type de distribution "diamétrale" dans le temps pour les sapinières, nous avons ordonné les stations d'étude selon leur coefficient d'asymétrie et leur surface terrière moyenne. Cette ordination est illustrée à la figure 6, où nous avons ajouté audessus des coordonnées (coefficient d'asymétrie par rapport à la surface terrière moyenne) la valeur du coefficient d'aplatissement. A l'examen de cette figure on peut constater que, d'une façon générale, la structure "diamétrale" des sapinières tend, avec l'âge, d'une distribution asymétrique à gauche et leptokurtique vers une distribution normale, ou asymétrique à droite et aplatie. Ceci confirme les observations de Jurdant (1964), à savoir que les vieilles futaies prennent l'aspect d'un peuplement homogène se régularisant avec le temps pour former une forêt unistrate.

Composition floristique des strates inférieures

Une des bases pour l'évaluation de la productivité des sapinières au Québec, est leur composition floristique. Il suffit de rappeler les travaux de Lafond (1967), Linteau (1957) et Jurdant (1964), pour se rendre compte de l'importance qu'on a accordée à la végétation dans la définition de la fertilité des stations, et même pour en distinguer les classes.

Ainsi, grâce à la composition floristique des sapinières, d'après ces auteurs, on peut distinguer deux classes de fertilité:

- la première classe de fertilité est attribuée aux stations forestières à dominance d'herbacées-latifoliées avec fougères;
- la deuxième classe de fertilité est attribuée aux stations forestières à dominance de mousses-hydnacées au niveau des strates inférieures.

C'est sur les classifications de Lafond et de Linteau que se sont fondées plusieurs études dendrométriques en vue de déterminer la qualité stationnelle au Québec, notamment les études effectuées à proximité du massif boisé du Lac Joffre (Bolghari et Vézina 1974, Veuilleux et Sheedy 1978; Villeneuve 1971). D'ailleurs, la signification de la composition floristique des sapinières sur la productivité est exprimée par Jurdant (1964) ainsi: "le tapis muscinal est d'autant plus fourni que la station est plus pauvre", dans le cas des peuplements de sapin à la Forêt expérimentale de Montmorency. En conséquence, il était logique de connaître la composition floristique de nos stations d'étude sous la forme des principaux groupes coenologiques et de vérifier si cette composition avait une signification relativement à la fertilité des stations.

a. Établissement des groupes coenologiques

Les données floristiques des stations, exprimées en fréquences d'apparition, ont été transformées en fréquences relatives et ont servi à l'établissement des groupes coenologiques. Il convient de rappeler que nous avons éliminé des calculs les espèces dont la présence se limitait à trois stations et moins, et seulement 17 espèces ont été retenues. La liaison interspécifique a été évaluée à l'aide des coefficients de corrélations simples, (tableau 2), lesquels coefficients ont servi par la suite à l'ordination des espèces dans les groupes à l'aide de l'analyse en composantes principales. Les paramètres de l'analyse pour l'espace des trois premières composantes se trouvent au tableau 3; quant aux coordonnées des 17 espèces dans l'espace K^3 , elles se trouvent au tableau 4. Bien que le pourcentage cumulatif de la variation totale expliquée par les trois premières composantes soit suffisamment grand, il nous paraît justifié de reproduire à la dernière colonne, du tableau 4 la fidélité de la

représentation de chaque espèce par rapport à l'espace K^{17} . L'analyse en composantes principales a permis l'individualisation des 5 groupes coenologiques suivants:

1er groupe

Pleurozium schreberi
Ptilium crista-castrensis
Hylocomium splendens
Linnaea borealis

3e groupe

Dryopteris spinulosa
Clintonia borealis
Oxalis montana

5e groupe

Litière
Hylocomium umbratum

2e groupe

Coptis groenlandica
Streptopus roseus
Chiogenes hispidula
Maianthemum canadense

4e groupe

Trientalis borealis
Aralia nudicaulis
Acer spicatum
Cornus canadensis

Même si l'analyse permet l'individualisation de 5 groupes coenologiques, il est important de connaître la valeur pratique de chacun d'eux, au moyen de l'évaluation de leur importance relative dans l'espace floristique disponible de chacune des stations. Cette importance a été mesurée à l'aide du rapport entre la fréquence moyenne du groupe et la somme des fréquences moyennes des cinq groupes. Le résultat du calcul sur l'importance relative des groupes se trouve au tableau 5. A l'examen de ce tableau, on peut constater que les groupes coenologiques 2 et 4 ne sont que des variantes des groupes 1 et 3, et l'on remarquera que les groupes 2 et 4 n'interviennent pas dans l'appellation des stations, à cause de leur faible importance dans l'espace floristique disponible. La classification des 52 stations a été effectuée d'après les critères suivants:

- une station est dite typique d'un groupe coenologique, lorsque les espèces du groupe occupent 70 % et plus de l'espace floristique disponible;
- une station est dite dominée par un groupe coenologique, si les espèces du groupe occupent 51 % et plus (moins de 70 %) de l'espace floristique disponible;
- une station est dite codominée par deux groupes coenologiques lorsque leurs éléments ensemble occupent plus de 75 % de l'espace floristique disponible dans la station, mais qu'aucun des deux critères précédents

Tableau 2. Matrice des corrélations simples entre les 17 espèces

Espèce	Espèce																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1 <i>Pleurozium schreberi</i>	x	,65	,63	,05	-,30	-,20	-,16	,32	,26	-,14	,08	-,15	,20	,08	,05	-,24	-,43		
2 <i>Ptilium c.-castrensis</i>		x	,58	-,13	-,25	-,15	-,29	,31	,47	,00	-,07	-,06	,04	,03	,14	-,23	-,36		
3 <i>Hylocomium splendens</i>			x	,02	-,45	-,07	-,08	,44	,34	-,02	,14	-,04	,31	,22	,26	-,24	-,23		
4 <i>Oxalis montana</i>				x	,44	,64	-,18	,32	,04	,50	,47	,30	,10	,13	-,06	,14	-,53		
5 <i>Dryopteris spinulosa</i>					x	,62	-,22	-,09	-,09	,42	,04	,26	-,15	-,21	,02	,29	-,24		
6 <i>Clintonia borealis</i>						x	-,20	,42	,09	,69	,33	,46	,16	,14	,00	,32	-,48		
7 <i>Hylocomium umbratum</i>							x	-,18	-,14	-,25	-,23	-,16	,04	,28	-,11	-,06	,45		
8 <i>Maianthemum canadense</i>								x	,51	,42	,52	,32	,45	,52	,02	,04	-,40		
9 <i>Linnaea borealis</i>									x	,29	,15	,17	,08	,27	-,03	-,01	-,17		
10 <i>Cornus canadensis</i>										x	,45	,68	,33	,18	,14	,16	-,37		
11 <i>Trientalis borealis</i>											x	,39	,52	,32	,10	,02	-,37		
12 <i>Aralia nudicaulis</i>												x	,27	,14	,04	,32	-,28		
13 <i>Coptis groenlandica</i>													x	,49	,54	,03	-,05		
14 <i>Streptopus roseus</i>														x	,05	-,11	-,09		
15 <i>Chiogenes hispidula</i>															x	-,06	-,02		
16 <i>Acer spicatum</i>																	x	,15	
17 <i>Litière</i>																			x

Tableau 3. Valeurs propres, pourcentages et pourcentages cumulés pour K^3 de l'analyse en composantes principales de la matrice espèce-espèce

Composante	Valeur propre	Pourcentage de variance	Pourcentage cumulatif
1	4,49626	26,45	26,45
2	3,35390	19,73	46,18
3	1,98313	11,67	57,85

Tableau 4. Coordonnées des 17 espèces dans l'espace K^3 avec la fidélité de leur projection dans K^3

Espèce	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Fidélité de la projection en %
1 <i>Pleurozium schreberi</i>	0,289	0,707	0,322	69
2 <i>Ptilium c. castrensis</i>	0,247	0,711	0,420	74
3 <i>Hylocomium splendens</i>	0,350	0,763	0,040	71
4 <i>Oxalis montana</i>	0,640	-0,358	0,158	56
5 <i>Dryopteris spinulosa</i>	0,270	-0,723	0,311	69
6 <i>Clintonia borealis</i>	0,708	-0,490	0,120	76
7 <i>Hylocomium umbratum</i>	-0,370	0,016	-0,576	47
8 <i>Maianthemum canadense</i>	0,764	0,289	-0,162	69
9 <i>Linnaea borealis</i>	0,429	0,367	0,078	32
10 <i>Cornus canadensis</i>	0,763	-0,362	-0,060	72
11 <i>Trientalis borealis</i>	0,686	-0,400	-0,267	54
12 <i>Aralia nudicaulis</i>	0,603	-0,352	-0,137	51
13 <i>Coptis groenlandica</i>	0,510	0,233	-0,641	72
14 <i>Streptopus roseus</i>	0,396	0,255	-0,610	59
15 <i>Chiogenes hispidula</i>	0,187	0,188	-0,274	15
16 <i>Acer spicatum</i>	0,118	-0,485	-0,074	25
17 <i>Litière</i>	-0,678	-0,101	-0,494	71

Tableau 5. Présence relative (%) des 5 groupes coenologiques dans 52 stations, avec l'identification de stations par le groupe coenologique

Station	Groupe coenologique					Dominance du groupe de la station
	1	2	3	4	5	
1	26	0	28	0	46	mélange
2	74	9	4	0	13	groupe 1 typique
3	49	9	36	6	0	groupes 1, 3 codominant
4	29	4	57	10	0	groupe 3 domine
5	51	10	25	14	0	groupe 1 domine
6	58	5	26	0	11	groupe 1 domine
7	65	2	33	0	0	groupe 1 domine
8	30	8	38	0	24	mélange
9	52	2	40	6	0	groupe 1 domine
10	39	7	44	10	0	groupes 3, 1 codominant
11	64	1	32	3	0	groupe 1 domine
12	17	5	70	8	0	groupe 3 typique
13	80	3	17	0	0	groupe 1 typique
14	84	0	16	0	0	groupe 1 typique
15	59	7	33	1	0	groupe 1 domine
16	61	0	21	0	18	groupe 1 domine
17	26	4	70	0	0	groupe 3 typique
18	2	1	85	12	0	groupe 3 typique
19	29	18	33	20	0	mélange
20	49	4	47	0	0	groupes 1, 3 codominant
21	31	0	0	0	69	groupe 5 domine
22	21	0	17	0	62	groupe 5 domine
23	24	0	56	13	7	groupe 3 domine
24	38	0	45	3	4	groupes 3, 1 codominant
25	20	3	52	6	19	groupe 3 domine
26	36	1	57	4	2	groupe 3 domine
27	38	0	34	0	28	mélange
28	10	1	77	12	0	groupe 3 typique
29	6	0	74	20	0	groupe 3 typique
30	1	2	73	24	0	groupe 3 typique
31	26	0	65	9	0	groupe 3 domine
32	45	2	31	5	17	groupes 1, 3 codominant
33	44	1	23	1	31	groupes 1,5 codominant
34	29	8	30	4	29	mélange
35	41	3	17	0	39	groupes 1, 5 codominant
36	40	1	48	11	0	groupes 3, 1 codominant
37	45	1	42	3	9	groupes 1, 3 codominant
38	35	7	40	8	10	groupes 3, 1 codominant
39	8	1	48	4	39	groupes 3, 5 codominant
40	0	0	12	0	88	groupe 5 typique
41	14	0	20	0	66	groupe 5 domine
42	32	1	11	5	51	groupe 5 domine
43	28	7	11	2	32	mélange
44	13	3	25	0	59	groupe 5 domine
45	54	2	16	2	26	groupe 1 domine
46	28	0	28	3	41	mélange
47	9	0	8	3	80	groupe 5 typique
48	29	0	13	0	58	groupe 5 domine
49	15	3	31	3	48	groupes 5, 3 codominant
50	21	0	30	1	48	groupes 5, 3 codominant
51	45	14	21	4	16	mélange
52	0	4	16	0	80	groupe 5 typique

n'est applicable. La station portera alors le nom du groupe le plus important des deux;
-si aucune des conditions précédentes n'est satisfaite, la station sera dite "mélangée".

