



HAL
open science

Contribution à l'étude de la qualité du bois des principales essences résineuses exotiques utilisées dans les reboisements français. Echantillons provenant de l'arboretum de Royat (Puy-de-Dôme)

Hubert Polge

► **To cite this version:**

Hubert Polge. Contribution à l'étude de la qualité du bois des principales essences résineuses exotiques utilisées dans les reboisements français. Echantillons provenant de l'arboretum de Royat (Puy-de-Dôme). *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières*, 1963, 20 (3), pp.403-469. hal-02730577

HAL Id: hal-02730577

<https://hal.inrae.fr/hal-02730577>

Submitted on 3 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contribution
à l'étude de la qualité du bois
des principales
essences résineuses exotiques
utilisées dans les reboisements français

Échantillons
provenant de l'Arboretum de Royat
(Puy-de-Dôme)

PAR

Hubert POLGE

Ingénieur des Eaux et Forêts
4^e Section de la Station de Recherches et Expériences forestières
de Nancy

Dans le cadre de ses recherches actuelles relatives à la valeur technologique des différentes essences de reboisement utilisées en France, la 4^e Section de la Station de Recherches et Expériences Forestières a entrepris une série d'études sur un certain nombre d'espèces résineuses cultivées dans l'Arboretum de Royat (Puy-de-Dôme).

1 — Arboretum de Royat

Installé en 1934, cet arboretum était destiné, dans l'esprit de ses créateurs, à comparer le comportement au point de vue végétation et rapidité de croissance d'un certain nombre d'essences résineuses susceptibles de prospérer dans une vaste région du Massif Central où les conditions de station sont analogues à celles qui se trouvent réalisées à Royat.

Ces conditions sont les suivantes (1) :

11 — *Sol et végétation* :

La roche-mère est de nature granitique ; elle se décompose facilement donnant un sol forestier généralement assez profond. Quelques affleurements rocheux existent cependant dans certains plateaux, alors que d'autres, situés au bas des versants, bénéficient au contraire d'une couche de terre meuble beaucoup plus importante, et d'apports d'éléments fins par suite du phénomène de lessivage des pentes.

Les terrains sur lesquels l'arboretum est installé étaient autrefois occupés par un peuplement de taillis-sous-futaie dépendant de la forêt domaniale de Royat. Les essences principales en étaient le chêne rouvre, les fruitiers et le bouleau, le taillis renfermant pour sa part de nombreux morts-bois et surtout du coudrier. Dans les parties les plus clairiérées apparaissaient la Fougère aigle et même la Callune ; c'est dire que la tendance à l'acidification est assez marquée, et que, par suite, les conditions de sol et de végétation tout en étant assez satisfaisantes ne peuvent cependant pas être considérées comme exceptionnellement favorables à la production ligneuse.

12 — *Altitude et exposition:*

L'altitude moyenne de l'arboretum est de 800 m; elle varie en fait de 715 m à 850 m, ce qui n'est pas sans occasionner certaines difficultés dans l'interprétation des résultats observés, les diverses essences ne se trouvant pas placées dans ces conditions écologiques absolument comparables.

L'arboretum étant installé le long d'une vallée d'orientation générale Nord-Sud, les versants Est et Ouest prédominent largement et se partagent d'une façon à peu près égale l'ensemble des placeaux.

13 — *Climat:*

Il est dans l'ensemble assez rigoureux avec une température moyenne annuelle de 8° (maximum absolu + 38°, minimum absolu - 21°), et une pluviosité moyenne de 856 mm (maximum 1 424 mm, minimum 544 mm); le nombre de jours de gelée est élevé, l'enneigement abondant et durable.

14 — *Constitution des placeaux:*

Les différentes espèces ou provenances expérimentées sont installées par placette d'une surface minimum de 25 ares, sans dispositif de répétition tenant compte des variations de sol, d'altitude ou d'exposition.

Les plantations originelles ont été réalisées à forte densité (4 000 à 6 000 plants par ha), et les regarnis nécessaires ont été scrupuleusement exécutés. Les jeunes plants ont subi une concurrence sévère de la part du taillis, malgré les travaux de dégagements importants et répétés qui ont pu leur être consacrés.

Quant aux premières éclaircies, elles ont le plus souvent été faites assez tard, voire même trop tard, et il est certain que la croissance des peuplements a été gravement affectée par le nombre excessif des tiges maintenues sur pied jusqu'à une époque très récente.

2 — **Recherches entreprises par la 4^e Section**

21 — *Généralités:*

211 — *Essences étudiées:*

Les études de propriétés physiques ou mécaniques se sont limitées en principe aux essences ayant atteint un âge suffisant pour que les tiges ne soient pas constituées à hauteur d'homme uniquement de bois juvénile dont les caractéristiques sont, le fait est bien connu maintenant (2), absolument différentes de celles du bois adulte de la même essence.

En outre, pour pouvoir éventuellement calculer un rendement en tonnes de matière sèche par ha et par an à partir de la production

apparente exprimée en m³ par ha et par an, ont été retenues en priorité les sept espèces *Pseudotsuga douglasii*, *Abies grandis*, *Larix europaea*, *Larix leptolepis*, *Abies nordmanniana*, *Tsuga heterophylla* et *Chamaecyparis lawsoniana*, pour lesquelles des calculs précis de production en volume ont déjà été réalisés par la 1^{re} Section de la Station de Recherches et Expériences Forestières, calculs dont J. PARDÉ a bien voulu nous communiquer les résultats, bien que ceux-ci n'aient pas encore été publiés jusqu'ici. Y ont été ajoutées deux espèces, *Picea sitchensis* et *Pinus ponderosa*, ayant une croissance diamétrale suffisante mais représentées par un nombre total de tiges trop faible pour permettre l'assiette d'une placette de production réglementaire.

Enfin, une autre espèce, *Pinus contorta*, a été adjointe à cette liste à la demande de la 3^e Section (amélioration des arbres forestiers) qui désirait connaître les différences au point de vue de la qualité du bois entre deux provenances, originaires toutes deux de forêts situées dans l'Etat d'Orégon, mais à des altitudes différentes (400 m pour l'une, 1 200 m pour l'autre). Ces deux provenances sont désignées ci-dessous par les références respectives de *Pinus contorta I* et de *Pinus contorta N*.

Il est à noter que le mélèze d'Europe, bien que n'étant pas à proprement parler une essence exotique, a été inclus dans le cadre de cette étude car il s'agit d'une espèce assez largement utilisée en dehors de son aire naturelle, et aussi pour permettre d'utiles comparaisons avec le mélèze du Japon.

Les placeaux des diverses essences étaient uniformément âgés, lors des prélèvements, de 29 ans (plantation exécutée en printemps 1934), à la seule exception de *Pinus contorta I* âgés de 25 ans et de *Pinus contorta N* âgés de 26 ans.

212 — Matériel utilisé et échantillonnage:

En règle générale, les études auxquelles il a été procédé ont été faites sur « carottes » prélevées à la tarière de Pressler de 5,5 mm, suivant une méthode déjà exposée (3). Le but essentiel des recherches entreprises étant d'aboutir à des comparaisons inter-spécifiques, il n'a été pris qu'un échantillon par arbre, échantillon prélevé à hauteur d'homme du côté amont.

Dans les placettes de production de la 1^{re} Section dont les arbres sont numérotés, l'échantillonnage a porté sur tous les individus dont le numéro se terminait par un même chiffre, sans cependant dépasser 100 sondages par essence. Pour l'Épicéa de Sitka et pour *Pinus ponderosa*, les prélèvements ont été effectués sur la totalité des arbres restant dans les placeaux. Pour *Pinus contorta I*, une petite placette temporaire de 15 m sur 13,60 m a été assise dans laquelle

tous les arbres ont été sondés ; pour *Pinus contorta* N, l'échantillonnage a porté sur tous les arbres d'une même ligne perpendiculaire à une courbe de niveau.

Le tableau n° 1 suivant donne la situation des placettes et le nombre d'échantillons pour les différentes essences étudiées :

Essence	Situation de la placette			Nombre d'échantillons
	altitude maximum	altitude minimum	Versant	
<i>Pseudotsuga douglasii</i>	785 m	755	Ouest	100
<i>Abies grandis</i>	795	765	Ouest	100
<i>Larix europeae</i>	810	790	Est	83
<i>Larix leptolepis</i>	790	765	Est	75
<i>Abies nordmanniana</i>	820	785	Est	100
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	805	775	Ouest	80
<i>Tsuga heterophylla</i>	825	805	Ouest	80
<i>Picea sitchensis</i>	745	735	Ouest	33
<i>Pinus ponderosa</i>	745	735	Ouest	73
<i>Pinus contorta</i> I	790	785	Est	77
<i>Pinus contorta</i> N	790	780	Est	49

TABLEAU I

213 — Principales caractéristiques analysées :

Les recherches effectuées ont porté, pour l'ensemble des essences, sur :

- la rapidité de croissance :
 - ⇒ âge à hauteur d'homme qui, comparé avec le nombre d'années calculé depuis la plantation, permet d'apprécier la rapidité de démarrage.
 - ⇒ largeur moyenne des cernes,
 - ⇒ variation de la largeur individuelle des cernes suivant l'éloignement de la moelle.
- la dureté mesurée au torsiomètre.
- la densité du bois :
 - ⇒ densité globale des « carottes »,
 - ⇒ variation de la densité suivant l'âge des cernes,
 - ⇒ densité moyenne à hauteur d'homme,
 - ⇒ ordre de grandeur de la production en tonnes de matière sèche par ha et par an.
- le rendement en fibres.
- la rétractibilité du bois.

Un certain nombre d'études de corrélation ont également été entreprises :

- corrélation densité - largeur moyenne des cerne,
- corrélation densité - dureté,
- corrélation retrait radial - largeur moyenne des cerne,
- corrélation densité - rendement en fibres.

Enfin, il sera rendu compte de quelques essais mécaniques réalisés, soit sur bois ronds, soit sur éprouvettes normalisées sur des échantillons enlevés en éclaircie dans l'Arboretum de Royat, en automne 1960.

Dans une dernière partie, un essai de synthèse sera effectué, tendant à fournir une appréciation d'ensemble de la valeur technologique des diverses essences.

22 — *Rapacité de croissance:*

Le tableau n° 2 ci-après rassemble les divers éléments permettant d'apprécier le comportement au point de vue croissance des différentes espèces étudiées.

Essence	Age	Nb. cerne à hauteur d'homme	Nb. années de démarriage	Dimensions moyennes pour l'ensemble des placettes		actuelles	Largeur moyenne des cerne	Production apparente en m ³ /ha/ an (a)
				Circonf. mesurée (a)	Diamètre correspdt (a)	pour l'échan- tillonnage		
<i>Pseudotsuga douglasii</i>	29	25	4	64	20,4	21,1	4,08	14,6
<i>Abies grandis</i>	29	23	6	52	16,6	16,6	3,77	13,3
<i>Larix europaeae</i>	29	24	5	63	20,0	20,0	3,57	9,6
<i>Larix leptolepis</i>	29	24	5	72	22,9	22,3	4,32	12,7
<i>Tsuga heterophylla</i>	29	19	10	51	16,2	15,8	3,76	8,9
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	29	24	5	52	16,6	16,6	3,19	9,0
<i>Abies nordmanniana</i>	29	22	7	55	17,5	17,5	2,99	7,9
<i>Pinus contorta</i> I	25	16	9			10,0	2,81	
<i>Pinus ponderosa</i>	29	21	8			19,5	3,76	
<i>Pinus contorta</i> N	26	21	5			15,8	3,29	
<i>Picea sitchensis</i>	29	21	8			14,4	2,85	

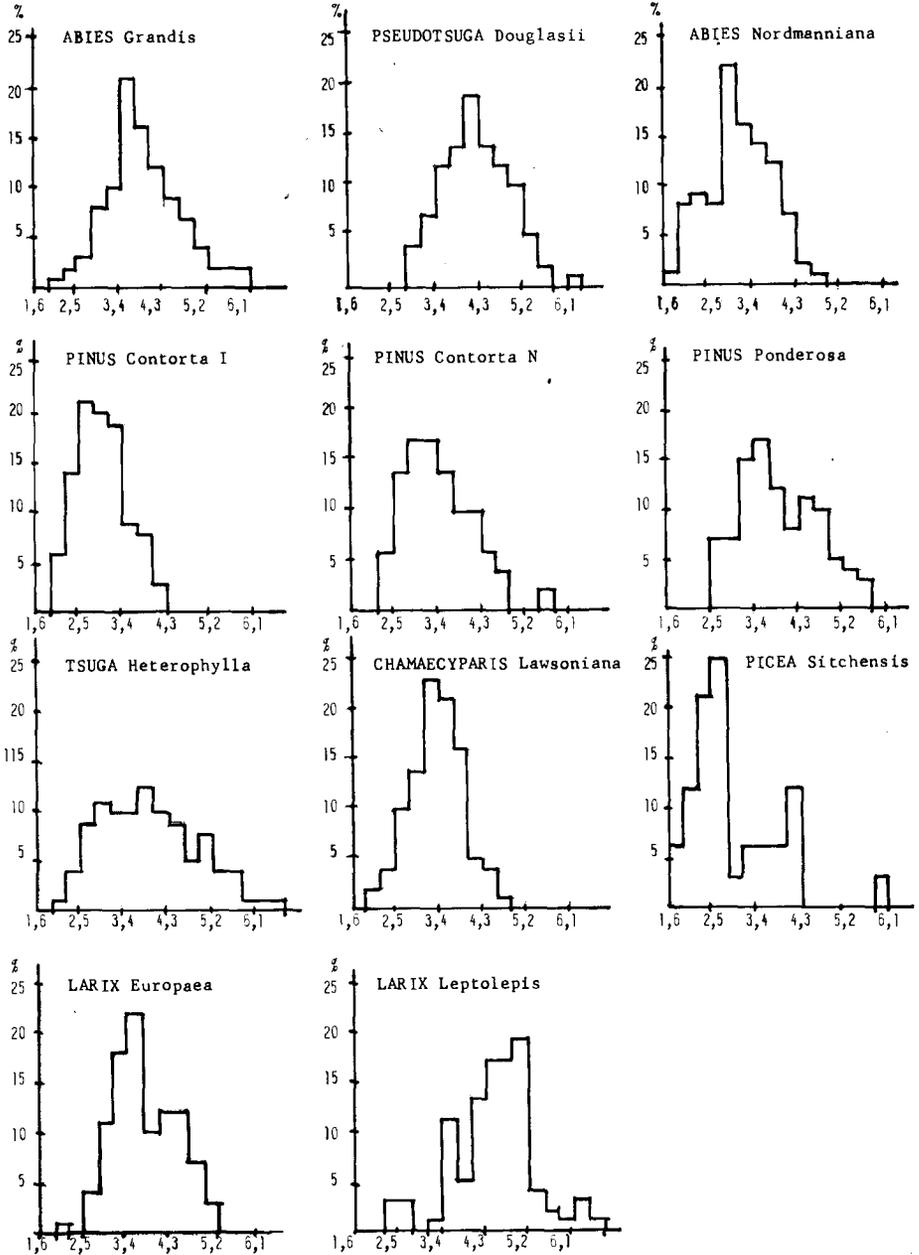
TABLEAU II

221 — *Observations générales:*

La référence (a) s'applique à des chiffres établis et communiqués par la 1^{re} Section.

Une bonne concordance peut être observée entre le diamètre calculé à partir des circonférences mesurées par celle-ci pour l'intégra-

GRAPHIQUE N° 1

HISTOGRAMMES DES FRÉQUENCES
DES LARGEURS DE CERNES

lité des placeaux et le diamètre trouvé pour les seuls arbres sur lesquels des prélèvements ont été effectués, puisqu'on relève des chiffres identiques pour quatre essences, l'écart maximum constaté pour les autres ne dépassant pas 3 %. Cette bonne concordance tend à prouver que l'échantillonnage réalisé est vraiment représentatif de l'ensemble des placettes.

222 — *Vitesse de démarrage des plants:*

Elle a été estimée d'après le nombre d'années mis par eux pour atteindre la hauteur de 1,30 m (différence entre le temps écoulé depuis la plantation et le nombre de cernes à hauteur d'homme), la taille originelle des plants des diverses essences étant supposée identique.

Il ne s'agit que d'un ordre de grandeur, ce nombre de cernes n'ayant été compté que sur une partie seulement de l'échantillonnage (« carottes » parfaitement radiales notamment). En supposant que la concurrence du taillis se soit exercée d'une façon uniforme dans les divers placeaux, on se rend compte que certaines espèces ont végété assez longtemps à l'état de semis, et notamment le *Tsuga* (ce qui explique sans doute en partie son retard au point de vue production volumétrique apparente), tandis que d'autres, comme le Douglas, ne mettraient que 4 ans pour atteindre la hauteur de 1,30 m.

Les années de démarrage ainsi évaluées sont susceptibles de fournir d'utiles indications aux reboiseurs puisqu'elles permettent de prévoir dans une certaine mesure l'importance des travaux de dégagements à réaliser avant la réussite définitive d'une plantation.

