Liaisons entre l'état juvénile et l'état adulte pour quelques caractères technologiques et auxométriques chez le Douglas (*Pseudotsuga menziesii*)

R. KELLER *, M. THOBY **

* Station de Recherches sur la Qualité des bois,
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.
Champenoux 54280 Seichamps

** Ingénieur des Travaux des Eaux et Forêts
O.N.F. Centre de Gestion de Chaumont 52000 Chaumont

Résumé

Des études densitométriques ont été effectuées sur des échantillons provenant, d'une part de 3 peuplements âgés de Douglas, et d'autre part d'une plantation comparative de provenances âgées de 12 ans à la fin de 1975.

Les résultats obtenus dans le cas des 3 peuplements âgés montrent qu'il y a souvent une bonne concordance entre les valeurs des caractéristiques densitométriques mesurées sur les cernes juvéniles (période allant de la 1^{re} à la 10^e année) et sur les cernes adultes (période représentée par les 10 derniers cernes périphériques). En revanche, les largeurs de cerne ne laissent pas apparaître cette propriété et sont généralement indépendantes des autres variables.

Dans la comparaison de provenances, les coefficients de corrélation intraprovenance et interprovenance entre les caractéristiques microdensitométriques des 3 années 1969 + 1970 + 1971, à caractère juvénile, et celles des 3 années suivantes 1972 + 1973 + 1974, où une tendance vers un état adulte se manifeste déjà, sont suffisamment élevés pour que l'on puisse supposer qu'il existe une bonne stabilité génétique pour les critères technologiques, comme la densité minimale, la densité maximale, la densité moyenne et l'hétérogénéité.

Une sélection précoce pour ces caractères pourrait être efficace, alors qu'elle ne le serait pas pour l'accroissement en circonférence.

En annexe sont présentés des résultats sur les liaisons constatées entre le couple de torsion mesuré sur les arbres lors du prélèvement des échantillons et diverses variables caractérisant la qualité du bois.

En particulier, la liaison positive entre le couple et l'infradensité est toujours très étroite ; elle est négative et faible ou le plus souvent inexistante entre le couple et la largeur de cerne.

1. — Introduction

La prise en compte de la qualité des produits dans les programmes d'amélioration incite à tenter de déterminer sur de jeunes plants le plus grand nombre possible de caractéristiques du bois.

Les difficiles problèmes de méthodologie que soulève la faible taille des échantillons peuvent maintenant être considérés comme résolus pour des critères tels que la densité, l'homogénéité, la rétractibilité du bois, ou même le rendement en fibres.

Mais une question continue à se poser : n'y a-t-il pas un risque que les résultats obtenus dans ces tests précoces ne soient pas extrapolables à l'âge adulte ?

En d'autres termes, est-il possible de prévoir, à partir d'observations faites dans les premières années de la vie, de l'arbre quelles seront les propriétés de son bois lorsqu'il parviendra à maturité, et ce en dépit des importantes modifications physiologiques qu'il subit, notamment du fait de la duraminisation ?

Dans un mémoire de 3^e année de l'ENITEF, l'un de nous (Thoby, 1975) a étudié du point de vue de la qualité du bois une plantation comparative de provenances de Douglas installée au printemps 1956 à Peyrat-le-Château par la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers, de façon à compléter d'un point de vue technologique les critères habituels de sélection fondés sur la vigueur, la morphologie ou la tardiveté du débourrement. Parallèlement à ce travail, qui portait sur des arbres âgés de 12 ans à l'époque, et pour le justifier, il a analysé dans trois peuplements différents de Douglas ayant tous dépassé le stade juvénile, l'évolution des propriétés du bois entre l'état jeune et l'état adulte ⁽¹⁾.

S'il existe une bonne analogie entre les caractéristiques du bois des premiers cernes formés et des cernes périphériques, malgré le vieillissement des arbres et les modifications des conditions de milieu ou de compétition, on aura une indication selon laquelle cette stabilité apparente n'est pas due uniquement à l'action de l'environnement ; on pourrait dès lors penser que, pour les caractères où elle est bien marquée, il existe également une bonne corrélation génotypique qu'il resterait cependant à confirmer à l'aide de dispositifs et de calculs appropriés.

Cette étude ne fait donc qu'aborder le sujet, mais il nous a paru utile de rendre compte de ces premiers résultats qui montrent qu'il est possible de mesurer couramment et de prendre en compte des caractéristiques de qualité du bois à incidence technologique dans des programmes de sélection, même sur des arbres très jeunes.

2. — Liaisons entre l'état juvénile et l'état adulte au niveau individuel

2.1. — Matériel et méthode

Trois populations d'origines distinctes et situées dans des milieux différents ont été choisies et sondées. Les mesures obtenues à partir des radiographies de ces

TABLEAU 1

Nom de la placette (location)	Département (location)	Age	Nombre d'arbres étudiés (Number of used trees)
Saint-Just-D'Avray, placettes 1 et 2 (dispositif de la Station de Sylviculture et de Production du C. N. R. F.)	Rhône	62 ans	20
Forêt domaniale de Guebwiller	Haut-Rhin	60 ans	31
Forêt domaniale des Verreries de Moussans, par- celle 10 (dispositif de la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers du C. N. R. F.)	Hérault	30 ans	30

⁽¹⁾ Voir en annexe 2 quelques indications à propos du sens attribué dans cet article aux notions de bois juvénile et bois adulte.

échantillons donneront des renseignements sur la stabilité apparente de tel ou tel caractère, puisque à des effets génétiques se sont ajoutés des effets du milieu et qu'il a pu y avoir ou pas interaction entre eux.

Le tableau 1 résume les indications relatives à ces peuplements.

2.2. — Mesures effectuées

L'étude des caractères technologiques a été faite à l'aide des échantillons non destructifs prélevés à la tarière de Pressler radialement, à hauteur d'homme, et de façon à éviter les zones risquant de contenir du bois de compression.

L'analyse densitométrique a permis d'obtenir sur les 10 cernes les plus proches de la moelle et les 10 cernes les plus proches de l'écorce les caractéristiques suivantes :

- valeur annuelle de la densité minimale : d
- — — — — maximale : D
- — — — — moyenne : d_m
- — — — — largeur de cerne : l
- — — — — l'hétérogénéité : $D - d$
- pourcentages de la largeur de cerne où le bois a une densité égale ou supérieure à 250, 350, 450, 550, 650, 750, 850, 950 grammes/décimètre cube : $l d \geq \times$ grammes/décimètre cube.

En outre, l'infradensité a été déterminée selon la méthode de la saturation intégrale globalement pour chacune des 2 périodes de 10 ans.

La figure 1 montre le positif de la radiographie de carottes de sondage, resciesées à une épaisseur constante de 3 millimètres ; les 2 tranches d'âge d'un même individu y sont face à face, ce qui permet de voir qualitativement à l'œil des différences

FIG. 1. — Positif d'une radiographie de carottes de sondage d'arbres adultes ($\times 0,5$ environ)
Positive print of a radiography of increment core samples of mature trees.

10 premiers cernes, état juvénile (10 first juvenile rings).
10 derniers cernes, état adulte (10 last mature rings).

entre les arbres. Les zones sombres représentent le bois final dense, les zones claires le bois initial moins dense. On peut remarquer que les individus dont le bois est le moins dense au jeune âge (2^e et 4^e arbres à partir de la cale témoin) sont aussi ceux qui, à l'état adulte, ont un bois à faible densité (zone claire prédominant sur la zone sombre). Au contraire, les 3^e, 5^e et 6^e arbres à partir de la cale ont un bois dense à la fois à l'état juvénile et à l'état adulte.

2.3. — Résultats

2.3.1. Evolution des caractères entre l'état juvénile et l'état adulte.

Les moyennes des principales variables étudiées et leurs coefficients de variation figurent sur le tableau 2 :

TABLEAU 2

Moyennes et coefficients de variation de 5 caractéristiques (période adulte)
Means and coefficients of variation of five characteristics of the mature stands

Caractères		Saint-Just-d'Avray		Guebwiller		Verreries de Moussans	
		Moyenne (Mean)	Coeffi- cient de variation (Coeffi- cient of variation) (p. 100)	Moyenne (Mean)	Coeffi- cient de variation (Coeffi- cient of variation) (p. 100)	Moyenne (Mean)	Coeffi- cient de variation (Coeffi- cient of variation) (p. 100)
l (mm/100)	10 J	660	14,0	403	23,6	734	19,1
	10 A	205	33,2	252	27,8	484	35,0
d (g/dm ³)	10 J	218	8,5	276	12,1	229	9,2
	10 A	254	11,9	275	9,7	211	11,4
D (g/dm ³)	10 J	753	6,4	803	5,3	815	4,8
	10 A	820	7,1	897	4,8	892	4,9
D — d (g/dm ³)	10 J	535	8,2	527	8,2	587	7,0
	10 A	567	7,6	621	7,0	681	4,9
dm (g/dm ³)	10 J	409	7,4	486	7,5	435	6,2
	10 A	506	7,8	564	6,4	471	9,9

10 J = 10 cernes juvéniles (10 juvenile rings).

10 A = 10 cernes adultes (10 maturer ings).

l : largeur de cerne (ring width).

d : densité minimale (minimal density).

D : densité maximale (maximal density).

D-d : hétérogénéité (heterogeneity).

dm : densité moyenne (mean density).

Des différences sensibles se manifestent entre les 2 périodes pour chaque caractère ; de même, des différences apparaissent entre les peuplements pour un même caractère.