Dans la suite de notre travail, nous allons considérer seulement les groupes 1, 3 et 5 pour l'étude de la liaison entre la productivité des stations et les groupes coenologiques.

b. Quelques précisions sur la synécologie de trois principaux groupes coenologiques

Avant d'analyser les relations entre les groupes coenologiques et la productivité des stations forestières, il nous apparaît important d'examiner les relations qui existent entre ces groupes et certaines variables pédologiques et dendrométriques, afin de bien cerner la synécologie et la valeur indicatrice de ces groupes. Pour ce faire, nous avons calculé les coefficients de corrélation simple entre les groupes coenologiques et les variables pédologiques et dendrométriques des 52 stations. Les résultats, sous la forme d'une matrice de corrélations simples, se trouvent au tableau 6. On peut y remarquer l'existence de plusieurs liaisons étroites, entre les groupes d'abord, mais aussi entre les groupes et les variables observées. A la lumière des résultats sur la relation entre les groupes et superficie par arbre, on peut dire que les trois groupes coenologiques reflètent, d'une façon évidente, les phases du développement successif des sapinières dans le temps. Leur apparition est nettement liée à l'ouverture du couvert arborescent ou, en d'autres termes, à la diminution naturelle du nombre des tiges du peuplement, ou à celle provoquée par la mortalité due à la défoliation par la tordeuse.

Afin de bien illustrer cette assertion, (figure 7) nous avons repris la distribution des stations de la figure 2, en identifiant chaque station par leur groupe coenologique respectif. L'examen détaillé de la figure 7, quant à la relation entre la superficie par arbre, la surface terrière moyenne de la station et la dominance du groupe coenologique,

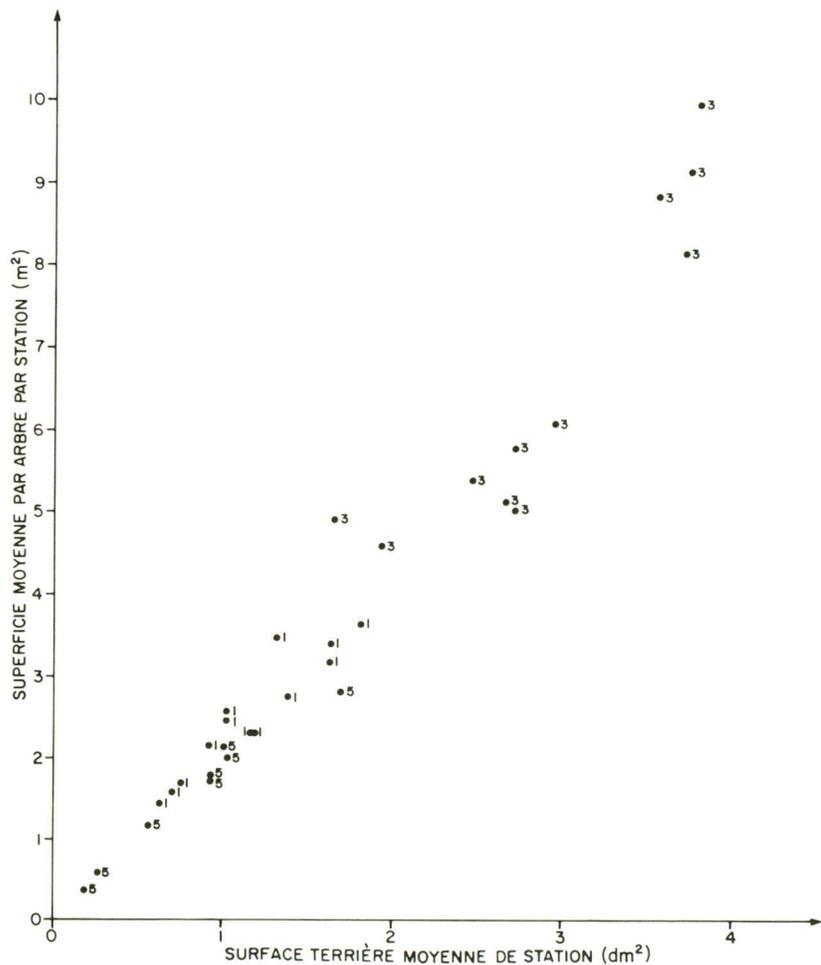


Figure 7. Distribution des groupes coenologiques typiques et dominants selon la superficie moyenne par arbre et la surface terrière moyenne de stations.

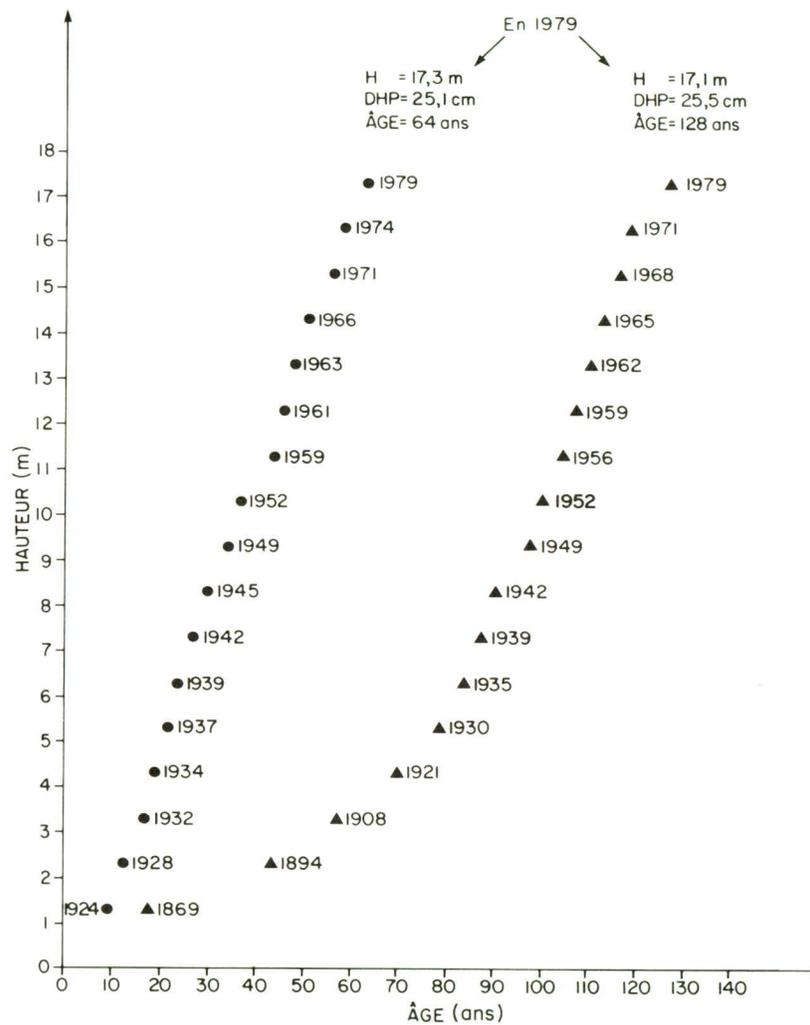


Figure 8. Croissance en hauteur de deux sapins baumiers.

Tableau 6. Matrice des corrélations simples entre les groupes coenologiques et entre les groupes coenologiques et les principales variables dendrométriques et pédologiques

	Groupe 1 <i>Pleurozium- Hylocomium</i>	Groupe 3 <i>Dryopteris- Oxalis</i>	Groupe 5 <i>Litière-Hylocomium- umbratum</i>
Groupe 3	-,38	x	-,62
Groupe 5	-,49	-,62	x
pH humus	-,49	,31	,13
azote total-humus	-,42	,54	-,15
C humique	-,45	,54	-,12
C humique/C fulvique	-,57	,50	,02
C/N humus	,43	-,50	,10
Diamètre des particules à 50 % de la courbe	-.03	,24	-,20
Surface terrière moyenne de la station	-,39	,87	-,49
Superficie disponible par arbre dans la station	-,38	,88	-,50

démontre clairement l'existence d'une ordination des groupes dans le temps (puisque la surface terrière est une fonction de temps).

La position respective de trois groupes coenologiques à la figure 7, confirme d'abord la conclusion de Busby *et al.*, (1978), qui affirme: "Les mousses sont limitées, dans les habitats découverts, par les effets de la radiation et de l'évaporation; dans les habitats humides, par la réduction d'assimilation et en raison d'autres effets nuisibles dus à la saturation ou au manque de précipitations sous le couvert des arbres", du moins en ce qui a trait aux mousses. La position du troisième groupe (voir aussi les corrélations entre ce groupe et l'état de l'humus au tableau 6), confirme les conclusions et les résultats de Piene (1978), selon lesquels: "la réduction du nombre des tiges a stimulé le taux de minéralisation du carbone organique et augmenté la teneur en azote minéral. La minéralisation accrue de la

matière organique est attribuable à l'augmentation des températures estivales dans la couche de litière". Ceci est bien confirmé par les corrélations entre les trois groupes coenologiques et l'azote de l'humus, la proportion de la fraction humique et le rapport C/N.

Hauteur des arbres comme indice de la fertilité des stations

Comme nous l'avons souligné plus haut, la qualité stationnelle est évaluée dans la pratique forestière courante, par la hauteur des arbres ou des peuplements à un âge donné. Par ailleurs, à la lumière des résultats d'Assmann, cette évaluation est possible, à condition de connaître le niveau de production des peuplements étudiés. Pour cette raison, nous avons procédé plus haut à l'examen détaillé de la structure des peuplements des stations d'étude, et à l'examen de leur niveau de production (Zarnovican 1982).

Croissance en hauteur des arbres: un bref examen

La croissance en hauteur d'un arbre se manifeste chaque année par l'élongation de la flèche. L'expression graphique de cette croissance d'après l'âge est une courbe ayant l'allure d'un S. La forme de la courbe reflète assez fidèlement, entre autres, les propriétés génétiques de l'espèce, la position sociale de l'arbre (ou l'espace disponible) et la qualité de la station. Grâce à l'analyse de tige, il est relativement aisé de reconstituer la croissance apicale de l'arbre, et pour illustrer cette croissance nous avons reproduit à la figure 8, les résultats d'analyse de tige de deux sapins.

