

Variabilité phénotypique  
et corrélations juvéniles-adultes  
chez les pins gris de la provenance « Briand »

par R. BEAUDOIN

Ce mémoire contient un errata  
à la page iv du document



Roger BEAUDOIN est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1970. En 1973, ce même établissement lui décernait le titre de maître ès sciences (Écologie forestière). À l'emploi du ministère des Terres et Forêts à partir de 1973, il est affecté au Service de la recherche à titre de chargé de recherches en amélioration génétique des pins de la section *banksiana* et de responsable du réseau d'arboretums et de secteurs spéciaux.

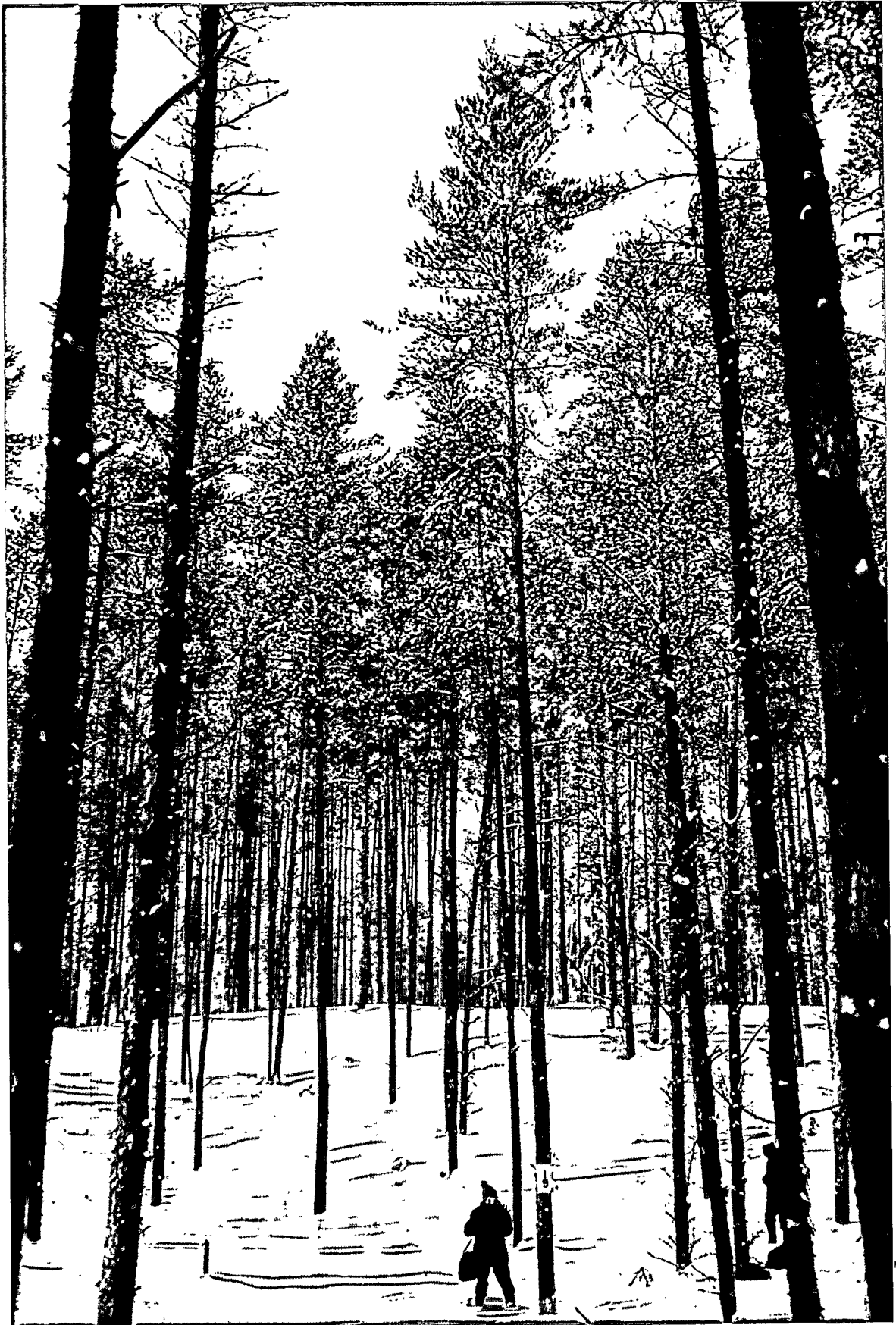


Les Mémoires et les autres rapports publiés par la Recherche forestière sont révisés par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique fédérale ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche remercient les scientifiques qui acceptent bénévolement de revoir les textes présentés dans cette série et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère des Forêts du Québec ou avec son assistance.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande au:

Service du transfert de technologie  
Ministère des Forêts du Québec  
2700, rue Einstein  
SAINTE-FOY (Québec)  
Canada G1P 3W8

**Variabilité phénotypique et corrélations juvéniles-adultes  
chez les pins gris de la provenance « Briand »**



**Variabilité phénotypique et corrélations juvéniles-adultes  
chez les pins gris de la provenance « Briand »**

par

Roger BEAUDOIN, ing.f., M.Sc.f.

Mémoire de recherche forestière n° 109

Gouvernement du Québec  
Ministère des Forêts  
Direction de la recherche  
1993

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 021050 : *Amélioration génétique du pin gris*.

## ERRATA

2° de couverture

Roger BEAUDOIN... est chargé de recherches en amélioration génétique des pins des sections *sylvestris* et *banksiana* et il est responsable depuis 1985 du réseau d'arboretums du MFO et des secteurs spéciaux de R-D en amélioration génétique des arbres.

ISBN 2-550-27885-2

ISSN 1183-3912

Dépôt légal - 1993

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© Gouvernement du Québec 1993

## **Remerciements**

L'auteur désire remercier vivement tous ceux et celles qui ont contribué à la préparation de ce mémoire. Il tient à remercier spécialement l'équipe : MM. Simon Barrette et Gilles Gignac du Service de l'amélioration des arbres et du Service de la recherche appliquée, ainsi que MM. Rémi Séguin, Jean-Luc Morin et Jean Brisebois des Produits Forestiers Canadien Pacifique limitée, division forestière de Maniwaki, pour avoir effectué l'échantillonnage des arbres-plus et la prise de données.

Des remerciements sincères s'adressent aussi à ceux qui ont procédé à l'analyse des échantillons en laboratoire. L'auteur remercie également M. Gilles Désaulniers et Mmes Nicole Laquerre et Carmelle Beaulieu de la section de la biométrie et Mme Nathalie Boulanger pour l'analyse statistique des données, ainsi que tous ceux et celles qui ont participé à la correction, à la dactylographie et à l'édition de ce mémoire.



## Résumé

L'auteur a étudié la variation phénotypique pour les variables suivantes : hauteur, diamètre à hauteur de poitrine (DHP), densités du bois juvénile et du bois adulte, angle et diamètre des branches, rectitude de la tige, production de cônes et caractère sérotineux. Cette étude a été réalisée sur 304 arbres-plus provenant d'un peuplement équienne de pin gris âgé de 48 ans. La hauteur des arbres-plus varie entre 14,8 et 22,3 m et elle est significativement corrélée avec le DHP. L'efficacité de sélection des arbres-plus pour la hauteur, calculée à partir des hauteurs estimées aux âges de 10, 15, 20, 25, 30, 35 et 40 ans par rapport à l'âge de 45 ans, correspond approximativement aux coefficients de corrélation de 0,50, 0,62, 0,71, 0,78, 0,85, 0,93 et 0,98 entre les hauteurs à ces âges et la hauteur à 45 ans. Les densités moyennes du bois juvénile (0-10 ans à partir de la moelle) et du bois adulte (25-35 ans) à 1,30 m du sol sont de 0,38 et 0,46 g/cm<sup>3</sup>. L'étendue entre les arbres-plus pour la densité du bois juvénile est de 0,11 g/cm<sup>3</sup> et, pour le bois adulte, de 0,15 g/cm<sup>3</sup>, avec des coefficients de variation de 5,3 et 6,4 p. 100. Il n'existe pas de relation linéaire significative (au seuil  $\alpha = 0,05$ ) entre l'accroissement radial et la densité du bois juvénile ( $r = -0,18$ ) de même qu'entre l'accroissement radial et la densité du bois adulte ( $r = -0,19$ ). La densité du bois juvénile explique seulement 10 p. 100 de la variation de la densité du bois adulte et laisse croire que la sélection des arbres-plus pour améliorer la densité est aléatoire. La proportion moyenne de bois juvénile (entre 10 et 15 ans à partir de la moelle) des arbres-plus, de densité plus faible que celle du bois adulte, représente une partie importante (entre 21 et 38 p. 100) du volume total de l'arbre. La majorité des courbures de la tige sont situées dans le tiers supérieur de l'arbre et seulement 4 p. 100 des arbres-plus ont des tiges tout à fait rectilignes. L'angle des branches varie entre 35 et 80 degrés et, contrairement au nombre de grosses branches, l'angle ne semble pas en relation avec le diamètre des arbres. Le nombre total de cônes par arbre au moment de l'échantillonnage varie entre 44 et 1 479 et il existe une relation significative (au seuil  $\alpha = 0,01$ ) entre la production de cônes jeunes (âge  $\leq 3$  ans) et la production de cônes âgés de plus de 3 ans. Tous les cônes sur 90 p. 100 des arbres ne s'ouvrent pas à maturité; par contre, 2 p. 100 des arbres distribués à travers le peuplement ont des cônes dont 75 à 80 p. 100 s'ouvrent complètement à maturité. Cette étude confirme la variation phénotypique importante entre les arbres-plus de ce peuplement. Elle nous renseigne sur les relations qui existent entre les caractères et quantifie les corrélations juvéniles-adultes en vue de mieux orienter la sélection.

Mots-clés : pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), arbre-plus, sélection, variabilité phénotypique, corrélations juvéniles-adultes.

## Summary

**Phenotypic variability and juvenile-adult correlations in relation to Jack pine plus-trees of the "Briand" provenance.** Phenotypic variation for the following variables : height, diameter at breast height (DBH), juvenile and mature wood densities, branch angle and branch diameter, stem form, cone production and their serotinous trait, was studied. This study was realized from a 304 plus-trees even-aged 48-year-old jack pine stand. Plus-tree height ranges from 14,8 to 22,3 m and is significantly correlated with DBH. The efficiency of the plus-tree selection for height, determined from estimated heights at the ages of 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 years compared with 45 years, has approximately the same values that correlation coefficients 0,50, 0,62, 0,71, 0,78, 0,85, 0,93 and 0,98 between height at these ages with height at 45 years. Mean relative densities of juvenile (0-10 years from the pith) and mature (25-35 years) wood at breast height are 0,38 and 0,46 g/cm<sup>3</sup>. The range between plus-tree for juvenile wood density is 0,11 g/cm<sup>3</sup> and 0,15 g/cm<sup>3</sup> for mature wood with variation coefficients of 5,3 and 6,4 p. 100. There is no significant linear relation (at the 0,05 level) between radial increment and juvenile wood ( $r = -0,18$ ) and between radial increment and mature wood ( $r = -0,19$ ). Relative density of juvenile wood explains only 10 p. 100 of the variation in relative density of mature wood; it seems possible that plus-tree selection to improve density is hasardous. The average proportion of juvenile wood (between 10-15 years from the pith) which has a density lower than that of mature wood, represents an important part (between 21 and 38 p. 100) of total tree volume. Most stem sweeps are located in the upper third of the tree and only 4 p. 100 of plus-trees have a very good stem form. Branch angle ranges from 35 to 80 degrees and tree diameter appears to have no relation with branch angle, contrary to branch diameter. At the time of sampling, total cone production ranges from 44 to 1 479 and a significant (at the 0,01 level) relation exists between young (age  $\leq 3$  years) and mature cone production per tree. All cones on 90 p. 100 of trees are closed but 2 p. 100 of the trees bearing open cones (75 to 80 p. 100 of the cones) are located through the stand. This study confirms the large phenotypic variation between plus-trees of this stand. It provides information on the relationship that exists between traits and quantifies juvenile-mature correlations to improve the efficiency of a selection program.

Key-words : Jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), plus-tree, selection, phenotypic variability, juvenile-mature correlations.



## Table des matières

Remerciements	v
Résumé	vii
<i>Summary</i>	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre premier</b>	
Provenance « Briand »	3
1.1 Choix de la provenance	3
1.2 Localisation	3
1.3 Données climatiques	3
1.4 Données forestières	3
1.5 Données édaphiques	5
<b>Chapitre II</b>	
Méthodes	7
2.1 Sélection des arbres-plus	7
2.2 Prise de données et récolte de matériel biologique	7

## Chapitre III

Résultats	9
3.1 Caractéristiques des arbres-plus	9
3.1.1 Hauteur	9
3.1.1.1 Variation	9
3.1.1.2 Corrélation juvénile-adulte	9
3.1.2 Diamètre	11
3.1.2.1 Variation	11
3.1.2.2 Relation hauteur-diamètre	11
3.1.3 Densités du bois juvénile et du bois adulte	13
3.1.3.1 Bois juvénile et bois adulte	13
3.1.3.2 Variation entre les arbres	13
3.1.3.3 Corrélation juvénile-adulte	18
3.1.4 Flexuosité de la tige	21
3.1.4.1 Variation	21
3.1.5 Branchaison	23
3.1.5.1 Variation du nombre et du diamètre des grosses branches	23
3.1.5.2 Angle des branches	25
3.1.6 Fructification	25
3.1.6.1 Production de cônes	25
3.1.6.2 Aspect sérotineux	27
<b>Conclusion</b>	31
Bibliographie	33

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b>	Résultats des analyses chimique et mécanique du sol	5
<b>Tableau 2</b>	Évolution de la hauteur à différents âges pour 96 arbres-plus	10
<b>Tableau 3</b>	Efficacité de sélection des arbres-plus pour la hauteur à différentes intensités de sélection et à différents âges	11
<b>Tableau 4</b>	Volume moyen et pourcentage du volume total moyen de la tige des bois de différentes classes d'âge, pour 96 arbres dont l'âge moyen est de 48 ans	18
<b>Tableau 5</b>	Densités basales du bois juvénile et du bois adulte pour 88 arbres-plus	18
<b>Tableau 6</b>	Fréquence des courbures (exprimée en pourcentage) suivant la situation sur l'arbre et la longueur de la corde	22
<b>Tableau 7</b>	Données descriptives des courbures pour 235 arbres	22
<b>Tableau 8</b>	Corrélation de la hauteur totale de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime, avec le nombre de courbures et la longueur maximum de la flèche pour 235 arbres	24

<b>Tableau 9</b>	Corrélation de la hauteur totale de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime, avec le nombre et les diamètres moyen et maximum des grosses branches pour 301 arbres	25
<b>Tableau 10</b>	Corrélation de la hauteur de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime avec l'angle des branches pour 301 arbres	26
<b>Tableau 11</b>	Corrélation de la hauteur de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime, avec le nombre de cônes pour 304 arbres	27
<b>Tableau 12</b>	Pourcentage de cônes non sérotineux par arbre et fréquence observée pour 230 arbres	28