Les coefficients de variations sont faibles, ce qui indique une bonne stabilité des critères mesurés à l'intérieur de chaque période, sauf pour la largeur de cerne qui semble être très dépendante des variations des conditions de milieu.

2.32. *Calculs de corrélation entre l'état juvénile et l'état adulte.*

On a considéré en bloc les 10 années les plus proches de l'écorce comme étant représentatives de la valeur moyenne du bois adulte. En revanche, pour la zone juvénile où les propriétés du bois évoluent rapidement en fonction de l'augmentation de l'âge de l'assise génératrice, on a retenu pour chaque caractère la valeur du cerne le plus proche du cœur, puis les moyennes des 2 plus proches, et ainsi de suite jusqu'aux 10 premiers cerne.

Les corrélations ont donc été calculées entre la valeur moyenne des 10 années adultes et, respectivement, la valeur du premier cerne juvénile, la valeur moyenne des 2 premiers, et ainsi de suite jusqu'à la valeur moyenne des 10 premières années.

Le tableau 3 regroupe par population et par caractéristique les valeurs des 10 coefficients obtenus. Les seuils de signification varient avec les populations car elles ne comportent pas toutes le même nombre d'individus.

2.321. *Densité minimale.*

Dans les 3 populations, la première année est en corrélation avec les 10 dernières. A Saint-Just, cette liaison disparaît définitivement dès qu'on ajoute les années suivantes. Elle subsiste jusqu'à la 6^e année à Moussans, et jusqu'à la 10^e à Guebwiller. La valeur maximale du coefficient est donnée la première année à Saint-Just et Moussans.

2.322. *Densité maximale.*

Les 2 périodes présentent une bonne corrélation pour tous les regroupements. Seule la première année de Guebwiller n'est pas liée aux 10 années adultes. La valeur maximale du coefficient se situe entre les groupements des 5 aux 8 premières années.

2.323. *Hétérogénéité.*

Les liaisons sont constamment significatives dès la 1^{re} année à Saint-Just et la 2^e à Moussans, leur maximum étant atteint aux 7^e et 9^e regroupements respectivement. Guebwiller ne donne une liaison, assez lâche, que pour ceux qui vont du 5^e au 8^e.

2.324. *Densité moyenne.*

Dans les 3 populations, la 1^{re} année est en corrélation avec les 10 dernières. A Saint-Just apparaissent ensuite des alternances de coefficients non significatifs ou significatifs, tandis que Guebwiller et Moussans restent constamment significatifs. La

TABLEAU 3

Coefficients de corrélation entre la période juvénile et la période adulte pour une même variable
Juvenile-mature correlations for six characteristics of the mature stands

Populations (Stand)	Nbre de degrés de liberté (Number of degrees of freedom)	Nbre d'années juvéniles (Cumulated number of juvenile rings)	d	D	D - d	dm	l	Infra- densité (Basic density)
Saint Just-d'Avray	18	1	0,67 **	0,55 *	0,49 *	0,49 *	0,54 *	
		2	0,42 NS	0,66 **	0,68 **	0,26 NS	0,51 *	
		3	0,27 NS	0,60 **	0,68 ***	0,34 NS	0,44 NS	
		4	0,35 NS	0,63 **	0,73 ***	0,39 NS	0,29 NS	
		5	0,40 NS	0,72 ***	0,75 ***	0,46 *	0,31 NS	
		6	0,38 NS	0,80 ***	0,80 ***	0,46 ***	0,35 NS	
		7	0,34 NS	0,77 ***	0,81 ***	0,43 NS	0,30 NS	
		8	0,37 NS	0,73 ***	0,77 ***	0,43 NS	0,22 NS	
		9	0,33 NS	0,76 ***	0,78 ***	0,45 *	0,20 NS	
		10	0,25 NS	0,72 ***	0,77 ***	0,44 NS	0,16 NS	0,36 NS
Guebwiller	29	1	0,53 **	0,30 NS	0,15 NS	0,68 ***	0,05 NS	
		2	0,55 **	0,45 *	0,27 NS	0,60 ***	— 0,03 NS	
		3	0,51 **	0,53 **	0,33 NS	0,58 ***	— 0,19 NS	
		4	0,55 **	0,54 **	0,34 NS	0,56 **	— 0,18 NS	
		5	0,59 ***	0,57 ***	0,41 *	0,54 **	— 0,21 NS	
		6	0,60 ***	0,55 **	0,36 *	0,55 **	— 0,24 NS	
		7	0,61 ***	0,56 **	0,39 *	0,55 **	— 0,27 NS	
		8	0,59 ***	0,50 **	0,38 *	0,54 **	— 0,28 NS	
		9	0,55 **	0,46 **	0,33 NS	0,52 **	— 0,27 NS	
		10	0,52 **	0,46 **	0,32 NS	0,49 **	— 0,24 NS	0,40 *
Verreries de Moussans	28	1	0,47 **	0,53 **	0,33 NS	0,43 *	0,27 NS	
		2	0,44 *	0,56 **	0,47 **	0,38 *	0,03 NS	
		3	0,44 *	0,61 ***	0,56 **	0,43 *	— 0,08 NS	
		4	0,41 *	0,61 ***	0,57 ***	0,41 *	— 0,12 NS	
		5	0,39 *	0,59 ***	0,55 **	0,44 *	— 0,29 NS	
		6	0,38 *	0,60 ***	0,57 ***	0,46 **	— 0,37 *	
		7	0,35 NS	0,61 ***	0,58 ***	0,47 **	— 0,42 *	
		8	0,32 NS	0,62 ***	0,60 ***	0,47 **	— 0,46 **	
		9	0,32 NS	0,61 ***	0,60 ***	0,46 **	— 0,48 **	
		10	0,28 NS	0,62 ***	0,59 ***	0,47 **	— 0,49 **	0,48 **

NS : valeur non significative (Not statistically significant).

* : valeur significative au seuil de 5 p. 100 (Significant at the 5 p. 100 level).

** : — — — de 1 p. 100 — — — 1 p. 100).

*** : — — — de 1 p. 1000 — — — de 1 p. 1000 levels).

Les coefficients de valeur absolue maximale sont soulignés.

valeur maximale du coefficient est donnée par la 1^{re} année à Saint-Just et Guebwiller ; elle est atteinte pour le regroupement des 7 premières années à Moussans.

2.325. *Largeur de cernes.*

Cette caractéristique se distingue nettement des autres. Seule la 1^{re} année et les 2 premières de Saint-Just présentent une liaison positive significative.

Ces liaisons en sens contraire peuvent s'expliquer surtout si l'on tient compte des différences d'âges entre les peuplements en cause.

Dans la jeune futaie des Verreries de Moussans, les 10 dernières années (cernes 21 à 30) peuvent correspondre à une période où les arbres à croissance initiale élevée commencent à se concurrencer sévèrement (surtout s'ils sont relativement groupés, ce qui peut être le cas quand le terrain est hétérogène), d'où des accroissements adultes relativement faibles ; les individus à démarrage initial plus lent n'auraient au contraire pas encore atteint ce stade de compétition, ce qui expliquerait qu'ils aient leurs cernes adultes plus larges, d'où des corrélations négatives entre l'état juvénile et l'état adulte.

A Saint-Just-d'Avray au contraire, la phase de compétition généralisée est dépassée depuis longtemps et des éclaircies sont déjà intervenues pour favoriser les meilleures tiges ; des liaisons positives entre les 2 états ne sont pas étonnantes.

2.326. *Infradensité.*

Les mesures ayant été globales, un seul coefficient est disponible pour chaque population, celui qui est relatif aux 10 années juvéniles et 10 années adultes, et l'on ne peut mettre en évidence une évolution quelconque en fonction des regroupements d'années juvéniles. On a des coefficients significatifs à Guebwiller et à Moussans, mais aucune liaison n'apparaît à Saint-Just-d'Avray, ce qui est à rapprocher de la corrélation tantôt significative, tantôt non significative, observée pour la densité moyenne de cette dernière provenance.

2.33. *Discussion.*

La densité maximale est ici une caractéristique particulièrement stable, tous les regroupements de 2 à 10 années donnant une corrélation avec le bois adulte dans le cas des 3 peuplements.

L'hétérogénéité et la densité moyenne ne sont pas aussi constantes dans leurs indications puisqu'à Guebwiller et à Saint-Just respectivement les corrélations n'apparaissent significatives que dans le cas de certains regroupements. L'infradensité donne globalement une réponse analogue à celle de la densité moyenne, ce qui n'est pas surprenant puisque ces 2 caractéristiques sont étroitement liées (tabl. 4).

La densité minimale donne des résultats divers suivant les peuplements. Seul le 1^{er} cerne juvénile est lié au bois adulte dans les 3 cas ; par la suite, les regroupements font preuve de stabilité comme à Guebwiller, ou d'instabilité qui reflète une absence de liaison dans les 2 autres cas.

D'une façon plus générale pour ces caractéristiques microdensitométriques, on peut remarquer que tous les regroupements des 6 premières années juvéniles font preuve d'une corrélation significative positive avec le bois adulte, sauf la densité

minimale à Saint-Just. Ce résultat montre que les tout premiers cernes du Douglas peuvent être utilisés contrairement à ce que R. D. McKimmy (1966), G. Reck et O. Sziklai (1973) ont trouvé dans une étude analogue sur la densité moyenne ; ces auteurs préconisent en effet la suppression des 5 et même 8 premiers cernes juvéniles dans ces études de corrélation entre l'état jeune et l'état adulte.