Selon les mesures sur les dhp et la hauteur totale (établies en 1979), on reconnaît facilement que les deux arbres sont pratiquement identiques (dhp égal à 25,1 et 25,5 cm, hauteur égale à 17,3 et 17,1 m), mais lorsqu'on compare leur âge respectif, observé à la souche, à savoir 64 et 128 ans, on constate une différence considérable. Par ailleurs, connaissant l'écologie du sapin baumier, l'arbre de 128 ans a subi une oppression prolongée lors de son jeune âge, en raison d'une position sociale particulière dans le peuplement, laquelle a eu pour effet d'augmenter son âge physique, par rapport à son stade de développement. Il faut noter que

le sapin de 128 ans reprend une croissance normale, dès que l'oppression est terminée, soit vers 1930 ou à partir de 5,3 m de hauteur et que la croissance en hauteur des deux arbres, après 1930, est pratiquement la même. Grâce à l'analyse de tige, on a pu définir la durée de l'oppression et corriger en conséquence les âges physiques des arbres. Par contre, il est pratiquement impossible de mesurer l'effet de certains facteurs sur la croissance apicale, comme par exemple l'effet des maladies et des insectes. Nous allons illustrer l'effet de l'épidémie d'insectes sur la croissance apicale avec le temps de passage en hauteur. Il convient de rappeler que le temps de passage correspond au nombre d'années nécessaires à l'élongation de 1 m de la flèche. A la figure 9, nous avons exprimé le temps de passage sous la forme de sa moyenne et de son écart type, par périodes de 4 ans de 1948 à 1967. On peut constater qu'en général le temps de passage moyen est de 3 ans, mais qu'il est de 6 ans entre 1956 et 1959; donc, pendant cette période, la croissance apicale a été très lente. Grâce aux travaux de Blais (1961), et de Blais et Martineau (1960), on peut établir que la diminution de la croissance apicale ou l'augmentation du temps de passage est le résultat de l'épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette des années 50, mais il est impossible de quantifier son effet.

Parmi les facteurs qui influencent la croissance apicale, nous avons signalé plus haut les propriétés génétiques de l'espèce. Bien que nous n'ayons pas les observations sur cet aspect précis, il est raisonnable de penser, suite au travail de Robinson et Thor (1969) que la population du sapin du massif boisé est génétiquement homogène.

Finalement, la croissance apicale est un reflet de la qualité d'une station ou de sa fertilité. Pour illustrer l'effet de la qualité stationnelle sur la croissance en hauteur, nous avons reproduit à la figure 10 les courbes des accroissements courants pour l'épinette noire. Il convient de préciser que les données proviennent d'un travail antérieur (Zarnovican 1979) et d'ajouter, que la station avec l'indice de fertilité de 17 m à 100 ans est une pessière noire à mousses, drainage 2-3, texture loam argileux, altitude 180 m. Quant à la station avec l'indice de 4 m à 100 ans elle fait partie d'une pessière noire à sphaignes et éricacées, drainage 5,

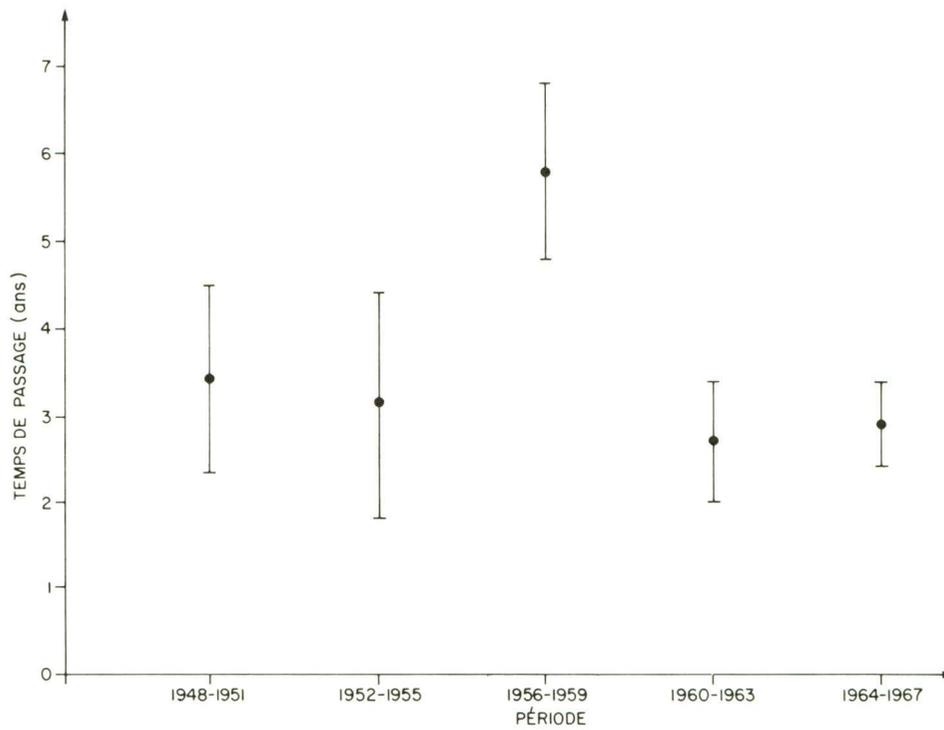


Figure 9. Temps de passage en hauteur chez le sapin baumier selon la période.

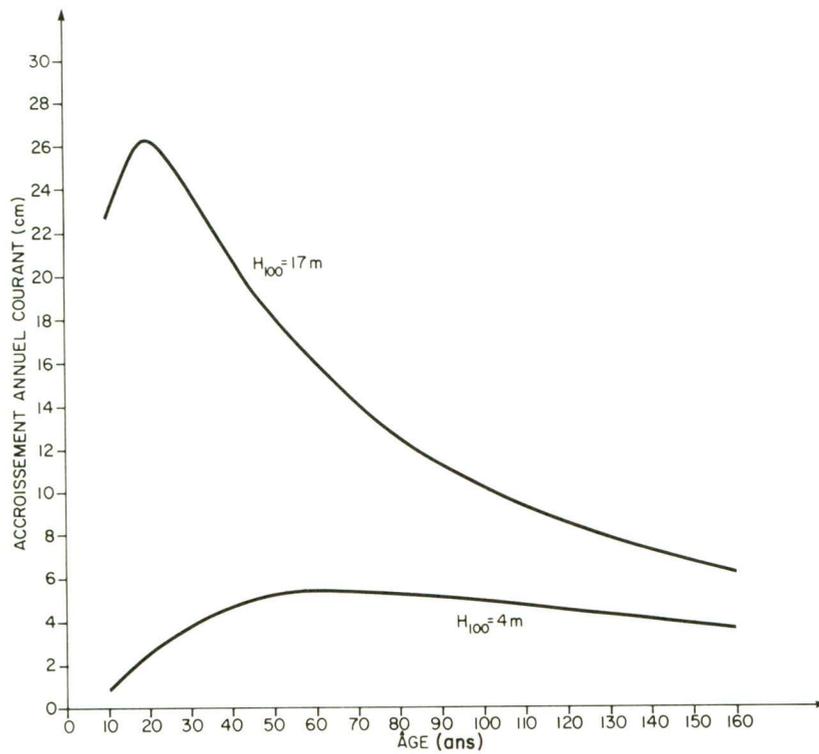


Figure 10. Accroissement annuel courant en hauteur pour l'épinette noire sur deux stations différentes.

texture limon argileux, altitude 240 m. Les deux stations font partie de la Région écologique Lac Matagami (Zarnovican *et al.* , 1976). L'examen rapide de la figure 10 permet de constater que la croissance apicale de l'épinette noire diffère selon la station, en précisant que la station avec l'indice de 17 m à 100 ans produit un accroissement annuel maximal en hauteur de 26,5 cm à 18 ans, tandis que pour la station avec l'indice de 4 m, ce même accroissement n'est que de 5,3 cm à 63 ans. Donc la qualité stationnelle se reflète directement sur la courbe de croissance apicale et notamment sur sa pente, pour la période de la pleine croissance, ce qui est comparable avec les résultats et conclusions d'autres auteurs (Beck, 1971; Curtis, 1964; Assmann, 1961).

La différence de la qualité stationnelle est indiquée par la comparaison des phases de pleine croissance seulement, puisque comparer la phase juvénile (où l'effet de la station est impossible à mesurer), avec la phase de la pleine croissance par exemple (où au contraire l'effet de la station est évident) peut donner les résultats erronés.

Établissement des courbes de fertilité

Avant d'établir la famille des courbes de fertilité, il était nécessaire d'évaluer la durée de la période d'oppression et rendre ainsi les âges physiques des arbres comparables. Pour établir l'âge nécessaire pour parvenir à une hauteur de 40 cm, nous avons utilisé les données sur la croissance en hauteur dans les conditions sans oppression, publiées par Logan (1969). Quant aux hauteurs supérieures (1,3 et 2,3 m) nous avons utilisé l'âge établi lors de notre précédent travail (Zarnovican 1981). Ainsi, nous étions en mesure de déterminer la durée de la période juvénile dans le cas de 97 tiges de sapin baumier. Le faisceau des courbes de fertilité est donc établi à partir des données sur la hauteur et l'âge de 97 individus.

L'analyse de 97 tiges a permis d'établir 1 193 couples sur la hauteur et l'âge. Par la suite, conformément à la méthode de Tveite (1969), nous avons regroupé les données sur la hauteur par classe d'âge de 5 ans,

pour définir le domaine de croissance en hauteur. Les données regroupées se trouvent au tableau 7, et le domaine est défini par cinq séries de hauteurs, qui correspondent à la hauteur moyenne plus ou moins une fois et deux fois l'écart type de la hauteur par classe d'âge. L'illustration du domaine de la croissance en hauteur, par la courbe moyenne et les courbes enveloppantes supérieure et inférieure selon l'âge, se trouve à la figure 11. Quant à l'illustration de la relation entre l'écart type et le coefficient de variation selon l'âge, elle se trouve à la figure 12. Il faut noter, à la figure 12, que le coefficient de variation se stabilise vers 20 ans pour osciller par la suite autour de 10 %.

Habituellement, on se base sur la dispersion de points autour de la courbe moyenne pour établir le faisceau des courbes d'une façon proportionnelle (Bruce et Schumacher 1950). Les coordonnées de ces courbes se calculent à l'aide de formules contenant l'écart type ou le coefficient de variation (Bolghari 1977; Décourt 1965; Cantiani 1964). Toutefois, avec l'emploi des fonctions de croissance on favorise le calcul de ces coordonnées par la fonction de croissance modifiée (Griffin et Johnson 1980; Halaj 1978; Schütz et Badoux 1979; Franz 1971; Hradetzky 1972; Schmidt 1969).

L'expression mathématique de courbes du domaine de croissance pour le sapin baumier est établie à l'aide de la fonction de Korf, mais auparavant il convient de rappeler sa forme analytique, à savoir:

$$H = C_1 \exp \frac{C_2 / (1 - C_3) T^{C_3 - 1}}{C_3 - 1}$$

où

H est la hauteur

C_1 , C_2 , C_3 sont des paramètres

T est l'âge.