223 — *Largeur moyenne des cernes:*

Le nombre total de cernes a été calculé sur radiographies pour chaque « carotte » et rapporté à la longueur de celles-ci à l'état sec à l'air. S'agissant de mesures comparatives, il n'a pas été tenu compte du retrait radial entre l'état saturé et l'état sec à l'air; il est bien évident que ce retrait devrait être pris en considération si l'on désirait aboutir à des largeurs de cernes exactes en valeur absolue.

Les largeurs individuelles moyennes trouvées ont servi à établir le graphique n° 1 ci-contre, indiquant la fréquence des différentes classes de largeurs groupées de 3 en 3 dixièmes de mm. La dispersion plus ou moins grande de ces histogrammes rend compte dans une certaine mesure de la façon dont les différentes essences réagissent à la concurrence vitale des graphiques relativement resserrés, tels que ceux du Douglas ou du *Chamaecyparis*, traduisant une certaine aptitude à supporter une densité élevée sans produire pour autant des cernes exceptionnellement fins. Quant aux moyennes générales par essence portées dans la colonne n° 8 du tableau n° 2, elles fournissent une indication globale de la vitesse de crois-

sance des différentes essences depuis le moment où elles ont atteint la hauteur de prélèvement de 1,30 m.

On peut d'ailleurs constater qu'il n'y a pas toujours une corrélation étroite entre la vitesse de démarrage des semis et la vitesse de croissance ainsi mesurée: le Tsuga par exemple présente des cernes sensiblement plus larges que le Chamaecyparis qui, cependant, avait mis deux fois moins de temps pour atteindre la hauteur de 1,30 m. De même, les deux mélèzes qui, au début, avaient poussé à la même vitesse, se sont par la suite comportés de façon bien différente, puisque la largeur moyenne des cernes du Mélèze du Japon est supérieure d'environ 20 % à celle du Mélèze d'Europe.

224 — *Variation de la largeur individuelle des cernes suivant l'éloignement de la moelle:*

Les largeurs individuelles des 20 premiers cernes à partir de la moelle ont été mesurées sur radiographies pour un certain nombre d'échantillons. Les chiffres moyens trouvés sont rapportés sur le tableau comparatif n° 3 ci-dessous en même temps que la largeur moyenne de ces 20 cernes pour chaque essence.

N°	Largeur des cernes en millimètres										
	Douglas	Grandis	Mélèze d'Europe	Mélèze du Japon	Tsuga heterophylla	Cyprès de Lawson	Nordmann	Pinus Contorta I	Pinus Ponderosa	Pinus Contorta N	Sitka
1	2,68	3,50	3,68	3,84	5,32	2,94	5,55	3,85	3,95	4,19	3,30
2	4,82	3,35	5,47	6,12	4,21	3,94	4,86	4,72	4,45	5,10	2,52
3	5,91	4,43	5,83	7,80	5,09	4,44	4,07	5,00	5,16	6,30	3,27
4	5,62	4,14	4,62	6,68	4,58	4,24	3,97	4,76	5,32	5,38	4,45
5	5,14	4,05	4,05	6,48	4,78	4,04	3,94	3,74	5,04	5,00	4,10
6	4,67	4,26	3,85	6,72	5,09	3,92	4,31	4,21	5,20	5,38	4,27
7	5,14	4,44	4,16	6,08	4,82	3,44	3,83	3,74	5,20	5,12	4,18
8	4,70	4,68	4,39	5,32	4,77	3,96	3,45	3,55	4,76	4,53	4,36
9	4,18	4,82	4,85	5,24	4,75	4,04	3,34	3,17	4,68	3,41	3,82
10	4,20	4,43	4,58	5,00	4,21	3,88	3,75	2,35	3,96	3,21	4,00
11	3,97	4,15	3,95	4,00	4,27	3,64	4,05	2,12	4,16	3,76	4,09
12	3,31	4,70	4,03	3,36	4,18	4,00	3,55	1,65	4,16	3,21	2,94
13	3,48	4,45	3,62	3,36	3,89	3,76	3,15	1,50	3,76	2,82	3,40
14	3,61	3,90	3,63	3,44	4,07	4,12	2,74	1,59	3,56	2,68	3,65
15	3,12	3,71	3,10	2,96	3,66	3,56	2,57	1,37	3,28	2,41	3,40
16	2,93	3,46	2,93	2,40	3,74	3,92	2,98	1,55	3,28	2,18	3,30
17	3,03	3,33	2,87	2,56	3,95	3,20	2,96	1,36	3,04	1,97	3,25
18	2,70	3,07	3,27	2,64	3,71	3,44	2,76	1,35	2,92	2,28	3,10
19	2,71	2,96	2,79	2,68	3,42	2,72	2,85	1,40	2,76	2,50	3,60
20	2,65	2,81	2,67	2,61	3,21	2,80	3,36	1,50	2,48	2,41	3,00
Larg. moyen	3,93	3,88	3,92	4,46	4,29	3,70	3,60	2,77	4,05	3,69	3,59

TABLEAU III

Cette largeur moyenne diffère quelquefois assez sensiblement de celle indiquée au tableau n° 2 pour l'ensemble des « carottes » du fait qu'elle a été obtenue à partir d'un échantillonnage restreint d'une part, et du fait aussi que, pour certaines espèces, les individus ayant 20 cernes ou plus à hauteur d'homme constituent déjà une sélection, ce qui se traduit le plus souvent par une largeur moyenne supérieure.

Ces variations de la largeur individuelle des cernes sont reproduites sur le graphique n° 2 ci-après, sur lequel on peut faire les constatations suivantes :

a) la décroissance de la largeur des cernes suivant l'éloignement de la moelle est générale, et son importance, compte tenu du jeune âge des plantations, doit, semble-t-il être attribuée aux défauts ou à l'insuffisance des éclaircies réalisées dans les placeaux.

b) deux essences se distinguent particulièrement de l'ensemble des autres :

le mélèze du Japon qui, tout au moins dans son jeune âge, a bénéficié d'une pousse plus rapide,

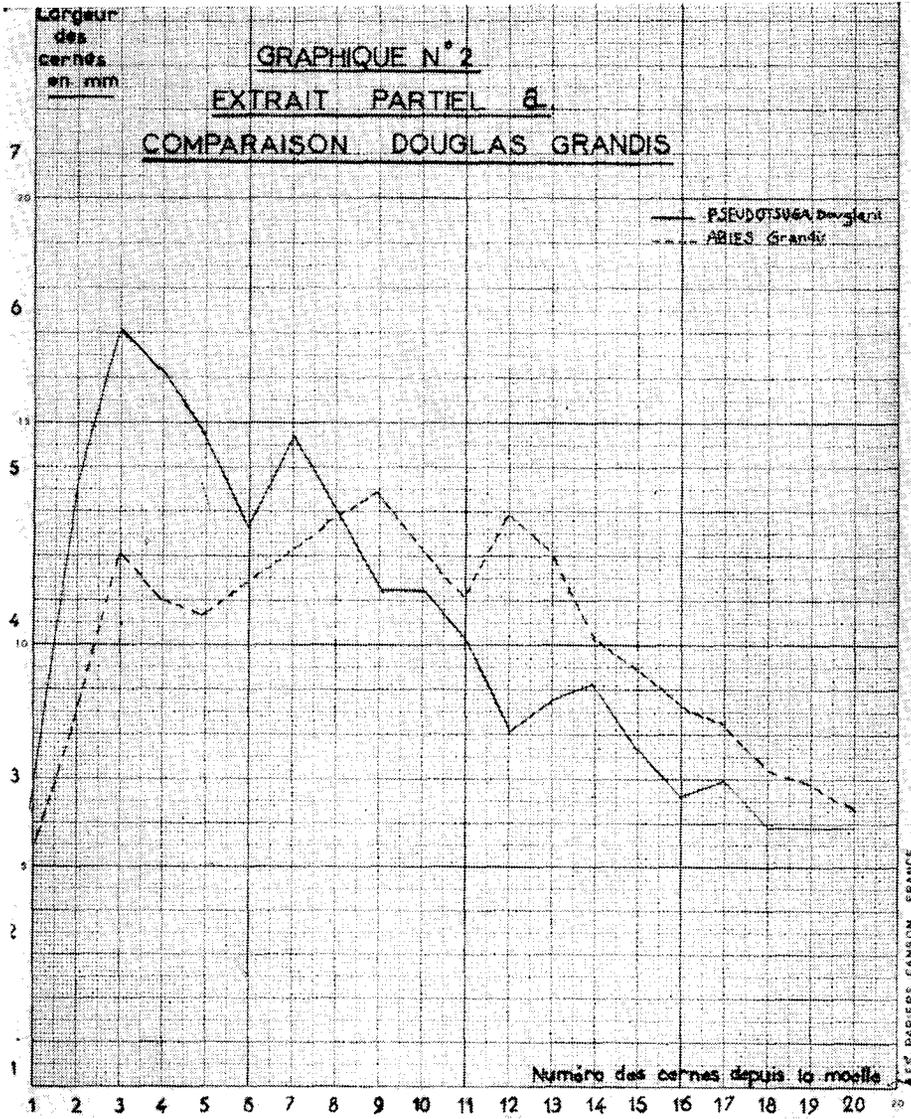
le *Pinus contorta* I qui a suivi le peloton dans les premières années, mais s'est ensuite nettement singularisé par une croissance extrêmement ralentie.

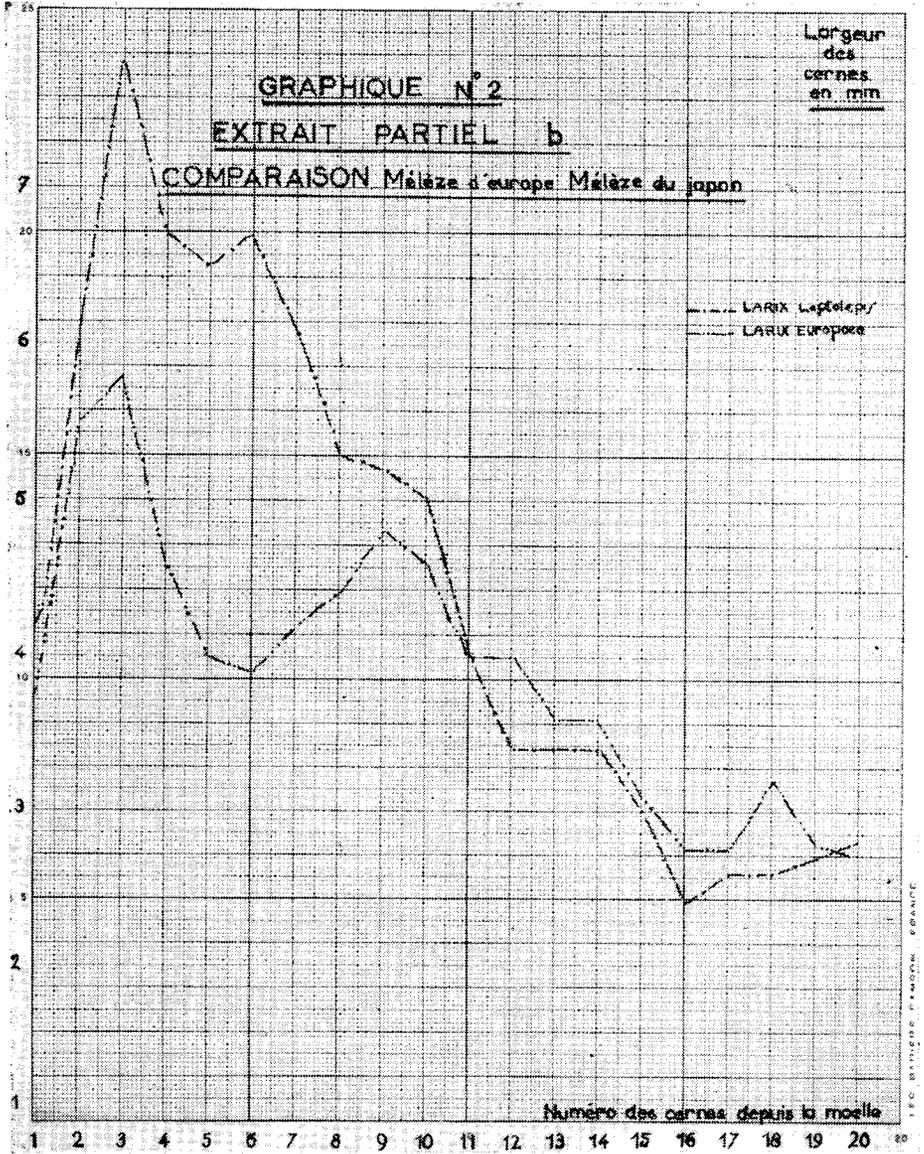
c) le Contorta I mis à part, l'éventail des largeurs de cernes va en se resserrant, puisque, pour les cernes n° 19 et 20, moins de 1 mm sépare l'essence à croissance la plus rapide de celle qui a poussé le moins vigoureusement. On peut penser que l'insuffisance des éclaircies précoces doit être responsable, en partie tout au moins, de cette tendance vers une égalisation des accroissements annuels.

d) certaines essences au démarrage assez lent, ou dont la production volumétrique calculée jusqu'ici est relativement faible (Tsu-ga et Sitka principalement, Nordmann dans une moindre mesure), paraissent susceptibles de réduire ce handicap, puisqu'elles se classent en tête pour la largeur des cernes les plus périphériques.

e) Douglas et Grandis, qui sont maintenant très près l'un de l'autre au point de vue accroissements en diamètre, ont dans l'ensemble évolué au sens opposé (croissance plus rapide pour le premier dans le jeune âge, le second prenant l'avantage à partir du cerne n° 9, voir extrait partiel a).

f) le Mélèze du Japon qui a bénéficié longtemps d'une pousse excessivement rapide a tendance à s'essouffler, la largeur moyenne de ses accroissements annuels étant nettement tombée depuis le cerne n° 10 au-dessous de celle du Mélèze d'Europe (voir extrait partiel b).





23 — *Dureté*:

Elle a été mesurée au torsiomètre sur tous les arbres de l'échantillonnage, suivant une méthode mise au point en vue d'apprécier la valeur technologique des hêtres sur pied (3).

Il était intéressant d'expérimenter la même méthode sur les résineux exotiques de l'Arboretum de Royat pour mettre éventuellement en évidence des différences de dureté suivant les essences, et surtout pour voir si l'on retrouvait, pour tout ou partie d'entre elles, la corrélation étroite entre la densité et la dureté qui avait été observée sur le hêtre.

Le graphique n° 3 ci-après groupe les histogrammes de fréquence des couples de torsion pour l'ensemble des essences étudiées.

En outre, sur le tableau n° 4 ci-dessous, sont indiquées pour chaque échantillonnage les valeurs moyennes, maximales et minimales, des couples de torsion relevés.

Essence	Couple de torsion en cm.kg			Essence	Couple de torsion en cm.kg		
	moy.	max.	min.		moy.	max.	min.
Douglas	235	325	200	Nordmann	210	275	150
Grandis	178	250	125	Pinus Contorta I	177	250	125
Mélèze d'Europe	190	250	150	Pinus Ponderosa	186	275	150
Mélèze du Japon	204	250	150	Pinus Contorta N	182	250	125
Tsuga	244	350	200	Sitka	219	300	150
Cyprès de Lawson	233	350	150				

TABLEAU IV

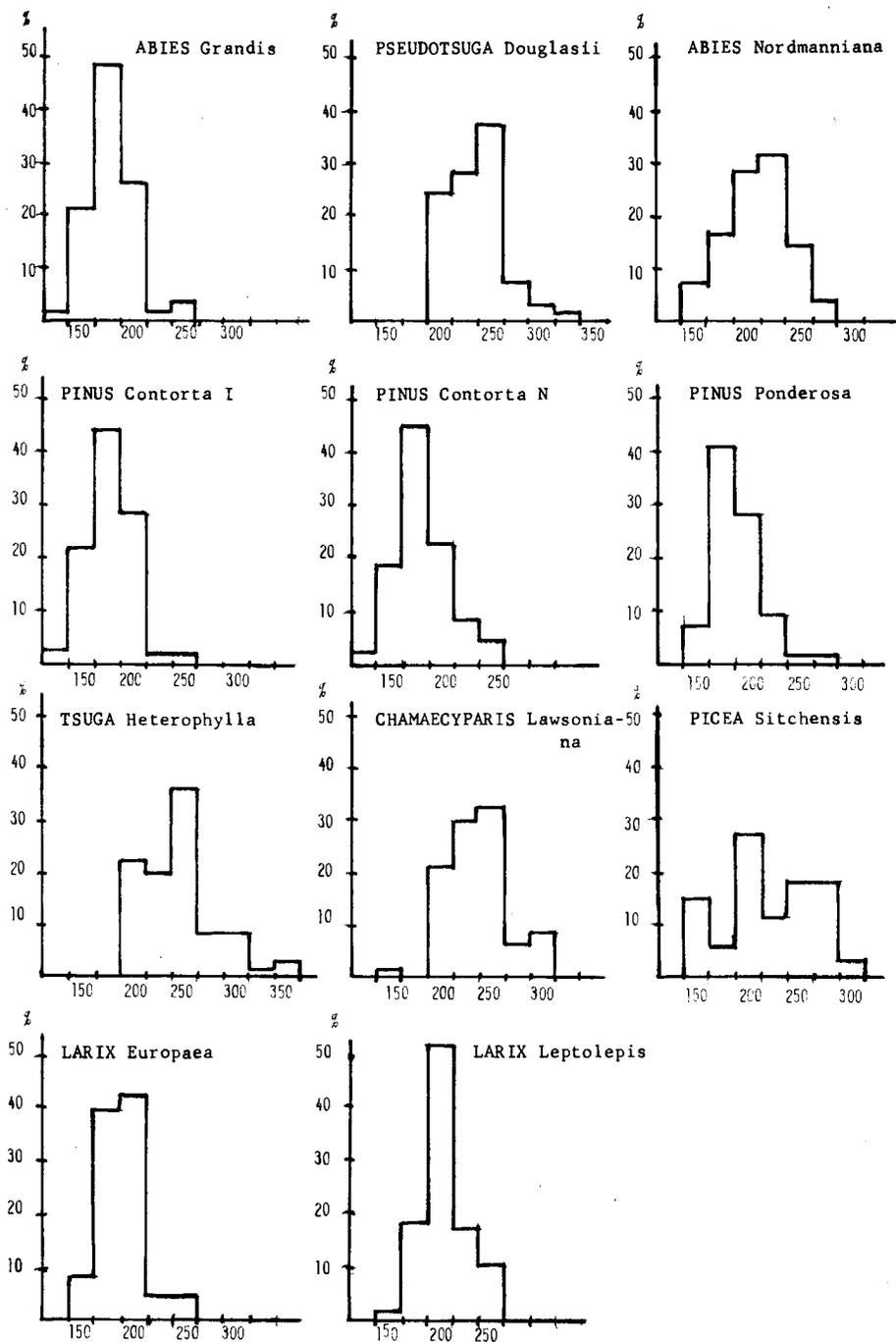
La variabilité d'une espèce à l'autre apparaît comme étant importante. Trois essences : le Tsuga, le Douglas et le Chamaecyparis se distinguent par une dureté élevée, on les trouvera également dans le peloton de tête pour les densités ; de même, les deux échantillonnages dont le couple moyen est le plus faible, à savoir le Grandis et le Contorta I seront également les deux derniers au point de vue densité.