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Localisation du peuplement	4
<b>Figure 2</b>	Répartition des 304 arbres-plus pour la hauteur totale	9
<b>Figure 3</b>	Diagrammes en boîte de la hauteur à différents âges pour 96 arbres-plus	10
<b>Figure 4</b>	Régression de la hauteur à 45 ans (H45) en fonction de la hauteur à 25 ans (H25) pour 96 arbres-plus	12
<b>Figure 5</b>	Répartition des 304 arbres-plus, dont l'âge total moyen est de 48 ans, en fonction du DHP	13
<b>Figure 6</b>	Régression de la hauteur (H) en fonction du DHP pour 304 arbres-plus	14
<b>Figure 7</b>	Régression du DHP à 45 ans (DHP45) en fonction du DHP à 25 ans (DHP25) pour 96 arbres-plus	15
<b>Figure 8</b>	Hauteur et âge en fonction du rayon pour 96 arbres-plus	16
<b>Figure 9</b>	Proportion de bois de différentes classes d'âge pour 96 arbres-plus dont l'âge moyen à la souche est de 48 ans	17
<b>Figure 10</b>	Répartition des 88 arbres-plus pour la densité basale du bois juvénile à 1,30 m du sol	19
<b>Figure 11</b>	Répartition des 88 arbres-plus pour la densité basale du bois adulte à 1,30 m du sol	19

<b>Figure 12</b>	Régression de la densité du bois adulte (DADU) en fonction de la densité du bois juvénile (DJEU) (0 à 10 ans) à 1,30 m	20
<b>Figure 13</b>	Répartition des courbures mesurées sur 235 tiges en fonction de la longueur des cordes	21
<b>Figure 14</b>	Fréquence et situation sur l'arbre (exprimées en pourcentage) des courbures dont les flèches mesurent 30 mm et plus de longueur et les cordes, de 0,5 à 4,0 m	23
<b>Figure 15</b>	Répartition des 301 arbres-plus en fonction du nombre de branches de 20 mm et plus de diamètre mesurées à 15 cm du tronc	24
<b>Figure 16</b>	Répartition des 301 arbres-plus pour l'angle des branches	26
<b>Figure 17</b>	Répartition des 304 arbres-plus en fonction de la production totale de cônes	27
<b>Figure 18</b>	Régression du nombre de cônes de plus de 3 ans (N3P) en fonction du nombre de cônes jeunes (NJEU) pour 162 arbres-plus	29

## Introduction

La variabilité des caractères est particulièrement marquée chez la plupart des espèces forestières. Cette variabilité se retrouve entre les populations, surtout si l'aire de distribution est étendue, mais aussi à l'intérieur d'une même population. Nous avons étudié la variabilité entre les arbres-plus sélectionnés à l'intérieur d'une population de pin gris, de bonne performance, comme celle de Briand. La valeur génétique des descendances de ces arbres-plus sera testée par des plantations comparatives en vue de regrouper dans un verger à graines de semis les arbres dont les gènes, ou combinaisons de gènes, auront un effet favorable pour les objectifs de sélection considérés.

La connaissance des variations phénotypiques rencontrées va nous permettre de développer un standard de sélection pour les arbres-plus (MORGENTERN *et al.* 1975). Des mesures de tendance centrale et de dispersion ainsi que les fréquences observées, pour plusieurs caractères, contribuent aussi à préciser nos critères de sélection.

L'évaluation du coefficient de corrélation entre les caractères demeure une priorité dans les informations à obtenir au début d'un programme d'amélioration génétique (KREMER 1986). La sélection pour un caractère peut avoir une répercussion positive ou négative plus ou moins significative ou une répercussion nulle sur un autre caractère.

Les corrélations juvéniles-adultes montrent l'évolution des caractères dans le temps. Elles servent à préciser davantage l'âge où la sélection peut être faite. D'autre part, ces corrélations fournissent une indication de l'efficacité de la sélection en forêt qui sera confirmée par les premiers tests de descendances. Il demeure que la variation phénotypique mesurée est dépendante de facteurs environnementaux et génétiques et que la compétition entre les arbres va sûrement influencer l'héritabilité de plusieurs caractères mesurés, surtout liés à la croissance. Dans ce travail, nous essayons donc de faire ressortir la variabilité phénotypique qui existe entre les arbres-plus de ce peuplement équienne pour plusieurs caractères, les corrélations entre ces caractères et leur évolution dans le temps.



## Chapitre premier

### Provenance Briand

#### 1.1 Choix de la provenance

La provenance Briand pour l'étude des arbres-plus a été retenue surtout parce que la sélection d'arbres-plus, pour mettre en place le réseau de vergers à graines de semis et de tests de descendances, en était à ses débuts. Cette étude de base devait donc servir à orienter la sélection des arbres-plus pour la réalisation des autres vergers à graines. Les résultats de 10 ans après la plantation de deux tests de 64 provenances (YEATMAN 1976) confirmaient la bonne performance en hauteur et en diamètre de la provenance Briand. En 1975, les principaux responsables de l'amélioration génétique du pin gris ont pris la décision d'améliorer cette population.

#### 1.2 Localisation

Les arbres sélectionnés font partie d'une population naturelle de pin gris située au nord du lac Baskatong, dans le canton de Briand, par 46° 54' de latitude nord et 75° 58' de longitude ouest. La figure 1 montre la localisation de ce peuplement.

#### 1.3 Données climatiques

La station météorologique la plus près du peuplement étudiée et qui a servi à recueillir les données est celle du barrage Mercier. Le climat subpolaire sub-humide continental de ce secteur (PROULX *et al.* 1987) se caractérise de la façon suivante : la température moyenne quotidienne de janvier est de - 14,0 °C alors que celle de juillet s'établit à 17,5 °C; la période exempte de gel est de 109 jours (SERVICE DE L'ENVIRON-

NEMENT ATMOSPHÉRIQUE 1982b); le nombre de degrés-jours de croissance au-dessus de 5,0 °C est de 1 640 (SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE 1982a).

#### 1.4 Données forestières

Le peuplement de pin gris se trouve dans la région écologique 7a2 et correspond au domaine climacique de la bétulaie jaune à sapin (THIBAUT 1985). Il occupe la partie est de celle-ci, soit une zone située sur les versants sud du bouclier laurentien où prédominaient jadis le pin rouge et le pin blanc.

Sur les grands plateaux sablonneux, au nord du lac Baskatong, près de la rivière Gens-de-Terre, on observe de nombreux peuplements de pin gris. Le peuplement étudié est localisé à cet endroit et s'est établi à la suite d'un feu datant de 1923. On rencontre parfois, en sous-étage, de l'épinette noire et quelques pins blancs. Les bas-fonds sont constitués généralement de peuplements de sapin et d'épinette noire dans lesquels se trouvent disséminés de grands pins blancs ou rouges.

Des relevés dendrométriques ont été effectués en 1973 dans le peuplement étudié, avant le début des travaux d'aménagement, par du personnel de la compagnie de Produits forestiers Canadien Pacifique limitée<sup>1</sup>. Ces relevés (GARCEAU 1975) montrent que la densité du peuplement était de 1 300 tiges de 10,2 cm et plus de diamètre à l'hectare, mesuré à 1,30 m du sol; le diamètre moyen était de 14,7 cm et la hauteur moyenne de 18,2 m. Le volume correspondant était de 98 m<sup>3</sup>/ha.

---

1 Anciennement Compagnie internationale de Papier du Canada (CIP)

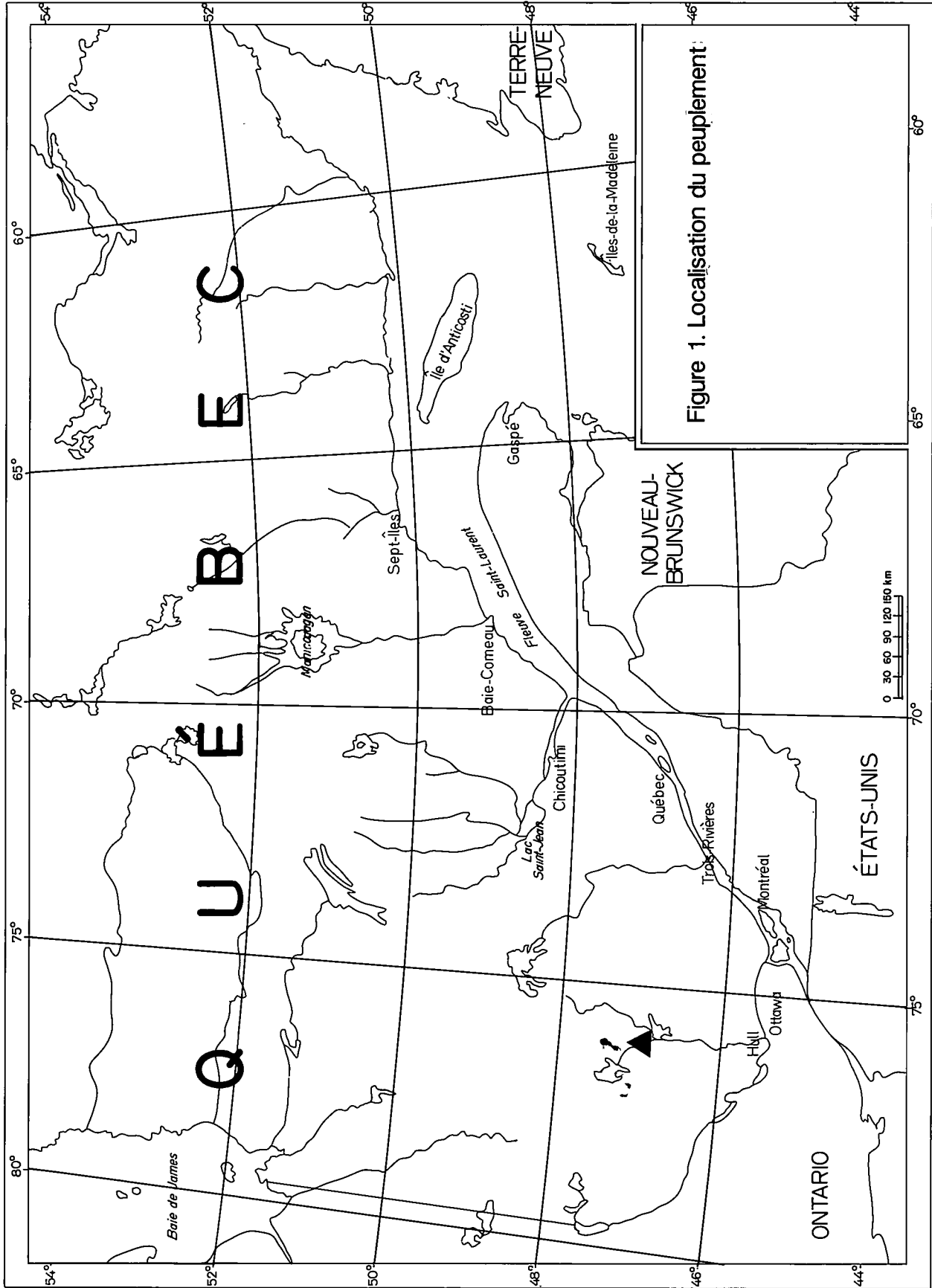


Figure 1. Localisation du peuplement:

## 1.5 Données édaphiques

Les sols de cette station sont des podzols ferriques sur des sables à texture filtrante provenant d'alluvions récentes. Un profil montre que le type d'humus est un mor et que l'horizon H varie de 2 à 4 centimètres d'épaisseur. Les horizons Ae et Bf mesurent respectivement 2 et 15 centimètres d'épaisseur tandis que le C atteint plusieurs mètres.

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques chimiques et mécaniques des horizons d'un profil de cette station.

La valeur élevée du C/N dans l'horizon H montre que la minéralisation nette de l'azote sous forme de  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$  est très faible. La nitrification est rendue

difficile à cause d'un pH bas; des pertes en  $\text{NO}_3^-$  par lessivage sont fort possibles dans ces sols très bien drainés, qui ont un faible pouvoir de rétention en eau et en éléments nutritifs.

Pour juger de la qualité de cette station en ce qui concerne la croissance du pin gris, nous avons utilisé les tables de rendements empiriques de BOUDOUX (1978). Selon ces tables, le volume marchand moyen en pin gris pour Briand, de  $98 \text{ m}^3/\text{ha}$  à l'âge de 45 ans (à hauteur de poitrine), correspond à une classe de qualité de station 1. Le nombre de tiges marchandes de la classe 1 à cet âge dans les tables de rendement, comparé à celui de Briand, est respectivement de 1285 et 1300 tiges/ha. La table de rendement de PLONSKI (1974) pour la hauteur en fonction de l'âge confirme le choix de la classe de station 1 pour Briand (18 m à 50 ans).

Tableau 1. Résultats des analyses chimique et mécanique du sol

### Analyse chimique

Horizons	N %	C %	M.O %	C/N	pH	P ppm	Mg ppm	K ppm	Ca ppm
H	0,83	30,40	52,41	36,78	3,16	250	123	374	795
Ae	0,02	1,63	2,81	85,87	3,61	30	5	12	17
Bf	0,03	1,22	2,11	36,72	4,95	190	15	5	10
C	0,01	0,15	0,26	24,30	5,34	150	7	2	25

### Analyse mécanique

Horizons	Sable (%) 50 $\mu\text{m}$ -2 mm	Limon grossier (%) 20 $\mu\text{m}$ -50 $\mu\text{m}$	Limon fin (%) 2 $\mu\text{m}$ -20 $\mu\text{m}$	Limon total (%) 2 $\mu\text{m}$ -50 $\mu\text{m}$	Argile (%) < 5 $\mu\text{m}$	Classe texturale
Ae	93	3	1	4	3	Sable
Bf	89	5	4	9	2	Sable
C	94	2	2	4	2	Sable

Méthodes d'analyses utilisées : *Kjeldahl* pour l'azote, *Bray* pour le phosphore, *Bouyoucos* pour la granulométrie.



## Chapitre II

### Méthodes

#### 2.1 Sélection des arbres-plus

La sélection des arbres-plus a été réalisée en 1974 et 1975 sur environ 80 p. 100 de la superficie du peuplement qui couvre 180 hectares. L'entraînement du personnel, la surveillance et l'organisation des travaux ont été confiés à des responsables de la compagnie (Produits Forestiers Canadien Pacifique limitée). Les critères de sélection et la méthode de localisation utilisés dans le choix des arbres-plus sont ceux qui ont été préparés par le Service de la production de plants<sup>1</sup> (LAMONTAGNE 1973). Pour chaque arbre sélectionné par 0,4 hectare, les critères de sélection retenus portaient surtout sur la hauteur, le diamètre et la rectitude de la tige. D'autres caractéristiques comme la présence de fourches, l'angle ainsi que la grosseur des branches étaient prises en considération lors de la sélection. Pour la localisation, les lignes de rattachement ont été remplacées par des bandes de 6 mètres coupées à blanc en 1973. Ces bandes disposées de façon parallèle à travers le peuplement à échantillonner sont séparées par 20 mètres de forêt non aménagée. Au total, 87 bandes ont été identifiées sur le terrain et cartographiées pour faciliter la sélection et le repérage des arbres-plus. Ainsi, des équipes formées de trois personnes ont sélectionné au total 325 arbres-plus. Quelques-uns de ces arbres ont été rejetés au cours de l'échantillonnage et certains d'entre eux ont été remplacés, pour diverses raisons comme, par exemple, le fait qu'ils ne répondaient pas aux critères de sélection. À la fin, il nous restait 304 arbres-plus.