Cette fonction a été utilisée pour ajuster la relation entre la hauteur et l'âge de cinq courbes du domaine de croissance. Les paramètres de la fonction se trouvent au tableau 8, où nous avons ajouté aussi la hauteur calcu-

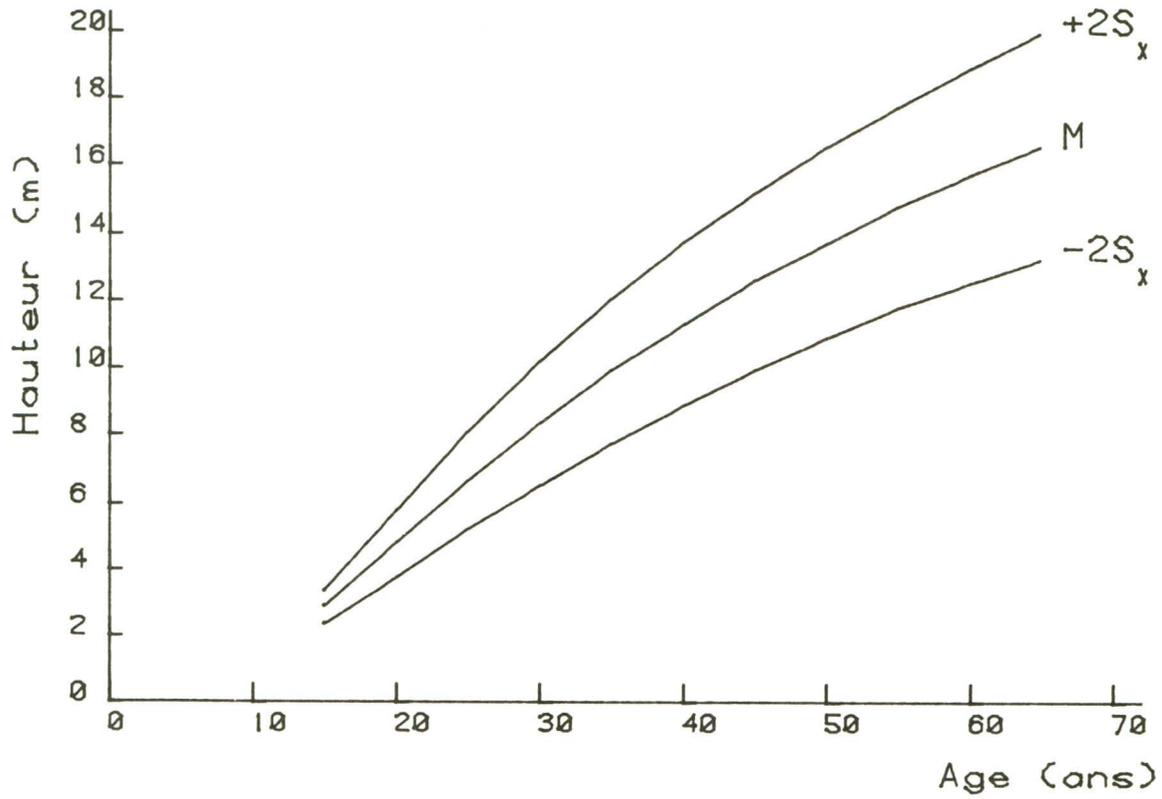


Figure 11. Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier.

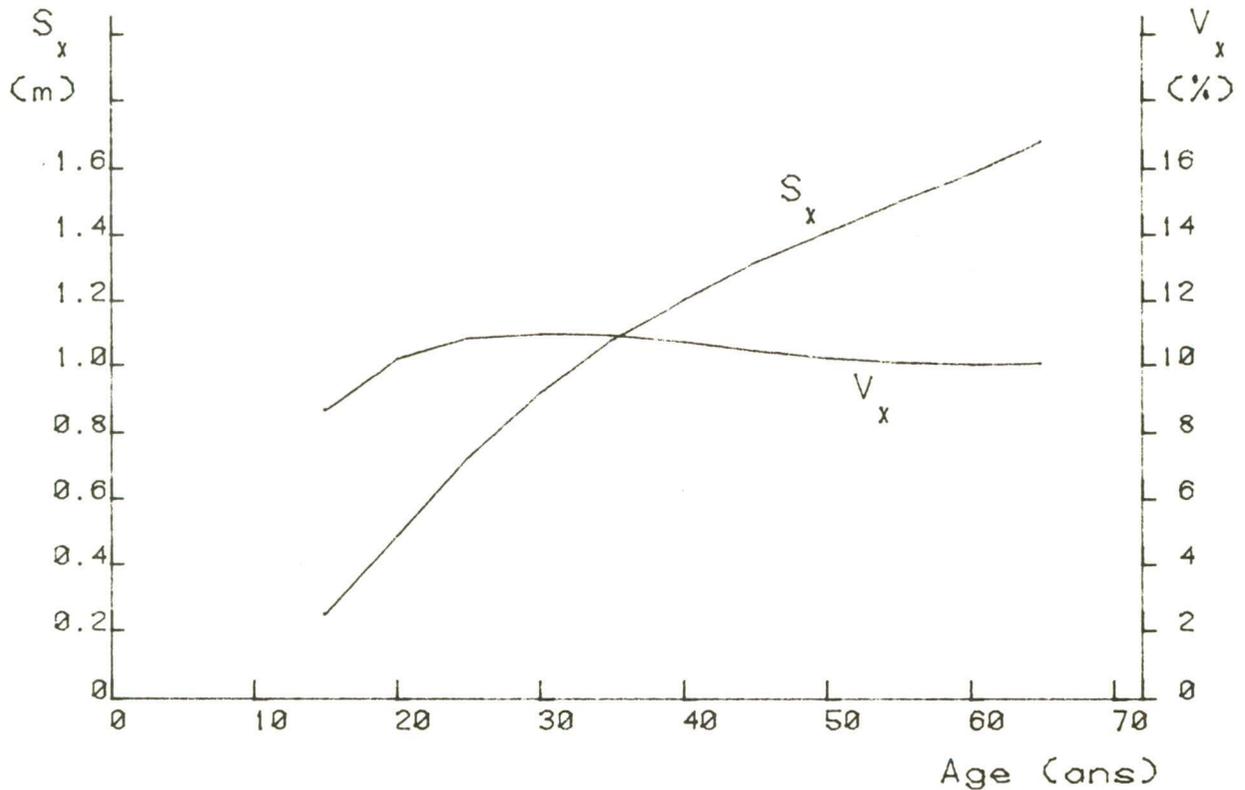


Figure 12. Variabilité de la croissance en hauteur selon l'âge.

Tableau 7. Domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier par classe d'âge de 5 ans

Age (ans)	Nombre d'obser- vations	Hauteur moyenne - H (m)	Ecart type - s m x (m)	Coefficient de variation (%)	Hauteur H +s m x (m)	Hauteur H +s m x (m)	Hauteur H -2s m x (m)	Hauteur H +s m x (m)
15	98	2,88	0,25	8,7	3,37	3,13	2,63	2,38
20	120	4,80	0,49	10,2	5,78	5,29	4,31	3,82
25	126	6,65	0,72	10,9	8,09	7,37	5,93	5,20
30	128	8,36	0,92	11,0	10,20	9,28	7,44	6,52
35	129	9,91	1,08	10,9	12,07	10,99	8,83	7,75
40	144	11,31	1,21	10,7	13,73	12,52	10,10	8,89
45	107	12,58	1,32	10,5	15,21	13,89	11,26	9,95
50	118	13,73	1,41	10,3	16,54	15,13	12,32	10,91
55	72	14,77	1,49	10,1	17,75	16,26	13,27	11,78
60	52	15,72	1,58	10,1	18,88	17,30	14,14	12,56
65	46	16,59	1,68	10,1	19,94	18,26	14,91	13,24
70	53	17,38	1,78	10,2	20,94	19,16	15,60	13,82
Total	1 193							

lée à 50 ans (H_{50}). Selon les résultats sur l'ajustement de distributions observées par la fonction de Korf, on peut dire que cet ajustement est précis et que la fonction elle-même est suffisamment souple pour prédire la croissance.

Avant d'établir la formulation mathématique pour chaque courbe du faisceau, nous avons analysé les relations entre les paramètres C_2 et C_3 et la hauteur calculée à 50 ans du tableau 8. Tout d'abord la relation C_2 vs H_{50} est illustrée à la figure 13, pour laquelle le meilleur modèle s'est avéré:

$$C_2 = 2,94882 \exp \frac{21,18007}{H_{50}}$$

avec le coefficient de détermination R^2 égal à 0,998. Pour assurer une bonne compréhension, appelons les paramètres $A_1 = 2,94882$ et $A_2 = 21,18007$.

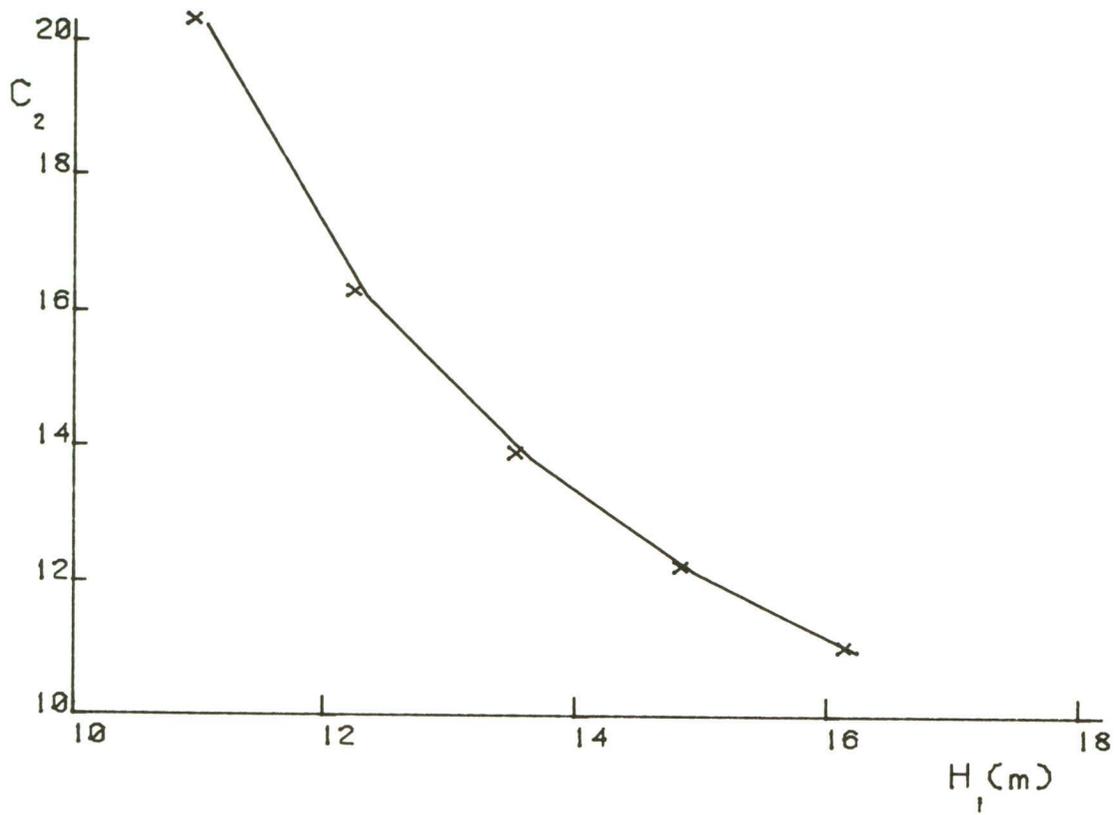


Figure 13. Expression graphique de la relation entre C_2 et H_{50} .