24 — *Densité*:241 — *Densité globale par « carotte »*:

Elles ont été déterminées pour tous les échantillons, sous forme d'infradensités (rapport du poids anhydre P_0 au volume saturé V_s), caractéristiques physiques de plus en plus utilisées à l'échelon international, de préférence à la densité anhydre ou à la densité au degré d'humidité 15 % par exemple, en raison du fait que pour un échantillon déterminé, le volume saturé correspond à une donnée rigoureusement constante, ce qui est loin d'être le cas pour le volume anhydre ou le volume à 15 % d'humidité.

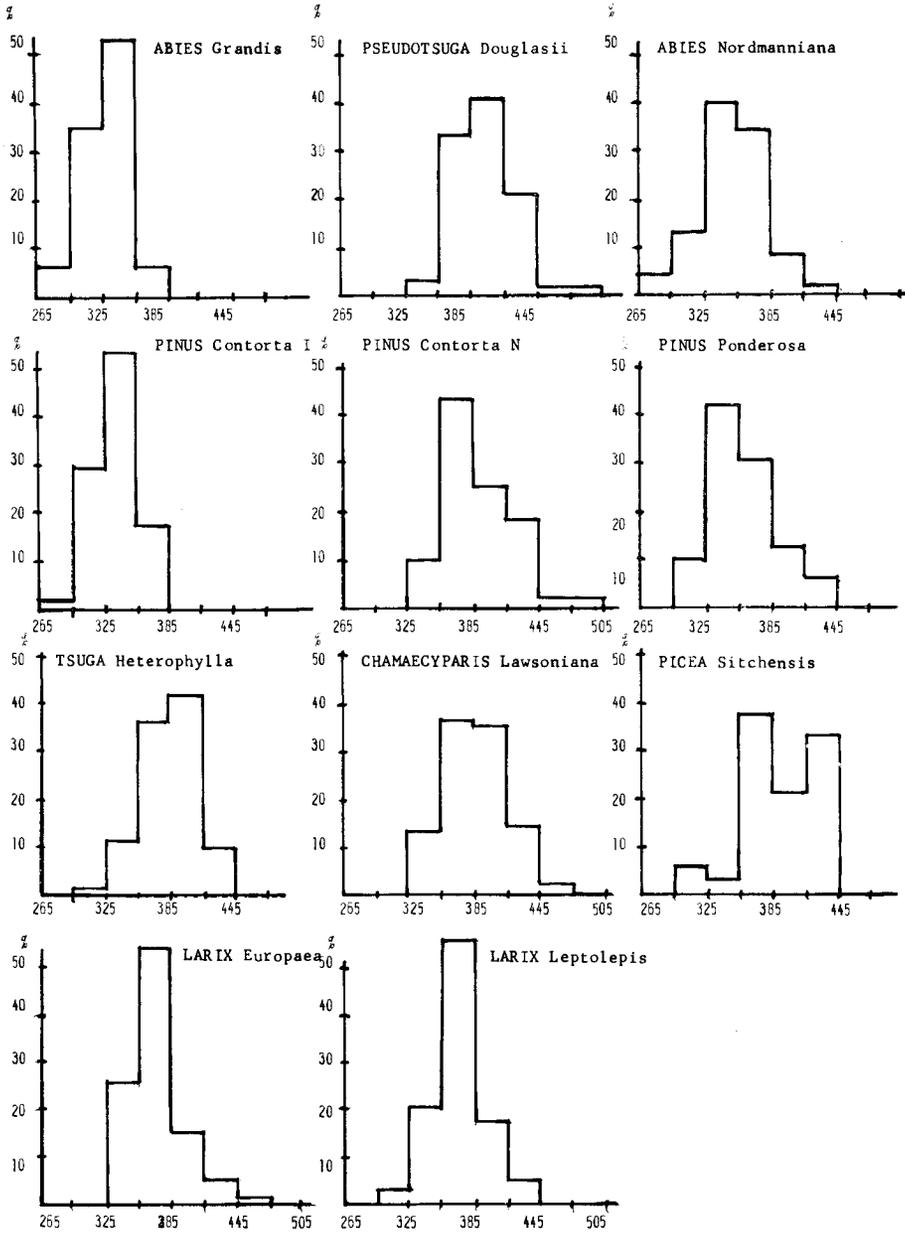
Le graphique n° 4 ci-après rassemble les histogrammes de fréquence des densités pour l'ensemble des échantillons de diverses

GRAPHIQUE N° 3



HISTOGRAMMES DES FRÉQUENCES
Couples de torsion à la tarière (en cm. kg)

GRAPHIQUE N° 4



HISTOGRAMMES DES FRÉQUENCES
Infra-densités (en gr/dm³)

essences. Quant aux valeurs maximales, minimales et moyennes de chaque lot, elles sont indiquées au tableau n° 5 ci-dessous :

Essence	Densité en g/dm ³			Essence	Densité en g/dm ³		
	moy.	max.	min.		moy.	max.	min.
Douglas	395	500	350	Nordmann	348	425	279
Grandis	328	376	269	Contorta I	336	381	281
Mélèze d'Europe	371	456	329	Ponderosa	359	444	306
Mélèze du Japon	371	421	319	Contorta N	389	477	330
Tsuga	383	433	324	Sitka	391	440	315
Cyprès de Lawson	387	464	335				

TABLEAU V

Ces densités globales par « carotte » fournissent en première analyse d'utiles indications sur la valeur technologique relative des différentes espèces ou provenances ; mais il convient de vérifier cependant si la hiérarchie ainsi trouvée demeure la même lorsque l'on passe de cette densité globale à la densité moyenne à hauteur d'homme. Dans une « carotte » en effet, cerne centraux et cerne périphériques sont représentés à largeur égale par des volumes identiques, or, dans la réalité, les premiers occupent, même en tenant compte des variations de largeur signalées plus haut, des volumes très inférieurs aux seconds par suite de l'augmentation de longueur de l'assise génératrice.

Il est donc nécessaire de calculer de nouvelles valeurs de densités moyennes à 1,30 m, tenant compte des densités propres des différents cerne successifs et des surfaces respectives qu'ils occupent dans une section à hauteur d'homme.

242 — *Variations de densité le long d'un échantillon radial :*

2421 — *Mode opératoire :*

24 211 — *Difficultés d'application des méthodes traditionnelles :*

La détermination précise de la densité à l'échelle du cerne sur une « carotte » de 5,5 mm de diamètre n'est pas sans poser quelques problèmes en raison des faibles dimensions de chaque échantillon ; des erreurs relativement importantes sont notamment à redouter dans les calculs de volumes si l'on a recours aux méthodes traditionnelles (volumétre, picnomètre, calculs géométriques).

Ces difficultés nous ont amenés d'une part à procéder à des déterminations de densités deux cerne par deux cerne, d'autre part, à utiliser pour ce faire une nouvelle méthode, dite méthode de la saturation intégrale (en anglais, maximum moisture content) qui, sauf erreur, n'a pas été utilisée en France jusqu'ici et présente l'avantage de ne faire appel qu'à des opérations de pesée.

24 212 — La méthode de la saturation intégrale :

Cette méthode, découverte par KEYLWERTH en 1954 (4) et maintenant largement utilisée notamment par l'U.S. Forest Products Laboratory (5), est basée sur le fait que la matière ligneuse proprement dite a une densité à peu près constante et égale à 1,53, ainsi que l'avait mis en évidence STAMM dès 1929 (6). Elle permet d'obte-

nir directement l'infra-densité $\frac{P_o}{V_s}$ à l'aide de la formule suivante dans laquelle H max. représente le taux d'humidité maximum à saturation intégrale:

$$\frac{P_o}{V_s} = \frac{1}{H \text{ max.} + 0,653}$$

Nous préférons quant à nous utiliser une formule dérivée de celle-ci, mais faisant intervenir directement les deux valeurs mesurées, c'est-à-dire le poids maximum de l'échantillon à saturation intégrale: P. max. et le poids anhydre P_o :

$$\frac{P_o}{V_s} = \frac{1}{\frac{P \text{ max.} - P_o}{P_o} + 0,347}$$

Cette formule peut aisément se démontrer comme suit:

Le volume saturé V_s dans le cas de saturation intégrale est égal au volume de la matière ligneuse (V_{ml}) augmenté du volume occupé par l'eau, lui-même égal au poids d'eau contenu, c'est-à-dire: $P_{max.} - P_o$:

$$\frac{P_o}{V_s} = \frac{P_o}{V_{ml} + P_{max.} - P_o} \quad \text{Or, } V_{ml} = \frac{P_o}{1,53}, \text{ d'où:}$$

$$\frac{P_o}{V_s} = \frac{P_o}{P_o \left(\frac{1}{1,53} - 1 \right) + P_{max.}} = \frac{P_{max.}}{P_o} - 0,347$$

Deux méthodes ont été préconisées pour obtenir la saturation maximale: la méthode originale de KEYLWERTH qui nécessite une cuisson d'une durée minimum de 15 à 20 heures, pouvant entraîner une certaine perte de poids par solubilisation dans l'eau bouillante, et la méthode de l'U.S. Forest Products Laboratory, dans laquelle on utilise des échantillons verts portés avant toute déshydration — 0,347

dans une fiole à vide remplie d'eau distillée où elle séjourne quatre à cinq jours. Cette dernière méthode a l'avantage de réduire considérablement les risques de solubilisation, mais elle est relativement longue et est difficilement utilisable avec des « carottes » ayant séché plus ou moins longtemps à l'air libre.

24 213 — Variante de la méthode de saturation intégrale:

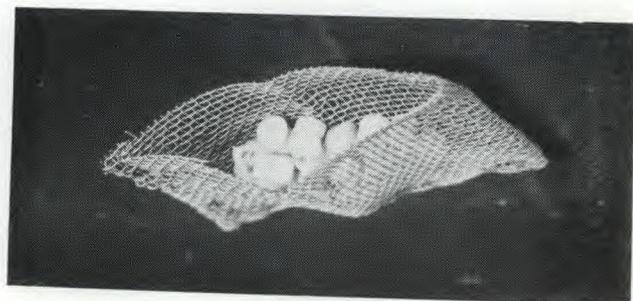
La 4^e Section de la Station de Recherches Forestières s'est pour sa part attachée à voir si la méthode KEYLWERTH était applicable à des échantillons prélevés à la carrière de Pressler et, dans l'affirmative, à déterminer les modifications ou simplifications susceptibles de lui être appliquées compte tenu notamment de la morphologie très particulière de ces échantillons. Dans une « carotte » en effet, le fil du bois, qui correspond à la direction des tissus conducteurs ou des éléments de soutien, se trouve tranché sur toute la longueur du prélèvement, en sorte que la pénétration par l'eau est grandement facilitée par rapport à d'autres échantillons de dimension axiale plus importante.

Par ailleurs, on peut penser que toute dépression provoquée à l'intérieur du bois, notamment celle consécutive à un refroidissement du bain, peut également faciliter la saturation désirée.

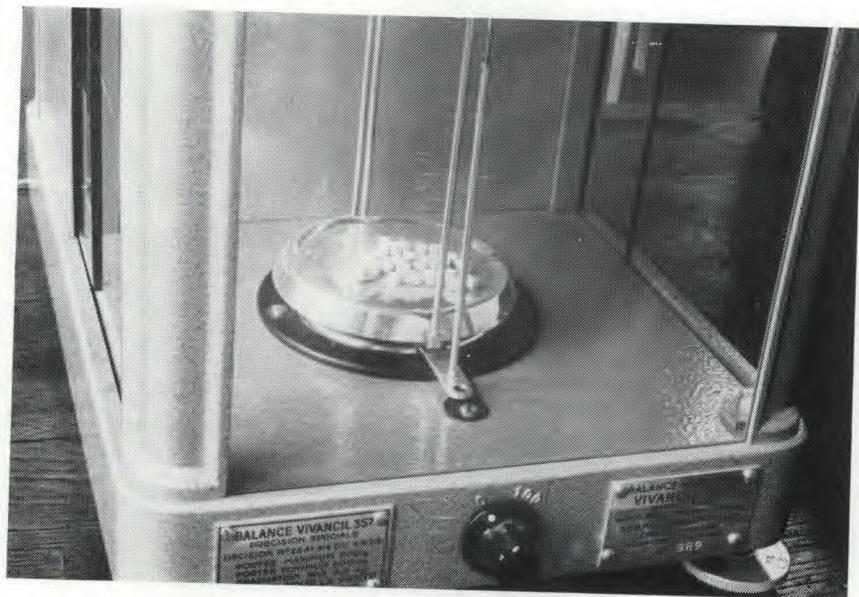
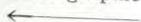
Ces deux considérations nous ont amenés à étudier les effets d'une série d'ébullitions et de refroidissements de durée variable. Les expériences réalisées à cet effet ont été très nombreuses et leurs résultats ont été concordants quelle que soit l'essence utilisée. Le tableau n° 6 ci-dessous donne les résultats d'une de ces expériences

Référence	Opérations réalisées	Poids final
A	2 Eb	89,1 %
B	2 Eb + 12 Rf	100,0 %
C	2 Eb + 12 Rf + 1 Eb	94,7 %
D	2 Eb + 12 Rf + 2 Eb	95,0 %
E	2 Eb + 12 Rf + 3 Eb	93,8 %
F	2 Eb + 12 Rf + 6 Eb	93,9 %
G	2 Eb + 12 Rf + 7 Eb	94,5 %
H	2 Eb + 12 Rf + 8 Eb	94,8 %
I	2 Eb + 12 Rf + 9 Eb	94,5 %
J	2 Eb + 12 Rf + 9 Eb + 14 Rf	100,1 %
K	2 Eb + 12 Rf + 9 Eb + 14 Rf	99,1 %
L	2 Eb + 12 Rf + 9 Eb + 14 Rf + 3 Eb	96,1 %
M	2 Eb + 12 Rf + 9 Eb + 14 Rf + 3 Eb + 44 Rf	99,6 %
N	2 Eb + 12 Rf + 9 Eb + 14 Rf + 3 Eb + 44 Rf + 9 Eb	93,4 %
O	2 Eb + 12 Rf + 9 Eb + 14 Rf + 3 Eb + 44 Rf + 9 Eb + 14 Rf	99,4 %

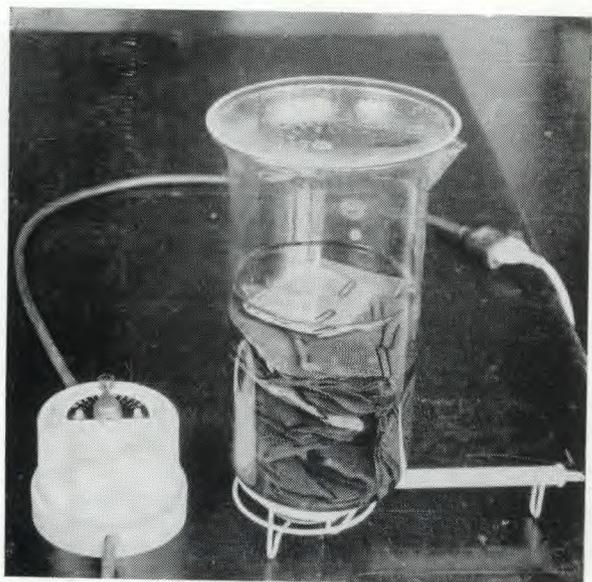
TABLEAU VI



Photographie n° 1



↑
Photographie n° 2



Photographie n° 3



réalisée sur *Picea excelsa*. Dans ce tableau, Eb. signifie ébullition et Rf. refroidissement, et les chiffres portés avant chacune de ces abréviations indique la durée en heures des opérations correspondantes. Les pourcentages figurant en bout de ligne indiquent le poids de l'échantillon à la fin de ces opérations rapporté au poids obtenu après l'opération B pris comme poids de référence.