#### 2.2 Prise de données et récolte de matériel biologique

La prise de données sur le terrain des 304 arbres-plus a été effectuée durant la période hivernale de 1976. Les arbres ont été abattus pour faciliter la récolte des cônes et des greffons.

Sur le terrain, notre façon de procéder était la suivante : une fois repéré, chaque arbre-plus était identifié. Deux mesures du diamètre de la cime verte étaient prises à angle droit par projection de celle-ci au sol. Un ruban à mesurer était déroulé sur l'arbre abattu pour obtenir les données suivantes : longueur totale, longueur de la cime verte, longueur des cinq dernières années de croissance et longueur de la flèche terminale. Le début et la fin des courbures de la tige ainsi que les branches de 20 mm et plus de diamètre étaient localisés par rapport à la souche. Pour quantifier chaque courbure, on mesurait la flèche, c'est-à-dire la distance maximale entre la corde passant par les extrémités d'une courbe et la tige. Le diamètre des grosses branches était mesuré à l'aide d'une règle, à 15 cm de la tige. L'angle d'insertion des branches était mesuré avec un rapporteur d'angle, à environ 5 cm du raccordement au tronc, dans la partie de l'arbre située légèrement en-dessous du tiers supérieur. Tous les cônes de l'arbre échantillonné ont été récoltés, dénombrés et placés dans un sac identifié pour être transportés au Centre de semences forestières de Berthierville. Les pousses les plus vigoureuses situées dans le tiers supérieur de l'arbre ont été taillées et placées dans des sacs de polyéthylène remplis de neige, pour multiplier les arbres-plus par greffage. Une partie de ce matériel a été expédié à l'Institut forestier national de Petawawa,

---

1 Auparavant, le Service des pépinières et du reboisement.

l'autre au Service de l'amélioration des arbres. Le DHP des arbres-plus a été mesuré sur la section à l'aide d'une règle et l'âge correspondant a été compté.

Le nombre total de cônes par arbre, le nombre de cônes de couleur beige tâchetés de gris (âge  $\leq 3$  ans) et le nombre de cônes complètement gris (âge  $> 3$  ans) ont été déterminés au Centre de semences forestières de Berthierville.

Sur le terrain, la tige a été coupée à partir de la souche, en trois sections de 1,22 m de longueur, puis en sections de 2,44 m pour la suite. Des rondelles de 3 cm d'épaisseur ont été prélevées à la souche, puis à chaque fin bout de toutes les sections. Ce matériel a été conservé en chambre froide à  $-5$  °C. L'âge et le diamètre de chaque rondelle ont été mesurés pour 96 arbres, choisis au hasard parmi les 304 du départ, afin d'étudier leurs croissances en hauteur et en diamètre aux âges de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 et 45 ans à la souche. Il est à noter que nous avons pris 96 arbres pour des raisons de temps et d'argent et que ce nombre nous paraissait suffisant pour obtenir une bonne estimation de la hauteur moyenne aux différents âges. Ce nombre s'est avéré satisfaisant puisqu'il nous assure une précision de 5 p. 100 avec un niveau de confiance de 0,95.

La détermination de la densité basale du bois a été réalisée à contrat par le Dr Jean Poliquin de la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval. La densité basale est le rapport entre la masse anhydre et le volume de l'éprouvette à une teneur en humidité supérieure au point de saturation des fibres. À cause du coût élevé de chaque détermination, les densités du bois juvénile (0 à 10 ans à partir de la moelle) et du bois adulte (25 à 35 ans à partir de la moelle) ont été déterminées à partir de rondelles prélevées à 1,30 m du sol sur 88 arbres seulement, choisis au hasard. Pour 83 de ces mêmes arbres, la densité du bois juvénile a été déterminée à partir de rondelles prélevées au fin bout de la septième section de l'arbre, c'est-à-dire à une distance de 13,57 m du sol. Dans le but de définir la relation entre l'accroissement radial et la densité du bois, la largeur des 10 anneaux de croissance ayant servi à la détermination des densités a été mesurée.

## Chapitre III

### Résultats

#### 3.1 Caractéristiques des arbres-plus

##### 3.1.1 Hauteur

###### 3.1.1.1 Variation

La hauteur moyenne des 304 arbres sélectionnés est de 18,48 m. La hauteur la plus faible est de 14,8 m alors que la plus forte est de 22,30 m. L'histogramme présenté à la figure 2 montre la répartition du nombre d'arbres en fonction de la hauteur totale. Malgré que ce peuplement soit équienné, la différence de hauteur entre les arbres-plus est relativement importante : la valeur du coefficient de variation est de 8,2 p. 100.

###### 3.1.1.2 Corrélation juvénile-adulte

Les diagrammes en boîte de la hauteur en fonction de l'âge (pour 96 arbres-plus) sont présentés à la figure 3. Ils nous montrent que la croissance en hauteur diminue progressivement à partir de l'âge de 20 ans. Nous retrouvons la même conclusion au tableau 2 où

sont présentées quelques statistiques descriptives montrant la variation de la hauteur entre les arbres-plus à différents âges.

Lors des sélections d'arbres-plus, on rencontre parfois des jeunes peuplements de pin gris de belle venue et on se demande si le choix d'arbres-plus dans de tels peuplements est aussi valable que dans des peuplements d'âge mûr. La répartition des arbres-plus pour la hauteur à l'âge de l'échantillonnage donne une distribution normale, ce qui a été vérifié à l'aide de tests de normalité. L'étude sur 96 arbres-plus permet de comparer l'efficacité de la sélection pour la hauteur à différents âges et à différentes intensités de sélection par rapport à celle effectuée à l'âge de 45 ans (tableau 3). L'équation pour calculer l'efficacité de la sélection est celle utilisée par SQUILLACE et GANSEL 1974. Par exemple, si l'intensité de sélection des meilleurs arbres pour la hauteur à 25 ans est de 10 p. 100, leur hauteur moyenne à 45 ans sera de 19,71 m. Pour une intensité de sélection de 10 p. 100 des meilleurs arbres pour la hauteur à 45 ans, leur hauteur moyenne à 45 ans sera

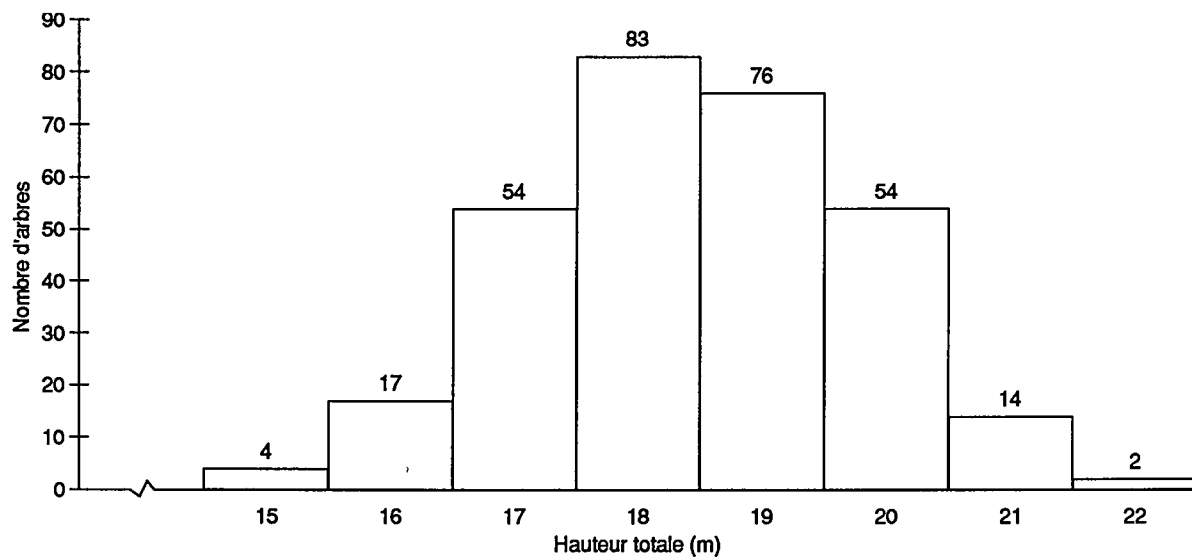


Figure 2. Répartition des 304 arbres-plus pour la hauteur totale.

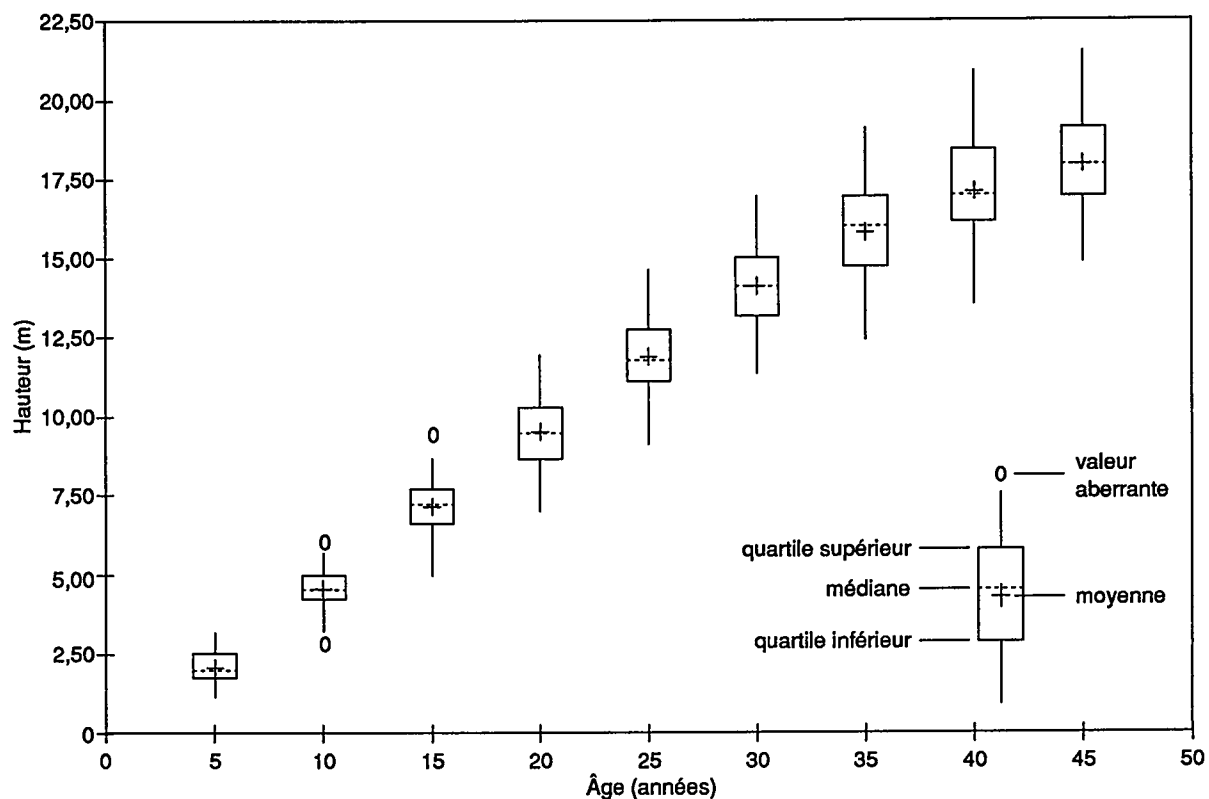


Figure 3. Diagrammes en boîte de la hauteur à différents âges pour 96 arbres-plus.

Tableau 2. Évolution de la hauteur à différents âges pour 96 arbres-plus

Âge (années)	Moyenne (m)	Minimum (m)	Maximum (m)	Étendue (m)	Écart-type (m)	Coefficient de variation (p. 100)
10	4,58	3,00	6,25	3,25	0,70	15,20
15	7,16	5,00	9,62	4,62	0,88	12,33
20	9,55	7,00	11,94	4,94	1,01	10,59
25	11,89	9,12	14,63	5,51	1,13	9,54
30	14,12	11,35	16,94	5,59	1,27	9,00
35	15,81	12,43	19,12	6,69	1,34	8,52
40	17,10	13,56	20,88	7,32	1,41	8,24
45	17,96	14,88	21,50	6,62	1,33	7,42

**Tableau 3. Efficacité de la sélection des arbres-plus pour la hauteur à différentes intensités de sélection et à différents âges**

		Âge des arbres-plus								
		10	15	20	25	30	35	40	45	
I n s t é e l n e s c i t i o n d e		Efficacité de la sélection (p. 100)								
		10	78	76	86	85	85	93	96	100
		20	53	75	82	86	90	93	95	100
		30	52	67	79	81	89	96	98	100
		40	48	53	69	74	89	94	99	100
	(p. 100)	50	39	36	64	75	82	95	100	100
		60	41	52	67	77	86	92	99	100
		70	55	72	77	83	92	94	97	100
		80	59	67	72	90	90	96	96	100
		90	31	38	56	75	88	95	97	100
Moyenne		51	60	72	80	88	94	97	100	

de 20,02 m. Puisque la hauteur moyenne de 96 arbres à 45 ans est de 17,96 m, l'efficacité de la sélection sera de :

$$E.S. = \frac{19,71 - 17,96}{20,02 - 17,96} = 85 \text{ p. } 100$$

Les résultats présentés au tableau 3 montrent qu'indépendamment de l'intensité de sélection, le choix des arbres pour la hauteur à l'âge de 25 ans donne une efficacité de sélection d'environ 80 p. 100 par rapport à celle effectuée à 45 ans. Les coefficients de corrélation de la hauteur estimée à 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 ans avec la hauteur estimée à 45 ans (0,50, 0,62, 0,71, 0,78, 0,85, 0,93, 0,98) correspondent approximativement à la moyenne de l'efficacité de sélection pour la hauteur à ces âges (tableau 3). L'équation de régression montrant la relation linéaire entre la hauteur à 25 ans et celle à 45 ans est présentée à la figure 4.

### 3.1.2 Diamètre

#### 3.1.2.1 Variation

Le DHP moyen des 304 arbres sélectionnés est de 180 mm; le diamètre le plus faible est de 126 mm tandis que le plus fort est de 246 mm. La figure 5 montre la répartition du nombre d'arbres en fonction du DHP; la valeur du coefficient de variation est de 10,4 p. 100.

#### 3.1.2.2 Relation hauteur-diamètre

La hauteur et le diamètre des arbres sont déterminés par leur génotype, par l'environnement et par l'interaction de ceux-ci. Parmi les facteurs environnementaux, MAGNUSSEN et YEATMAN (1987b) ont démontré que l'espacement entre les arbres jouait un rôle important sur leur accroissement en diamètre. Un plus grand espacement entre les arbres favorise généralement le développement d'une cime plus longue et plus large. La compétition exercée sur chacun des 304 arbres-plus est variable. Les coefficients de corrélation obtenus entre le diamètre des arbres-plus et la longueur et la largeur de la cime sont de 0,45 et 0,47 (significatif au seuil  $\alpha = 0,01$ ). Il semble que l'effet de la compétition sur la hauteur des arbres soit moins important que sur le diamètre (WECK dans MORGENTERN *et al.* 1975). La hauteur des 304 arbres-plus est liée de façon significative au diamètre (au seuil  $\alpha = 0,01$ ) et le coefficient de corrélation obtenu est de 0,61. Pour mieux montrer la relation qui existe entre la hauteur de l'arbre et son diamètre nous avons effectué une équation de régression de la hauteur en fonction du diamètre (figure 6). Le pourcentage de variation de la hauteur expliquée par le modèle est de 37,55 p. 100. Les coefficients de régression sont significatifs au seuil  $\alpha = 0,05$ . Un test d'ajustement nous confirme que le modèle est exact.