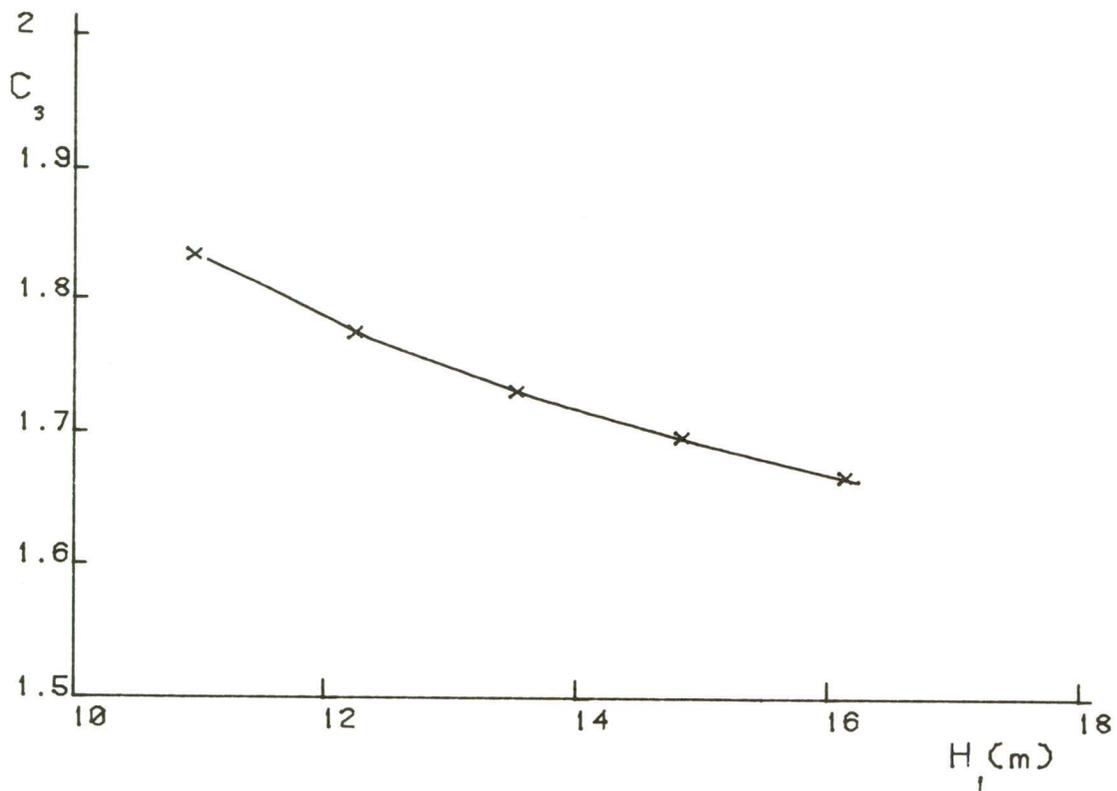


Figure 14. Expression graphique de la relation entre C_3 et H_{50} .

La relation entre le paramètre C_3 et la hauteur calculée à 50 ans (H_{50}) est illustrée à la figure 14, et la meilleure expression algébrique, grâce à la méthode des moindres carrés est la suivante:

$$C_3 = A_3 + (A_4/H_{50})$$

avec les valeurs des paramètres $A_3 = 1,30688$, $A_4 = 5,76418$ et le coefficient de détermination égal à 0,996.

Quant à l'amplitude du domaine de croissance à 50 ans, on peut remarquer qu'elle est de 11,06 à 16,24 m et qu'elle suggère les bornes pour le faisceau de courbes à l'âge de 50 ans de 11 m à 17 m. Nous l'avons divisée à intervalles d'un mètre. Grâce aux équations entre les paramètres et la hauteur à 50 ans, on peut substituer ces paramètres dans la fonction de Korf, et ainsi obtenir l'expression analytique du faisceau des courbes de hauteurs pour les indices de fertilité (I50), variant de 11 à 17 mètres à l'intervalle d'un mètre.

$$H = I50 \exp \frac{A_1 \exp A_2/H_{50}}{1-A_3-(A_4/H_{50})} T^{1-A_3-(A_4/H_{50})} -50^{1-A_3-(A_4/H_{50})}$$

où

H est la hauteur calculée

I50 est l'indice de fertilité à 50 ans

T est l'âge

A_1 , A_2 , A_3 et A_4 sont des paramètres définis plus haut.

L'expression graphique de 7 courbes de fertilité est à la figure 15. Nous avons établi également les accroissements courants en hauteur et leur expression graphique se trouve à la figure 16. Il est à remarquer (figures 15 et 16) que la forme des courbes correspond à la forme habituelle ce qui se vérifie par les comparaisons suivantes.

La première comparaison a été faite avec quelques hauteurs observées par les analyses des tiges. Elle est illustrée à la figure 17. On

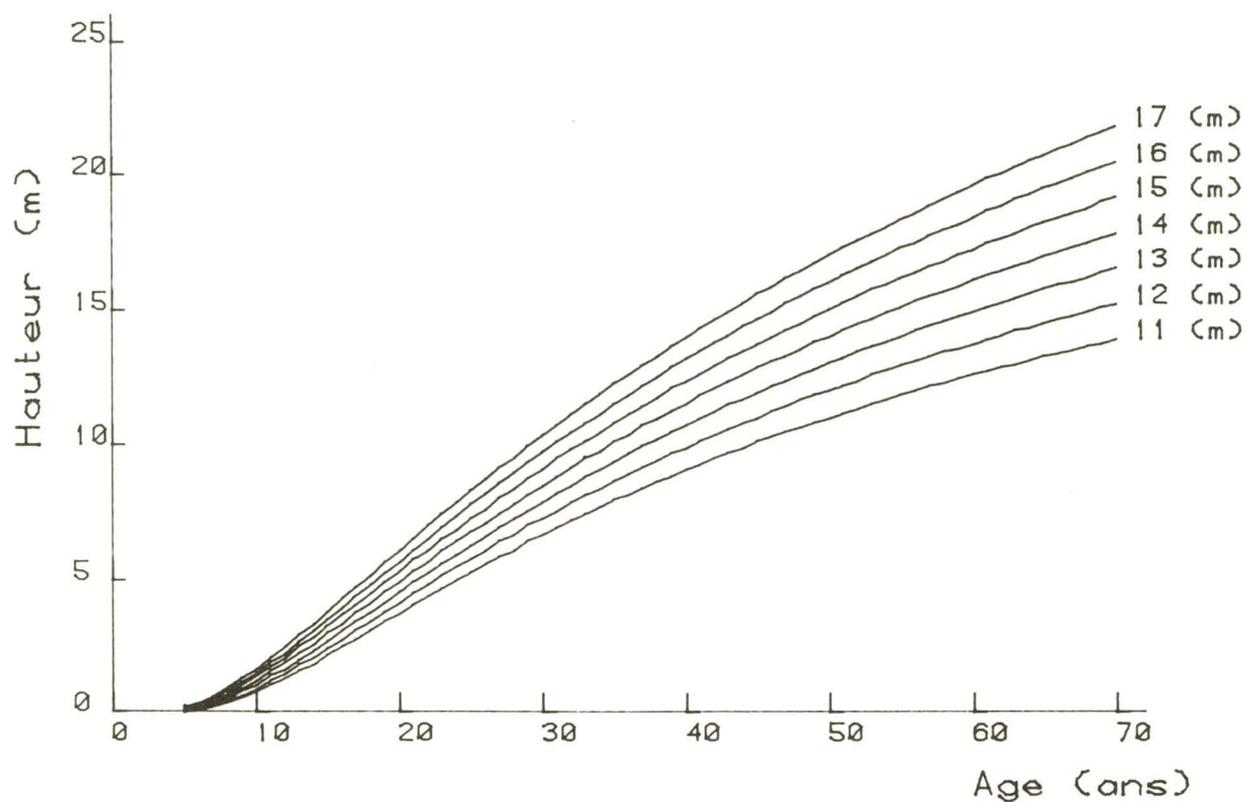


Figure 15. Courbes de fertilité pour le sapin baumier.

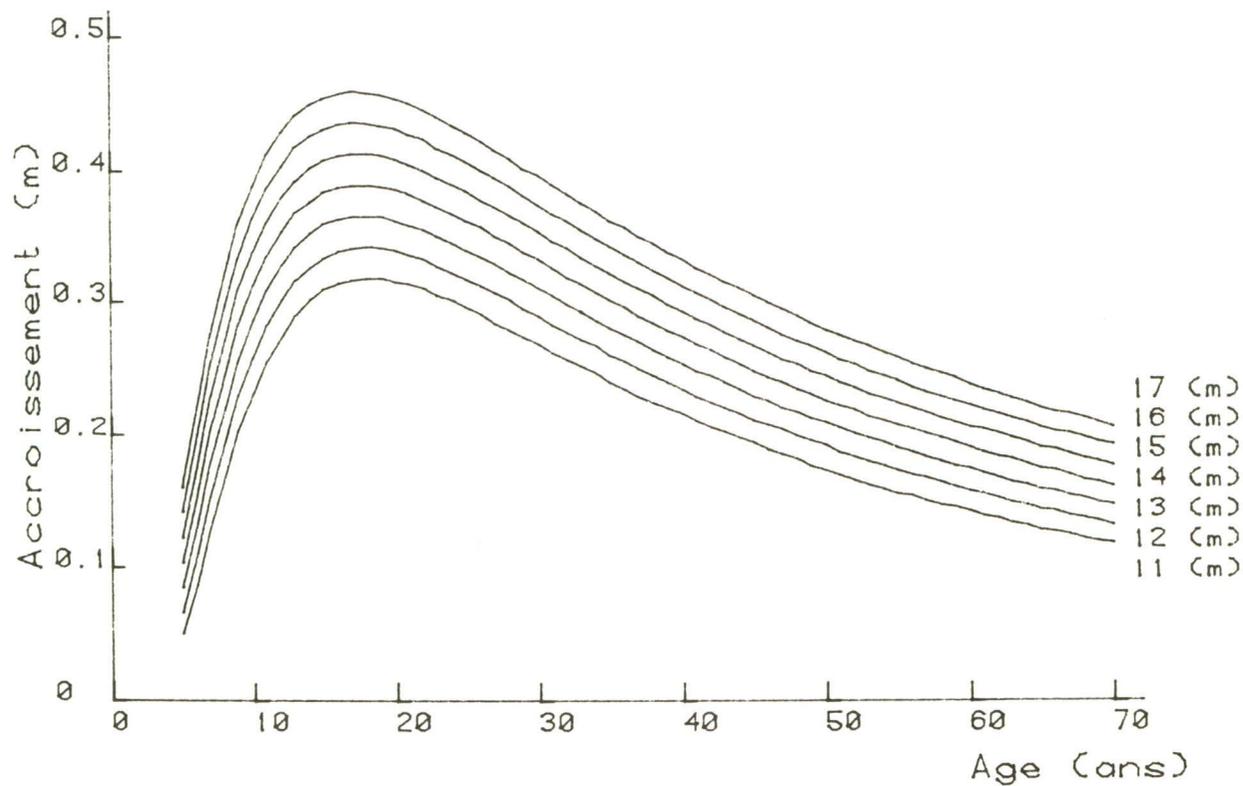


Figure 16. Courbes des accroissements annuels courants en hauteur pour le sapin baumier.