Une telle opposition n'est pas surprenante car la précision qu'apporte l'analyse densitométrique est bien supérieure à celle que l'on peut obtenir en matière de densité moyenne au niveau de cernes individuels (Cown D. J., 1976).

Bien à part est la largeur de cerne qui, contrairement aux autres caractéristiques, n'est pour ainsi dire pas liée à la largeur adulte ou même donne des coefficients de corrélation significatifs négatifs. Contrairement à ce que les auteurs précédents ont trouvé (toujours au-delà des 5 premiers cernes), dans cette expérience la largeur de cerne n'apparaît donc pas comme une variable permettant de prévoir l'avenir. On peut supposer qu'elle est très sensible à la concurrence dès que celle-ci, pour une raison ou une autre, se manifeste dans un peuplement.

Enfin le tableau 4 permet de se rendre compte de l'intensité des liaisons existant entre les diverses variables qui viennent d'être étudiées à l'intérieur de chaque période, jeune ou adulte, et pour les 3 peuplements.

TABLEAU 4

Coefficients de corrélation entre variables par population et par période
Between characteristics correlations by stand and by age, mature trees

Population :	Saint-Just- d'Avray	Guebwiller	Verreries de Moussans	
Nombre de degrés de liberté	18	29	28	
Caractères				
dm, infradensité {	J	0,90 ***	0,86 ***	0,87 ***
	A	0,95 ***	0,91 ***	0,94 ***
dm, d {	J	0,76 ***	0,80 ***	0,48 **
	A	0,91 ***	0,62 ***	0,85 ***
dm, D {	J	0,71 ***	0,75 ***	0,47 **
	A	0,73 ***	0,74 ***	0,76 ***
(D — d), D {	J	0,92 ***	0,69 ***	0,86 ***
	A	0,86 ***	0,81 ***	0,84 ***
(D — d), d {	J	0,01 NS	— 0,41 *	— 0,36 NS
	A	0,22 NS	— 0,32 NS	— 0,18 NS
dm, l {	J	— 0,41 NS	— 0,27 NS	— 0,32 NS
	A	— 0,22 NS	— 0,24 NS	— 0,14 NS
dm, (D — d) {	J	0,45 *	0,11 NS	0,20 NS
	A	0,34 NS	0,34 NS	0,41 *
(D — d), l {	J	0,26 NS	0,45 *	0,10 NS
	A	0,26 NS	0,27 NS	— 0,30 NS

J = juvenile rings

A = mature rings

Abbreviations and symbols as given in table 3.

Dans la partie supérieure de ce tableau figurent les corrélations significatives et généralement élevées trouvées entre la densité moyenne d'une part et l'infradensité, la densité minimale et la densité maximale d'autre part, ainsi qu'entre l'hétérogénéité et la densité maximale. Les coefficients de corrélation sont élevés, aussi bien pour l'état juvénile que pour l'état adulte. En revanche, la partie inférieure ne laisse apparaître que des valeurs peu ou pas significatives, dans le cas des liaisons entre l'hétérogénéité d'une part et la densité minimale, la densité moyenne et la largeur de cerne d'autre part, ainsi qu'entre cette dernière et la densité moyenne.

Cette dernière constatation confirme d'ailleurs ce que l'on sait à propos du douglas chez qui une forte croissance n'a pas en contrepartie une diminution de la valeur de la densité du bois, ni de ses propriétés mécaniques (Association technique pour la vulgarisation forestière, 1967).

Pour Guebwiller, l'hétérogénéité n'est pas liée à la densité moyenne ni à l'état juvénile ni à l'état adulte ; elle est liée à la vitesse d'accroissement seulement dans le jeune âge. Les 2 autres placettes ne donnent aucune liaison entre largeur de cerne et hétérogénéité ; la densité moyenne est liée à celle-ci, assez faiblement, à l'état juvénile pour Saint-Just et à l'état adulte pour Moussans.

3. — Liaisons entre l'état juvénile et l'état adulte au niveau des provenances

3.1. — Matériel et méthode

Les échantillons ont été prélevés dans le dispositif expérimental installé par la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers à Peyrat-le-Château (Haute-Vienne) sur 24 provenances américaines de douglas (M. Thoby, 1975, *op. cit.*). Les arbres y avaient été plantés au printemps 1965, après 2 ans en pépinière. Les sondages ont été faits en septembre 1974 à la tarière de Pressler de 5 millimètres de diamètre, selon un orientation NE-SO et à environ 50 centimètres du sol sur des individus âgés de 12 ans à l'époque.

Au total, 45 arbres ont été sondés dans chaque provenance, soit 15 pour chacune des 3 répétitions étudiées. Deux de ces répétitions avaient été élaguées en 1972 ; une est restée sans élagage.

Chacune des carottes a été traitée selon la méthode microdensitométrique (fig. 2), et on a mesuré les mêmes variables que celles qui sont énumérées au paragraphe 22. On dispose en plus pour ces arbres de renseignements sur la croissance en hauteur après 2 et 4 années d'installation sur le dispositif, ainsi que de la valeur du couple exercé au torsiomètre lors des sondages sur le terrain.

Étant donné la taille des échantillons, 6 années ont pu être étudiées complètement. Elles ont été groupées en 2 périodes, l'une se situant avant la date de l'élagage (quand il a eu lieu), soit 1969 + 1970 + 1971, l'autre après, soit 1972 + 1973 + 1974. Il se trouve que cette coupure prend place également à un moment où les courbes densitométriques changent de configuration par le fait que commence à se produire une évolution du bois juvénile vers du bois adulte (voir fig. 3).

FIG. 2. — Positif d'une radiographie de carottes de sondage de l'expérience comparative de provenances de Douglas ($\times 0,5$ environ).

Positive print of a radiography of increment core samples from the Douglas-fir provenance test.

6 derniers cernes côté nord-est (6 last rings, N-E side).

6 derniers cernes côté sud-ouest (6 last rings, S-W side).

3.2. — Résultats

3.21. Influence de l'élagage.

Dans les premières années des résineux, et en l'absence de tout traitement, on observe généralement une diminution continue des densités minimales parallèlement à une augmentation continue des densités maximales ; à cette évolution normale peuvent venir naturellement se superposer des effets du climat, qui la masquent ou l'interrompent momentanément, car les arbres à ce stade juvénile y sont très sensibles, leurs courbes densitométriques le traduisant par de nombreux pics. Lorsque ce stade est passé, il n'y a plus d'évolution marquée et on arrive à un état adulte où, en l'absence d'un vieillissement prononcé ou d'une concurrence excessive, les propriétés du bois sont plus constantes, tout en restant soumises aux variations climatiques.

L'élagage a très certainement modifié la physiologie des arbres traités et les propriétés de leur bois (H. Polge, R. Keller et F. Thiercelin, 1973) puisqu'il hâte, en faisant disparaître brutalement des branches vivantes, cette évolution normale. C'est un facteur d'hétérogénéité qui s'est introduit dans le dispositif et, faute de pouvoir l'éliminer, on peut tout du moins présenter les différences observées dans les variables mesurées.

FIG. 3. — Courbe densitométrique type. Expérience comparative de provenances de Douglas.
Model of a densitometric curve. Douglas-fir provenance test.

Années à tendance juvénile (rings with a juvenile type).

Années à tendance adulte (rings tending to a mature type).

Valeurs des niveaux densitométriques mesurés (values of the measured densitometric levels).

The maximal value of the ordinates of the year 1974 corresponds to the density at the 15th of September.

Le graphique de la figure 3 montre que les années 1969 à 1971 sont caractérisées par une largeur de cerne importante et une montée lente et progressive de la densité du bois (courbes et pente faible) entre le début et la fin de la saison de végétation.

Les années 1972 et 1973 présentent déjà une plus faible largeur de cerne, un pic de densité plus élevée et une pente de la courbe plus forte ; cette évolution est traduite par les chiffres du tableau 5 où sont comparés les arbres élagués à ceux qui ne l'ont pas été.

TABLEAU 5

Influence de l'élagage sur six variables densitométriques
Influence of pruning over six densitometric characteristics

	Arbres élagués en 1972			Arbres non élagués en 1972			c — c'	t
	1969 + 1970 + 1971 = a	1972 + 1973 + 1974 = b	c = b — a	1969 + 1970 + 1971 = a'	1972 + 1973 + 1974 = b'	c' = b' — a'		
Largeur de cerne l (mm. 10 ⁻²)	1 034	632	— 402	957	614	— 343	— 59	4,2 ***
Densité minimale d (g/dm ³)	219,7	216,7	— 3,0	229,9	211,9	— 18,0	15,0	9,6 ***
Densité maximale D (g/dm ³)	674,5	658,2	— 16,3	665,0	621,7	— 43,3	27,0	7,9 ***
(D — d) g/dm ³	454,8	441,6	— 13,2	437,4	409,8	— 27,6	14,4	4,2 ***
Densité moyenne dm (g/dm ³)	403,9	422,3	18,4	406,0	401,7	— 4,3	22,7	8,5 ***
Infradensité (g/dm ³)	359,4		—	352,3		—	—	—

Abbreviations and symbols as given in table 3.
 Arbres élagués en 1972 (pruned trees in 1972).
 Arbres non élagués en 1972 (unpruned trees in 1972).
 t : test.

3.211. Largeur de cerne.

Elle a diminué chez les arbres élagués et les non élagués entre les 2 périodes, mais d'une façon plus marquée quand il y a eu élagage, le test t étant très significatif. Cette opération a accentué un phénomène en cours, probablement parce que l'ablation d'un certain nombre de branches vertes affaiblit momentanément les arbres traités.