L'étude d'arbres montre que la sélection pour la hauteur à 25 ans affecte peu ( $\pm 100$  p. 100) le gain escompté en diamètre à 45 ans même si on sélectionne pour la hauteur à 45 ans. La relation s'exprime de la façon suivante :



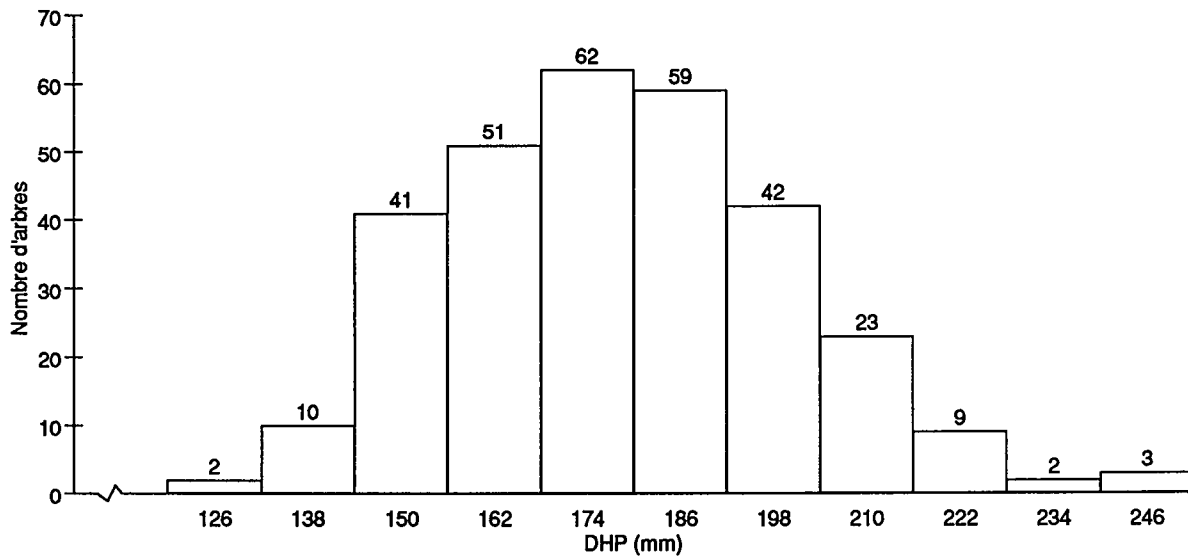


Figure 5. Répartition des 304 arbres-plus, dont l'âge total moyen est de 48 ans, en fonction du DHP.

Diamètre moyen à 45 ans des arbres sélectionnés pour la hauteur à 25 ans	-	Diamètre moyen à 45 ans des 96 arbres	
			= 98 p. 100
Diamètre moyen à 45 ans des arbres sélectionnés pour la hauteur à 45 ans	-	Diamètre moyen à 45 ans des 96 arbres	

Le coefficient de corrélation (0,87) obtenu entre le DHP à 25 ans et le DHP à 45 ans pour 96 arbres-plus indique une relation linéaire significative (au seuil  $\alpha = 0,01$ ) entre ces deux variables. La régression ainsi que l'équation de régression sont présentées à la figure 7. Il est à noter que le pourcentage de variation du modèle est de 76 p. 100, ce qui est très bon. La sélection des arbres pour la hauteur dans les peuplements plus jeunes peut donc être envisagée sans entraîner une diminution du diamètre moyen des tiges par rapport aux sélections effectuées dans des peuplements ayant atteints l'âge de 45 ans, soit environ la moitié de l'âge de révolution.

### 3.1.3 Densités du bois juvénile et du bois adulte

#### 3.1.3.1 Bois juvénile et bois adulte

Au fur et à mesure que l'arbre s'allonge, il s'établit un gradient hormonal qui fait que la concentration d'auxines est plus grande dans la cime verte de l'arbre que dans son pied (POLIQUIN 1987). Il découle de ce fait une diminution progressive de la largeur des anneaux de croissance vers le bas de l'arbre (figure 8).

Le bois formé près de la moelle est appelé bois juvénile. Des mesures de l'accroissement radial moyen à différentes hauteurs pour 96 arbres-plus montrent qu'un ralentissement de l'accroissement se produit entre les âges de 10 et 15 ans à partir de la moelle (figure 9). Ce ralentissement progressif de l'accroissement correspond à la transition vers la formation du bois adulte. Pour un arbre donné, la densité du bois juvénile est inférieure à celle du bois adulte (POLIQUIN 1987). La densité basale moyenne de  $0,38 \text{ g/cm}^3$  obtenue pour le bois de 0 à 10 ans à partir de la moelle à 1,30 m et à 13,57 m du sol démontre aussi la formation de bois juvénile à ces deux niveaux de l'arbre.

Le volume de chaque section de la tige a été calculé en utilisant la formule de Smallian. La proportion de bois de différentes classes d'âges à partir de la moelle est présentée au tableau 4.

#### 3.1.3.2 Variation entre les arbres

Les densités du bois juvénile et du bois adulte sont présentées au tableau 5. Pour le bois juvénile (0 à 10 ans), la densité varie entre  $0,32$  et  $0,44 \text{ g/cm}^3$  (figure 10). La densité basale moyenne du bois juvénile ( $0,38 \text{ g/cm}^3$ ) est égale à celle obtenue par RODDY

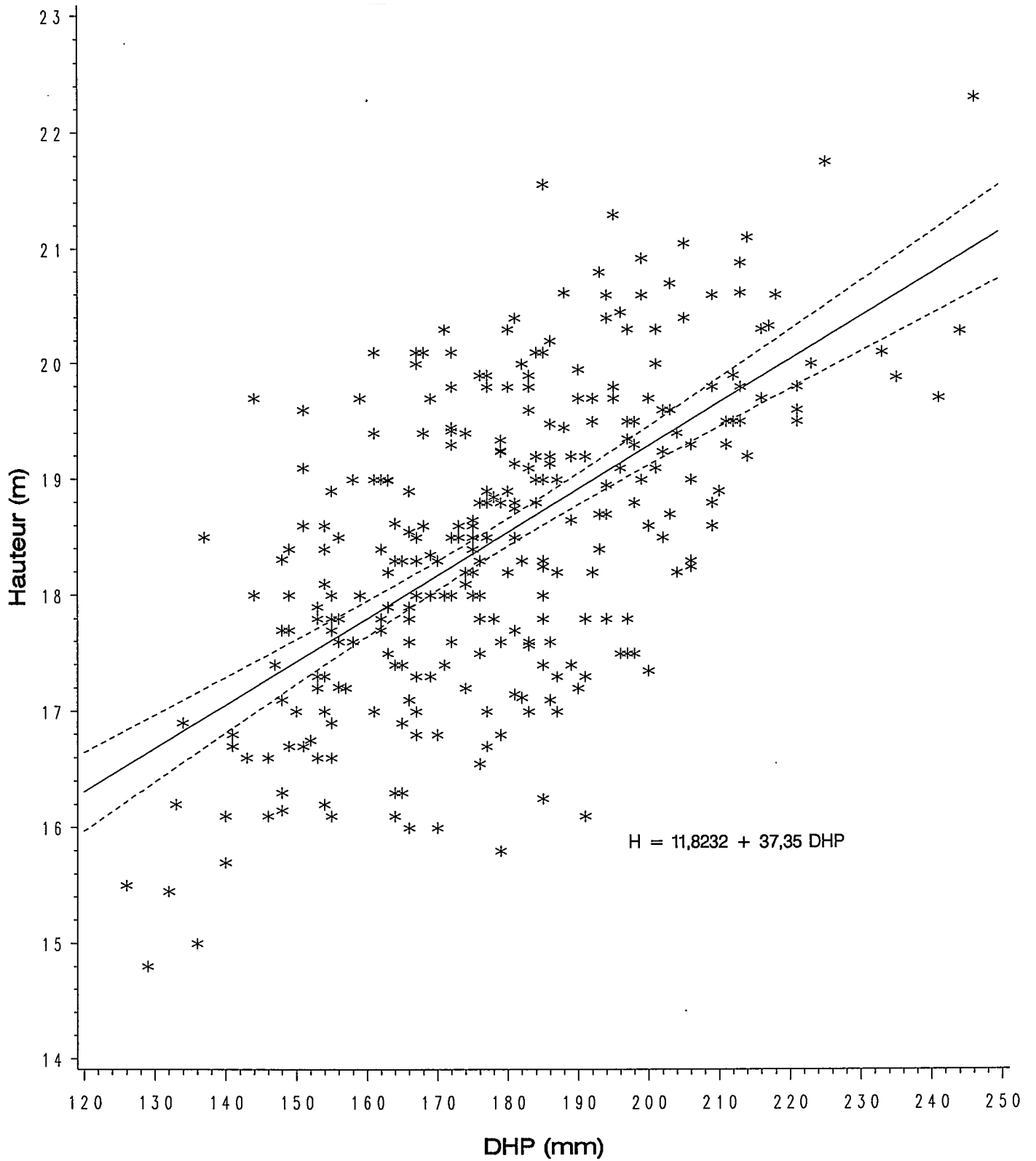


Figure 6. Régression de la hauteur (H) en fonction du DHP pour 304 arbres-plus.

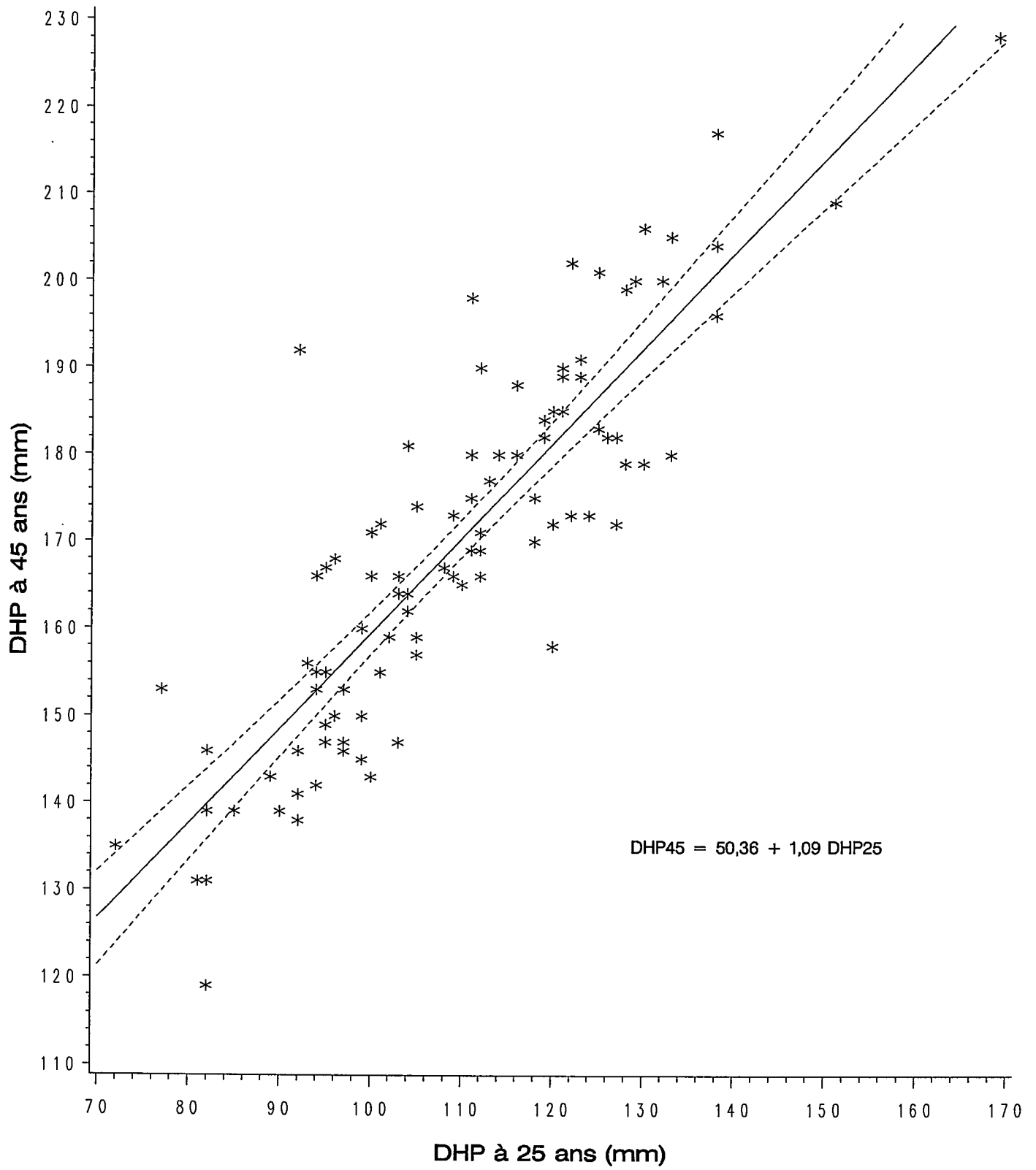


Figure 7. Régression du DHP à 45 ans (DHP45) en fonction du DHP à 25 ans (DHP25).