Tableau 8. Les paramètres de la fonction de Korf pour 5 courbes du domaine de croissance en hauteur chez le sapin baumier

Courbe	Paramètres					Somme des carrés de résidus	Age de culmination	
	C 1	C 2	C 3	R 2	H 50 (m)		AC (ans)	AM (ans)
$H_m + 2s_x$	55,42569	10,95927	1,66423	0,998	16,24	4,43	17	37
$H_m + s_x$	48,14231	12,17426	1,69262	0,999	14,94	1,72	17	37
H_m	41,21879	13,82545	1,72710	0,999	13,64	0,28	18	37
$H_m - s_x$	34,64386	16,23897	1,77092	0,999	12,34	0,14	18	37
$H_m - 2s_x$	28,39325	20,24318	1,83117	0,999	11,06	1,61	18	37

peut constater que la pente semble être la même, ainsi que la forme des courbes. La deuxième comparaison est faite entre les courbes avec I50 de 11, 14 et 17 m et les courbes de Ker pour 8 et 18 m; et les courbes de Vézina pour la première et la deuxième classe, et elle est illustrée à la figure 18. Notons au passage que les courbes des autres auteurs proviennent des tables de rendement normal. La comparaison fait ressortir la similitude entre les courbes de Vézina et les nôtres, par ailleurs les courbes de Ker surtout pour les meilleures classes, ont une pente plus prononcée, donc une croissance plus rapide, mais la culmination de la croissance apicale se produit plus rapidement aussi.

Finalement la dernière comparaison porte sur la croissance apicale par groupe coenologique. Elle a été faite dans le but de vérifier la signification de ces groupes relativement aux différences dans la croissance en hauteur et, en conséquence, relativement à la productivité. De la même manière que pour la définition du domaine de croissance, nous avons regroupé les données sur la hauteur par classe d'âge de 5 ans, mais cette fois pour les arbres qui provenaient des stations typiques, ou dominées par un groupe coenologique. Les résultats sur la croissance apicale par groupe coenologique, sous la forme de la moyenne et de l'écart type se trouvent aux tableaux 9, 10, 11. L'illustration graphique de cette croissance par groupe

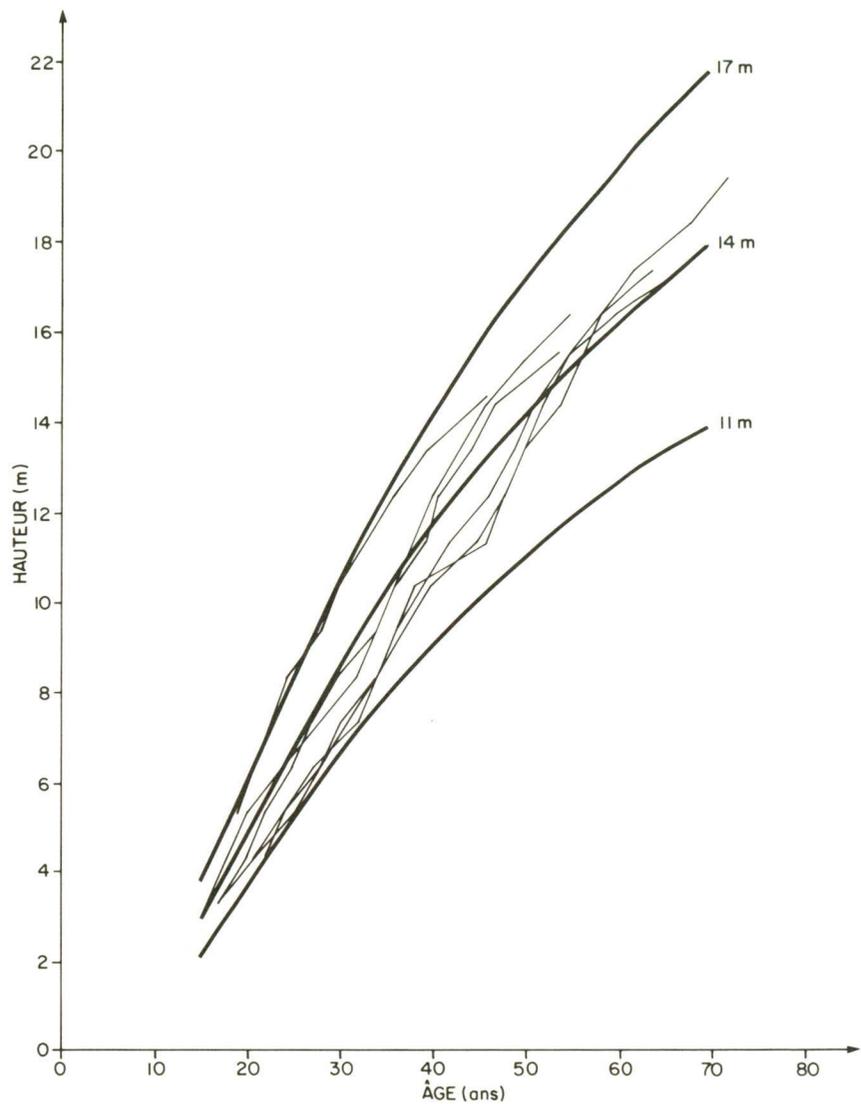


Figure 17. Comparaison des courbes de fertilité avec quelques courbes de hauteurs établies par l'analyse de tiges.

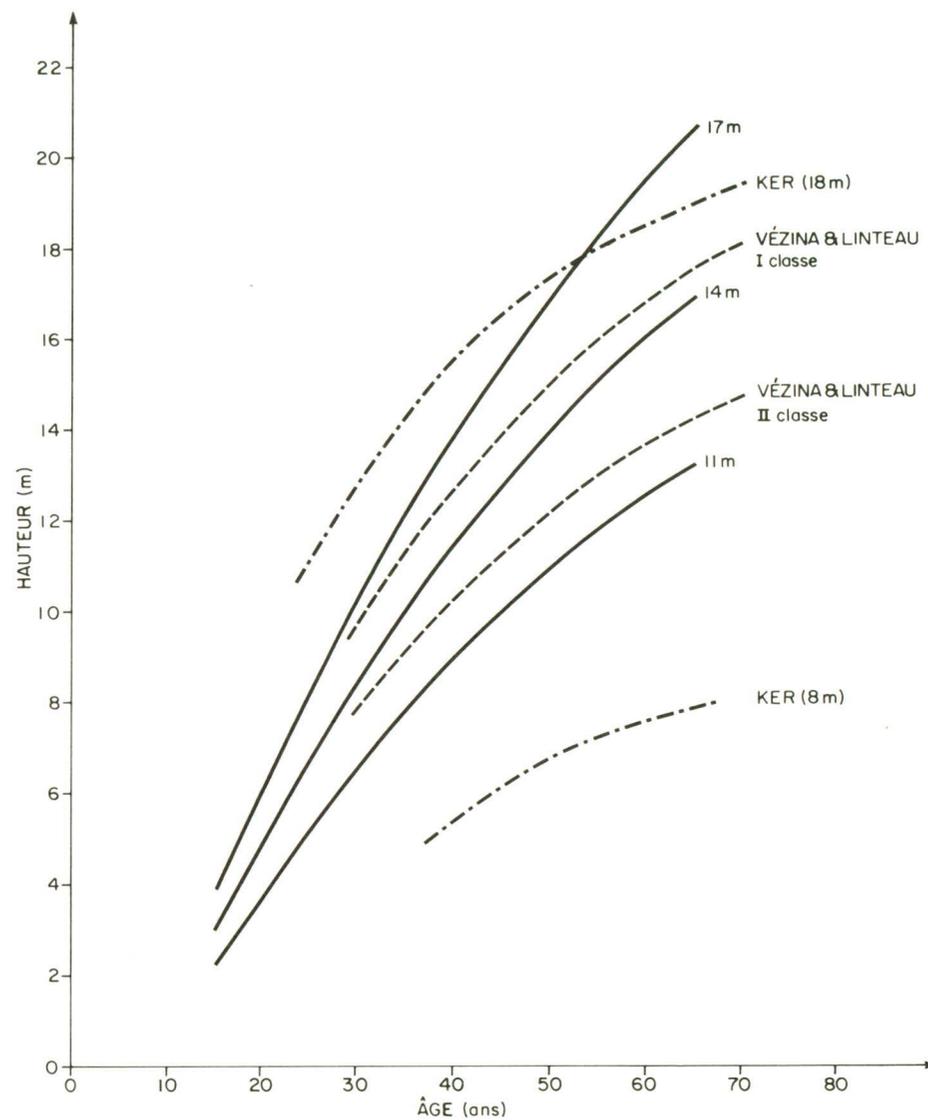


Figure 18. Comparaison des courbes de fertilité avec les courbes publiées par Ker (1976) et Vézina et Linteau (1968)