Ce tableau appelle les commentaires suivants :

— mis à part le poids de 100,1 % obtenu au terme de l'opération J, le poids maximum a été atteint après 2 heures d'ébullition suivie de 12 heures de refroidissement; l'augmentation de 0,1 % consécutive à l'opération J étant pratiquement négligeable et pouvant avoir été occasionnée par une simple erreur de mesure, l'opération B a été adoptée comme référence 100 %.

— jamais le poids maximum n'a été atteint au terme des opérations K et suivantes, ce qui tendrait à indiquer que de trop longues ébullitions amènent bien un départ plus ou moins important d'éléments solubles.

— tous les maxima relatifs se situent à la fin d'une période de refroidissement, en partie sans doute en raison du fait qu'un échantillon sortant de l'eau bouillante doit perdre du poids par évaporation quelle que soit la rapidité de pesée, ceci indépendamment de l'influence de la chaleur dégagée sur l'équilibre de la balance de précision utilisée.

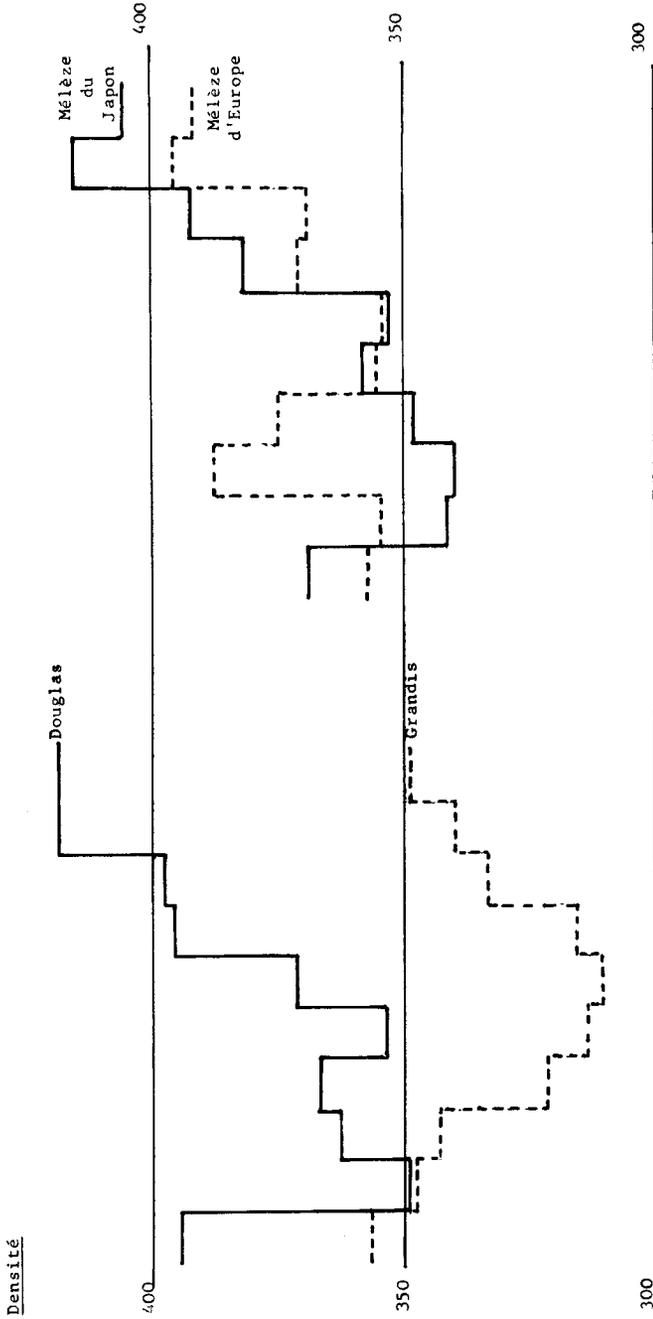
A la suite de ces constatations, sont considérés comme poids maximum par la 4^e Section, les poids obtenus après deux heures d'ébullition suivis de 12 heures de refroidissement. De nombreuses vérifications ont été faites avec d'autres méthodes: calcul géométrique du volume saturé des « carottes », utilisation d'un picnomètre spécial de forme cylindrique et de volume très légèrement supérieur à celui des échantillons prélevés à la tarière de Pressler (pour réduire les erreurs relatives de mesure), détermination du volume saturé au volumétre à mercure; toutes ont permis de confirmer les valeurs de densité obtenues par la méthode de la saturation intégrale décrite-ci-dessus.

24 214 — Application aux études de densité à l'échelle du cerne :

Pour réduire au minimum les erreurs relatives susceptibles de se produire, la détermination de l'infra-densité a été faite 2 cernes par 2 cernes et tous les cernes d'un rang donné ont été placés à l'intérieur de sachets spécialement confectionnés dans du grillage en fibres de verre enrobées de polyvinyle à mailles de 1,5 mm (Photographie n° 1); le contenu de chaque sachet a été pesé en une seule fois aussi bien pour la détermination du poids maximum que pour celle du poids anhydre (Photographie n° 2).

Par ailleurs, pour que les traitements subis par les divers accroissements annuels soient rigoureusement identiques, les diffé-

GRAPHIQUE N° 5



VARIATIONS DE LA DENSITÉ LE LONG D'ÉCHANTILLONS RADIAUX
 Numéro des cernes depuis la moëlle.

1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

rents sachets ont été mis à bouillir puis à refroidir ensemble dans un même récipient, l'utilisation des sachets en grillage interdisant tout mélange entre cernes de rang différent sans empêcher que les échantillons se trouvent directement au contact de l'eau bouillante (Photographie n° 3).

2 422 — Résultats obtenus:

24 221 — Résultats bruts:

Ils sont consignés dans le tableau n° 7 suivant:

Essences	Densités suivant le numéro des cernes à partir de la moëlle										Moy. arithm.	Nb. d'échant. analysés	Moy. pr. la total. des 20
	N° 1&2	3 & 4	5 & 6	7 & 8	9 & 10	11&12	13&14	15 & 16	17 & 18	19 & 20			
Douglas	395	349	363	367	354	372	396	398	419	449	383	30	395
Grandis	357	348	343	321	313	310	315	333	340	349	333	30	328
Mélèze d'Europe	357	354	388	375	355	353	371	369	396	392	371	25	371
Mélèze du Japon	369	341	340	348	358	353	382	393	416	406	371	25	371
Teuga	438	398	384	373	361	360	364	363	382	/	381	28	383
Cyprès de Lawson	437	417	403	388	382	367	351	351	352	358	381	25	387
Nordmann	392	357	353	335	324	320	339	343	342	/	345	25	348
Pinus Contorta I	382	340	313	316	322	339	357	/	/	/	339	25	336
Pinus Ponderosa	394	376	355	352	344	341	342	357	387	371	360	25	359
Pinus Contorta N	401	387	399	378	379	376	375	372	386	/	384	17	389
Sitka	463	433	408	399	363	350	330	337	343	330	376	11	391

TABLEAU VII

24 222 — Commentaires:

— la densité des divers cernes le long d'un échantillon radial est loin d'être constante; elle varie en fait d'une façon considérable, et ce bien que les investigations n'aient pas pu être poussées au delà du 20^e cerne; des différences de l'ordre de 20 % ne sont pas rares, le maximum étant atteint pour l'Epicéa de Sitka où la densité la plus élevée (celle des cernes 1 et 2) est supérieure de près de 50 % à celle des cernes les moins denses.

— pour toutes les essences ou provenances étudiées, le schéma de variation de la densité est identique, à savoir qu'elle décroît depuis la moëlle jusqu'à un minimum puis augmente à nouveau.

— cependant cette similitude dans le schéma de variation n'empêche pas des différences considérables d'une essence à l'autre. Le graphique n° 5 ci-contre permet de comparer les variations relevées d'une part entre les deux mélèzes, et d'autre part entre le Douglas et le Grandis; on peut constater en ce qui concerne les premiers, que la densité du bois de Mélèze d'Europe se révèle su-

périeure à celle du Mélèze du Japon pour les cernes situés à proximité de la moelle, l'inverse devenant vrai à partir du cerne n° 12; bien que les densités moyennes de l'un et de l'autre soient identiques on peut penser que, si les mêmes recherches avaient été poursuivies sur des arbres de plus fort diamètre, la densité du bois du Mélèze du Japon serait apparue comme sensiblement supérieure à celle du Mélèze d'Europe, étant donné que les cernes périphériques représentent un volume beaucoup plus important que les cernes centraux.

En ce qui concerne la comparaison entre Douglas et Grandis, le graphique fait apparaître nettement que l'écart observé entre les deux au profit du premier va en augmentant, ce qui explique que, pour des arbres plus âgés, on ait pu trouver des différences de densité encore plus importantes que celles de l'ordre de 20 % observées sur les arbres de l'Arboretum de Royat.

— Le tableau n° 7 ci-dessus indique les moyennes arithmétiques des densités trouvées pour les différents cernes et également la densité moyenne obtenue sur la totalité des échantillons; d'une façon générale, la concordance entre ces deux données est satisfaisante, les différences relevées ne dépassant pas 2 % pour 9 des 11 lots analysés; la divergence la plus notable peut être observée pour l'épicéa de Sitka et s'explique aisément par le fait que pour cette essence dont le nombre total d'échantillons était le plus faible, 11 « carottes » seulement ont pu être prélevées pour étude de la densité à l'échelle du cerne. Cette bonne concordance d'ensemble tend à prouver d'une part que les échantillonnages utilisés correspondaient assez bien à la moyenne des lots correspondants, et d'autre part, que la méthode retenue pour la détermination des densités au niveau du cerne était satisfaisante.

24 223 — Généralités sur le bois juvénile:

L'importance technologique du bois juvénile n'est apparue qu'à une date relativement récente. Les chercheurs américains BETHEL (7), PAUL (8) et ZOBEL (9) principalement, sont, semble-t-il, à l'origine de cette découverte. Ils ont montré que, chez les résineux, un certain nombre de cernes à proximité de la moelle, présentait des caractéristiques physiques très différentes de celles du bois normal de même essence; ces cernes sont relativement larges, leur proportion de bois d'été faible, de même que leur densité, leurs trachéïdes sont courtes et leur retrait axial est important. Il s'ensuit de graves défauts technologiques aussi bien pour le bois d'œuvre (tendance au gauchissement), que pour le bois de râperie (faible rendement en pâtes et qualité papetière médiocre).

Il semble que le bois juvénile soit produit à peu près exclusivement dans la partie de l'arbre formée par la cime vivante, le bois ne devenant normal que lorsque l'élagage naturel ou artificiel a fait

disparaître les dernières branches vertes à la hauteur considérée. En fait, on peut penser que, dans le houppier, la formation d'hormones de croissance est maximale, ce qui entraînerait la production à ce niveau d'une forte proportion de bois de printemps aux caractéristiques physiques plus ou moins défectueuses.

L'importance relative du bois juvénile varie donc non seulement d'une essence à l'autre, mais encore pour une même essence, d'un individu à l'autre, en rapport notamment avec l'élagage. Les auteurs cités ci-dessus et qui ont étudié principalement les divers pins américains, ont trouvé chez ceux-ci des bois juvéniles s'étendant sur 5 à 15 accroissements annuels.

24 224 — Bois juvénile des arbres de l'Arboretum de Royat :

Bien que toutes les caractéristiques du bois juvénile et notamment la longueur des fibres n'aient pas pu être analysées dans le cadre de cette étude, la seule considération des variations de densité permet de se rendre compte que les arbres cultivés dans l'arboretum de Royat présentent à l'heure actuelle une proportion de bois juvénile très importante. Si l'on considère comme bois normal celui formé à partir du moment où la courbe de densité se redresse d'une façon sensible, on peut dire, au vu du tableau ci-dessus, que le bois juvénile s'étend sur une dizaine de cernes pour le Douglas et le *Pinus contorta* I, sur une douzaine pour les deux Mélézes et le Normann, sur environ 14 cernes pour le Grandis et le *Pinus ponderosa*, et sur environ 18 cernes pour le Cyprès de Lawson ; quant à l'épicéa de Sitka, il semble bien ne pas encore avoir produit de bois normal au terme de son vingtième accroissement annuel à hauteur d'homme.

L'importance considérable du bois juvénile à l'Arboretum de Royat peut s'expliquer par l'élagage naturel défectueux des premières générations de résineux exotiques introduits en dehors de leur aire naturelle, ce qui d'ailleurs viendrait confirmer l'hypothèse rapportée plus haut relative à la formation du bois juvénile à l'intérieur ou à proximité immédiate de la cime vivante.

Quant au plateau de Sitka de l'Arboretum de Royat, il est précisément caractérisé par un faible nombre de tiges à l'hectare et, par voie de conséquence, par un élagage naturel particulièrement déficient.

24 225 — Conséquences pratiques :

Elles sont multiples et leur importance au point de vue sylvicole est considérable.

a) la présence de bois juvénile dans la partie centrale des arbres devrait normalement inciter les propriétaires de forêts, forêts particulières notamment, à s'abstenir d'exploiter leurs peuplements résineux à courte révolution, car les densités relativement élevées des

cernes situés à proximité immédiate de la moelle importent peu, étant donné le faible volume qu'ils représentent. Tout sylviculteur soucieux de la qualité du bois qu'il produit aurait donc intérêt à attendre que les cernes périphériques constitués par du bois normal fournissent une proportion aussi élevée que possible du volume total, avant toute exploitation importante.

b) les graves défauts technologiques du bois juvénile devraient inciter à en réduire dans toute la mesure du possible l'importance, dans la bille de pied tout au moins, soit en maintenant serrés les peuplements dans leur jeune âge, de façon à faciliter l'élagage naturel, soit de préférence en pratiquant un élagage artificiel relativement sévère portant non seulement sur les branches mortes mais aussi sur une partie des branches vivantes.

c) un reboiseur ayant, dans une station donnée, le choix entre plusieurs essences susceptibles de prospérer dans des conditions satisfaisantes, devrait donner la préférence à celles où la formation de bois juvénile s'arrête le plus rapidement; de ce point de vue, le douglas et le mélèze du Japon notamment mériteraient une place de choix dans toutes les stations où les conditions écologiques sont semblables à celles de Royat.

243 — *Densité moyenne à hauteur d'homme:*

2431 — *Résultats bruts:*

Connaissant la largeur et la densité propres des divers cernes, il est facile de calculer la densité moyenne à hauteur d'homme qui est en fait une densité moyenne pondérée par l'importance relative des surfaces occupées par chaque cerne.

Le tableau n° 8 ci-dessous donne les résultats des calculs ainsi effectués, rappelle à titre de comparaison les valeurs moyennes des

Essences	Densités moyennes pondérées à hauteur d'h.	Classement	Densités moyennes brutes des carottes	Classement
Douglas	387	1	395	1
Granis	328	11	328	11
Mélèze d'Europe	373	3	371	6
Mélèze du Japon	373	3	371	6
Tsuga Heterophylla	371	5	383	5
Cyprès de Lawson	366	6	387	4
Nordmann	338	9	348	9
Pinus Contorta I	330	10	336	10
Pinus Ponderosa	355	7	359	8
Pinus Contorta N	381	2	389	3
Sitka	353	8	391	2

TABLEAU VIII

densités par « carotte » et indique les classements relatifs des différentes essences ou provenances suivant que l'on prend en considération l'une ou l'autre de ces deux densités.

2 342 — *Commentaires:*

— Bien que d'une façon générale les densités moyennes pondérées à hauteur d'homme et les densités moyennes brutes des « carottes » soient assez voisines l'une de l'autre, des divergences quelquefois sensibles apparaissent, dues aux différences constatées entre les schémas de variation de la densité le long d'échantillons radiaux.

— Le classement relatif des diverses espèces n'est pas changé pour quatre d'entre elles, et notamment la première, le Douglas, et la dernière, le Grandis.

La modification la plus importante intéresse l'épicéa de Sitka et s'explique aisément par le fait que parmi toutes les essences étudiées, l'épicéa de Sitka est celle dont les cernes centraux (qui représentent un très faible volume) sont les plus denses et les cernes périphériques au contraire les plus légers; bien entendu, son classement relatif doit se trouver bouleversé dès lors que l'on calcule une moyenne pondérée tenant compte des surfaces occupées par les différents accroissements annuels.