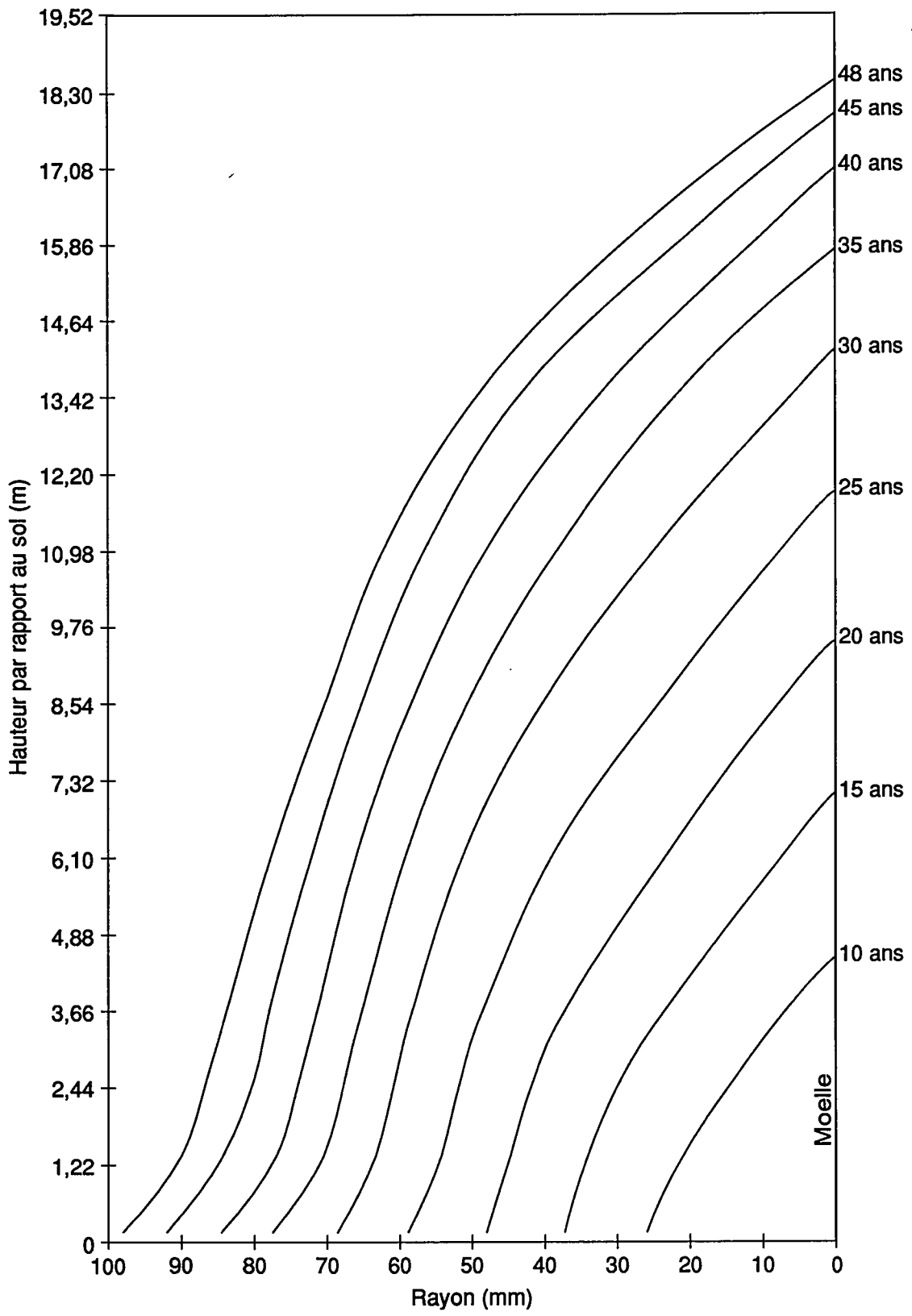


Figure 8. Hauteur et âge en fonction du rayon pour 96 arbres-plus.

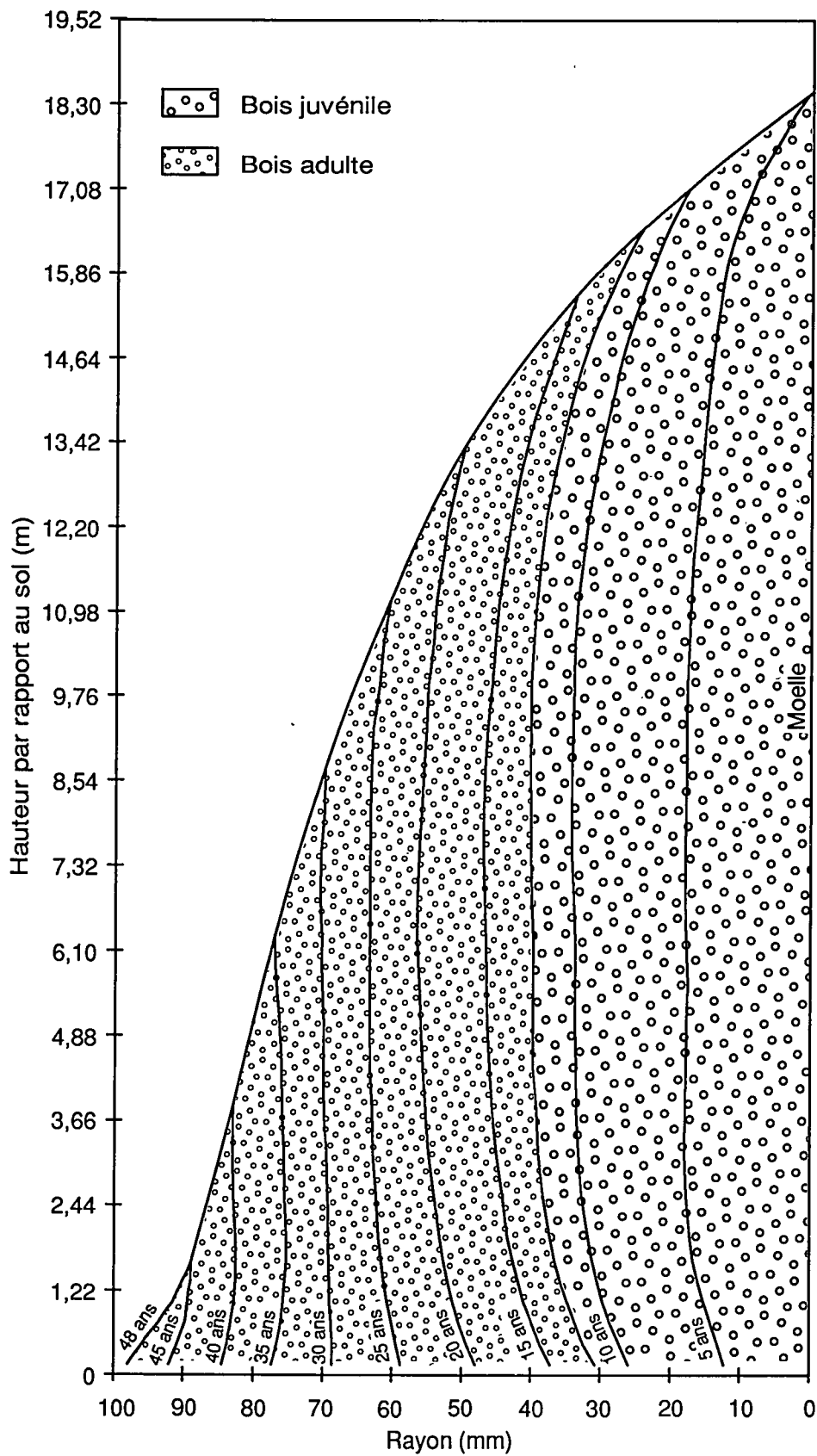


Figure 9. Proportion de bois de différentes classes d'âge pour 96 arbres-plus dont l'âge moyen à la souche est de 48 ans.

**Tableau 4. Volume moyen et pourcentage du volume total moyen de la tige des bois de différentes classes d'âge, pour 96 arbres dont l'âge moyen est de 48 ans**

Classe d'âge du bois (ans)	Volume moyen (dm <sup>3</sup> )	Proportion (% du volume total moyen de la tige)
Moelle - 10	54,05	21,4
11 - 15	42,71	16,9
16 - 20	40,44	16,0
21 - 25	34,40	13,6
26 - 30	28,61	11,3
31 - 35	23,06	9,1
36 - 40	17,46	6,9
41 - 45	9,45	3,8
46 - 50	2,36	1,0
<b>Total</b>	<b>252,54</b>	<b>100,0</b>

(1983) pour 95 arbres matures (âgés entre 30 et 97 ans) en peuplement naturel. Pour le bois adulte (25 à 35 ans), la densité varie entre 0,39 et 0,54 g/cm<sup>3</sup> (figure 11) et la densité moyenne est de 0,46 g/cm<sup>3</sup>.

Une coupe transversale de la tige à 1,30 m du sol montre que l'accroissement radial du bois juvénile entre les arbres varie entre 19 et 50 mm et celui du bois

adulte, entre 7 et 23 mm. Les corrélations phénotypiques négatives obtenues entre les densités et les accroissements du bois juvénile et du bois adulte sont de - 0,18 et - 0,19. Entre les arbres, il n'existe donc pas de relation linéaire significative (au seuil  $\alpha = 0,05$ ) entre l'accroissement radial et la densité du bois. Pour le pin gris, des résultats semblables ( $r = - 0,11$ ) ont été obtenus en plantation par COSGROVE et MORIN (1990) et en peuplement naturel ( $r = 0,01$ ) par RODDY (1983). ZOBEL et TALBERT (1984) mentionnent que pour plusieurs espèces de pins durs comme le pin gris, les corrélations entre l'accroissement et la densité du bois peuvent être positives ou négatives mais très faibles. Ainsi, pour deux arbres de même âge et de diamètre différent de ce peuplement, l'arbre qui a le plus fort diamètre pourra avoir une densité plus élevée ou plus faible que celle de l'arbre qui a un petit diamètre.

### 3.1.3.3 Corrélation juvénile-adulte

Avant d'expliquer l'analyse, il est à noter que la densité basale est une variable quotient mais que l'analyse a été effectuée comme s'il s'agissait d'une variable mesurée car nous n'avons pas les données brutes de la masse sèche et du volume saturé pour utiliser la bonne méthode d'estimation.

Dans un programme de sélection des arbres dans le but d'améliorer, entre autres choses, la densité du bois, il serait intéressant d'être capable de prédire la densité du bois adulte à partir de celle du bois juvénile. Pour ce faire, nous avons effectué une régression sur ces deux variables. Cette équation de régression expliquant la densité du bois adulte (25 à 35 ans) à hauteur

**Tableau 5. Densités basales du bois juvénile et du bois adulte pour 88 arbres-plus**

Localisation de l'échantillon	Densité moyenne (g/cm <sup>3</sup> )	Densité minimale (g/cm <sup>3</sup> )	Densité maximale (g/cm <sup>3</sup> )	Écart-type (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficient de variation (p. 100)
Bois juvénile à 1,30 m du sol	0,38	0,32	0,44	0,02	5,3
Bois juvénile à 13,57 m du sol	0,38*	0,32*	0,43*	0,02	6,4
Bois adulte à 1,30 m du sol (25 à 35 ans à partir de la moelle)	0,46	0,39	0,54	0,03	6,4

\* Résultats obtenus à partir de 83 arbres seulement au lieu de 88 (données manquantes)

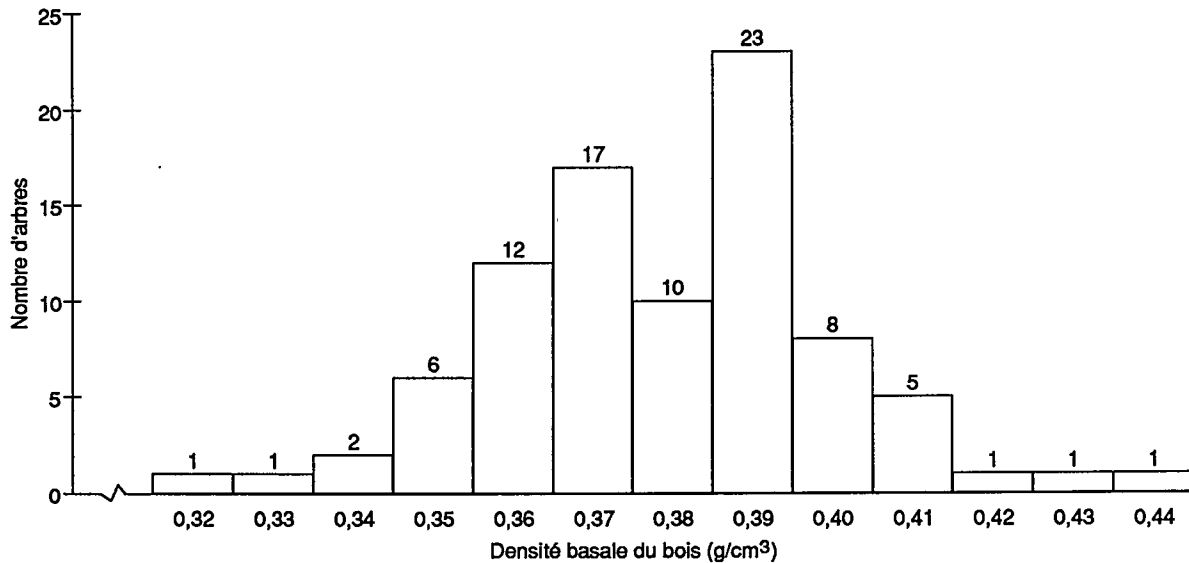


Figure 10. Répartition des 88 arbres-plus pour la densité basale du bois juvénile à 1,30 m du sol.