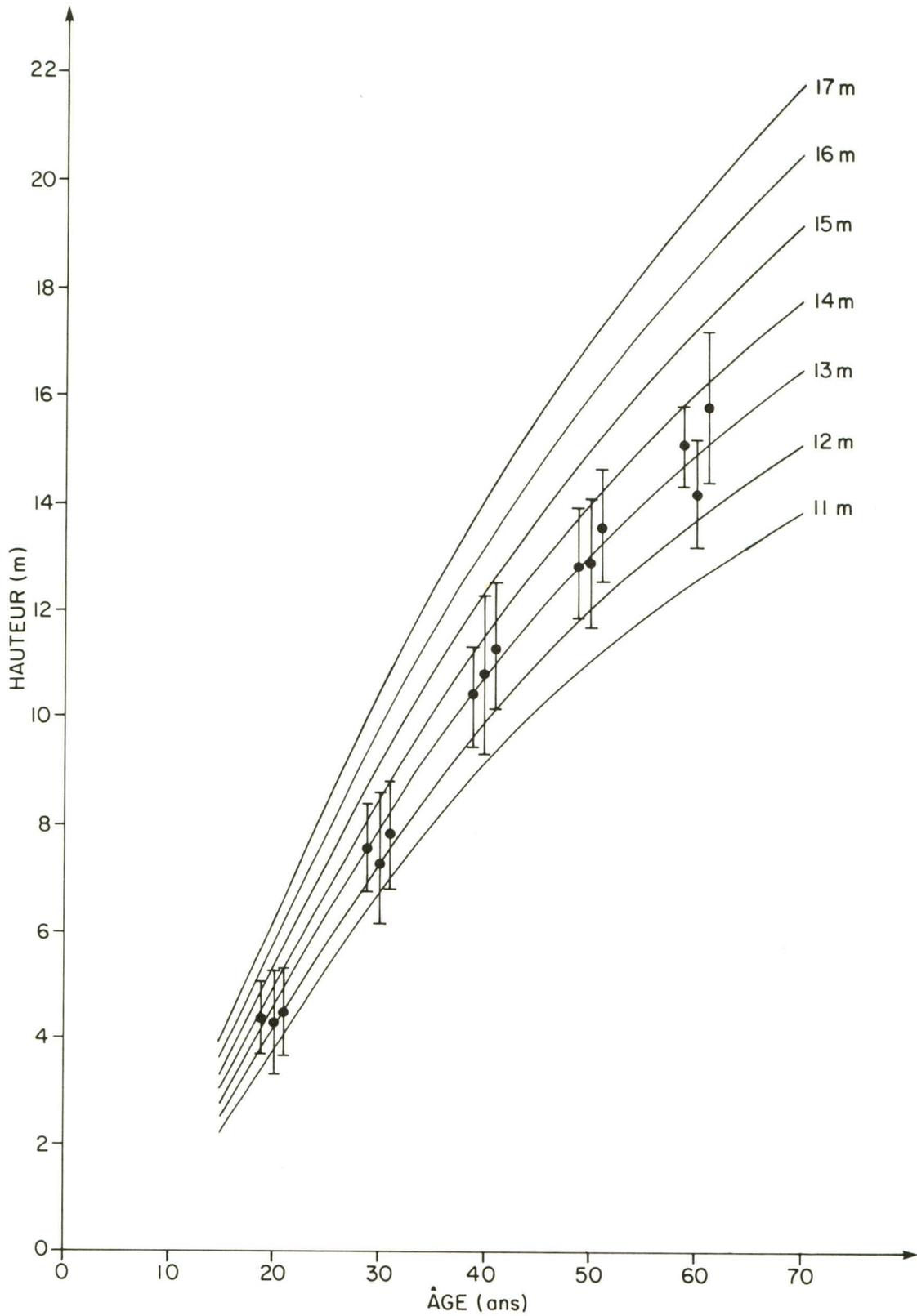


Figure 19. Croissance en hauteur d'après les courbes de fertilité et d'après les groupes coenologiques (1er, 3e, 5e) selon l'âge.

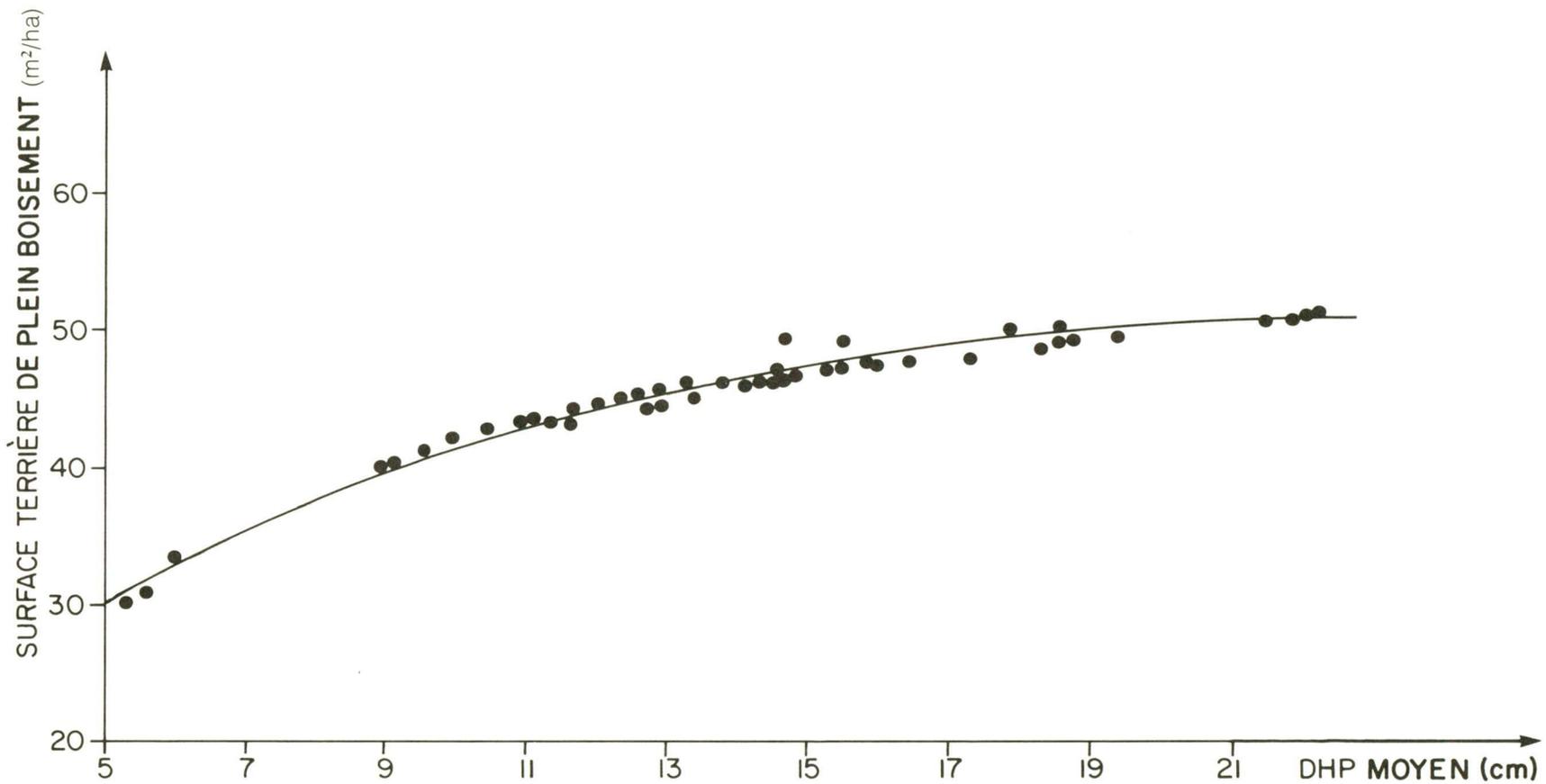


Figure 20. Niveau de production de stations d'étude, exprimé par la surface terrière de plein boisement à ha selon le dhp moyen de peuplements.

coenologique, dans l'ordre suivant: 1er, 3e et 5e groupe se trouve à la figure 19. Il ressort clairement de cette figure, que la croissance apicale entre les groupes coenologiques est pratiquement la même, et qu'il est impossible d'établir des différences statistiquement significatives.

Afin de vérifier cette dernière constatation, nous avons comparé la densité du bois sec de sapin baumier, car l'influence de la station sur la qualité du bois est généralement reconnue. Il convient de rappeler que nous avons éliminé de la comparaison l'effet de l'anisotropie, qui est due, chez le sapin baumier, d'une part, à la croissance juvénile et d'autre part aux vents dominants. Cependant, on peut dire que l'effet d'anisotropie s'estompe dès que la hauteur de l'arbre dépasse 2 m.

Les données sur la densité du bois de sapin baumier sous forme de la moyenne et de l'écart type par groupe floristique se trouve au tableau 12. Comme on peut le constater la densité du bois de sapin baumier est pratiquement la même d'un groupe coenologique à l'autre, et il en est probablement de même pour l'effet de facteurs écologiques stationnels sur la croissance du sapin baumier. Finalement, la dernière vérification sur la validité des indices de hauteur établis plus haut porte sur la comparaison du niveau de production pour les 52 stations d'étude du massif boisé du lac Joffre. Il convient de rappeler que le niveau de production a été défini par la surface terrière à l'hectare d'un peuplement de plein boisement naturel, par rapport au dhp moyen du peuplement et, selon ces deux caractéristiques, nous avons ordonné les 52 stations à la figure 20. Il est facile de constater qu'elles s'ordonnent parfaitement, pour mettre en évidence un seul niveau de production et à notre avis une même qualité stationnelle.

Tableau 9. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le premier groupe coenologique exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans

Classe d'âge (ans)	Hauteur moyenne (m)	Ecart type (m)	Nombre d'observations
15	2,71	0,50	37
20	4,36	0,67	36
25	5,98	0,78	37
30	7,58	0,81	32
35	8,86	0,80	27
40	10,36	0,92	34
45	11,62	0,95	25
50	12,85	1,08	23
55	13,70	1,19	21
60	15,07	0,75	16
Total			288

Tableau 10. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le troisième groupe coenologique, exprimée par la hauteur moyenne selon la classe d'âge de 5 ans

Classe d'âge (ans)	Hauteur moyenne (m)	Ecart type (m)	Nombre d'observations
15	2,78	0,65	25
20	4,26	0,96	26
25	5,63	1,14	27
30	7,30	1,29	31
35	8,94	1,45	33
40	10,78	1,48	27
45	11,68	1,32	21
50	12,93	1,20	17
55	13,95	1,25	13
60	14,22	1,00	12
Total			232

Tableau 11. Croissance en hauteur du sapin baumier dans les stations typiques ou dominées par le cinquième groupe coenologique, exprimée par la hauteur moyenne et la classe d'âge de 5 ans

Classe d'âge (ans)	Hauteur moyenne (m)	Ecart type (m)	Nombre d'observations
15	2,66	0,49	28
20	4,44	0,80	36
25	6,23	0,96	29
30	7,82	1,03	30
35	9,52	1,14	30
40	11,30	1,17	20
45	12,49	1,18	16
50	13,59	1,06	14
55	14,39	1,32	10
60	15,80	1,41	8
Total			221

Tableau 12. Densité du bois de sapin baumier selon le groupe coenologique

Groupe coenologique	Nombre d'observations	Densité du bois		Coefficient de variation (%)
		Moyenne (g/cm ³)	Ecart type (g/cm ³)	
1er groupe	87	0,359	0,041	11,4
3e groupe	57	0,350	0,032	9,1
5e groupe	51	0,346	0,028	8,1

CONCLUSION

L'examen des principales caractéristiques dendrométriques de 52 stations permet de constater que cet ensemble forme une série de croissance. Selon la structure diamétrale des stations d'études, il apparaît que les peuplements du sapin baumier se régularisent avec le temps, pour former ainsi des peuplements pratiquement normaux. La comparaison de nos résultats avec les données observées de Vézina et Linteau (1968) et de Ker (1976) pour le sapin baumier révèle une ressemblance remarquable, par contre elle met en évidence des différences notables par rapport aux données rapportées par Boudoux (1978).

L'examen de la croissance apicale chez le sapin baumier a permis d'établir que l'influence de la position sociale de l'arbre est notable et elle se reflète sur la durée de la période juvénile et sur l'âge physique de l'arbre. De plus on a pu mettre en évidence que l'effet des épidémies d'insectes sur cette croissance, bien que difficilement mesurable, est à notre avis déterminant.

La comparaison de la croissance apicale par groupe coenologique ne permet pas d'inférer au groupe coenologique ce pouvoir explicatif sur la productivité des stations; ce qui est confirmé par la comparaison sur la densité du bois. D'après les résultats sur la synécologie de trois groupes coenologiques, force nous est de constater que les groupes, tout au moins pour la région étudiée, ne représentent que des phases normales de l'évolution d'une sapinière dans le temps.