— la hiérarchie relative des deux *Pinus Contorta* mérite de retenir l'attention: on a vu précédemment qu'au point de vue rapidité de croissance, le *Contorta N.*, planté il est vrai un an plus tôt, se révélait bien supérieur au *Contorta I*: diamètre moyen 15,8 contre 10,0 cm, largeur moyenne des cernes 3,28 contre 2,81 mm; or, la densité du bois se révèle également beaucoup plus élevée pour le premier que pour le second. Ceci montre bien que la corrélation inversée généralement admise entre la largeur des cernes et la densité du bois à l'intérieur d'une même espèce est loin de se trouver vérifiée d'une façon constante; d'autres facteurs interviennent, liés au patrimoine héréditaire, et notamment la texture qui traduit une aptitude plus ou moins grande à produire du bois d'été, en présence de circonstances écologiques données. Il est certain que pour un Généticien, sélectionner une provenance capable de produire rapidement du bois dense, c'est en quelque sorte toucher le gros lot, car amélioration qualitative et amélioration quantitative vont alors de pair.

244 — *Rendement en tonnes de matière sèche par hectare et par an:*

2 441 — *Considérations générales sur le rendement de peuplements forestiers:*

Vendre le bois au m³, c'est un peu comme si l'on vendait le lait à l'unité de volume apparent, sans tenir compte du taux des matières grasses ou même du mouillage éventuel. Un m³ de bois en effet ren-

ferme suivant sa siccité ou sa densité propre, outre la matière ligneuse elle-même, une plus ou moins grande proportion d'eau ou d'air, éléments qui n'ont pas, ou pas encore, une valeur économique très élevée.

On peut donc penser que l'évolution qui s'est produite chez les utilisateurs de lait tendant à tenir compte dans le prix d'achat de la teneur réelle en produits nobles, malgré les difficultés inhérentes à l'appréciation exacte de celle-ci, se produira également chez les industriels du bois, notamment les industriels papetiers, et que de plus en plus, ainsi que cela commence à se faire dans la région languedocienne, il sera tenu compte du rendement réel du produit acheté.

Dans cette optique, exprimer le rendement d'une forêt en m³ par ha et par an ne sera plus suffisant et il deviendra nécessaire de pouvoir chiffrer la production en tonnes de matière sèche par ha et par an.

2442 — *Essais de classement des bois suivant le rendement net en matière ligneuse:*

Si la densité moyenne d'un arbre était rigoureusement égale à la densité moyenne à hauteur d'homme, il suffirait d'affecter le chiffre de la production en m³ par un coefficient égal à cette densité pour obtenir le rendement en tonnes de matière sèche, puisque l'infra-densité est bien égale au poids en matière sèche d'un volume saturé donné, et que le volume résultant du cubage des arbres sur pied est bien un volume saturé.

Malheureusement, selon la plupart des auteurs et notamment WAHLGREN et FASSNACHT (10), la densité du bois diminue de bas en haut, en sorte que la densité moyenne de l'arbre entier est généralement inférieure à la densité moyenne à hauteur d'homme.

Mais d'une part, la base de l'arbre dans laquelle sont effectués des sondages à la tarière représente la partie la plus intéressante pour les utilisateurs, et d'autre part les schémas déjà connus de la variation de la densité suivant la hauteur sont dans l'ensemble assez voisins pour des arbres de même âge, en sorte que l'on peut dire,

Essence	Production P en m ³ /ha/an	Classement correspondant	Densité moyenne D à hauteur d'homme	Produit P × D	Classement correspondant
Douglas	14,6 (a)	1	0,387	5,65	1
Grandis	13,3 (a)	2	0,328	4,36	3
Mélèze d'Europe	9,6 (a)	5	0,373	3,58	5
Mélèze du Japon	12,7 (a)	3	0,373	4,74	2
Tsuga Heterophylla	8,9 (a)	7	0,371	3,30	6
Chamaecyparis	9,0 (a)	6	0,366	3,29	7
Nordmann	7,9 (a)	8	0,336	2,67	8
Ponderosa	10,1 (b)	4	0,355	3,59	4

TABLEAU IX

en première approximation, que les rendements en tonnes de matière sèche par hectare et par an sont entre eux comme les produits des rendements en m³ par ha et par an par les densités à hauteur d'homme tels qu'ils sont calculés dans le tableau n° 9 ci-dessus.

2 443 — *Commentaires:*

— La référence (a) a trait à des chiffres de production exacts établis par la 1^{re} Section de la Station de Recherches et Expériences Forestières.

— la référence (b) appliquée à *Pinus ponderosa* signifie que pour cette essence le chiffre de production indiqué résulte de calculs approximatifs effectués par la 4^e Section au moyen d'un inventaire complet sur l'ensemble de la placette (exception faite des arbres de lisière) et d'un tarif de cubage bois fort obtenu par grimpage. Aucun compte n'ayant été tenu, faute de données précises, des éclaircies réalisées dans le peuplement, le chiffre de production indiqué constitue un minimum.

— si la hiérarchie des différentes essences ne subit pas de bouleversement quand on passe d'un classement à l'autre, il convient de noter cependant que la prise en considération de la densité fait passer le mélèze du Japon avant *Abies grandis* et ce d'une façon assez nette.

— la supériorité du Douglas sur le Grandis qui n'était que de 10 % environ au point de vue production en m³ par hectare et par an, se chiffre à 30 % si l'on se réfère au rendement net.

— enfin, d'une façon générale, l'éventail des chiffres de production, corrigés pour tenir compte de la densité, est devenu plus ouvert puisque l'essence n° 1 (le Douglas) qui n'était supérieure que de 85 % à l'essence la moins productive (le Nordmann) en se tenant au volume apparent lui est supérieure de 110 % en tonnage de matière sèche produite par ha et par an.

25 — *Rendement en fibres:*

251 — *Considérations générales:*

Bien que toute prévision à long terme en matière d'utilisation des produits forestiers soit hasardeuse, on peut légitimement penser qu'une part toujours plus importante de ceux-ci est destinée à être défibrée pour faire face notamment aux besoins croissants de l'industrie papetière.

Cette évolution a amené la 4^e Section à étudier l'aptitude au défibrage des essences cultivées à l'Arboretum de Royat, et ce malgré une insuffisance notoire en personnel qualifié qui ne nous a pas permis de tirer tout le parti possible de la masse d'échantillons disponibles.

252 — *Mode opératoire:*2 521 — *Conditions de lessivage:*

Sur les conseils particulièrement éclairés de M. J. CHIAVERINA, Professeur à l'Ecole Française de Papeterie de Grenoble, nous avons opté pour une cuisson genre Kraft qui présente l'avantage de pouvoir être appliquée à la totalité des essences, et d'utiliser un procédé extrêmement voisin du procédé industriel correspondant.

Nous n'avons malheureusement pas pu déterminer pour les différentes espèces étudiées les caractéristiques de cuisson les meilleures permettant d'obtenir pour chacune d'entre elles, le rendement en fibres maximum ; faute de cette détermination préalable, nous avons été amenés à utiliser pour tous les lots, des conditions de température et de teneur en produits actifs dans la lessive utilisée, absolument identiques.

Le rendement obtenu pour les meilleurs d'entre eux s'en est fatalement trouvé diminué.

Les conditions de lessivage retenues ont finalement été les suivantes : lessive dosée à 2,5 g de soude (comptée en NaOH) et 1 g de sulfure de sodium (comptée en SNa_2) pour 10 g de bois anhydre, dilués dans de l'eau jusqu'à obtenir un rapport lessive sur bois de 6 et cuisson sous pression avec un palier de 3 h à 160°.

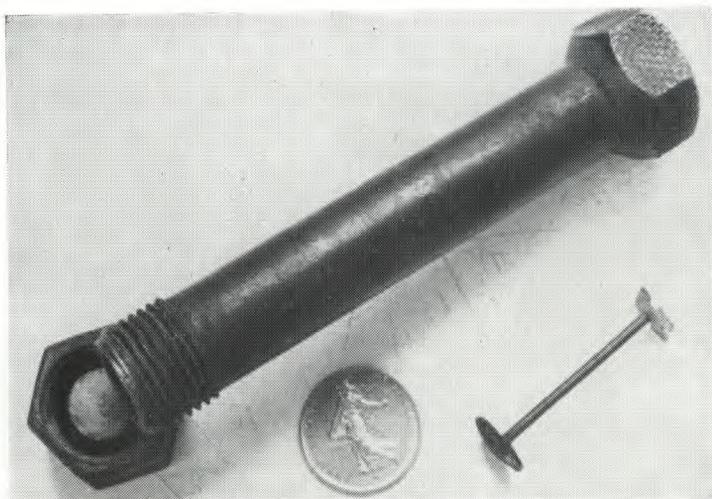
Comme on le voit, il s'agit là d'un procédé très proche du procédé Kraft, et dont la transposition à l'échelle laboratoire était déjà préconisée par M. CHIAVERINA en 1945 (11) à la différence près qu'il n'était pas prévu alors d'apport de sulfure de sodium susceptible de régénérer la soude et d'éviter, grâce à son caractère réducteur, une dégradation de la cellulose par oxydation en milieu alcalin.

2 522 — *Réalisation pratique:*

Une fois adopté le mode de cuisson, il restait à mettre au point le matériel susceptible d'être utilisé pour permettre le lessivage d'échantillons aussi petits que des « carottes » de poids unitaire inférieur au gramme.

Le choix a finalement porté sur des boulons de 120 mm de longueur et 20 mm de diamètre, fraisés intérieurement et dont l'extrémité a été filetée pour recevoir un bouchon taraudé, au fond duquel se trouve un joint de plomb, ce qui permet d'obtenir un récipient étanche susceptible de résister à la pression de l'ordre de 7 kg par cm^2 qui règne durant la cuisson. Echantillons et lessive sont introduits dans les tubes ainsi constitués, en même temps qu'un piston destiné à éviter que des fragments de « carottes » ne baignent pas dans la liqueur de cuisson (photo n° 4). Tous les tubes sont portés simultanément à l'intérieur d'une étuve calorifugée réglée à 160°.

Quant au défibrage proprement dit, il est obtenu très facilement à l'aide d'un simple batteur ménager et la suspension fibreuse re-



Photographie n° 4

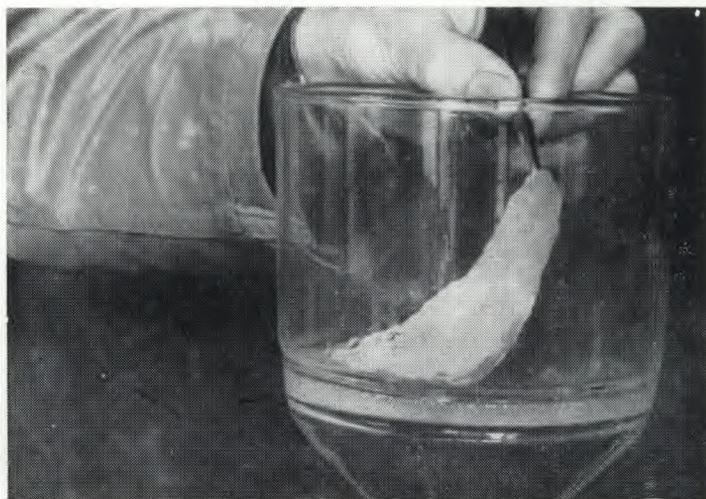
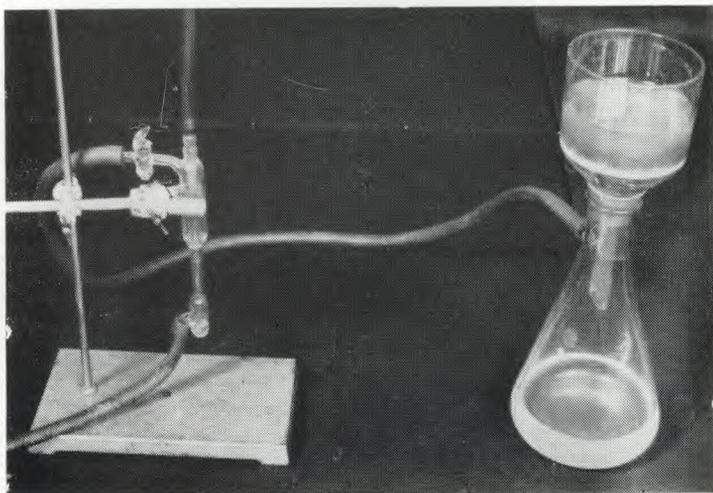
Tube reposant sur son bouchon muni d'un joint de plomb et piston correspondant (la pièce de 1 franc donne l'échelle).



Photographie n° 5

Lavage et filtration de la suspension fibreuse.

A gauche, la trompe à vide; à droite la suspension dans son creuset filtrant.



Photographie n° 6

Rondelle de pâte obtenue à partir d'un échantillon prélevé à la tarière de Pressler.



cueillie est versée sur un creuset filtrant lui-même raccordé à une trompe à vide (photo n° 5). On obtient ainsi une rondelle de pâte (photo n° 6) qu'il suffit de porter à l'étuve pour obtenir par pesée le rendement en fibres de l'échantillon analysé, connaissant le poids anhydre initial de la « carotte » correspondante.

253 — *Résultats bruts:*

Ils sont consignés dans le tableau n° 10 suivant :

Essences	Nombre d'échantillons étudiés	Rendement en fibres
Douglas	12	42 %
Grandis	12	40 %
Mélèze d'Europe	12	40 %
Mélèze du Japon	12	39 %
Tsuga Heterophylla	12	42 %
Cyprès de Lawson	8	41 %
Nordmann	12	41 %
Pinus Contorta I	12	42 %
Pinus Ponderosa	12	40 %
Pinus Contorta N	12	41 %
Sitka	12	45 %

TABLEAU X

254 — *Commentaires:*

D'une façon générale, les rendements en fibres obtenus sont assez homogènes. Ils sont également voisins de ceux déjà publiés par ailleurs (12, pour le procédé à la soude) (ce qui s'explique par les conditions de cuisson retenues). C'est ainsi que l'on retrouve un rendement élevé pour l'épicéa de Sitka dont les qualités papetières sont maintenant bien connues, et faible au contraire pour les deux mélèzes, surtout celui du Japon. De même, la médiocre valeur généralement admise du Chamaecyparis au point de vue production de pâte apparaît dans le fait que quatre échantillons sur douze n'ont pas pu être défibrés dans les conditions de l'expérience.

La séparation des fibres après cuisson a été particulièrement facile pour *Pinus ponderosa* (dont le rendement aurait certainement pu être notablement amélioré si des conditions de lessivage moins rigoureuses avaient été appliquées), le Mélèze d'Europe et l'épicéa de Sitka. Par contre, trois essences se sont révélées assez difficiles à défibrer, à savoir le Chamaecyparis déjà cité, *Pinus contorta* (de l'une ou l'autre des deux provenances étudiées), et, à un moindre degré, *Abies nordmanniana*.

26 — Rétractibilité:

261 — Considérations générales:

L'étude de la rétractibilité comparée des différentes essences est importante à partir du moment où l'on envisage pour elles une utilisation possible comme bois d'œuvre. Le plus grave reproche qui peut être fait au matériau bois tient en effet aux changements de dimension qu'il subit quand son taux d'humidité varie.

Nous avons donc calculé pour l'ensemble des « carottes » prélevées à l'Arboretum de Royat les retraits tangentiels et radiaux mesurés au micromètre (3) et le rapport des premiers aux seconds, qui traduit dans une certaine mesure la tendance au gauchissement.

262 — Résultats bruts:

Ils figurent dans le tableau n° 11 ci-dessous en même temps que les chiffres déjà publiés à ce sujet soit dans le Wood Handbook (13), soit dans KOLLMANN (14).

Retrait entre les états saturés et anhydres

Essences	sur les échantillons de Royat			Renseignements bibliographiques		
	Retrait tangential	Retrait radial	$\frac{RT}{RR}$	Retrait tangential	Retrait radial	$\frac{RT}{RR}$
Douglas	6,9 %	4,0 %	1,7	7,8 %	5,0 %	1,6
Grandie	6,0 %	3,1 %	1,9	7,5 %	3,3 %	2,4
Mélèze d'Europe	8,8 %	4,1 %	2,1	7,8 %	3,3 %	2,4
Mélèze du Japon	7,6 %	3,2 %	2,4	/	/	
Tsuga Heterophylla	5,9 %	4,2 %	1,4	7,9 %	4,3 %	1,8
Cyprès de Lawson	5,4 %	4,0 %	1,4	6,9 %	4,6 %	1,5
Nordmann	6,9 %	3,7 %	1,9	/	/	
Pinus Contorta I	4,7 %	4,0 %	1,2	6,7 %	4,5 %	1,5
Pinus Ponderosa	4,3 %	3,3 %	1,3	6,3 %	3,9 %	1,6
Pinus Contorta N	6,7 %	4,4 %	1,5	6,7 %	4,5 %	1,5
Sitka	7,7 %	4,6 %	1,7	7,5 %	4,3 %	1,7

TABLEAU XI

263 — Commentaires:

— Sauf exception tels le Contorta N ou le Sitka, les chiffres trouvés diffèrent assez sensiblement des valeurs de retrait publiées par ailleurs. Ces divergences s'expliquent aisément: d'une part les peuplements de Royat sont particulièrement jeunes et renferment corrélativement un pourcentage élevé de bois juvénile dont les retraits tangential et radial, contrairement au retrait axial, sont faibles; d'autre part, les chiffres du Wood Handbook en ce qui concerne les bois d'origine américaine ont été obtenus sur des échantillons prélevés dans des peuplements dits de première génération,

peuplements très denses et pratiquement non éclaircis dont les caractéristiques technologiques sont le plus souvent très différentes de celles que l'on peut trouver dans les générations ultérieures exploitées d'une façon plus intensive. Ces deux raisons et surtout la première, expliquent que, sauf pour deux lots, le Mélèze d'Europe et le Sitka, les chiffres trouvés soient inférieurs à ceux déjà publiés.