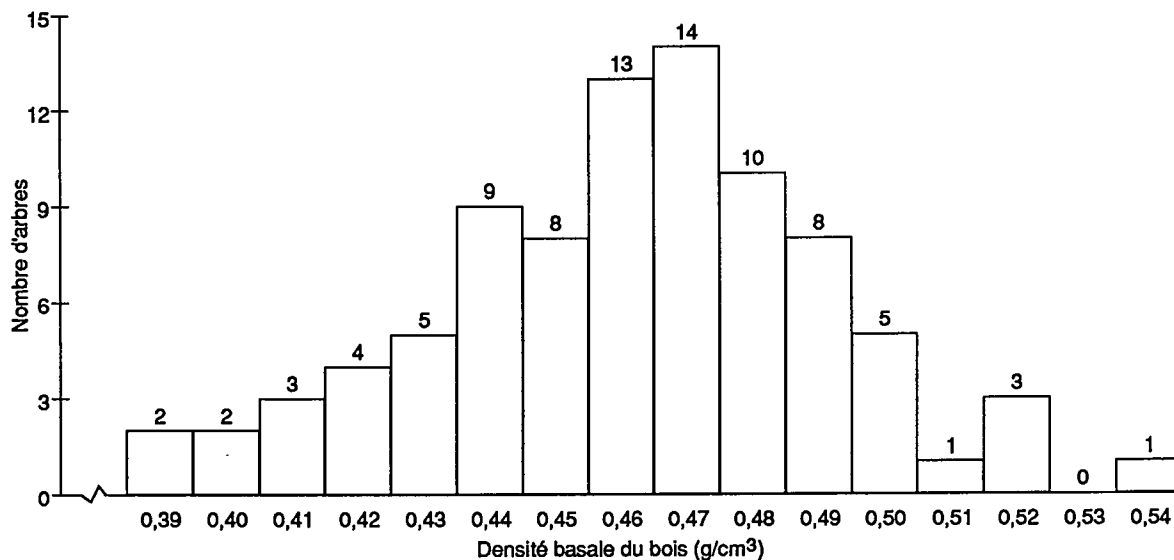
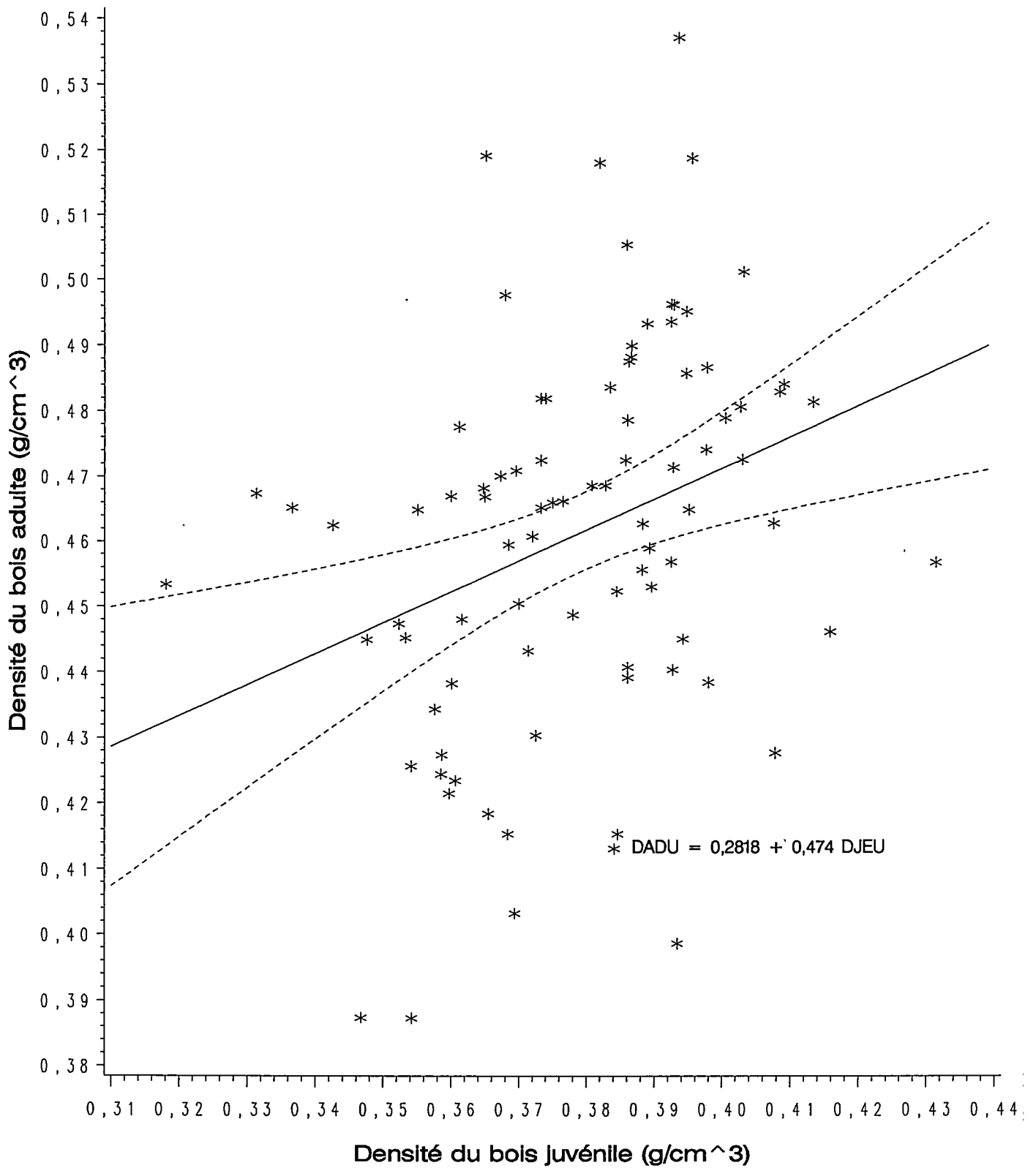


Figure 11. Répartition des 88 arbres-plus pour la densité basale du bois adulte à 1,30 m du sol.

de poitrine en fonction de la densité du bois juvénile (0 à 10 ans) est présentée à la figure 12. Même si le coefficient de corrélation n'est que de 0,32 avec une plus-value de 0,0021, il n'en demeure pas moins que la densité du bois juvénile explique seulement 10 p. 100 de la variation de la densité du bois adulte. La même relation a été obtenue ( $r = 0,38$ ) entre la densité du bois adulte (25 à 35 ans) à hauteur de poitrine et la densité du bois juvénile (0 à 10 ans) à 13,57 m du sol. Le bois à ces deux endroits a été produit à peu près à la même époque, ce qui tient compte de certaines interactions avec l'environnement. La distribution des données explique cette tendance et certains arbres avec une densité juvénile élevée n'ont pas nécessairement une forte densité du bois adulte.

La sélection des arbres-plus pour améliorer la densité du bois des descendants est donc aléatoire et risque fort de ne pas avoir les résultats escomptés. En comparaison avec ces résultats, la relation obtenue en plantation comparative est beaucoup plus forte. En effet, VILLENEUVE *et al.* (1987) montre que pour le pin gris, la densité du bois juvénile à 11 ans explique 50 p. 100 de la variation de la densité du bois adulte à 21 ans. La sélection pour la densité du bois sera donc plus efficace aux niveaux individuel et familial dans les tests de descendance. Pour les arbres-plus, la proportion moyenne de bois de 15 ans et moins dont la densité est relativement faible représente déjà 38 p. 100 du volume total de la tige (tableau 4). En plantation et pour des rotations plus courtes, la proportion de bois de faible densité sera plus élevée. La



sélection de descendances à croissance rapide et à densité du bois juvénile élevée permettra d'améliorer, sinon de maintenir, la qualité du bois par rapport aux arbres de mêmes dimensions récoltés en peuplement naturel.

### 3.1.4 Flexuosité de la tige

#### 3.1.4.1 Variation

Seulement 4 p. 100 des arbres sélectionnés ont des tiges tout à fait rectilignes. Les autres ont de une à six courbures dont l'importance des cordes et des flèches est très variable. Au total, 543 courbures ont été mesurées sur les 235 arbres retenus (les autres étant rejetés à cause de certaines données douteuses). La longueur des cordes varie de 0,5 à 13 m. La figure 13 montre le nombre de courbures de la tige en fonction de la longueur des cordes.

La situation des courbures dans l'arbre a été indiquée par le point central de la corde correspondante. Les courbures caractérisées par une longueur de corde de 0,5 m et qui sont les plus nombreuses d'après la figure 13, sont situées en très grande majorité vers le tiers supérieur de l'arbre (tableau 6). À mesure que la longueur de la corde augmente, la fréquence la plus élevée des courbures se déplace du sommet vers le tiers inférieur de l'arbre. L'accroissement radial avec l'âge vient atténuer en bonne partie l'importance et le nombre de courbures des tiers médian et inférieur des arbres-plus.

Les données descriptives des courbures pour 235 arbres sont présentées au tableau 7. Abstraction faite de la longueur des cordes, la longueur des flèches varie entre 10 et 77 mm. Pour les courbures dont la longueur des cordes va de 0,5 à 4,0 m, la longueur moyenne des flèches est assez constante, variant entre

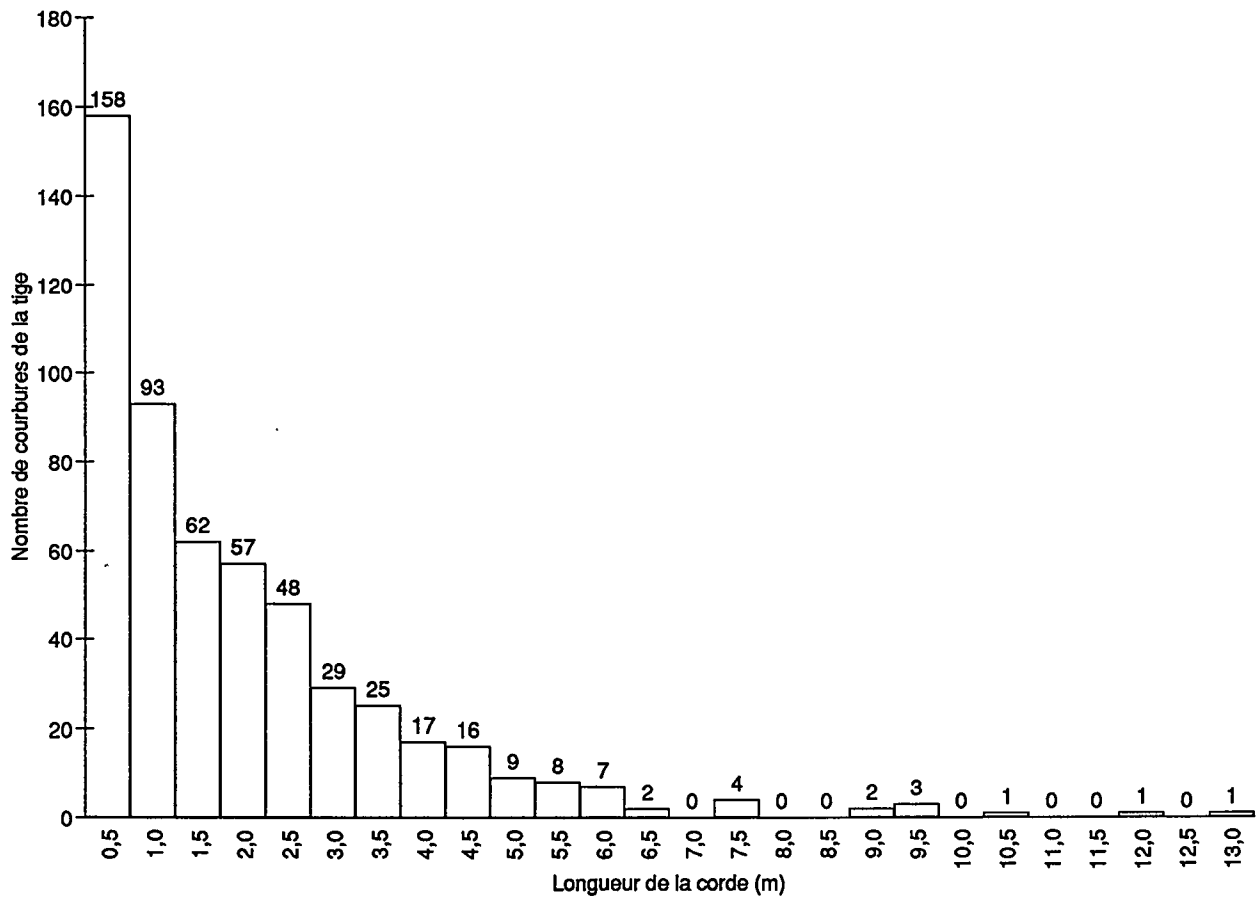


Figure 13. Répartition des courbures mesurées sur 235 tiges en fonction de la longueur des cordes.

**Tableau 6. Fréquence des courbures (exprimée en pourcentage), suivant la situation sur l'arbre et la longueur de la corde**

Longueur de la corde (m)	Situation sur l'arbre par rapport au sol (p. 100 de la hauteur totale)									
	[0-10]	[10-20]	[20-30]	[30-40]	[40-50]	[50-60]	[60-70]	[70-80]	[80-90]	[90-100]
0,5	0	1	0	1	1	1	4	15	59	18
1,0	0	4	3	10	4	10	17	18	32	2
1,5	18	13	11	11	22	13	5	2	2	3
2,0	12	28	18	12	7	9	11	3	0	0
2,5	6	38	23	6	15	6	6	0	0	0
3,0	45	21	28	3	0	3	0	0	0	0
3,5	0	24	36	24	8	8	0	0	0	0
4,0	0	47	12	12	23	6	0	0	0	0
4,5	0	56	31	13	0	0	0	0	0	0
5,0	0	22	56	11	11	0	0	0	0	0
5,5	0	25	50	13	12	0	0	0	0	0
6,0	0	29	29	14	28	0	0	0	0	0
6,5 et +	0	7	93	0	0	0	0	0	0	0

N.B.: La localisation de la courbure correspond au centre de la corde

**Tableau 7. Données descriptives des courbures pour 235 arbres**

Longueur des cordes (m)	Longueur moyenne des flèches (mm)	Nombre de courbures	Nombre de courbures (flèches $\geq$ 30 mm)
0,5	24	158	39
1,0	21	93	12
1,5	21	62	5
2,0	21	57	5
2,5	24	48	11
3,0	26	29	13
3,5	24	25	5
4,0	24	17	4
4,5	33	16	7
5,0	30	9	4
5,5	46	8	7
6,0	36	7	5
6,5 et plus	50	14	13
	Total	543	130

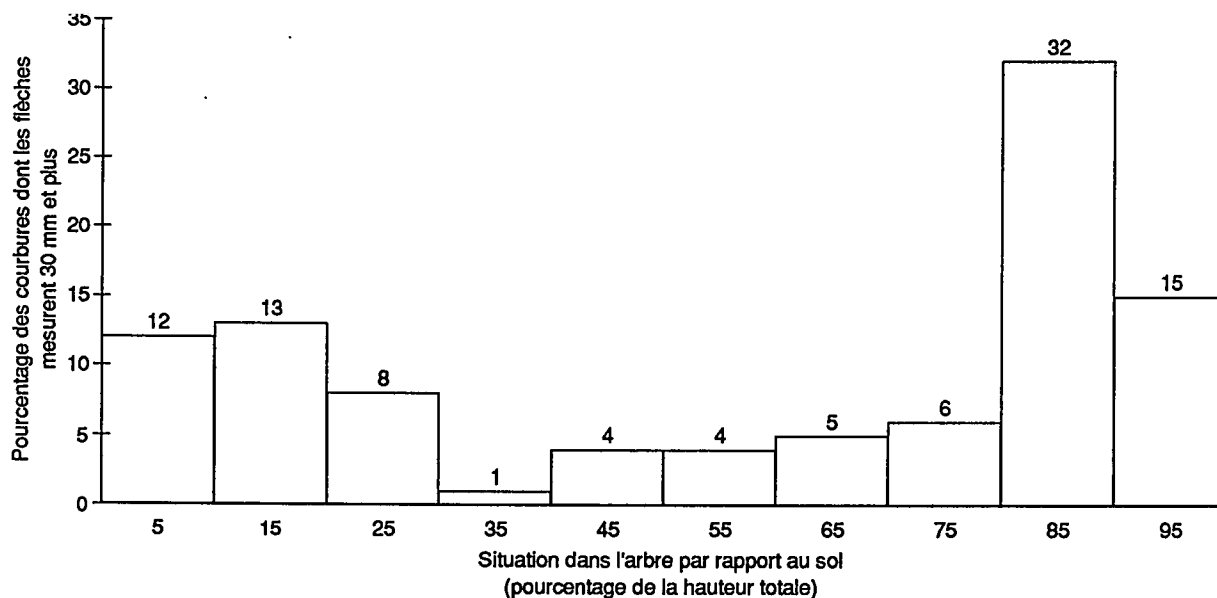


Figure 14. Fréquence et situation sur l'arbre (exprimées en pourcentage) des courbures dont les flèches mesurent 30 mm et plus de longueur et les cordes, de 0,5 à 4,0 m.

21 et 26 mm. Pour celles de 4,5 m et plus, la longueur moyenne des flèches augmente progressivement avec la longueur des cordes correspondantes.

Vingt-quatre p. 100 de toutes les courbures ont des flèches égales ou supérieures à 30 mm de longueur. Pour des longueurs de corde comprises entre 0,5 et 4,0 m, les courbures dont les flèches sont égales ou supérieures à 30 mm représentent 17 p. 100 des courbures mesurées. La majorité de ces courbures sont situées à la base et au sommet de l'arbre (figure 14).

Les coefficients de corrélation (tableau 8) indiquent que la hauteur de l'arbre, son diamètre à 1,30 m, la longueur et la largeur de la cime n'ont aucune relation linéaire avec le nombre et l'amplitude des courbures. Les coefficients de corrélation correspondants sont très faibles et statistiquement non significatifs.