3.212. Densité minimale.

Par comparaison entre les 2 périodes, la densité minimale a sensiblement moins diminué chez les arbres élagués que chez les autres, et d'inférieure au départ, elle est devenue supérieure, ce qui est analogue à ce qui avait déjà été mis en évidence chez le douglas et le grandis (H. Polge, R. Keller, F. Thiercelin, 1973, *op. cit.*).

3.213. *Densité maximale.*

Une diminution générale s'est produite, mais moins marquée chez les élagués. On se serait plutôt attendu à une augmentation générale avec une augmentation plus marquée chez les élagués, mais si l'on ne peut dire, comme dans l'étude citée précédemment, que l'élagage entraîne une hausse des densités maximales annuelles, on peut supposer que l'élagage, dans une phase décroissante de cette caractéristique, a ralenti l'évolution chez les arbres traités qui finalement se détachent de plus en plus des non-élagués. Dans cette hypothèse, tout se passe comme si, en période d'augmentation des densités maximales, l'élagage accélère le phénomène, alors qu'il le freine en période de diminution. Le passage du bois juvénile au bois adulte en est de toutes façons hâté chez les arbres élagués.

3.214. *Hétérogénéité.*

L'hétérogénéité est définie ici comme la différence entre densité maximale et densité minimale. Le tableau 5 montre qu'elle a plus diminué chez les arbres non élagués que chez les élagués, ceux-ci restant plus hétérogènes que ceux-là.

3.215. *Densité moyenne.*

Cette caractéristique est déterminée année par année à partir des courbes densitométriques. Elle a augmenté chez les arbres élagués et diminué chez les non-élagués. Là aussi, l'élagage a accéléré le passage vers un stade adulte.

3.216. *Infradensité.*

Du fait qu'elle a été mesurée globalement pour les 6 années, une évolution éventuelle entre les 2 périodes ne peut être décelée. On peut toutefois remarquer que l'infradensité des arbres qui ont été élagués est légèrement supérieure à celle de ceux qui n'ont pas été traités, ce qui pourrait refléter l'évolution constatée sur la densité moyenne tout en l'amortissant puisque, d'une part l'infradensité regroupe toutes les années, et d'autre part les 3 premières années, à densité moyenne plus faible chez les arbres élagués, sont représentées par des cernes larges alors que les 3 suivantes, à densité moyenne un peu plus élevée, sont représentées par des cernes nettement plus étroits.

Les différences de valeurs entre l'infradensité et la densité moyenne proviennent du mode de détermination de ces caractéristiques : l'infradensité, on le sait, est déterminée par le rapport entre la masse d'un échantillon de bois à l'état anhydre et son volume à l'état saturé, alors que la densité moyenne est très comparable ici à une densité mesurée à 10 p. 100 d'humidité.

3.22. *Conclusions relatives à l'élagage.*

Cette opération a malheureusement introduit une source de variation entre les répétitions élaguées en 1972 et la répétition laissée telle quelle. L'évolution des données microdensitométriques et de la vitesse de croissance en circonférence a été tout à fait parallèle à ce qui avait pu être déjà observé dans l'expérience d'élagage

sur Douglas et Grandis mentionnée plusieurs fois. Les différences constatées sont trop nettes et trop significatives pour que l'on puisse faire porter les calculs de corrélation entre l'état juvénile et l'état adulte sur l'ensemble des échantillons. On a donc séparé par la suite les échantillons provenant de la répétition non élaguée de ceux provenant des 2 répétitions élaguées.

3.23. *Calculs de corrélation intraprovenance entre l'état juvénile et l'état adulte.*

3.231. *Cas des deux répétitions élaguées.*

Les calculs ont été faits sur 28 à 30 arbres selon les cas pour chacune des 24 provenances représentées sur le dispositif.

Le tableau 6 donne, pour chacun des 5 caractères retenus, parmi tous ceux dont nous disposons, la moyenne de chaque provenance à l'état jeune ainsi qu'à l'état adulte, le coefficient de corrélation correspondant calculé sur les 28 à 30 couples disponibles et les seuils à atteindre pour être significatifs. On a donc les valeurs de 24 coefficients de corrélation intraprovenance, pour 26 à 28 degrés de liberté.

3.231.1. *Largeur de cerne.*

L'évolution entre les 2 états est sensible et il n'existe pas forcément entre eux un bon parallélisme dans les valeurs trouvées : les coefficients sont compris entre 0,11 et 0,74 et se répartissent en 9 non significatifs, 8 significatifs au seuil de 5 p. 100, 3 au seuil de 1 p. 100 et 4 au seuil de 1 p. 1 000.

3.231.2. *Densité minimale.*

Les valeurs des coefficients de corrélation varient entre 0,36 et 0,80. Un n'est pas significatif, 2 sont significatifs au seuil de 5 p. 100, 3 au seuil de 1 p. 100 et 18 au seuil de 1 p. 1 000. On constate pour cette variable une bonne concordance générale entre les 2 états.

3.231.3. *Densité maximale.*

Le tableau 6 montre que tous les coefficients de corrélation sont groupés entre 0,63 et 0,87 et sont tous significatifs au moins au seuil de 1 p. 1 000. La densité maximale apparaît ici comme une caractéristique dont les valeurs sont en excellente liaison entre les 2 périodes.

3.231.4. *Hétérogénéité.*

Dans le cas de cette variable importante à connaître pour définir la qualité d'un bois, on constate que la dispersion des coefficients de corrélation est comparable à celle qui a été trouvée pour la densité minimale, les valeurs sont comprises entre 0,37 et 0,84. Un est significatif au seuil de 5 p. 100, 3 au seuil de 1 p. 100 et 20 au seuil de 1 p. 1 000 ; au total, la concordance entre les 2 états est très bonne.

TABLEAU 6

Valeurs des variables et des coefficients de corrélation intraprovenance entre l'état juvénile et l'état adulte. Peyrat-le-Château ; répétitions élaguées

Values of the characteristics and juvenile mature intraprovenance correlations. Peyrat-le-Château ; pruned trees

N° provenance	d (g/dm³)			D (g/dm³)			D — d (g/dm³)			dm (g/dm³)			l (mm.10 ⁻²)		
	J	A	r	J	A	r	J	A	r	J	A	r	J	A	r
1	217	223	0,78	700	686	0,81	483	462	0,74	427	448	0,89	1 007	638	0,49
2	228	225	0,66	696	697	0,71	468	472	0,62	418	450	0,60	946	604	0,46
3	231	228	0,66	690	673	0,70	459	445	0,63	418	437	0,69	1 001	635	0,45
4	228	227	0,73	693	673	0,82	465	446	0,76	423	436	0,81	1 057	658	0,43
6	220	213	0,58	683	657	0,63	462	443	0,56	406	409	0,71	1 021	636	0,44
7	215	215	0,36	675	648	0,79	460	434	0,57	401	411	0,59	1 022	630	0,16
8	216	208	0,78	657	631	0,87	441	423	0,83	392	400	0,74	1 113	666	0,52
9	219	214	0,66	684	675	0,75	465	461	0,72	407	428	0,68	960	565	0,64
10	222	217	0,70	666	652	0,69	443	435	0,64	402	414	0,80	1 012	602	0,16
11	219	218	0,77	670	657	0,71	452	440	0,62	402	425	0,56	1 086	648	0,74
12	218	212	0,50	663	647	0,69	445	435	0,65	393	407	0,75	1 074	696	0,18
13	212	205	0,75	668	643	0,81	456	438	0,84	388	409	0,58	1 095	627	0,18
14	212	209	0,72	656	633	0,82	443	424	0,71	394	401	0,81	1 076	641	0,41
15	207	208	0,45	653	628	0,69	446	420	0,50	383	404	0,57	1 083	622	0,11
16	233	222	0,68	676	649	0,67	443	427	0,59	418	422	0,65	1 098	632	0,32
17	221	217	0,80	694	680	0,85	473	462	0,77	418	444	0,75	997	628	0,41
18	224	207	0,69	657	637	0,82	434	431	0,63	396	395	0,59	1 013	643	0,14
19	209	207	0,69	681	670	0,79	472	463	0,84	413	422	0,45	999	622	0,49
20	213	208	0,73	666	653	0,83	453	445	0,79	399	405	0,69	1 064	658	0,33
21	215	216	0,41	665	648	0,75	450	432	0,71	396	421	0,56	1 029	611	0,34
22	221	219	0,57	654	635	0,81	433	416	0,65	386	407	0,77	1 110	665	0,62
23	224	221	0,76	671	664	0,75	447	443	0,81	401	433	0,80	998	634	0,44
24	220	228	0,61	682	673	0,70	462	445	0,37	403	445	0,68	1 021	680	0,71
25	225	232	0,68	686	689	0,71	461	457	0,62	406	463	0,68	955	529	0,43

Abbreviations as given in tables 3 and 4.

Les valeurs minimales et maximales des coefficients ont été soulignées (Minimal and maximal values of correlation coefficients are underlined).

Valeurs limites de r (limit values of r)

Degré de signification (Signification degree)	NS	5 p. 100	1 p. 100	1 p. 1 000
27 degrés de liberté pour chaque provenance (27 degrees of freedom for each provenance)	$r < 0,37$	$0,37 \leq r < 0,47$	$0,47 \leq r < 0,58$	$0,58 \leq r$

J = état juvénile.

A = état adulte.

Les valeurs minimales et maximales des coefficients ont été soulignées.