— Malgré les différences déjà signalées, plusieurs caractéristiques généralement admises au point de vue rétractibilité comparée des diverses essences se retrouvent dans les jeunes plantations de Royat, à savoir :

— l'importance plus grande des retraits tangentiels et radiaux du Douglas comparés à ceux du Grandis, compensés il est vrai par un

RT

rapport — inférieur.

RR

— la très forte rétractibilité des deux Mélèzes, surtout dans le sens tangentiel,

— les faibles variations dimensionnelles au contraire du *Chamaecyparis lawsoniana* et des pins, principalement le *Pinus ponderosa* dont le retrait tangentiel est le plus faible de toutes les essences étudiées, que ce soit pour les bois provenant de l'Arboretum de Royat ou pour ceux beaucoup plus âgés auxquels se rapportent les chiffres du Wood Handbook.

— Le retrait volumétrique total a été calculé sur éprouvettes $2 \times 2 \times 2$ pour deux essences: le Douglas et le Mélèze du Japon; pour le Douglas, il a été trouvé égal à 10,0 %, ce qui est voisin, mais légèrement inférieur au retrait moyen calculé sur « carottes »; en ce qui concerne le Mélèze du Japon, deux lots différents d'éprouvettes ont été confectionnés: pour le premier, dont la largeur moyenne des cernes était de 4,3 mm, le retrait volumétrique total a été trouvé égal à 7,6 %, l'autre (largeur des cernes 3,0) accusant pour sa part un retrait de 14,4 %; pour cette dernière essence également, les chiffres trouvés sur éprouvettes encadrent donc bien le retrait volumétrique résultant des observations faites sur « carottes ».

27 — Essais mécaniques:

271 — Considérations générales:

Ces essais ont été réalisés soit sur bois ronds, soit sur éprouvettes normalisées, le matériel expérimental étant prélevé dans des produits d'une éclaircie exploitée en automne 1960. Il s'agissait donc d'arbres plus ou moins dominés ou mal conformés ne représentant pas, au point de vue conditions de végétation ou rapidité de croissance, la moyenne des peuplements.

Bien que le dépouillement des résultats obtenus soit encore en cours, nous croyons utile d'indiquer ci-dessous les renseignements globaux déjà recueillis.

272 — *Résultats bruts:*

2721 — *Essais sur bois ronds:*

Il s'agit uniquement d'essais de résistance à la flexion statique réalisés sur une portée de 2 m à la machine Trayvou ou, plus rarement, de 1 m à la machine Amsler.

Le tableau n° 12 suivant donne les caractéristiques moyennes des échantillons et la charge de rupture obtenue.

Essences	Lot	Nombre d'échant.	Circonf. moyenne en cm	Largeur moy. cerne en mm	Densité moy. à 15% Kg/m ³	Charge de rupture Kg/cm ² à 15%	Portée entre appuis en m
Grandis	unique	12	46	4,1	415	14,4	2 m
Mélèze d'Europe	unique	13	43	3,5	499	16,3	2
Tsuga Heteroph.	unique	25	19	2,9	501	22,6	2
Cyprès de Lawson	A	14	34	2,7	469	22,2	2
idem	B	10	29	2,6	499	21,4	1
Nordmann	unique	24	28	2,8	508	20,3	2

TABLEAU XII

2722 — *Essais sur éprouvettes normalisées:*

Ces essais, plus complets que les précédents, ont été réalisés sur les deux seules essences, Douglas et Mélèze du Japon, dont les dimensions étaient suffisantes pour permettre un débit en plots.

Les modes opératoires suivis sont ceux décrits dans les Normes Françaises n° B. 51 007 pour la compression axiale, B. 50 008 pour la flexion statique et B. 51 009 pour la résistance au choc. En ce qui concerne la compression de flanc, l'essai a consisté à calculer la charge nécessaire pour réduire de 1/3 dans le sens tangentiel l'épaisseur d'une éprouvette 2 × 2 × 6.

Caractéristiques des échantillons et résultats des essais effectués sont rassemblés dans le tableau n° 13 suivant:

Essences	Lot	Nb. éprouv.	Larg. moy. cerne mm	Dens. à 15% g./dm ³	Retrait vol. à 15%		ch. de rupt. kg/cm ² à 15%		Compr. flanc Kg/cm ²	rupture au choc en kgm
					total. %	flex. stat.	Compr. axiale			
Douglas	unique	105	4,1	511	10,0	39,8	534	126	1,72	
Mélèze du Japon	Bille de pied	81	4,3	464	7,6	31,8	496	105	0,89	
	surbille	85	3,0	583	14,4	52,4	649	105	2,21	

TABLEAU XIII

273 — *Commentaires:*2731 — *Observations générales:*

Les résultats ci-dessus confirment la médiocre qualité du Mèlèze d'Europe (à accroissements larges tout au moins) et du Grandis au point de vue résistance en flexion statique. Par contre, Douglas, Mèlèze du Japon et Tsuga témoignent des excellentes caractéristiques mécaniques qu'on leur connaissait déjà.

2732 — *Comparaison avec des résultats antérieurs:*

Elles peuvent être faites, tout au moins en ce qui concerne les essais sur bois ronds, grâce à des données déjà obtenues à la 4^e Section sur des arbres de provenances différentes.

— pour le *Mèlèze d'Europe* (15), il a été trouvé des charges de rupture en kg/cm² à 15 % de 19,3 pour des échantillons en provenance de la Corrèze (altitude 900 m, largeur moyenne des cernes 2,7 mm, densité à 15 % 604), de 22,2 pour des échantillons en provenance des Alpes-Maritimes à altitude 1 500 m (largeur des cernes 0,9, densité 754), et de 21,1 pour la provenance Alpes-Maritimes 1 700 m (largeur des cernes 1,4, densité 670).

Les résultats obtenus à Royat sont sensiblement inférieurs mais s'expliquent aisément par une vitesse de croissance plus grande et une densité moyenne moins élevée.

— pour le *Nordmann* (15), une seule série d'essais a déjà été effectuée antérieurement sur des bois provenant de l'Arboretum d'Amance. Ils ont fait apparaître une charge moyenne de rupture à 15 % de 18,3 kg par cm² pour des échantillons dont la densité moyenne était de 505 et la largeur des cernes de 8,4 mm. Là encore, la différence constatée (en mieux cette fois) au profit des arbres de l'Arboretum de Royat s'explique, à densité égale, par une vitesse de croissance bien moindre.

— enfin, en ce qui concerne l'*Abies grandis*, les expériences réalisées sur les arbres provenant de l'Arboretum de la Sivrite (16) ont fait ressortir une charge moyenne de rupture en flexion statique à 15 % d'humidité de 21,9 kg/cm² pour des bois dont la densité se chiffrait pour l'ensemble à 435 et la largeur moyenne des cernes à 3,8 mm. La chute constatée au point de vue résistance mécanique pour les bois de l'Arboretum de Royat paraît bien sévère, mais la médiocre résistance de l'*Abies grandis* en flexion statique est bien connue, et le caractère partiellement aberrant des billons en provenance de l'Arboretum essayés en flexion statique rend compte en partie des différences observées.

2733 — *Remarques relatives aux caractéristiques physiques:*

D'une façon générale (la seule exception étant celle du Grandis), les largeurs des cernes relevées sur les échantillons ayant servi aux

essais mécaniques sont inférieures aux largeurs moyennes trouvées sur « carottes », ce qui est normal, étant donné que ces essais ont été effectués sur des produits d'éclaircie.

En ce qui concerne les densités, la hiérarchie des différentes essences est à peu près la même, que l'on considère la densité moyenne à 15 % des échantillons sur lesquels ont été faites les études mécaniques ou l'infra-densité mesurée sur prélèvements effectués à la tarière de Pressler pour l'ensemble des lots. Une exception à cette règle doit cependant être signalée: *l'Abies nordmanniana* dont les échantillons essayés à la machine Trayvou avaient une densité moyenne exceptionnellement élevée.

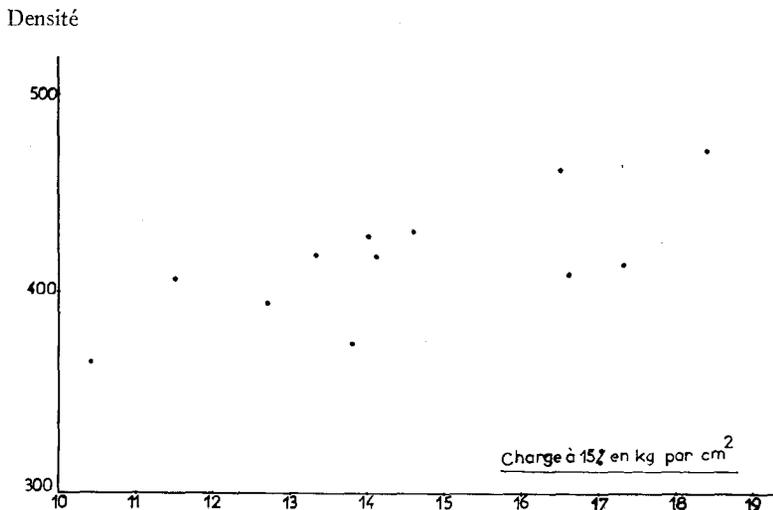
2734 — Corrélations:

Des études de corrélation entre la résistance mécanique d'une part et la largeur des cernes ou la densité d'autre part, sont actuellement en cours. Elles font dans l'ensemble apparaître des coefficients de corrélation significatifs, négatifs pour la première, positifs pour la seconde.

Le graphique n° 6 ci-dessous représente la corrélation entre la charge de rupture à la flexion statique en kg/cm² à 15 % du Grandis, essence pour laquelle le coefficient trouvé est particulièrement significatif (+ 0,72 pour douze échantillons).

GRAPHIQUE n° 6

ABIES GRANDIS - CORRÉLATION ENTRE LA DENSITÉ
ET LA CHARGE DE RUPTURE EN FLEXION STATIQUE



28 — *Etudes de corrélation:*281 — *Généralités:*

La première question que l'on doit se poser avant d'entreprendre une étude de corrélation est de savoir si les distributions des diverses données peuvent être considérées comme normales. Pour cela, nous avons, sur les conseils de la Section de Statistiques de la Station de Recherches et Expériences Forestières, fait subir aux courbes de fréquences cumulées des variables à étudier: densité, dureté, largeur des cernes, retrait, une anamorphose galtonienne, et nous avons vérifié l'alignement des points ainsi obtenus (test de la droite de Henry).

Ce test n'a été vraiment négatif que pour les essences représentées par le plus petit nombre d'échantillons et surtout pour l'épicéa de Sitka. En ce qui concerne les autres, un alignement satisfaisant a été obtenu pour les fréquences cumulées comprises entre 10 et 90 %, quelquefois même pour celles comprises entre 5 et 95 %.

On admettra donc, compte tenu du nombre parfois insuffisant d'échantillons étudiés, que l'on a affaire à des distributions normales, sauf peut-être en ce qui concerne le retrait radial qui, pour des raisons qui nous échappent, paraît faire exception à la règle.

282 — *Résultats bruts:*

Le tableau n° 14 suivant rassemble les divers coefficients de corrélation calculés. Chacun d'eux est suivi d'un symbole indiquant

Essences	Nombre d'échantillons	Coefficients de corrélation		
		Densité/ largeur cernes	Densité/ couple	Retrait radial/ Largeur cernes
Douglas	100	- 0,19 NS	+ 0,72 **	- 0,004 NS
Grandis	100	- 0,45 **	+ 0,55 **	- 0,29 **
Mélèze d'Europe	85	- 0,14 NS	+ 0,73 **	- 0,04 NS
Mélèze du Japon	75	- 0,32 *	+ 0,65 **	- 0,46 **
Tsuga Heterophylla	80	- 0,34 **	+ 0,62 **	- 0,17 NS
Cyprès de Lawson	80	- 0,20 NS	+ 0,78 **	- 0,24 **
Nordmann	100	- 0,60 **	+ 0,79 **	- 0,42 **
Pinus Contorta I	77	- 0,25 *	+ 0,46 **	+ 0,12 NS
Pinus Ponderosa	73	- 0,08 NS	+ 0,86 **	+ 0,04 NS
Pinus Contorta N	49	- 0,09 NS	+ 0,55 **	- 0,18 NS
Sitka	33	- 0,78 **	+ 0,85 **	- 0,55 **

TABLEAU XIV

si la valeur trouvée est significative au seuil de probabilité 1 % (**) ou au seuil de 5 % (*) ou si elle n'est pas significative (NS).

En outre, sont reproduits en annexe pour chaque corrélation étudiée les graphiques correspondant aux essences pour lesquelles le coefficient trouvé est d'une part le plus significatif, d'autre part le moins significatif.

283 — *Commentaires:*

2 831 — *Corrélation densité - largeur de cernes:*

L'étude de cette corrélation est certainement la plus importante au point de vue sylvicole puisqu'elle permet dans une certaine mesure de prévoir les répercussions possibles des éclaircies sur la densité du bois: Les sondages ayant en effet porté sur des arbres de même âge et de même provenance placés dans une même station, on peut penser, en première analyse, que la largeur moyenne des cernes dépend directement de la plus ou moins grande concurrence vitale subie par les divers individus constituant l'échantillonnage.

Si, pour une essence déterminée, on trouve un coefficient de corrélation négatif très significatif, il est possible d'en déduire que les individus à croissance rapide ont toutes chances de produire du bois de qualité inférieure; il peut être bon que les sylviculteurs soient avertis de cet état de choses, car il sera vraisemblablement de plus en plus tenu compte par l'industrie de la densité propre des produits achetés, auquel cas il ne servirait à rien d'obtenir, grâce à des éclaircies fortes, un volume apparent supérieur si ce devait être au détriment de la densité.

Il ressort du tableau ci-dessus que tel est le cas pour le Grandis, le Tsuga, le Nordmann, le Sitka et, dans une moindre mesure pour le mélèze du Japon et le Contorta I.

En revanche, les coefficients de corrélation trouvés ne sont pas significatifs pour le Douglas, le mélèze d'Europe, le Cyprès de Lawson, le *Pinus contorta N* et le *Pinus ponderosa*; pour ces essences, on peut espérer qu'une diminution de la concurrence vitale n'entraînera pas une perte de densité trop importante; des éclaircies relativement fortes semblent donc, du seul point de vue de la valeur technologique du bois produit, pouvoir leur être appliquées. Quoi qu'il en soit, il est intéressant de noter que la relation étroite entre la densité et la faible largeur des cernes généralement admise est loin d'être vérifiée dans tous les cas, puisque pour deux lots au moins (*P. contorta N* et *P. ponderosa*) le coefficient de corrélation trouvé traduit une indépendance à peu près complète entre ces deux données.

2 832 — *Corrélation densité - couple de torsion:*

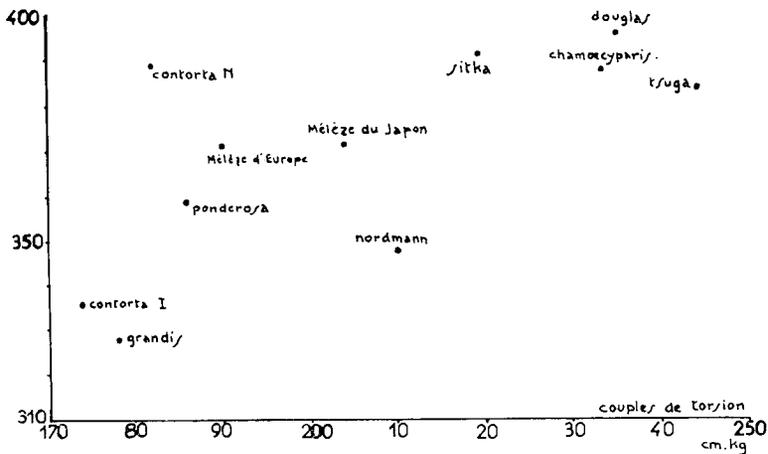
C'est très nettement celle pour laquelle les coefficients trouvés sont les plus significatifs, puisqu'ils le sont pour toutes les es-

sences, au seuil de 1 %, le cas le plus remarquable étant celui de l'épicéa de Sitka où l'on trouve un coefficient de 0,85 pour 33' échantillons seulement.

Cette constatation est particulièrement intéressante puisqu'elle confirme, ce qui avait déjà été observé avec les feuillus à structure homogène, que l'appréciation au torsiomètre de la dureté des arbres sur pied rend compte dans une large mesure de la densité du bois.

Outre les graphiques des deux essences pour lesquelles on a trouvé des valeurs extrêmes du coefficient de corrélation, le graphique d'ensemble n° 7 ci-dessous a été établi, sur lequel sont portées les valeurs moyennes de densité et de dureté pour l'ensemble des lots. On pourra aisément constater sur ce graphique que la corrélation trouvée entre les divers individus d'une même espèce existe aussi entre les espèces elles-mêmes. Seul le *Pinus contorta* N paraît faire exception à la règle, bénéficiant d'une densité élevée en dépit d'un couple de torsion relativement faible. Bien que nous n'ayons pas pu procéder, pour tous les échantillons, à l'extraction de la résine par un mélange alcool-benzène qui eût permis la détermination de densités nettes, nous avons pu constater que les *Pinus contorta* N avaient une teneur en produits résineux relativement élevée, ce qui pourrait expliquer l'anomalie signalée.