La rectitude des tiges du peuplement de Briand est très bonne comparativement à d'autres peuplements visités; on note même la présence de quelques arbres tout à fait rectilignes.

### 3.1.5 Branchaison

#### 3.1.5.1 Variations du nombre et du diamètre des grosses branches

La majorité des branches qui forment la cime atteignent de faibles dimensions et, en général, leur diamètre mesuré à 15 cm de la tige reste inférieur à 20 mm. Cependant, on observe que la plupart des cimes renferment des branches, en nombre variable, dont les diamètres excèdent de beaucoup cette limite. Toutes les branches de la cime dont le diamètre était supérieur à 20 mm ont été mesurées et localisées par rapport à la distance qui les sépare du sol. Cette méthode, qui tient compte uniquement des grosses branches pour caractériser la branchaison, a été testée par WEDEL *et al.* (1968) et elle s'est avérée efficace et rapide.

À cet âge, la densité du peuplement a favorisé un élagage naturel sur environ les deux tiers de la longueur totale de l'arbre. On estime que cette cime caractérise assez bien la branchaison de l'arbre. Le diamètre des branches augmente d'un verticille à

**Tableau 8. Corrélation de la hauteur totale de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime, avec le nombre de courbures et la longueur maximum de la flèche pour 235 arbres**

	Courbures	
	Nombre de courbures	Longueur maximum de la flèche
Hauteur	- 0,03 (0,6153)	0,02 (0,7492)
Diamètre à 1,30 m	- 0,02 (0,7685)	0,08 (0,2090)
Longueur de la cime	- 0,15 (0,0194)	0,02 (0,7015)
Largeur de la cime	0,07 (0,2577)	0,01 (0,9404)

La valeur entre parenthèses correspond à la plus-value

l'autre, du haut vers le bas de l'arbre. Les branches de 20 mm et plus de diamètre apparaissent vers le douzième verticille.

La répartition des 301 arbres-plus en fonction du nombre de grosses branches est présentée à la figure 15. Cette figure nous montre que le nombre de branches de 20 mm et plus varie entre 0 et 11 et ce nombre est d'environ 3 à 4 par arbre. Le diamètre moyen des branches excédant 20 mm est de 31 mm tandis que le diamètre maximum rencontré est de 60 mm.

Nous avons calculé les coefficients de corrélation du nombre de grosses branches avec plusieurs variables, comme la hauteur totale de l'arbre, le diamètre à 1,30 m, la longueur et la largeur de la cime. Les mêmes calculs ont été effectués pour les diamètres moyen et maximum. Les coefficients de corrélation présentés au tableau 9 montrent que c'est le diamètre de l'arbre à 1,30 m qui est le plus corrélé avec le nombre de grosses branches ainsi qu'avec leur diamètre moyen et maximum suivi de près par la largeur de la cime.

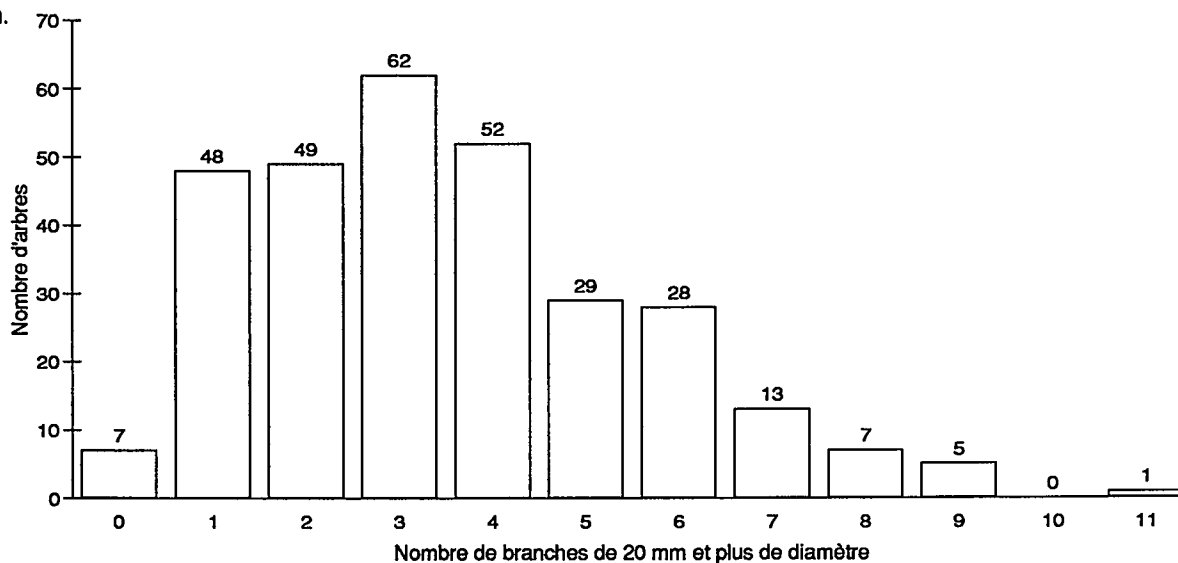


Figure 15. Répartition des 301 arbres-plus en fonction du nombre de branches de 20 mm et plus de diamètre mesurées à 15 cm du tronc.

**Tableau 9. Corrélation de la hauteur totale de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime, avec le nombre et les diamètres moyen et maximum des grosses branches pour 301 arbres**

	Grosses branches (diamètre $\geq$ 20 mm) par arbre		
	Nombre	Diamètre moyen	Diamètre maximum
Hauteur	0,24 (0,0001)	0,21 (0,0001)	0,22 (0,0001)
Diamètre à 1,30 m	0,57 (0,0001)	0,45 (0,0001)	0,49 (0,0001)
Longueur de la cime	0,24 (0,0001)	0,12 (0,0385)	0,14 (0,0122)
Largeur de la cime	0,45 (0,0001)	0,31 (0,0001)	0,37 (0,0001)

La valeur entre parenthèses correspond à la plus-value

WEDEL *et al.* (1968) ont fait une étude sur une plantation de *Pinus taeda* L. âgée de huit ans. Dans leur étude, le coefficient de corrélation entre le diamètre de l'arbre à 1,30 m et le diamètre moyen des branches est 0,53.

Il existe une variation plus ou moins importante entre les arbres pour le diamètre des branches. Cependant, cette caractéristique ne semble pas intéressante pour l'amélioration (MAGNUSSEN et YEATMAN 1987a; MERRILL et MOHN 1985) puisque l'espacement entre les arbres a une influence significative sur le diamètre des branches (MAGNUSSEN et YEATMAN 1987b). Donc, les arbres ayant poussé avec moins de compétition ont tendance à avoir un plus gros diamètre, une cime plus large et des branches plus grosses, ce qui rend aléatoire et peu héritable la sélection pour ce caractère.

### 3.1.5.2 Angle des branches

L'angle d'insertion d'une branche est défini comme l'angle formé par la branche et le tronc de l'arbre. Comme l'angle d'insertion des branches s'accroît avec l'âge de celles-ci (MAGNUSSEN et YEATMAN 1987b), les mesures ont toutes été prises entre 6 à 8 m du sommet de l'arbre (distance où se trouve à peu près l'angle moyen des branches) sur des branches souvent mortes à cause d'un manque d'éclairage.

Le pin gris est une espèce dont l'angle des branches varie beaucoup d'un arbre à l'autre dans un même peuplement. Les mesures prises sur 301 arbres plus au lieu de 304 (données manquantes) montrent que l'angle des branches varie entre 35 et 80 degrés, avec une moyenne de 58 degrés (figure 16).

Pour les arbres plus de Briand, l'angle des branches n'est pas corrélé avec la hauteur et le diamètre de l'arbre non plus qu'avec la longueur et la largeur de la cime. Les coefficients de corrélations entre ces variables sont très faibles (voir tableau 10). D'autre part, d'après MAGNUSSEN et YEATMAN 1987a; MORGENSTERN *et al.* 1975; MERRILL et MOHN 1985 la qualité du bois de sciage du pin gris pourrait être améliorée en sélectionnant des arbres dont l'angle d'insertion des branches est plus grand.

### 3.1.6 Fructification

#### 3.1.6.1 Production de cônes

Les cônes de pin gris peuvent demeurer sur l'arbre pendant une période pouvant aller jusqu'à environ 20 ans. Sur les arbres plus, les cônes sont répartis sur environ 6 m de cime verte. Quelques branches mortes situées plus bas portent aussi des cônes.

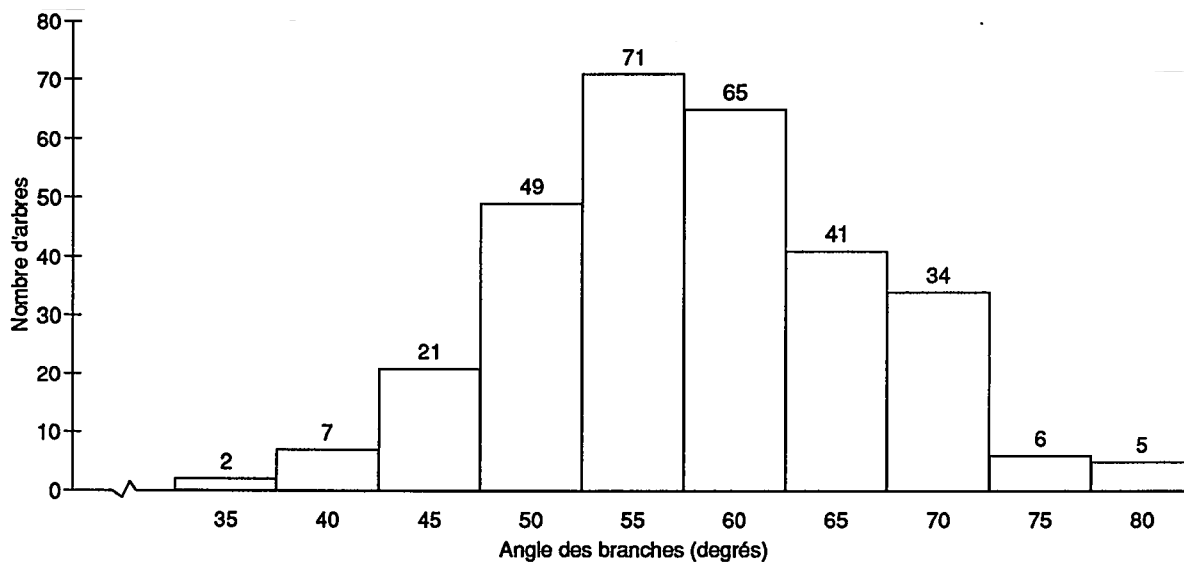


Figure 16. Répartition des 301 arbres-plus pour l'angle des branches.

**Tableau 10. Corrélation de la hauteur de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime avec l'angle des branches pour 301 arbres**

	Angle des branches
Hauteur	- 0,10 (0,0986)
Diamètre à 1,30 m	0,07 (0,2159)
Longueur de la cime	- 0,04 (0,4887)
Largeur de la cime	- 0,01 (0,8993)

La valeur entre parenthèses correspond à la plus-value

La production de cônes par arbre varie entre 44 et 1479. La répartition des 304 arbres-plus en fonction de la production totale de cônes est présentée à la figure 17. Une production moyenne de 241 cônes par arbre a été obtenue par POPOVICH *et al.* 1970, sur des arbres dominants, dans un peuplement de pin gris âgé de 65 ans situé près de Labrieville. Si l'on tient compte de l'âge et de la densité des peuplements, la production moyenne de 260 cônes par arbre pour Briand est équivalente à celle de Labrieville.

Les corrélations obtenues entre le nombre de cônes et le diamètre de l'arbre à 1,30 m du sol, la hauteur de l'arbre, la longueur et la largeur de la cime sont présentées au tableau 11. Le diamètre est la variable mesurée qui est le plus corrélée avec la production de cônes. D'autre part, TODHUNTER et POLK (1981) ont montré que l'effet clonal avait une influence très significative sur la production de cônes de pin gris.

Le nombre de cônes jeunes (âge  $\leq 3$  ans) et le nombre de cônes âgés (âge  $> 3$  ans) ont été déterminés pour 162 arbres-plus. La production de cônes jeunes est corrélée significativement (avec une plus-value de 0,0001) au nombre de cônes âgés qu'il y avait sur l'arbre au moment de l'échantillonnage ( $r = 0,67$ ). La régression ainsi que l'équation de régression obtenues sont présentées à la figure 18. Le coefficient de

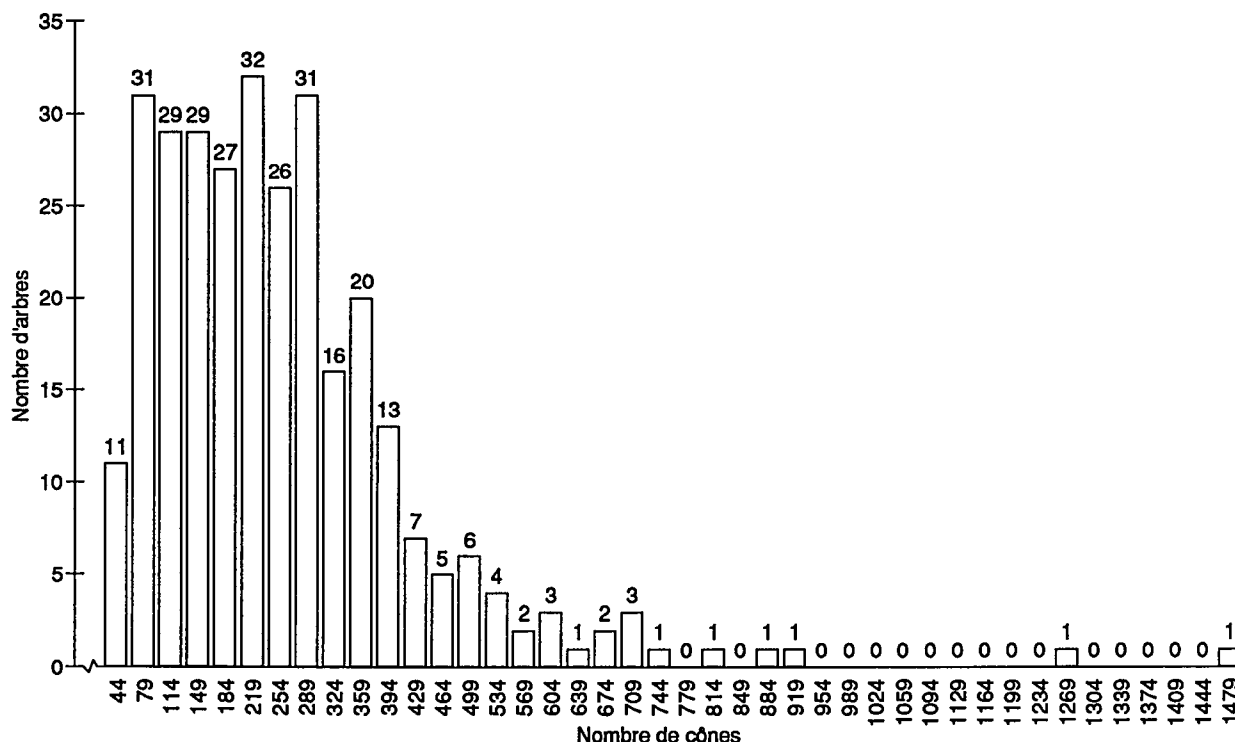


Figure 17. Répartition des 304 arbres-plus en fonction de la production totale de cônes.