3.231.5. *Densité moyenne.*

Les coefficients de corrélation se situent entre 0,45 et 0,89 ; 1 est significatif au seuil de 5 p. 100, 3 au seuil de 1 p. 100 et 20 au seuil de 1 p. 1 000. La similitude entre les 2 groupes d'années est bien marquée.

3.232. *Cas de la répétition non élaguée.*

Les calculs ont, dans ce cas, porté sur 12 à 15 arbres pour chacune des 24 provenances. Le tableau 7 se présente comme celui qui est relatif aux répétitions élaguées ; les seuils à atteindre par les coefficients de corrélation pour être significatifs sont plus élevés puisqu'on ne dispose plus que d'un petit nombre de degrés de liberté.

3.232.1. *Largeur de cerne.*

La disparité entre les 2 périodes est telle que 18 coefficients ne sont pas significatifs ; 4 le sont au seuil de 5 p. 100 et 2 au seuil de 1 p. 100. Leurs valeurs sont comprises entre — 0,13 et 0,75.

3.232.2. *Densité minimale.*

Un nombre encore important de provenances ne présentent pas de lien entre les 2 groupes d'années puisque 9 coefficients ne sont pas significatifs. 4 le sont au seuil de 5 p. 100, 4 au seuil de 1 p. 100 et 7 au seuil de 1 p. 1 000. Les bornes sont 0,22 et 0,89.

3.232.3. *Densité maximale.*

Dans un intervalle allant de 0,33 à 0,91, on trouve 2 valeurs non significatives, 1 significative au seuil de 5 p. 100, 10 au seuil de 1 p. 100 et 11 au seuil de 1 p. 1 000. Il est à noter que la provenance 24, qui présente pour cette caractéristique le plus fort coefficient, est celle qui présente le plus faible pour la densité minimale.

3.232.4. *Hétérogénéité.*

Pour cette caractéristique, les valeurs des coefficients sont moins dispersées que pour les 3 précédentes puisque l'intervalle va de 0,27 à 0,88. Quatre ne sont pas significatifs, 9 sont significatifs au seuil de 5 p. 100, 5 au seuil de 1 p. 100 et 6 au seuil de 1 p. 1 000.

3.232.5. *Densité moyenne.*

Avec une amplitude faible, puisque les valeurs sont comprises entre 0,58 et 0,95, c'est la seule caractéristique dont tous les coefficients sont significatifs : 6 au seuil de 5 p. 100, 10 au seuil de 1 p. 100 et 8 au seuil de 1 p. 1 000.

3.233. *Conclusion relative aux coefficients de corrélation intraprovenance.*

Parmi les 5 caractéristiques retenues, il se trouve que ce sont les 4 données densitométriques qui présentent les meilleures liaisons entre les 3 années juvéniles

TABLEAU 7

Valeurs des variables et des coefficients de corrélation intraprovenance entre l'état juvénile et l'état adulte. Peyrat-le-Château ; répétition non élaguée

Values of the characteristics and juvenile mature intraprovenance correlations. Peyrat-le-Château ; unpruned trees

No provenance	d (g/dm ³)			D (g/dm ³)			D — d (g/dm ³)			dm (g/dm ³)			l (mm.10 ⁻²)		
	J	A	r	J	A	r	J	A	r	J	A	r	J	A	r
1	219	208	0,51	687	624	0,84	468	416	0,61	418	407	0,70	942	644	0,39
2	247	221	0,77	703	659	0,90	456	438	0,87	430	428	0,89	900	592	0,57
3	214	214	0,82	694	625	0,69	481	411	0,54	414	413	0,77	915	617	0,65
4	246	219	0,70	679	630	0,77	433	411	0,56	424	413	0,95	850	637	0,22
6	232	218	0,80	683	649	0,82	451	431	0,72	406	409	0,85	997	637	0,36
7	225	201	0,89	670	617	0,89	445	416	0,85	396	378	0,89	969	614	0,17
8	221	204	0,33	657	619	0,59	436	415	0,80	390	387	0,59	1 010	616	0,51
9	231	214	0,60	659	627	0,51	427	414	0,44	402	406	0,68	962	539	0,52
10	214	200	0,89	654	606	0,89	440	406	0,88	393	385	0,87	1 013	624	0,16
11	233	206	0,48	691	627	0,81	458	421	0,47	421	396	0,73	883	683	0,43
12	229	215	0,62	651	615	0,33	422	400	0,56	396	398	0,81	1 007	617	0,58
13	230	217	0,65	634	628	0,76	404	412	0,71	381	392	0,88	1 057	546	0,30
14	217	202	0,76	653	600	0,75	435	398	0,70	397	382	0,80	1 089	703	0,29
15	230	216	0,51	658	612	0,69	428	396	0,61	401	416	0,58	976	586	0,60
16	245	212	0,59	654	610	0,74	409	398	0,86	413	390	0,77	983	637	0,42
17	230	212	0,46	674	640	0,76	444	428	0,58	425	419	0,61	891	605	0,47
18	236	203	0,83	655	599	0,89	419	396	0,76	400	372	0,59	1 017	752	0,70
19	228	205	0,34	686	605	0,73	457	401	0,53	426	395	0,58	918	648	0,31
20	216	200	0,78	655	616	0,80	438	416	0,68	392	388	0,71	965	601	0,44
21	205	194	0,49	645	598	0,70	440	404	0,53	384	390	0,66	1 048	627	— 0,13
22	226	216	0,78	642	614	0,81	415	398	0,81	383	405	0,77	1 028	528	— 0,08
23	246	218	0,75	671	623	0,69	425	404	0,65	420	415	0,60	881	649	0,75
24	238	227	0,22	660	619	0,91	423	392	0,56	406	420	0,68	821	543	0,40
25	261	244	0,37	701	658	0,86	440	414	0,27	426	439	0,70	851	500	0,33

Abbreviations and symbols as given in table 6.

Valeurs limites de r (limit values of r)

Degré de signification (Signification degree)	NS	5 p. 100	1 p. 100	1 p. 1 000
12 degrés de liberté pour chaque provenance (12 degrees of freedom for each provenance)	$r < 0,53$	$0,53 \leq r < 0,66$	$0,66 \leq r < 0,78$	$0,78 \leq r$

J = état juvénile.

A = état adulte.

Les valeurs minimales et maximales des coefficients ont été soulignées.

et les 3 années adultes ; ce résultat est analogue à celui qui a été trouvé dans le cas des 3 peuplements adultes.

La largeur de cerne apparaît comme très peu fiable puisque dans 9 cas sur 24 dans les répétitions élaguées et dans 18 cas sur 24 dans la répétition non élaguée, l'état juvénile n'a aucune similitude avec l'état adulte. Il semble d'ailleurs y avoir indépendance entre la largeur de l'accroissement et les variables densitométriques : de fortes liaisons peuvent être observées chez celles-ci alors qu'il n'en existe pas chez celle-là.

Pour les données densitométriques, ce sont la densité moyenne, la densité maximale et l'hétérogénéité qui sont les plus stables. La densité moyenne est toujours significative, que les provenances aient été élaguées ou pas.

Dans la mesure où l'on peut supposer que l'effet « élagage » est responsable des différences observées (un doute important subsiste puisqu'il risque d'être confondu avec un effet « bloc »), il semble que cette opération, tout en ayant provoqué une accélération du passage du stade juvénile au stade adulte, ait également permis de mieux faire ressortir, provenance par provenance, les parentés entre ces 2 états. Dans la répétition non élaguée, la concurrence entre branches basses croît d'année en année, mais comme les branches sont encore vivantes, le passage du stade juvénile au stade adulte est beaucoup plus lent ; il est probablement plus irrégulier puisqu'il y a certainement des arbres dont les branches sont plus concurrencées que d'autres, ce qui entraîne, entre arbres, des vieillissements plus ou moins rapides, et donc une formation de bois aux caractéristiques, soit encore juvéniles, soit commençant lentement une évolution vers l'état adulte. Les plus faibles valeurs absolues des coefficients de corrélation, dans le cas de cette répétition non élaguée, traduisent peut-être cette hétérogénéité passagère due à l'augmentation de la concurrence entre branches basses.

3.24. *Calculs de corrélation interprovenance entre l'état juvénile et l'état adulte.*

Les liaisons étudiées au niveau des moyennes des provenances entre les 2 états, donc sur 24 couples de valeurs, ont donné les coefficients de corrélation interprovenance qui figurent sur le tableau 8.

TABLEAU 8

Coefficients de corrélation interprovenance entre l'état juvénile et l'état adulte
Juvenile mature interprovenance correlations

	d	D	D — d	dm	I
Répétitions élaguées	0,74 ***	0,93 ***	0,86 ***	0,71 ***	0,63 ***
Répétition non élaguée	0,79 ***	0,65 ***	0,52 **	0,61 **	0,23 NS

Abbreviations and symbols as given in tables 2, 3 and 6.

NS Corrélation non significative.

** Corrélation significative au seuil de 1 p. 100.

*** Corrélation significative au seuil de 1 p. 1000.

3.241. Cas des 2 répétitions élaguées.

Les coefficients relatifs aux 5 caractéristiques retenues sont tous significatifs au-delà du seuil de 1 p. 1 000.

FIG. 4. — Corrélations entre l'état juvénile et l'état adulte. Juvenile mature correlations. Largeur de cerne, arbres élagués. Ring width, pruned trees.

La largeur de cerne donne la valeur la plus faible avec 0,63 (fig. 4). La densité moyenne et la densité minimale viennent ensuite avec respectivement 0,71 et 0,74. L'hétérogénéité est caractérisée par un coefficient de 0,86 et la densité maximale par une valeur très élevée : 0,93 (fig. 5 et 6).