GRAPHIQUE N° 7
CORRÉLATION DENSITÉ-DURETÉ



2 833 — *Corrélation retrait radial - largeur de cernes:*

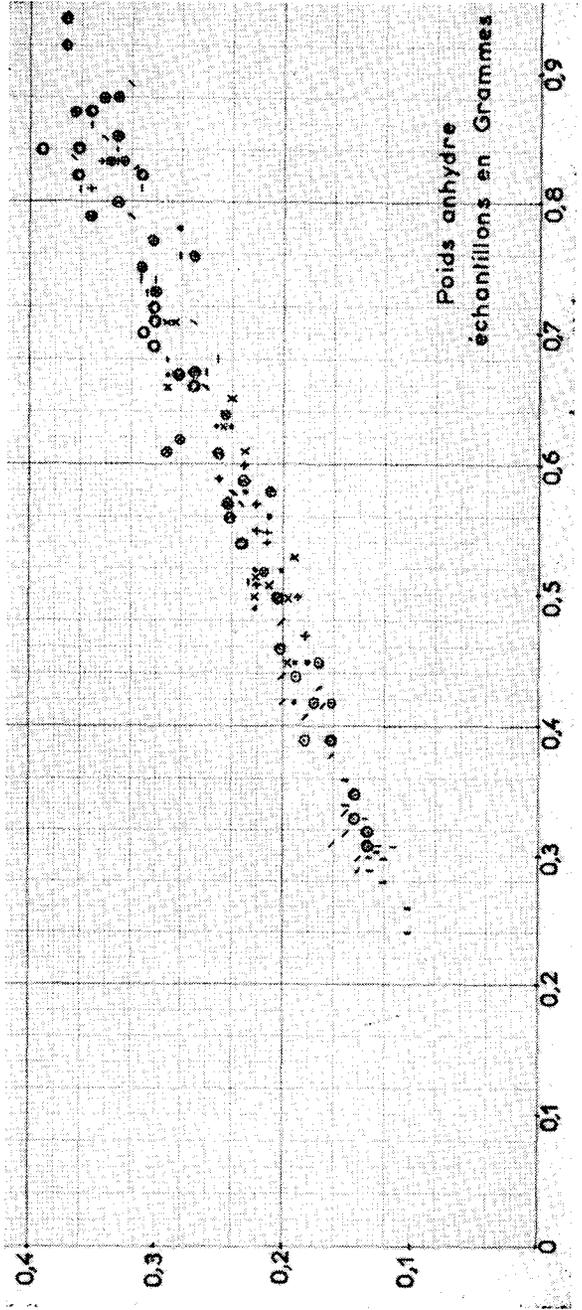
C'est une corrélation qui a souvent été observée et il était donc intéressant de chercher à la vérifier pour les bois provenant de l'Arboretum de Royat. Il résulte des chiffres portés sur le tableau ci-dessus que cette corrélation est la moins significative des trois corrélations étudiées puisqu'elle est tantôt négative, tantôt positive.

GRAPHIQUE N° 8

CORRELATION BOIS - FIBRES

- X : ABIES Grandis
- O : PSEUDOTSUGA Douglasii
- ⊙ : ABIES Nordmanniana
- ∪ : PINUS Contorta I
- : PINUS Contorta N
- : PINUS Ponderosa
- ⊗ : TSUGA Heterophylla
- ∨ : CHAMÆCYPARIS Lawsoniana
- < : PICEA Sitchensis
- + : LARIX Europaea
- ⊕ : LARIX Leptolepis

Poids anhydre
fibres en grammes



On peut observer par ailleurs que pour sept lots sur onze : Douglas, Grandis, mélèze d'Europe, Contorta N, Ponderosa, Nordmann et Sitka, le caractère plus ou moins significatif des coefficients trouvés est identique à celui obtenu pour la corrélation densité - largeur de cernes.

Un faible retrait radial étant, pour les bois d'œuvre tout au moins, une caractéristique technologique intéressante, l'attention doit se porter, toutes autres considérations étant mises à part, sur les essences qui ont un coefficient de corrélation très significatif ; pour ces essences en effet, la production de cernes larges s'accompagne d'une diminution du retrait radial, avantage qui est à mettre en balance avec l'inconvénient résultant de la perte de densité signalée plus haut.

284 — *Corrélation poids anhydre de bois - poids anhydre de fibres:*

Cette corrélation fait l'objet du graphique n° 8 ci-contre qui montre que l'on a affaire à une liaison quasi-fonctionnelle entre les deux données étudiées, phénomène qui ne doit pas surprendre et qui résulte d'ailleurs de la très faible variabilité du rendement en fibres mentionnée plus haut.

Cette dépendance très étroite tend à prouver qu'en première analyse, la seule détermination de l'infra-densité permet d'apprécier le rendement papetier comparé des différents individus ou des différentes essences. Il est certain cependant que l'utilisation de caractéristiques de cuisson identiques pour les divers lots peut être en grande partie responsable de l'état de choses observé. Il sera nécessaire de procéder encore à de nombreuses expériences dans des conditions de cuisson adaptées à chaque essence pour pouvoir confirmer ou infirmer la faible variabilité du rendement en fibres.

3 — Synthèse par essence

Il est bien évident que les essais limités et effectués sur une provenance unique dont il est rendu compte ci-dessus ne sauraient suffire pour permettre de juger d'une façon complète et définitive la valeur technologique des différentes espèces étudiées.

Malgré leur insuffisance, ils sont cependant susceptibles de fournir certaines indications intéressantes qui s'ajoutant aux connaissances déjà acquises par ailleurs, peuvent donner aux reboiseurs une idée assez précise de la qualité du bois des diverses essences qu'ils sont susceptibles d'utiliser.

31 — *Le Douglas (Pseudotsuga douglasii):*

Les recherches effectuées sur les divers échantillons en provenance de l'Arboretum de Royat ont confirmé une fois de plus la haute productivité du Douglas grâce à la grande vitesse de démarrage des

plants et à une croissance ultérieure qui s'est maintenue à un niveau élevé malgré une insuffisance évidente des éclaircies réalisées.

Parmi toutes les essences étudiées, c'est celle qui se classe en tête au point de vue de la densité, tout en étant au second rang pour la dureté mesurée sur pied au torsiomètre.

Le Douglas est également l'espèce pour laquelle la production de bois juvénile cesse le plus rapidement, ce qui représente un sérieux avantage au point de vue technologique. Sa supériorité sur toutes les autres essences introduites à Royat est enfin particulièrement nette lorsque l'on prend comme critère le rendement en tonnes de matière sèche produite par hectare et par an.

Au point de vue qualité papetière, le défilage du Douglas est apparu comme relativement facile et son rendement en fibres tout à fait satisfaisant.

Seul un point noir au milieu de ce palmarès éloquent, la rétractibilité du bois, notamment dans le sens tangentiel, sans être parmi les plus élevées, est cependant assez importante.

En ce qui concerne les caractéristiques mécaniques, le douglas se révèle supérieur, à largeur de cernes semblable, au mélèze du Japon (seule essence pour laquelle des essais comparables ont été réalisés), aussi bien en flexion statique qu'en compression axiale ou de flanc et en résistance au choc. Enfin, les analyses de corrélation auxquelles il a été procédé ont montré que, pour *Pseudotsuga douglasii*, il y avait indépendance à peu près complète entre la largeur des cernes et le retrait radial, cependant que la corrélation entre cette même largeur des cernes et la densité du bois n'est pas significative; c'est encore un avantage pour cette essence puisque une croissance diamétrale rapide ne s'accompagne pas automatiquement de conséquences fâcheuses au point de vue rendement en matière sèche ou rétractibilité.

Malheureusement, ces qualités technologiques ont pendant longtemps été ignorées ou mises en doute, les exploitants forestiers ayant, jusqu'à une époque récente, tendance à sous-estimer cette essence nouvelle qu'ils connaissaient mal et pour laquelle aucun marché spécifique n'existait.

Cependant, dès 1934, CAMPREDON (17) signalait la valeur du bois de douglas faisant ressortir sa densité élevée, ses bonnes caractéristiques mécaniques, ses avantages au point de vue facilités d'usinage ou de séchage. Les essais auxquels il s'était livré lui avaient permis de mettre en évidence une rétractibilité totale parfois élevée et généralement supérieure à celle des bois importés de même essence, cette rétractibilité n'étant cependant pas telle qu'elle puisse provoquer l'apparition de fentes de surface importantes lorsque le séchage est effectué convenablement. Les bonnes qualités mécaniques du Douglas l'incitaient à en recommander l'emploi comme bois de

charpente, mais il signalait d'autres utilisations possibles, notamment en carrosserie, pour la confection d'emballages, ou comme matériau de clôture. D'une façon générale, ayant constaté une baisse de qualité assez sensible pour les bois à croissance très rapide, il fixait la largeur optimale des cernes, du seul point de vue technologique, aux environs de 4 à 5 mm.

En 1935, GUINIER, VIDAL, BROU et ARIBERT (18) ont étudié la valeur papetière du *Pseudotsuga douglasii*. Les recherches effectuées à cette occasion leur ont permis de mettre en évidence dès cette époque un rendement en fibres élevé et une grande longueur moyenne des trachéides (3 mm environ sur des arbres de 30 ans). Deux modes de cuisson, l'un à la soude, l'autre au bisulfite, avaient été essayés, tous deux faisant apparaître un excellent rendement en pâte écrue; mais, alors que le blanchiment à l'hypochlorite avait été satisfaisant pour les pâtes à la soude, celui des pâtes au bisulfite s'était avéré à la fois difficile et onéreux, en raison d'une teneur relativement élevée en résine. Cette même étude mentionnait les qualités de solidité et de nervosité que l'on peut escompter des pâtes de douglas en raison de l'épaisseur généralement importante des membranes cellulaires.

D'autres plaidoyers en faveur du bois de Douglas ont plus récemment été prononcés, notamment par le Centre Technique du Bois qui, en 1958, a publié une brochure spécialement consacrée à cette essence (19). Les études faites à cette occasion ont montré que le sciage du Douglas était facile, ne nécessitant à surface égale qu'une puissance relativement réduite; par contre, le bois de douglas s'est révélé fortement abrasif, d'où la nécessité d'affûtage fréquent des lames; en outre, il convient de prévoir une vitesse d'avancement des chariots de scie assez lente de façon à éviter de possibles arrachements au niveau du bois de printemps. Les échantillons sur lesquels ont porté les recherches du Centre Technique du Bois présentaient généralement une densité assez élevée, et un retrait volumétrique important mais non rédhibitoire à condition que le séchage soit effectué d'une façon convenable. Au point de vue usinage, le bois de douglas se rabote facilement mais risque d'éclater au mortaisage, des fentes pouvant en outre se produire au clouage. Enfin, l'étude du Centre Technique du Bois fait ressortir la bonne durabilité de ce bois et surtout sa résistance à peu près totale aux attaques d'insectes.

Plus récemment encore, QUIQUANDON (20) a rappelé les hauts mérites du bois de douglas mentionnant notamment son intérêt comme bois de charpente, soulignant par ailleurs les avantages qui résultent pour les menuiseries extérieures de sa bonne résistance aux intempéries et de la bonne adhérence des vernis qui lui sont appliqués.

Des études spéciales ont été consacrées aux utilisations du bois de *Pseudotsuga douglasii* soit comme bois de mine (15) soit comme

poteaux de ligne (21). Toutes deux ont fait ressortir l'excellence de cette essence pour ces emplois particuliers où ses hautes qualités mécaniques peuvent être mises à profit.

A l'Étranger, une étude assez complète a été entreprise en 1955 par le Forest Products Research Laboratory de Princes Risborough pour déterminer les propriétés des bois de douglas enlevés en éclaircie dans les jeunes plantations réalisées au Royaume Uni. Cette étude confirme dans l'ensemble les résultats auxquels ont conduit les recherches similaires effectuées en France. Il y a lieu de mentionner cependant les essais d'injection à la créosote auxquels il a été procédé et qui ont fait apparaître des difficultés de pénétration de l'antiseptique, principalement dans le bois de cœur. Ces inconvénients ne doivent cependant pas être exagérés car le bois de douglas bénéficie d'une excellente durabilité naturelle, l'utilisation du procédé « séchage et fendillement » semblant en outre susceptible de faciliter grandement les traitements antiseptiques lorsque ceux-ci s'avèrent nécessaires.

Les chercheurs anglais ont par ailleurs procédé à des essais de déroulage et de fabrication de contreplaqués en douglas: le déroulage, réalisé après 24 heures de séjour dans une étuve à 75° s'est effectué facilement dans les parties sans nœuds; le séchage des plis obtenus a été satisfaisant malgré une tendance à un fendillement superficiel; par contre, la confection des contreplaqués s'est avérée difficile nécessitant notamment des pressions très élevées, faute de quoi l'adhérence des placages entre eux laissait à désirer.

Quant aux utilisations actuelles du bois de douglas provenant de plantations, elles sont fort heureusement assez variées: l'industrie papetière après avoir longtemps refusé les livraisons de douglas commence à acheter volontiers cette essence, sans la payer cependant à un prix que justifierait son rendement élevé. Le douglas est également couramment accepté par les Houillères pour le soutènement des mines et quelques poteaux de ligne sont actuellement en service.

Les utilisations comme bois de charpente se répandent de plus en plus dans les zones où des volumes importants sont disponibles. Quant aux sciages, ils sont employés pour confectionner des tours destinés au transport des câbles de fort diamètre, ou des châssis vitrés pour la culture des primeurs, deux utilisations où le douglas fait merveille en raison de ses qualités mécaniques et de sa résistance aux intempéries. Il commence également à être employé sur une assez grande échelle en menuiserie extérieure ou comme voligeage de revêtement, usages pour lesquels la belle couleur saumonée de son bois lui confère des qualités esthétiques certaines; enfin, des utilisations très particulières sont signalées (en Grande-Bretagne il est vrai): perches d'échafaudage, ridelles et fonds de camions, parquets, cuves de dégraissage et bacs pour la tannerie.

Tout ceci ne concerne que les utilisations courantes, mais il convient de signaler que les douglas ayant bénéficié d'un bon élagage, naturel ou artificiel, peuvent aspirer à des emplois beaucoup plus nobles, menuiserie fine et surtout déroulage, lorsque l'absence de nœuds se conjugue avec des largeurs de cernes pas trop importantes.

32 — *Le Sapin de Vancouver (Abies Grandis)*:

Le Grandis a fait preuve à Royat de la grande rapidité de croissance qui le caractérise dès lors qu'il se trouve sur un sol assez riche d'origine granitique et sous un climat suffisamment humide. Si, pour l'instant, sa production volumétrique apparente se révèle légèrement inférieure à celle du Douglas, on peut penser qu'il est susceptible de combler son retard étant donné qu'il a perdu deux ans sur son concurrent pendant la période de démarrage et qu'il le devance maintenant au point de vue de la largeur des cernes les plus périphériques.

Malheureusement, le Grandis se dispute la dernière place avec le Contorta I aussi bien pour la dureté au torsiomètre que pour la densité. Il est affligé par ailleurs d'un bois juvénile relativement important, et sa densité n'augmente guère lorsqu'on s'éloigne de la moelle.

Malgré cet état de choses, le Sapin de Vancouver se classe encore troisième des onze lots étudiés au point de vue rendement en tonnes de matière sèche par hectare et par an. Par ailleurs, il se défibre facilement tout en ayant un rendement en fibres inférieur à celui du Douglas. Il reprend par contre l'avantage sur celui-ci grâce à ses retraits tangentiels et radiaux inférieurs à mettre en

RT

balance il est vrai avec un rapport — plus élevé.

RR

Au point de vue résistance mécanique, le Grandis est très nettement des cinq espèces essayées en flexion statique sous forme de bois rond, celle dont la charge de rupture au cm^2 s'est révélée la plus faible.

Enfin, les études statistiques réalisées ont fait ressortir un coefficient de corrélation négatif très significatif entre la largeur des cernes et le retrait radial d'une part, la densité et la largeur des cernes d'autre part. Cette dernière corrélation est importante car elle tend à prouver que, pour le Sapin de Vancouver, une croissance rapide s'accompagne d'une baisse de qualité du bois, ce qui concorde assez bien avec les observations faites sur les arbres de l'Arboretum de la Sivrite (16) pour lesquels à des cernes plus larges correspondaient des qualités mécaniques inférieures.

La bibliographie concernant le bois du Grandis est malheureusement moins abondante que celle relative à *Pseudotsuga douglasii*.

Cependant, cette essence avait également été étudiée, en ce qui concerne sa valeur papetière, par GUINIER, VIDAL, BROU et ARIBERT (18); ils avaient eux aussi trouvé un rendement en fibres inférieur à celui du douglas, aussi bien pour les pâtes à la soude que pour les pâtes au bisulfite. Les études biométriques auxquelles ils s'étaient livrés avaient fait ressortir la longueur satisfaisante des trachéides du Grandis (2,9 mm contre 3 mm pour le douglas) et aussi leur largeur exceptionnelle (70 à 120 μ). Quant au blanchiment, il était apparu plus aisé que celui du douglas, notamment en ce qui concerne les pâtes au bisulfite, tout en restant plus difficiles que pour les épicéas par exemple.