Il apparaît que l'approche utilisée pour l'établissement du domaine de la croissance, et des courbes de fertilité, est logique et relativement simple. Selon les résultats obtenus, on peut dire que la fonction de Korf est assez souple pour être utilisée comme un modèle prédictif d'un processus de croissance. Bien que le domaine de la croissance en hauteur à 50 ans est suffisamment grand pour refléter plusieurs classes de fertilité, la comparaison de la croissance en hauteur dans les principaux groupes

floristiques, et la comparaison de la densité du bois ne les confirment pas. De plus, l'examen du niveau de production et de la hauteur réduite de 52 stations d'études indique que la qualité stationnelle est pratiquement la même pour l'ensemble des sapinières considérées et que les courbes de fertilité ne reflètent que la variabilité dans la croissance en hauteur, laquelle est probablement due aux épidémies répétées de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et de ses conséquences.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier MM. Jean-Baptiste Breton et Jean-Louis Bélair pour leur assistance technique lors des travaux sur le terrain et de la compilation des résultats. De plus, nous adressons nos plus vifs remerciements à M. Jacques Trecia pour ses conseils lors de la correction du texte.

RÉFÉRENCES

- Assmann, E. 1955. Die Bedeutung des "erweiterten Eichhornschen Gesetzes" für die Konstruktion von Fichten-Ertragstafeln. Forstwiss. Cbl., 74:321-330.
- Assmann, E. 1961. Waldertragskunde. BLV München, 490 p.
- Assmann, E. 1965. Die Schätzung jetziger und künftiger Ertragsleistungen. Forstwiss. Cbl., 85:355-371.
- Assmann, E. 1974. Zum Begriff "Ertragsniveau". Forstwiss. Cbl., 93:177-179.
- Assmann, E.; Franz, F. 1963. Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. München, Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt, 104 p.
- Badoux, E. 1969. Les tables de production. La Forêt. 232:30-35.
- Beck, D.E. 1971. Height-growth patterns and site index of white pine in the southern Appalachians. For. Sci. 17:252-260.
- Blais, J.R. 1961. Spruce budworm outbreaks in the Lower St. Lawrence and Gaspé Regions. For. Chron. 37:192-202.

- Blais, J.R.; Martineau, R. 1960. A recent spruce budworm outbreak in the Lower St. Lawrence and Gaspé with reference to aerial spraying operation. *For. Chron.* 36:209-224.
- Bolghari, H.A. 1977. Hauteur dominante et indices de qualité des stations dans les plantations d'épinette blanche et de Norvège. *Nat. Can.* 104:475-484.
- Bolghari, H.A.; Vézina, P.-E. 1974. Estimation de l'accroissement et de la production des sapinières de diverses densités. *Qué. Minist. Terres For., Serv. Rech. Mém. n° 18.*
- Bolghari, H.A.; Vézina, P.-E. 1975. L'influence de quelques caractéristiques du peuplement et du milieu sur la croissance en volume du sapin baumier et de l'épinette noire au Québec. *Nat. Can.* 102:339-352.
- Boudoux, M. 1978. Tables de rendement empirique pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris du Québec. *Qué. Minist. Terres For., Serv. Inf.* 101 p.
- Boudoux, M.; Bonenfant, F. 1979. SACADOS. Système automatique conversationnel d'analyse de données Statistiques. *Environ. Can., Serv. Can. For., Cent. Rech. For. Laurentides, Sainte-Foy, Qué. Rapp. Inf. LAU-X-39.* 22 p.
- Bradley, R.T.; Christie, J.M.; Johnson, D.R. 1966. *Forest Management Tables.* Booklet 16, For. Comm., London, 218 p.
- Bruce, D.; Schumacher, F. 1950. *Forest mensuration.* McGraw-Hill. New York, 483 p.
- Busby, J.R.; Bliss, L.C.; Hamilton C.D. 1978. Microclimate control of growth rates and habitats of the boreal mosses, *Tomenthypnum nitens* and *Hylocomium splendens*. *Ecological Monographs* 48: 95-110.
- Cantiani, M. 1964. Tavola alsometrica delle pinete de laricio dell'Etna. [tables de productions pour le Pin laricio d'Etna]. [En Italien]. *L'Ital. For. e Montana*, 1:98-115.
- Carmean, W.H. 1979. A comparison of site curves for northern hardwood species. U.S. Dept. Agric. For. Serv., North Cent. For. Exp. Stn., St. Paul, Minnesota. *Res. Pap. NC-167*, 12 p.
- Commission Canadienne de Pédologie, Comité de la classification des sols. 1978. Le système canadien de classification des sols. *Can. Minist. Agric. publ. n° 1646.* 170 p.

- Curtis, R.O. 1964. A Stem-Analysis approach to site-index curves. *For. Sci.* 10: 241-256.
- Decourt, N. 1965. Le Pin sylvestre et le Pin laricio de Corse en Sologne. Tables de production provisoires et méthodes utilisées pour les construire. *Ann. Sci. forest.*, 22:257-318.
- Decourt, N. 1973. Production primaire, production utile: Méthodes d'évaluation, indices de productivité. *Ann. Sci. forest.*, 30: 219-238.
- Dixon, W.T. 1977. BMDP, Biomedical Computer Programs, P-Series, Univ. Calif. Press, Berkeley, Calif.
- Duchovnikov, J. 1972. Tablici za bonitiranje na belborovi nasazdenia po gospod-stvuvascata visocina. [Les tables d'évaluation pour les pinèdes selon la hauteur]. [En Bulgare]. *Gorsko stopanstvo* 28:24-28.
- Franz, F. 1971. Grundlagen und Verfahren standortbezogener Leistungsschätzung. *Forstl. Forschungsanstalt, München, Nr. 2*, 316 p.
- Gagnon, R.M. 1970. Climat des Chic-Chocs. Qué. Minist. Rich. Nat. 103 p.
- Gobeil, A.R. 1938. Dommages causés aux forêts de la Gaspésie par les insectes. Qué. Minist. Terres For., Serv. Ent. Bull. n° 2. 16 p.
- Griffin, R.H.; Johnson, J.E. 1980. Polymorphic site index curves for spruce and balsam fir growing in even-aged stands in Northern Maine. *Life Sci. Agric. Exp. Stn., School For. Resour., Univ. Gutte Maine, Orono, Me. Bull.* 765.
- Guttenberg, A.R. 1915. Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge. Franz Deuticke, Wien und Leipzig, 156 p.
- Halaj, J. 1978. Vyskovy rast a struktura porastov. [La croissance en hauteur et la structure des peuplements]. [En Slovaque]. *Slov. Akad. Vied, Bratislava* 284 p.
- Hamilton, G.J.; Christie, J.M. 1973. Forest Management Tables. Booklet 34, For. Comm. London. Booklet 34. 201 p.
- Heger, L. 1968. A method of constructing site index curves from stem analysis. *For. Chron.* 44:11-15.
- Hradetzky, J. 1972. Modell eines integrierten Ertragstafel-Systems in modularer Form. Inaugural-Dissertation, Freiburg i. Br. 172 p.
- Jurdant, M. 1964. Carte phytosociologique et forestière de la Forêt expérimentale de Montmorency. *Can. Minist. For. Publ.* 1946. 73 p.

- Ker, M.F. 1976. Metric yield tables for the major forest cover types of Newfoundland. Environ. Can., Can. For. Serv., Nfld. For. Res. Cent., Inf. Rep. N-X-141.
- Korf, V. 1953. Dendrometrie. [Dendrométrie]. [En Tchèque]. Stat. zem. nakl., Praha, 327 p.
- Lafond, A. 1967. Notes pour l'identification des types forestiers des concessions de la Québec North Shore, Paper Co., 3e édition. Imprimerie Laize Ltée., Hauterive, Qué. 93 p.
- Lebuis, J.; David, P.P. 1977. La stratigraphie et les événements du quaternaire de la partie occidentale de la Gaspésie, Québec. Géogr. Phys. Quat. 21:275-296.
- Linteau, A. 1957. Classification des stations forestières de la Section des Conifères du Nord-Est, Région des Forêts Boréales, Québec. Can. Dep. North. Aff. Nat. Resour., For. Br., Bull. No. 118. 85 p.
- Logan, K.T. 1969. Growth of trees seedlings as affected by light intensity. IV. Black spruce, White spruce, Balsam fir, and Eastern White cedar. Dep. Fish. For., Can. For. Serv., Publ. No. 1256. 12 p.
- Martineau, R. 1943. Population studies of the European spruce sawfly (*Gilpinia hercyniae* Htg.) in Québec. For. Chron. 19:87-107.
- McKeague, J.A. 1977. Manuel de méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols, Sous-comité des méthodes d'analyse, Commission canadienne de pédologie, 223 p.
- Panek, F. 1976. Construction of the site class curves by means of Korf's equation. Les. Cas. 22:129-139.
- Piene, H. 1978. Effects of increased spacing on carbon mineralisation rates and temperature in a stand of young balsam fir. Can. J. For. Res. 8:398-406.
- Popovich, S. 1974. Volume par unité de surface terrière, comme moyen d'évaluer la productivité de stations et la production des plantations d'épinette blanche au Québec. Can. J. For. Res. 4:127-137.
- Robinson, J.F., Thor, E. 1969. Natural variation in *Abies* of the Southern Appalachians. For. Sci. 15:239-245.
- Rowe, J. 1972. Forest Regions of Canada, Can. Dep. Environ., Can. For. Serv., Publ. No. 1300, 172 p.

- Schmidt, A. 1969. Der Verlauf des Höhenwachstums von Kiefern auf einigen Standorten der Oberfalz. Forstwiss. Centralbl. 88:33-40.
- Schütz, J.-Ph.; Badoux, E. 1979. Production de jeunes peuplements de chênes en relation avec la station. Mitt. schweiz. Centralanst. Forstl. Versuchswes. 55(1): 177 p.
- Schwappach, A. 1902. Untersuchungen über Wachstum und Ertrag normaler Fichtenbestandes in Preussen. Neudamm Verlag, Berlin. 199 p.
- Tesch, S.D. 1981. The evolution of forest yield determination and site classification. For. Ecol. Manage. 3:169-182.
- Tveite, B. 1969. A method for construction of site-index curves. Medd. Nor. Skogforsoksves. 97:132-159.
- Veuilleux, J.-M.; Sheedy, G. 1978. Projet interprovincial de fertilisation des forêts naturelles. I-Effets de la fertilisation sur quelques caractéristiques de sept sapinières en Gaspésie. Qué. Minist. Terres For. Serv. Rech. Mém. n° 45.
- Vézina, P.-E.; Linteau, A. 1968. Growth and yield of balsam fir and black spruce in Quebec. Can. For. Res. Lab. Inf. rep. Q-X-2.
- Villeneuve, P. 1971. Calcul de l'erreur d'échantillonnage. Qué. Min. Terres For. Serv. Rech. Mém. n° 5.
- Zarnovican, R. 1979. Fonction de la croissance de Korf. For. Chron. 55:194-197.
- Zarnovican, R. 1981. A propos de l'âge du sapin baumier et de sa détermination. Can. J. For. Res. 11:805-811.
- Zarnovican, R. 1982. Examen de quelques relations allométriques chez le sapin baumier et l'épinette blanche. Can. J. For. Res. 12:171-180.
- Zarnovican, R.; Gerardin, V.; Ducruc, J.P.; Jurdant, M.; Audet, G. 1976. Les régions écologiques du territoire de la Baie James. Environ. Can. Rapp. ETBJ n°, 28, Env. Can.-SDBJ. 12. p.

Canada