FIG. 5. — Corrélations entre l'état juvénile et l'état adulte. Juvenile mature correlations
Hétérogénéité, arbres élagués. Heterogeneity, pruned trees.

FIG. 6. — Corrélations entre l'état juvénile et l'état adulte. Juvenile mature correlations. Densité maximale, arbres élagués. Maximal density, pruned trees.

3.242. Cas de la répétition non élaguée.

La valeur du coefficient pour la largeur de cerne, 0,23, montre qu'il n'y a plus aucune liaison entre les 2 états (fig. 7).

L'hétérogénéité et la densité moyenne, avec 0,52 et 0,61, sont significatives au seuil de 1 p. 100. La densité maximale et la densité minimale, avec 0,65 et 0,79, restent au-dessus du seuil de 1 p. 1 000.

FIG. 7. — Corrélations entre l'état juvénile et l'état adulte. Juvenile mature correlations. Largeur de cernes, arbres non élagués. Ring width, unpruned trees.

3.243. Conclusion relative aux coefficients de corrélation interprovenance.

Les coefficients de corrélation interprovenance sont plus élevés pour les caractéristiques densitométriques que pour la vitesse de croissance en diamètre * qui montre même une absence de liaison complète dans le cas de la répétition non élaguée.

Tout comme dans le cas des coefficients de corrélation intraprovenance, l'absence d'élagage semble avoir estompé certaines liaisons entre l'état juvénile et l'état adulte, sauf dans le cas de la densité minimale.

Les densités minimales et maximales apparaissent ici comme particulièrement prévisibles dans leur évolution ; les densités moyennes et l'hétérogénéité également, mais à condition que l'évolution vers l'état adulte soit bien commencée, par exemple en étant favorisée par l'élagage.

4. — Conclusion

Les résultats obtenus dans le cas des 3 peuplements âgés montrent qu'il y a souvent une bonne concordance entre les valeurs des caractéristiques densitométriques mesurées sur les cernes juvéniles et sur les cernes adultes.

Les largeurs de cerne, elles, ne laissent pas apparaître cette propriété et sont généralement indépendantes des autres variables.

La stabilité phénotypique des caractéristiques densitométriques et leur indépendance vis-à-vis de la vitesse de croissance en diamètre peuvent suggérer des applications sylvicoles : on peut apprécier très tôt la qualité du bois de jeunes plants et favoriser lors des éclaircies ceux qui correspondent le mieux à la qualité désirée de leur bois, par exemple en utilisant les résultats du torsiomètre.

Les 3 peuplements n'ayant pas été constitués suivant un plan d'expérience structurée, il est impossible d'en tirer beaucoup plus de renseignements. On peut seulement dire que la stabilité phénotypique constatée pour certaines caractéristiques laisse subodorer que chez le douglas elles pourraient présenter une bonne stabilité génotypique.

Les données obtenues dans le cas des provenances installées à Peyrat-le-Chateau intéressent davantage le sélectionneur puisque, à partir de tels dispositifs, une sélection proprement génétique est possible. L'intérêt de cette étude est de montrer que cette sélection de provenances pour la qualité du bois peut avoir lieu quelques années après l'installation des arbres, alors qu'ils sont encore dans un stade juvénile.

Les coefficients de corrélation intraprovenance et interprovenance sont élevés dans le cas des données densitométriques ; cela permet de supposer qu'il existe une bonne stabilité génétique pour ces caractéristiques. Une sélection à l'état juvénile pourrait être efficace pour des critères technologiques comme la densité minimale, la densité maximale, la densité moyenne et l'hétérogénéité, et inefficace pour d'autres critères comme l'accroissement en circonférence.

* On dispose d'accroissements en hauteur mesurés en pépinière, puis deux et quatre ans après l'installation sur le dispositif. Les coefficients de corrélation interprovenance sont les suivants :

$r = 0,67$ entre la hauteur en pépinière à la fin de l'année 1974 et la hauteur à la fin de 1968, 4 ans après l'installation.

$r = 0,93$ entre la hauteur à la fin de 1966, 2 ans après l'installation et la hauteur à la fin de 1968, 4 ans après l'installation.

Il reste donc un problème important à résoudre : puisqu'il semble probable que la sélection soit efficace pour certains critères technologiques, quelle stratégie adopter pour les inclure dans des programmes d'amélioration en plus des critères habituellement retenus, comme par exemple la vigueur ou la tardiveté du débourrement ?

Reçu pour publication en février 1977.

Remerciements

Nous remercions l'Office National des Forêts, la Station de Sylviculture et de Production et la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers du C.N.R.F. pour nous avoir autorisés à sonder les arbres de leurs forêts ou dispositifs expérimentaux.

Nous remercions également MM. J. F. Lacaze, Y. Birot de la Station d'Amélioration des Arbres Forestiers, pour leurs conseils, et C. Millier, de la Station de Biométrie, qui a assuré le traitement statistique d'une masse importante de données.

Summary

Juvenile mature correlations for some technological and auxometric characteristics in Douglas-Fir

Microdensitometric studies have been carried out on increment core samples from on the one hand three aged plantations of Douglas-fir and, on the other hand, from a 12 years old provenance test.

In the case of the aged plantation, the results show that there is often a good concordancy between the values of the microdensitometric characteristics of the juvenile rings (from the first to the tenth ring) and those of the mature rings (the ten peripheric rings of the trees). In return the ring widths do not show this result and are generally independent of the other characteristics.

In the case of the provenance test, the intraprovenance and interprovenance correlation coefficients between the microdensitometric characteristics of the three juvenile rings (1969 + 1970 + 1971) and those of the three following rings (1972 + 1973 + 1974) where appears already an evolution to a mature wood, are sufficiently high to permit to suppose the existency of a good genetic stability for the technological characteristics like minimal density, maximal density, mean density and heterogeneity.

An early selection for those characteristics might be efficient, while not for the diameter growth. In annexe are shown the results on the verified links between the measured values of torsion torque and some wood quality characteristics.

Particularly the correlation between torsion torque and basic density is always positive and very significant ; it is negative and weak, or mostly not significant, between torsion torque and ring width.

Zusammenfassung

Korrelationen zwischen Jugendholz und Alterholz in Hinsicht auf einige technologischen Merkmale und Zuwachsmerkmale bei Douglasie

Es wurden mikrodensitometrische Untersuchungen über Probestücke gemacht, die einerseits aus drei älteren Beständen von Douglasie herstammten und andererseits aus einer Ende 1975 zwölf-jährigen Herkunftspflanzung.

Die drei älteren Bestände liefern Ergebnisse, aus denen hervorgeht, dass die Werte der mikrodensitometrischen Merkmale an den Jahrringen im Jugendholz (von dem 1. bis 10. Jahr) mit denen übereinstimmen, die am Alterholz (den zehn letzten peripherischen Jahrringen) gemessen wurden. Die Ringbreite hingegen haben keineswegs dieselbe Eigenschaft und sind im allgemeinen unabhängig von den anderen Merkmalen.

In der Herkunftpflanzung sind die Koeffizienten der Intraprovenienz $\parallel$ und $\parallel$ interprovenienz Korrelation zwischen den mikrodensitometrischen Merkmalen der jungen Jahre 1969 + 1970 + 1971 und denjenigen der älteren Jahre 1972 + 1973 + 1974, hoch genug und man kann meinen, dass eine gute genetische Stabilität vorhanden ist, was die technologischen Merkmale betrifft wie Minimaldichte, Maximaldichte, Durchschnittsdichte und Heterogenität.

Eine frühzeitige Selection auf Grund dieser Merkmale dürfte sich lohnen ; es wäre aber nicht der Fall was den Jahrringzuwachs angeht.

In der Beilage stehen Ergebnisse zur Verfügung über die Korrelationen zwischen dem Drehmoment (wie es an den stehenden Bäumen gemessen wurde) und verschiedenen Merkmalen der Holzqualität.

Die positive Bindung zwischen Drehmoment und Raumdichtezahl ist insbesondere stets sehr eng ; zwischen Drehmoment und Jahrringbreite ist sie negativ und schwach, oder meistens abwesend.

Références bibliographiques

- ASSOCIATION TECHNIQUE POUR LA VULGARISATION FORESTIERE, 1967. Le Douglas est un des meilleurs bois d'œuvre, même s'il a poussé rapidement. *Etude du C.E.T.E.F. de Meurthe-et-Moselle, Bulletin de la Vulgarisation Forestière*, n° 67/10.
- COWN D. J., 1976. Densitometric studies on the wood of young coastal douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Thesis, University of British Columbia, June 1976.
- McKIMMY M. D., 1966. A variation and heritability study of wood specific gravity in 46-year-old Douglas-fir from known seed sources. *Tappi*, vol. 49, n° 12, 542-549.
- POLGE H., 1970. Première appréciation de la qualité du bois en forêt par utilisation d'un torsiomètre. *Ann. Sci. Forest.*, 27 (2), 197-223.
- POLGE H., KELLER R., THIERCELIN F., 1973. Influence de l'élagage des branches vivantes sur la structure des accroissements annuels et sur quelques caractéristiques du bois de douglas et de grandis. *Ann. Sci. Forest.*, 30 (2), 127-140.
- RECK G., SZIKLAI O., 1973. Juvenile-mature correlation and wood characteristics of Douglas-fir IUFRO Working party, Göttingen, sept. 3-6.
- THOBY M., 1975. Validité des tests précoces d'appréciation des caractères technologiques du bois de douglas. Application à une plantation comparative de 24 provenances de douglas (Peyrat-le-Château) en liaison avec des caractères morphologiques et auxométriques. Mémoire de 3^e année ENITEF, CNRF, Station de Recherches sur la Qualité des bois.