**Tableau 11. Corrélation de la hauteur de l'arbre, du diamètre à 1,30 m, de la longueur et de la largeur de la cime, avec le nombre de cônes pour 304 arbres**

	Nombre de cônes
Hauteur	0,22 (0,0001)
Diamètre à 1,30 m	0,41 (0,0001)
Longueur de la cime	0,21 (0,0002)
Largeur de la cime	0,23 (0,0001)

La valeur entre parenthèses correspond à la plus-value

détermination montre que 45 p. 100 de la variation observée du nombre de cônes âgés est expliquée par la production de cônes jeunes. Cette relation dans les quantités de cônes produites par arbre montre une certaine constance dans le temps malgré la présence de quelques valeurs aberrantes.

### 3.1.6.2 Aspect sérotineux

Le pin gris et le pin de Murray (*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.) sont les deux espèces indigènes au Canada dont les cônes sont sérotineux. La température nécessaire à la fonte de la couche de résine cristallisée qui entoure ces cônes, pour provoquer l'écartement des écailles et la libération des graines, est d'environ 45 °C (CAMERON 1953 dans TROTTIER 1980). Cette température ne peut être atteinte au niveau de la cime des arbres, même au cours de la saison estivale. L'ouverture des cônes sur certains arbres serait plutôt régie par un gène à deux allèles (TEICH 1970).

Les observations effectuées sur 230 arbres-plus (sélection jugée représentative de l'ensemble des arbres sélectionnés) montrent que tous les cônes sur 90 p. 100 des arbres ne s'ouvrent pas à maturité (tableau 12). Les quelques arbres dont 75 à 80 p. 100 des cônes s'ouvrent à maturité ne sont pas regroupés au même endroit mais dispersés à travers le peuplement. Un groupe intermédiaire comprend des arbres dont 1 à 40 p. 100 des cônes s'ouvrent à maturité. En faisant référence aux travaux de TEICH (1970), ce groupe intermédiaire appartiendrait à la classe des hétérozygotes tandis que les deux premiers groupes appartiendraient à la classe des homozygotes avec des allèles dominants ou récessifs.

**Tableau 12. Pourcentage de cônes non sérotineux par arbre et fréquence observée pour 230 arbres**

Arbres-plus (p. 100)	Cônes non sérotineux (p. 100)
2	75 à 80
1	30 à 40
7	1 à 10
90	0

Comme les cônes sur les arbres-plus proviennent d'une pollinisation par panmixie, on peut s'attendre à ce que le pourcentage de cônes qui s'ouvrent à maturité chez les descendants soit semblable à celui des arbres-plus. Des 70 507 cônes jeunes et âgés observés, seulement 1 389, soit environ 2 p. 100, étaient ouverts. La présence de cônes non sérotineux dans le verger à graines va constituer une perte négligeable de graines même si la récolte des cônes ne se fait pas chaque année.

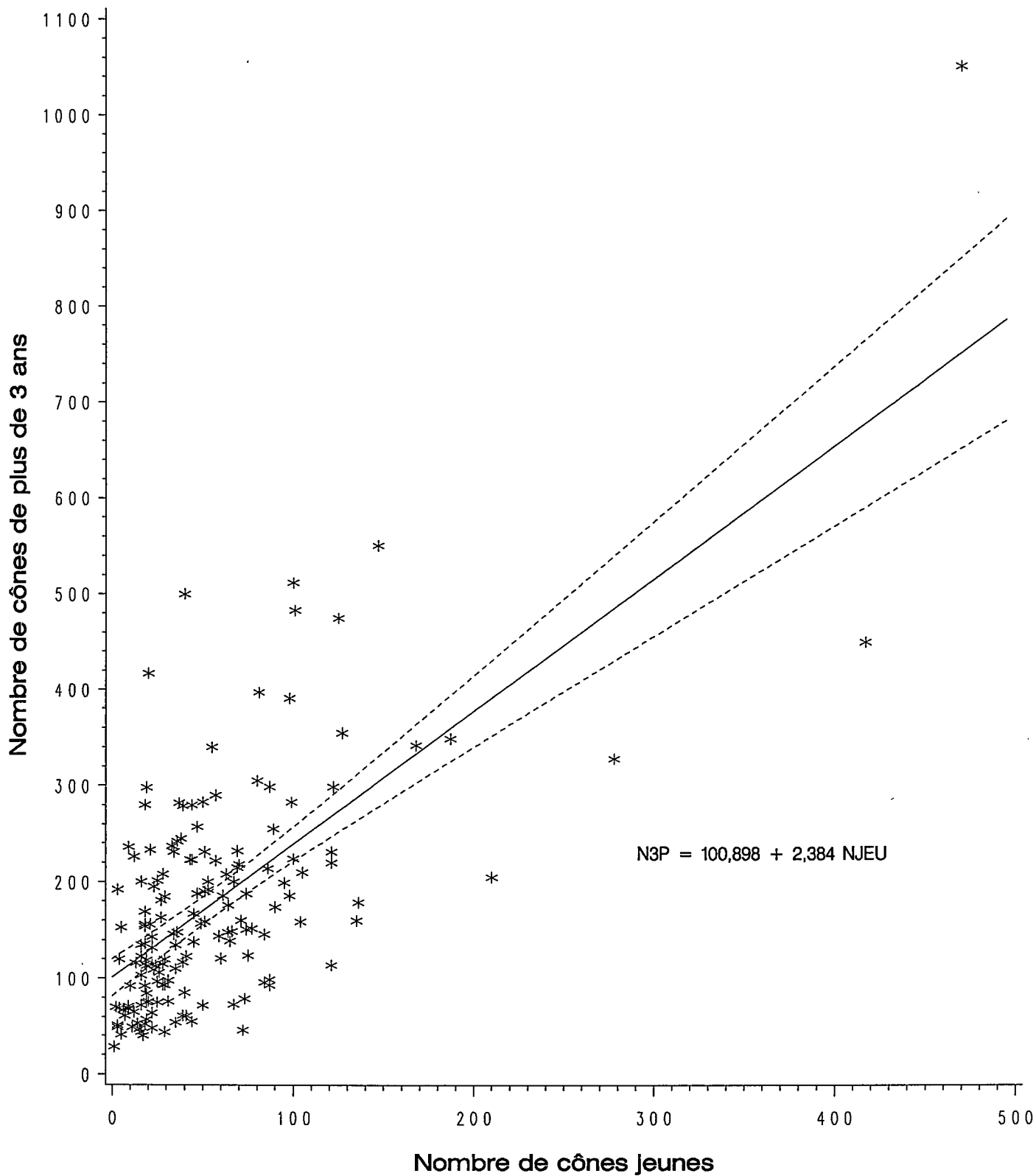


Figure 18. Régression du nombre de cônes de plus de 3 ans (N3P) en fonction du nombre de cônes jeunes (NJEU) pour 162 arbres-plus.



## Conclusion

Cette étude de la variabilité phénotypique des arbres-plus provenant d'un peuplement équienne de pin gris révèle des différences importantes entre les arbres pour la hauteur, le DHP, les densités du bois juvénile et du bois adulte, l'angle des branches, la production de cônes et leur caractère sérotineux. Cette variabilité laisse présager la possibilité d'améliorer plusieurs caractères par la sélection, cela dépendra de leur héritabilité.

La comparaison des hauteurs à l'âge de 45 ans avec celles estimées à des âges moindres, pour différentes intensités de sélection, montre que la sélection des arbres-plus pour la hauteur peut se faire avec efficacité dans des peuplements plus jeunes que 45 ans et cela sans affecter le gain escompté en diamètre.

L'influence de la cime verte sur la formation du bois juvénile diminue entre les âges de 10 et 15 ans à partir de la moelle pour amorcer progressivement la formation du bois adulte. Le bois juvénile représente une partie importante du volume total de bois produit par les arbres-plus. Pour des tiges de mêmes dimensions, cette proportion sera sans doute plus élevée en plantation.

Comme la densité du bois juvénile explique seulement 10 p. 100 de la variation de la densité du bois adulte, il peut arriver que la sélection des arbres-plus basée sur la densité du bois ne donne pas de résultats satisfaisants. Les sélections individuelle et familiale pour améliorer la densité du bois devraient plutôt s'effectuer sur les descendances en plantation comparative. VILLENEUVE *et al.* (1987) ont démontré que la relation bois juvénile et bois adulte en plantation est plus élevée, ce qui est probablement due à une meilleure régie de l'interaction du milieu.

Seulement 4 p. 100 des arbres-plus ont des tiges tout à fait rectilignes et une bonne partie des courbures peu prononcées disparaissent avec l'accroissement en diamètre de la tige dans les tiers moyen et inférieur de l'arbre. La variation importante entre les arbres-plus pour l'angle des branches ne semble pas liée à la croissance et laisse entrevoir une sélection individuelle possible pour améliorer ce caractère.

Le DHP de l'arbre est la variable mesurée qui est la plus corrélée avec la production de cônes. La relation entre la production de cônes jeunes (âge  $\leq 3$  ans) et la production de cônes âgés (âge  $> 3$  ans) par arbre au moment de l'échantillonnage montre une certaine constance dans le temps, de la quantité de cônes produite. Le test clonal démontrera l'effet du génotype sur la production de cônes.

La majorité des arbres-plus portent des cônes qui ne s'ouvrent pas à maturité. Les quelques arbres dont une partie plus ou moins importante des cônes s'ouvrent à maturité représentent un faible pourcentage de tous les cônes récoltés. Comme les cônes des arbres-plus proviennent d'une plantation par panmixie, on peut s'attendre à ce que le pourcentage de cônes qui s'ouvrent à maturité dans le verger à graines soit semblable à celui obtenu pour les arbres-plus, ce qui constituerait une perte négligeable de graines même si la cueillette des cônes ne se fait pas chaque année.



## Bibliographie

- BOUDOUX, M., 1978. *Table de rendement empirique pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris au Québec*. Service canadien des forêts, Centre de recherche forestière des Laurentides, 68 p.
- COSGROVE, M. et P. MORIN, 1990. *Étude de la densité basale du pin gris pour le verger à graines de Briand*. Mémoire de fin d'études, Université Laval, Faculté de foresterie et de géomatique, 44 p.
- GARCEAU, P., 1975. *Utilisation de la main-d'oeuvre étudiante, été 1974. Rapport technique*. Compagnie Internationale de Papier du Canada, Division forestière de Maniwaki, 33 p.
- KREMER, A., 1986. *Méthodes et stratégies de sélection*. Revue forestière française, numéro spécial : 89-102.
- LAMONTAGNE, Y., 1973. *Normes provisoires relatives à la sélection d'arbres-plus*. Ministère des Terres et Forêts, Service de la restauration forestière, Division des pépinières, 37 p.
- MAGNUSSEN, S., et C.W. YEATMAN, 1987a. *Early testing of jack pine. II. Variance and repeatability of stem and branch characters*. Can. J. For. Res. 17 : 460-465.
- MAGNUSSEN, S., et C.W. YEATMAN, 1987b. *Early testing of jack pine. I. Phenotypic response to spacing*. Can. J. For. Res. 17 : 453-459.
- MERRILL, R.E. et C.A. MOHN, 1985. *Heritability and genetic correlations for stem diameter and branch characteristics in white spruce*. Can. J. For. Res. 15 : 494-497.

- MORGENSTERN, E.K., M.J. HOLST, A.H. TEICH et C.W. YEATMAN, 1975. *Plus-tree selection : review and outlook*. Canadian Forestry Service, Publication 1347. 72 p.
- PLONSKI, W.L., 1974. *Normal yield tables (metric) for major forest species of Ontario*. Ontario, Ministry of Natural Resources. 40 p.
- POLYQUIN, J., 1987. *La qualité de nos approvisionnements futurs en bois (le bois juvénile - le bois adulte)*. L'Aubelle (suppl. au n° 61) : 1-6.
- POPOVICH, S., A. DEMERS et J.D. GAGNON, 1970. *Production en cônes et semences d'un peuplement de pin gris de 65 ans de la région boréale du Québec*. Naturaliste Can. 97 : 553-558.
- 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. 198 p.
- RODDY, D.M., 1983. *Jack pine wood density*. Woodlands Enterprises Limited, Prince Albert, Saskatchewan (résumé). 9 p.
- SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE, 1982a. *Normales climatiques au Canada : degrés-jours 1951-1980*. Environnement Canada, vol. 4, Ottawa. 280 p.
- SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ATMOSPHÉRIQUE, 1982b. *Normales climatiques au Canada : gel 1951-1980*. Environnement Canada, vol. 6, Ottawa. 276 p.
- SQUILLACE, A.E., et C.R. GANSEL, 1974. *Juvenile mature correlations in slash pine*. Forest Sci. 20 : 225-229.
- TEICH, A.H., 1970. *Cone serotiny and inbreeding in natural populations of Pinus banksiana and Pinus contorta*. Can. J. Bot. 48 : 1805-1809.
- THIBEAULT, M., 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional. (Deuxième approximation)*. Gouv. du Québec, min. de l'Énergie et des Res., Serv. de la rech. et Serv. de la carto. Carte au 1 : 1 250 000.

- TODHUNTER, M.N. et R.B. POLK, 1981. *Seed and cone production in a clonal orchard of jack pine (Pinus banksiana)*. Can. J. For. Res. 11 : 512-516.
- TROTTIER, F., 1980. *Considération sur les cônes du pin gris et du pin de Murray*. Mémoire de fin d'études. Université Laval, Faculté de foresterie et de géomatique. 58 pages.
- VILLENEUVE, M., E.K. MORGENSTERN et L.P. SEBASTIAN, 1987. *Variation patterns and age relationship of wood density in families of jack pine and black spruce*. Can. J. For. Res. 17 : 1219-1222.
- WEDEL, K.W., B.J. ZOBEL et C.J.A. SHELBOURNE, 1968. *Prevalence and effects of knots in young loblolly pine*. Forest Products Journal 18 (9) : 96-103.
- YEATMAN, C.W., 1976. *A Canadian example of government-industry collaboration in tree improvement*. For. Chron. 52(6) : 283-288.
- ZOBEL, B., et J. TALBERT, 1984. *Applied forest tree improvement*. J. Wiley & Sons, Toronto. 505 p.





La sélection des arbres représente une étape importante du programme d'amélioration génétique du pin gris du ministère des Forêts. L'établissement du réseau de vergers à graines et des tests de descendance qui les accompagnent a nécessité la sélection de 3 710 arbres-plus. D'autres sélections d'arbres sont effectuées dans les tests ou les vergers pour préparer la seconde génération d'amélioration. La connaissance de la variabilité des caractères de l'espèce et l'évaluation du coefficient de corrélation entre les caractères permet de faire une sélection plus efficace pour les caractères désirés et héréditaires afin d'augmenter la production et la qualité des futures plantations.



Gouvernement du Québec  
Ministère des Forêts  
Direction de la recherche

ISBN 2-550-27885-2  
ISSN 1183-3912  
F.D.C. 165(047.3)(714)  
L.C. SD 399.5 .P575

FQ93-3092