Annexe 1

Remarque au sujet du couple de torsion mesuré sur les arbres lors du prélèvement des échantillons

Les tableaux 9 et 10 regroupent par provenance les coefficients de corrélation entre les couples de torsion et quelques autres variables caractérisant la qualité du bois.

Ils montrent que cette mesure, facile à exécuter sur le terrain, moyennant un certain nombre de précautions simples (H. Polge et R. Keller, 1970), peut déjà renseigner de façon grès satisfaisante sur la densité du bois. En effet, qu'il s'agisse des répétitions élaguées ou de la répétition non élaguée, les valeurs observées des coefficients de corrélation intraprovenance entre le couple et l'infradensité sont toutes comprises entre 0,80 et 1,00 pour les 24 provenances, ou entre 0,94 et 1,00 si l'on excepte la provenance 15 dans la répétition non élaguée. De toutes façons, même pour les 12 degrés de liberté dont on dispose pour cette dernière, les liaisons sont toutes très significatives, et bien au-delà du seuil de 1 p. 1 000.

TABLEAU 9

Coefficients de corrélation entre le couple de torsion et les diverses variables figurant en tête de colonne.
Peyrat-le-Château ; Répétitions élaguées

Correlations between torsion torque and several characteristics figuring in the upper part of the rows.
Peyrat-le-Château ; Pruned trees

Provenance	Infradensité (Basic density)	dm_J	dm_A	d_J	d_A	D_J	D_A	$(D - d)_J$	$(D - d)_A$	$\% \text{ Id} \geq 450_J$	$\% \text{ Id} \geq 450_A$	$\% \text{ Id} \geq 550_J$	$\% \text{ Id} \geq 550_A$	$250 \leq \%_J < 350$	$250 \leq \%_A < 350$	$550 \leq \%_J < 650$	$550 \leq \%_A < 650$	l_J	l_A
1	0,99	0,92	0,93	0,43	0,51	0,61	0,74	—	0,57	0,86	0,87	0,90	0,88	—0,52	—	0,71	0,74	—	—
2	0,98	0,88	0,80	0,55	0,55	0,74	0,80	0,39	0,62	0,80	0,84	0,74	0,86	—0,62	0,38	0,64	0,54	—0,66	—0,54
3	0,97	0,84	0,66	0,39	—	0,59	0,62	0,41	0,47	0,69	0,68	0,70	0,69	—0,68	—	0,58	0,57	—0,39	—
4	0,98	0,92	0,79	0,64	0,49	0,52	0,51	—	—	0,92	0,85	0,86	0,77	—0,82	—	0,76	0,74	—0,54	—
6	0,97	0,87	0,81	0,46	0,50	0,45	0,40	—	—	0,80	0,79	0,80	0,75	—0,42	—	0,71	0,61	—	—
7	0,98	0,87	0,76	0,47	0,41	0,74	0,77	0,58	0,54	0,81	0,74	0,72	0,75	—0,58	—	0,61	0,67	—	—
8	0,98	0,81	0,67	0,59	—	—	—	—	—	0,70	0,65	0,56	0,65	—	—0,44	0,44	0,69	—0,39	—0,41
9	0,98	0,90	0,86	0,38	0,73	0,38	—	—	—	0,85	0,83	0,71	0,85	—0,45	0,56	0,61	0,86	—0,52	—0,67
10	0,98	0,92	0,90	0,50	0,61	0,55	0,63	—	—	0,87	0,86	0,70	0,76	—0,67	—	0,65	0,57	—	—0,52
11	0,97	0,90	0,73	0,74	0,63	0,38	0,41	—	—	0,78	0,75	0,77	0,64	—0,60	0,40	0,65	0,65	—	—
12	0,98	0,85	0,78	0,46	0,63	—	0,52	—	—	0,75	0,81	0,75	0,71	—0,64	—	0,71	0,60	—	—
13	0,94	0,84	0,68	0,37	—	0,66	0,66	0,48	0,52	0,79	0,62	0,77	0,63	—0,53	—	0,51	—	—0,46	—
14	0,98	0,94	0,90	0,61	0,55	0,81	0,87	0,61	0,72	0,87	0,90	0,81	0,82	—0,78	—	0,70	0,70	—0,53	—
15	0,98	0,92	0,70	0,55	0,37	0,52	0,63	—	0,41	0,85	0,73	0,86	0,82	—0,70	—	0,76	0,77	—	—
16	0,98	0,86	0,72	—	—	0,57	0,62	—	0,52	0,82	0,71	0,80	0,79	—0,64	—	0,73	0,59	—0,45	—
17	0,98	0,90	0,85	0,74	0,72	0,71	0,66	—	—	0,79	0,81	0,72	0,83	—0,63	0,60	0,63	0,85	—	—0,42
18	0,98	0,84	0,65	0,63	0,52	0,52	0,56	—	—	0,76	0,70	0,56	0,64	—0,63	—	0,50	0,49	—	—
19	0,95	0,89	0,62	0,48	—	0,56	0,49	—	—	0,79	0,57	0,81	0,56	—0,37	0,43	0,68	0,37	—	—
20	0,98	0,91	0,81	0,51	0,69	0,79	0,80	0,44	0,62	0,75	0,77	0,81	0,75	—0,46	0,39	0,64	—	—	—
21	0,97	0,88	0,77	0,40	0,52	0,42	0,65	—	0,44	0,86	0,83	0,67	0,82	—0,79	—	0,47	0,84	—	—0,55
22	0,98	0,85	0,76	0,55	0,54	—	0,41	—	—	0,74	0,76	0,71	0,56	—0,73	—0,39	0,56	0,53	—0,67	—0,50
23	0,99	0,90	0,90	0,52	0,52	0,57	0,67	—	0,41	0,78	0,90	0,82	0,89	—0,78	—	0,70	0,79	—0,51	—0,45
24	0,99	0,88	0,79	0,63	0,63	0,67	0,67	—	—	0,81	0,78	0,79	0,75	—0,78	—	0,72	0,66	—0,42	—0,56
25	0,98	0,92	0,71	0,63	0,48	0,67	0,68	—	0,42	0,90	0,71	0,83	0,67	—0,74	—	0,72	0,37	—	—

Valeurs limites de r pour 27 degrés de liberté :

NS $r < 0,37$.

5 p. $100 \ 0,37 \leq r < 0,47$.

1 p. $100 \ 0,47 \leq r < 0,58$.

1 p. $1000 \ 0,58 \leq r$.

— non significatif.

p. 100 1 d $\geq X$: radial percentage of wood with a density $\geq x \text{ g/dm}^3$.

Other abbreviations and symbols as given in tables 3, 4 and 6.

Les coefficients de corrélation interprovenance calculée sur les mêmes variables valent 1,00 pour les répétitions élaguées et 0,99 pour la répétition non élaguée, ce qui indique qu'on peut classer assez sûrement les provenances les unes par rapport aux autres pour la densité de leur bois simplement en les ordonnant d'après les valeurs des couples de torsion mesurés sur le terrain.

Les corrélations entre le couple et les densités moyennes juvéniles et adultes sont, bien que moins élevées, toujours très significatives à l'exception du résultat trouvé pour la période adulte de la provenance 25 dans la répétition non élaguée. Les coefficients de corrélation intraprovenance sont en moyenne plus élevés dans le

TABLEAU 10

Coefficients de corrélation entre le couple de torsion et les diverses variables figurant en tête de colonne.
Peyrat-le-Château ; Répétition non élaguée

Correlations between torsion torque and several characteristics figuring in the upper part of the rows.
Peyrat-le-Château ; unpruned trees. Abbreviations and symbols as given in tables 3, 4, 6 and 9

Provenance	Infradensité	dm_J	dm_A	d_J	d_A	D_J	D_A	$(D - d)_J$	$(D - d)_A$	$\% Id \geq 450_J$	$\% Id \geq 450_A$	$\% Id \geq 550_J$	$\% Id \geq 550_A$	$250 \leq \% Id < 350$	$250 \leq \% Id < 350$	$550 \leq \% Id < 650$	$550 \leq \% Id < 650$	I_J	I_A
1	0,98	0,92	0,85	—	—	0,64	0,69	—	0,53	0,90	0,76	0,85	0,80	—0,61	—	0,80	0,71	—0,62	—
2	0,97	0,87	0,76	0,53	—	0,65	0,61	—	—	0,87	0,67	0,84	0,84	—0,72	—	0,77	0,76	—	—
3	0,98	0,91	0,89	0,73	0,82	0,64	0,65	—	—	0,67	0,72	0,73	0,65	—0,58	—	0,58	—	—0,56	—
4	0,99	0,98	0,97	—	0,68	0,66	0,76	—	—	0,92	0,94	0,81	0,90	—0,75	—	0,65	0,90	—	—
6	0,97	0,87	0,87	0,69	0,77	0,60	0,68	—	—	0,72	0,79	0,75	0,74	—0,56	—	—	0,60	—	—
7	1,00	0,95	0,93	0,66	0,90	0,80	0,75	—	—	0,87	0,82	0,74	0,75	—0,64	—	0,60	0,77	—	—
8	0,97	0,91	0,76	—	—	0,76	0,58	—	—	0,82	0,75	0,80	—	—	—	0,80	—	—	—
9	0,98	0,90	0,84	0,54	0,73	0,79	0,80	—	—	0,91	0,81	0,82	0,91	—0,64	0,69	0,79	0,88	—	—
10	0,99	0,95	0,90	—	—	0,87	0,87	0,74	0,80	0,91	0,87	0,86	0,85	—0,56	—	0,85	0,87	—	—
11	0,97	0,88	0,84	0,53	0,60	0,82	0,78	—	—	0,75	0,87	0,65	0,82	—	—	—	0,70	—	—0,60
12	0,96	0,91	0,90	—	0,61	—	0,78	—	—	0,77	0,88	0,66	0,79	—	—	0,54	0,77	—0,76	—
13	0,99	0,93	0,90	—	0,63	0,65	0,68	—	—	0,94	0,82	0,92	0,84	—0,79	—	0,95	0,84	—0,73	—0,60
14	0,99	0,94	0,91	—	0,68	0,83	0,78	0,70	0,67	0,90	0,79	0,84	0,78	—0,72	—0,65	0,72	0,78	—	—
15	0,80	0,82	0,69	0,63	0,69	—	0,68	—	—	0,75	0,57	0,67	0,73	—	—	0,56	0,59	—	—
16	0,99	0,89	0,94	—	0,64	0,67	0,85	—0,66	0,94	0,81	0,65	0,79	—0,79	—	—	0,63	0,76	—	—
17	0,99	0,87	0,70	—	—	0,62	0,69	—	—	0,84	0,74	0,75	0,71	—	—	—	0,65	—	—
18	0,98	0,81	0,72	0,60	—	0,78	0,74	—	0,69	—	0,57	—	0,65	—	—	—	0,59	—	—
19	0,98	0,88	0,85	0,70	—	—	0,53	—	—	0,75	0,81	0,66	0,79	—	—	—	0,80	—0,78	0,55
20	0,98	0,85	0,91	0,60	0,68	—	0,55	—	—	0,64	0,84	—	0,74	—	—	—	0,65	—	—
21	0,95	0,91	0,86	0,76	—	—	0,60	—	—	0,82	0,84	0,80	0,63	—0,73	—	0,84	0,60	—	—
22	0,97	0,78	0,75	—	—	0,65	0,91	0,63	0,87	0,66	0,77	0,68	0,80	—0,81	—	0,58	—	—	—
23	0,99	0,92	0,79	0,55	0,70	0,65	0,70	—	—	0,82	0,78	0,86	0,74	—0,55	—	0,69	0,72	—0,60	—
24	0,99	0,87	0,85	—	—	0,74	0,72	0,58	—	0,84	0,88	0,85	0,78	—0,67	—	0,83	0,81	—	—
25	0,95	0,65	—	—	—	—	—	—	0,53	0,73	—	0,66	—	—	—	0,61	—	—	—

Valeurs limites de r pour 19 degrés de liberté :

NS $r < 0,53$.

5 p. 100 $0,53 \leq r < 0,66$.

1 p. 100 $0,66 \leq r < 0,78$.

1 p. 1 000 non significatif.

cas des variables juvéniles ; cela pourrait être simplement dû au fait que, lors des mesures de terrain, la partie active des tarières, filets et épaulements, se trouvait plutôt dans les cernes 1969 + 1970 + 1971 qui sont beaucoup plus larges que les 3 suivants considérés comme adultes.

Les coefficients de corrélation interprovenance sont moins élevés que dans le cas de l'infradensité ; dans le cas de la densité moyenne adulte de la répétition non élaguée, on a trouvé 0,76 qui est significatif au seuil de 1 p. 100, dans les 3 autres, les coefficients dépassent 0,90, et donc le seuil de signification de 1 p. 1 000.

Les liaisons entre le couple et la densité minimale, la densité maximale ou l'hétérogénéité sont plus faibles ou inexistantes. En particulier, cette dernière caractéristique ne lui est jamais liée, sauf rares exceptions, au niveau intraprovenance.

Les pourcentages de longueur radiale où le bois a une densité égale ou supérieure à 450 grammes/décimètre cube ou 550 grammes/décimètre cube sont relativement bien liés au couple, tant au niveau intraprovenance qu'interprovenance.

Une liaison négative apparaît avec le pourcentage de longueur radiale de densité comprise entre 250 grammes/décimètre cube et 350 grammes/décimètre cube à l'état juvénile. Elle est positive avec les valeurs comprises entre 550 grammes/décimètre cube et 650 grammes/décimètre cube. Cette inversion de signe entre les 2 niveaux de densité semble être logique : une abondance de bois de faible densité va de pair avec une faible résistance à la pénétration de la tarière, donc avec des couples peu élevés ; l'effet est inverse quand la tarière rencontre une forte proportion de bois à forte densité.

Sauf dans le cas des répétitions élaguées à l'état juvénile, le couple n'est en moyenne pas lié aux largeurs de cernes. Toutefois, une tendance négative générale se fait jour et quelques provenances présentent une corrélation intraprovenance significative, soit à l'état élagué, soit à l'état non élagué, la concordance des résultats entre les deux états faisant d'ailleurs défaut dans la plupart des cas. Au niveau interprovenance, la liaison, négative elle aussi, n'apparaît que pour l'état juvénile.

Annexe 2

Pour répondre aux questions que pourrait se poser le lecteur, nous croyons utile de donner quelques précisions sur le sens que nous avons donné aux termes de bois juvénile et bois adulte :

— Dans cet article, « l'évolution des propriétés entre le bois juvénile et le bois adulte » signifie la différence observée entre les propriétés actuelles d'un groupe de cernes anciens, formés lorsque l'arbre était jeune, et un groupe de cernes récents, formés lorsque l'arbre était adulte.

— Bois juvénile : bois formé par une assise génératrice libéro-ligneuse jeune dans une zone du tronc portant des branches vivantes. Le bois juvénile peut être non duraminisé (arbres jeunes) ou duraminisé (bois de cœur des arbres adultes).

— Bois adulte : bois formé par une assise génératrice libéro-ligneuse âgée dans une zone du tronc ne portant plus de branches vivantes. Le bois adulte peut être non duraminisé (aubier) ou duraminisé (bois de cœur des arbres adultes).

Faute de connaissances actuelles plus amples, on fera l'hypothèse que, s'il existe une corrélation entre le bois juvénile duraminisé, comme c'est le cas pour les 3 peuplements âgés, et le bois adulte récent, cette liaison doit encore exister entre le bois juvénile supposé non duraminisé et le bois adulte, soit duraminisé, soit non duraminisé.

La duraminisation entraînée par les modifications de la physiologie des cellules constituant le bois provoque très généralement chez les essences à bois de cœur bien marqué une augmentation de la densité de ce bois.

Notre hypothèse sous-entend que ce phénomène provoque aussi des modifications des caractéristiques mesurées, mais que ces évolutions n'entraînent que des modifications orientées des moyennes des variables observées, comme si, en chaque

point étudié, ne s'ajoutait, pour certaines d'entre elles, ou se retranchait, pour d'autres, qu'une quantité soit constante, soit peut-être augmentant ou diminuant constamment.

De cette façon, des corrélations observées à un certain moment de la vie de l'arbre, le seraient encore à d'autres moments à des stades d'évolution physiologique différente.

A l'appui de cette hypothèse, on peut remarquer que chez les 3 populations âgées, il y a une bonne concordance entre les liaisons trouvées pour la densité moyenne (dm du tabl. 3) et pour l'infradensité. La densité moyenne a été calculée à partir des données densitométriques mesurées sur des échantillons de bois juvénile duraminisé et des échantillons de bois adulte non duraminisé.

L'infradensité, de par la méthode employée, a été mesurée sur les mêmes échantillons intégralement saturés d'eau par ébullition prolongée. Les échantillons de bois juvénile duraminisé ont, de ce fait, perdu en très grande partie les substances qui se déposent dans les cellules lors de la duraminisation, et ne sont donc plus dans le même état que lors de la mesure densitométrique de dm.

— Le même type de corrélation subsistant (tantôt non significative à Saint-Just-d'Avray, tantôt significative à Guebwiller et Moussans) malgré les différences d'états, on peut voir là un résultat qui va dans le sens de notre hypothèse.

Un moyen de progresser dans la connaissance de ce phénomène et de sa répercussion sur l'évolution des liaisons observées ou des classements proposés entre 2 stades serait de sonder, avant le début de la duraminisation, des arbres jeunes formant du bois juvénile, puis de répéter l'opération sur les mêmes individus 10, 20 ans plus tard (ou plus) selon les cas. On pourrait mesurer les caractéristiques de la qualité du bois sur :

- des échantillons de bois juvénile duraminisé (après le 2^e sondage) localisés dans l'arbre au voisinage des premiers sondages.
- des échantillons de bois adulte duraminisé situés entre l'aubier et les échantillons de bois juvénile duraminisé,
- des échantillons de bois adulte non duraminisé, dans l'aubier, à la périphérie des troncs.

Les calculs de corrélation pour chaque caractéristique entre tous ces états permettraient sans doute de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

Sur les 3 peuplements âgés dont il est question ici, nous avons fait des mesures densitométriques sur du bois juvénile duraminisé (les 10 premières années de la vie de l'arbre correspondant aux cernes entourant la moelle) et du bois adulte non duraminisé (les 10 dernières années correspondant aux cernes immédiatement sous l'écorce).

Dans l'expérience de comparaison de provenances, nous avons étudié 3 cernes nettement juvéniles (années 1969 + 1970 + 1971) non duraminisés et 3 cernes non duraminisés (années 1972 + 1973 + 1974) à tendance adulte plus ou moins accentuée suivant que les arbres avaient été ou pas élagués.