Ces qualités papetières du Grandis ont également été signalées par POURTET (22) qui souligne en outre la faible densité et la faible dureté de son bois et mentionne comme autres utilisations possibles la caisserie et les sciages courants.

QUIQUANDON (20) pour sa part fait état de son débit facile en scierie, entaché il est vrai d'un classement défectueux dû à la présence de nœuds bouchons. Il estime sa durabilité et sa résistance aux insectes analogues à celles du sapin pectiné (chez lequel elles sont, il faut bien le reconnaître, assez peu satisfaisantes). Enfin, il ajoute aux utilisations déjà signalées le coffrage et la charpente (uniquement pour des pièces ne nécessitant pas une résistance mécanique élevée).

Il est certain qu'en l'état actuel de nos connaissances, le Sapin de Vancouver ne semble pas susceptible de fournir un bois d'œuvre apprécié; son débouché principal paraît donc devoir rester la papeterie; le Grandis est en effet une essence très intéressante pour la fabrication de pâte mécanique grâce à la faible coloration de son bois et à son absence de résine. Dans les zones d'approvisionnement des râperies, il devrait donc bénéficier du rendement élevé qui caractérise le défilage mécanique et être plus recherché que d'autres essences dont la teneur en matière sèche peut être supérieure mais qui, faute de caractéristiques technologiques satisfaisantes, ne sont pas susceptibles d'être utilisées sur place. Par contre, dès lors que, par suite de l'implantation géographique des usines, seul le débouché pâte chimique ou pâte mi-chimique peut être envisagé, le Grandis doit tôt ou tard se trouver pénalisé en raison de la médiocre densité de son bois et corrélativement de son faible rendement en fibres.

33 — Les Mélèzes (*Larix europea* et *Larix leptolepis*):

Les deux mélèzes font preuve à Royat de la grande vigueur de croissance qui caractérise cette essence, dans son jeune âge et à une altitude pas trop élevée tout au moins.

Tous deux ont eu un démarrage rapide, mais par la suite *Larix leptolepis* a atteint des chiffres de production supérieurs, encore

que, depuis une dizaine d'années la largeur des cernes de son homologue européen soit plus élevée. Le mélèze du Japon a un couple de torsion légèrement plus fort que celui du mélèze d'Europe, ce qui ne doit pas surprendre, puisque, malgré des valeurs moyennes égales, la densité des accroissements annuels les plus périphériques est plus élevée pour le premier que pour le second.

Au total, si l'on se réfère à la densité moyenne pondérée à hauteur d'homme, les deux mélèzes se classent au 3^e rang après le douglas et une provenance du *Pinus contorta*. Cette densité élevée, jointe à une production volumétrique apparente également très forte, permet au mélèze du Japon de prendre au Grandis la 2^e place au point de vue tonnage de matières sèches produites par ha et par an.

Par contre, *Larix europaea* et *Larix leptolepis* semblent avoir un rendement en fibres inférieur aux autres essences étudiées, ce qui concorde d'ailleurs avec les observations faites par les chercheurs Canadiens sur *Larix americana* et *Larix occidentalis*. De même, les deux mélèzes cultivés à Royat sont affligés d'une rétractibilité élevée, à mettre en balance il est vrai avec une durabilité tout à fait exceptionnelle.

Au point de vue mécanique, le mélèze d'Europe à large accroissement essayé en bois rond s'est révélé assez médiocre, alors que le mélèze du Japon, pour lequel l'expérimentation a été faite sous forme d'éprouvettes normalisées, est apparu comme doué de qualités mécaniques, compression de flanc mise à part, du même ordre de grandeur en moyenne que le douglas.

Les analyses de corrélation, hormis celles concernant la densité et la dureté, ont été assez peu probantes; il y a lieu cependant de retenir la corrélation inverse très significative observée pour le mélèze du Japon entre le retrait radial et la largeur des cernes.

Au total on peut donc dire que les mélèzes présentent d'excellentes caractéristiques technologiques, avec presque toujours une supériorité du mélèze du Japon sur son homologue européen.

Ces observations coïncident dans l'ensemble avec celles déjà publiées par ailleurs:

POURTET (22) signale les qualités particulières de durabilité du bois de mélèze attribuées à la formation précoce du bois de cœur. Il mentionne comme débouchés possibles suivant les dimensions: les perches à houblon, les bois de mine, la charpente et aussi la menuiserie, utilisation pour laquelle la couleur du bois de mélèze le fait particulièrement apprécier.

L'Organisme Central d'Approvisionnement des Charbonnages Belges (OCACHAR) a publié pour sa part en 1950 (23) une étude qui rend compte d'essais physiques et mécaniques réalisés sur les deux mélèzes; cette étude aboutit à des conclusions assez voisines de celles résultant des recherches effectuées sur les arbres de Royat, notamment en ce qui concerne la supériorité au point de vue mécanique de *Larix leptolepis* sur *Larix europaea*, ainsi que sur la

plupart des autres résineux couramment utilisés en bois de mine. Le document OCACHAR mentionne en outre la remarquable résistance du mélèze lorsqu'il est mis en œuvre dans des travaux hydrauliques.

QUIQUANDON (20) fait état pour sa part, en sus des débouchés déjà signalés pour le bois de mélèze, d'emplois spéciaux dus à sa qualité d'inaltérabilité face à certains produits chimiques (cuves ou séparateurs).

On doit enfin signaler les piquets et planches de clôture utilisés dans les pâturages de montagne, qui constituent la plus belle référence du mélèze au point de vue durabilité, puisqu'il s'agit le plus souvent de pièces non traitées, assez fortement fendues par suite d'une rétractibilité élevée, et qui cependant résistent pendant plusieurs décennies à des conditions climatiques particulièrement rigoureuses.

34 — *Le Sapin de Nordmann (Abies nordmanniana)*

Des différentes essences pour lesquelles le chiffre de production a été calculé, le Normann est celle qui arrive bonne dernière. Sans doute, les conditions écologiques ne sont-elles pas particulièrement favorables à cette espèce qui a eu à pâtir en 1945 d'une attaque de *Dreyfusia*, et dont le plateau renferme un certain nombre d'hybrides avec *Abies pectinata* sur lesquels les gelées printanières ont longtemps occasionné des dégâts importants. Il convient cependant de noter que la période de démarrage du Nordmann n'a pas été exceptionnellement longue et que le retard constaté s'est par suite surtout produit depuis que les plants ont atteint la hauteur de 1,30 m. Fort heureusement, cette situation est en train de s'améliorer puisque ses derniers cernes périphériques sont parmi les plus larges de tous les lots étudiés.

La dureté sur pied du Nordmann est moyenne et sa densité plutôt faible; son bois juvénile est relativement peu étendu. L'infériorité au point de vue production apparente d'*Abies nordmanniana* par rapport aux autres essences cultivées à Royat se trouve considérablement aggravée lorsqu'on calcule cette production en tonnes de matières sèches par ha et par an, son rendement devenant alors inférieur de plus de 50 % à celui de l'essence qui occupe le 1^{er} rang (le douglas) et de près de 20 % à celui du chamaecyparis qui est classé immédiatement avant lui.

Le rendement en fibre est bon, mais pour des raisons que nous n'avons pas pu élucider, le défibrage s'est avéré assez difficile.

Les caractéristiques du bois est moyenne et ses qualités mécaniques assez satisfaisantes, ce qui s'explique il est vrai par la densité élevée des échantillons essayés sous forme de bois ronds.

Le coefficient de corrélation négative entre la densité et la largeur des cernes est un des plus significatifs (— 0,60 pour 100 échan-

tillons); cette constatation coïncide avec celles qui ont pu être faites depuis longtemps sur *Abies pectinata*, ce qui tend à prouver que, pour tout le genre *Abies* d'une façon générale, à des accroissements larges correspondent des qualités technologiques inférieures (aussi bien d'ailleurs au point de vue densité que résistance mécanique).

Les utilisations du bois de Nordmann sont à caractéristiques de croissance égales, les mêmes que celles du Sapin pectiné.

35 — *Le Cyprès de Lawson (Chamaecyparis lawsoniana)*:

Cette essence a fait preuve à Royat d'une grande rapidité de démarrage; sa production apparente en volume est relativement satisfaisante, mais malheureusement sa croissance paraît actuellement se ralentir.

Son bois est dur et dense; la proportion de bois juvénile est importante et son rendement en tonnes de matières sèches produites par ha et par an le fait classer à l'avant-dernier rang des essences pour lesquelles il a pu être calculé.

Au point de vue papetier, le *Chamaecyparis* est apparu comme une essence assez médiocre en raison de son défibrage particulièrement difficile.

Fort heureusement, le bois de Cyprès de Lawson a d'autres qualités et surtout sa très faible rétractibilité qui fait qu'il ne se gauchit pas et ne se fend pratiquement pas après séchage. Les qualités mécaniques des deux lots essayés en flexion statique sous forme de bois ronds apparaissent élevées, ce qui, s'ajoutant à une durabilité exceptionnelle, devrait en faire un bois de mine apprécié.

Par ailleurs, la densité diminue peu lorsque la largeur des cernes augmente; on devrait donc pouvoir lui appliquer une sylviculture relativement intensive sans craindre une baisse de caractéristiques technologiques. L'aubier du *chamaecyparis* est très mince et difficile à distinguer de la partie duraminisée qui bénéficie d'une excellente résistance aux attaques cryptogamiques ou d'insectes.

Il est facile à travailler, d'une belle texture, dégage une odeur agréable et se polit d'une façon remarquable (qualité que l'on peut déjà observer sur les prélèvements effectués à la tarière de Pressler qui sont les plus lisses de toutes les essences étudiées).

POURTET (22) signale son intérêt comme bois de menuiserie et mentionne quelques usages spéciaux au service des industries électriques ou chimiques.

Effectivement aux U.S.A. (13), le Port-orford Cedar est employé pour faire des cloisons de batteries d'accumulateur. Il est également utilisé en construction navale, pour la confection de boîtes à l'épreuve des mites, en parqueterie, pour la fabrication de portes et fenêtres, et enfin pour l'usinage de lattes de volets rou-

lants, utilisation la plus noble qui requiert un bois durable, d'une bonne résistance mécanique, et dont les dimensions restent stables face aux variations d'humidité.

Au total, le Cyprès de Lawson est une essence de reboisement susceptible de fournir un bois d'excellente qualité, mais qui devrait être réservée à des peuplements à exploiter à longue révolution, en raison du peu d'intérêt qu'il présente pour la papeterie.

36 — *Tsuga heterophylla*:

C'est, de toutes les essences cultivées à Royat, celle dont la période de démarrage a été la plus longue; corrélativement, sa production volumétrique apparente est une des plus faibles puisqu'elle se classe au 7^e rang sur 8. Cependant, une amélioration se dessine actuellement, le tsuga arrivant en tête pour la largeur des cernes des 6 dernières années.

La dureté sur pied est apparue comme très élevée; la densité est également forte près du cœur, le bois devenant plus léger par la suite. La production en tonnes de matières sèches par ha et par an est dans l'ensemble assez médiocre.

Le rendement en fibre est bon, et le défilage facile. La rétractibilité est assez faible. Les qualités mécaniques se sont révélées excellentes pour les billons essayés en flexion statique, mais il convient de signaler qu'il s'agissait d'échantillons à forte densité.

Le tsuga est une des quatre essences pour lesquelles le coefficient de corrélation entre la densité et la largeur des cernes est, significatif au seuil de 1%, c'est-à-dire que des caractéristiques technologiques intéressantes ont toutes chances de ne se rencontrer que sur des individus à croissance lente.

Le bois de tsuga est peu coloré, son aubier est très mince, et les nœuds sont généralement petits, sains et adhérents, ce qui réduit considérablement les inconvénients inhérents à leur présence. En outre, c'est un bois non résineux et le procédé au bisulfite peut lui être appliqué en papeterie.

POURTER (22) décrit le tsuga comme un excellent bois à pâte, et mentionne comme autres utilisations possibles la caisserie, la menuiserie intérieure, et les âmes de contreplaqué.

Les chercheurs Canadiens ont pour leur part procédé à une étude comparative du bois de douglas et de *Tsuga heterophylla* (Western hemlock) (24); ils ont trouvé que le douglas est supérieur au point de vue rapidité de croissance, pourcentage de bois d'été (aussi bien en valeur absolue qu'en gradient d'augmentation suivant l'âge du cerne) et au point de vue de la longueur des trachéides, les seuls avantages relatifs du tsuga étant une teneur plus élevée en α cellulose et une proportion moindre de fibres torses.

Aux U.S.A. (13), le tsuga est employé principalement comme bois de papeterie et comme bois de construction : charpentes, voliges, lattes à plafond.

On peut difficilement espérer pour lui en France des utilisations plus nobles que celles qui sont les siennes dans son pays d'origine. Un traitement à longue révolution ne se justifie donc guère et une utilisation comme bois de papeterie semble devoir fournir pour longtemps le principal débouché du tsuga ; encore convient-il d'observer que, même pour cet usage, sa production relativement limitée le place en position d'infériorité par rapport à la plupart des autres essences, dans des conditions écologiques analogues à celles de Royat tout au moins.

37 — *Pinus contorta*:

Les deux lots de *Pinus contorta* étudiés présentent en tous points des caractéristiques différentes sinon opposées, presque toujours à l'avantage de la provenance d'altitude élevée.

C'est ainsi que le Contorta I est avant-dernier pour la vitesse de démarrage alors que le « N » est second, qu'il est de tous les lots étudiés celui dont la largeur des cernes est la plus faible, tandis que la provenance de montagne se classe au 7^e rang.

La densité et la dureté du second sont de même sensiblement plus élevées que celles du premier.

Les seuls avantages relatifs du Contorta I sont une plus faible rétractibilité et un rendement en fibres légèrement supérieur, mais il convient de signaler que l'une et l'autre provenances ont été caractérisées par un défibrage assez laborieux, et des variations dimensionnelles face aux changements d'humidité dans l'ensemble très modérées.

La corrélation inverse entre la densité et la largeur des cernes est significative (au seuil de 5 %) pour le Contorta I alors que pour le contorta N il y a indépendance à peu près complète entre les deux données.

Si le *Pinus contorta* est très peu répandu en France, il est au contraire largement utilisé en Grande-Bretagne, notamment dans les stations les plus pauvres au point de vue sol ou les plus défavorisées quant aux conditions climatiques. Cette importance de *Pinus contorta* dans les reboisements britanniques a amené le Forest Products Research Laboratory à lui consacrer une étude spéciale (25). Les recherches effectuées à Princes Risborough sur des arbres de 28 ans ont également fait apparaître une grande variabilité entre provenances différentes ainsi qu'une densité moyenne du bois relativement peu élevée (356 à 366), intermédiaire entre celles des deux lots étudiés à Royat.

De même, les chercheurs britanniques signalent comme assez caractéristique de *Pinus contorta* un passage très progressif du bois

de printemps au bois d'été que l'on peut également observer sur l'un et l'autre des *Pinus contorta* de Royat, mais principalement sur Contorta N. Par contre, cette essence est caractérisée en Grande-Bretagne par une certaine constance de la largeur des cernes annuels de la moelle vers l'écorce (aux alentours de 6 mm), phénomène que nous n'avons retrouvé ni sur contorta I ni sur contorta N.

Les recherches faites au Forest Products Research Laboratory ont montré que la duraminisation du bois de *Pinus contorta* est particulièrement rapide, la coloration du bois de cœur étant cependant en général assez peu accentuée. La texture est apparue comme inférieure à celle du Pin sylvestre, mais supérieure à celle du Pin weymouth. Le séchage du bois ne pose pas de problème particulier; le sciage et l'usinage sont aisés (plus que pour l'Epicéa de sitka); le gauchissement des planches est très réduit. Enfin, dans les essais de traitement aux produits antiseptiques, l'imprégnation du bois de cœur s'est avérée assez difficile.

Aux Etats-Unis, le Lodgepole pine est utilisé comme bois de charpente, bois de mine et pour la fabrication des traverses de chemin de fer ou de poteaux de ligne; son emploi en bois de menuiserie et en parqueterie commence à se répandre.

Au total, on peut dire que dans des conditions climatiques analogues à celles de Royat, le *Pinus contorta* en provenance d'Oregon à altitude de 1 200 m apparaît comme pouvant seul intéresser les reboiseurs, lorsque la médiocrité du sol s'oppose à l'utilisation d'essences plus productives.

Il y a lieu cependant d'indiquer que le *Pinus contorta N* s'est révélé à Royat particulièrement sensible aux chablis, risque qui devrait, si cette tendance se confirmait, être sérieusement pris en considération avant de l'utiliser sur une grande échelle.

38 — *Pinus ponderosa*:

Le *Pinus ponderosa*, essence également peu utilisée en France jusqu'ici, semble cependant, d'après les essais limités auxquels il a été procédé sur un échantillonnage assez réduit, digne d'intérêt.

Malgré un démarrage plutôt lent, il arrive au 4^e rang pour le diamètre moyen actuel et au 3^e rang pour la largeur des cernes.

Sa dureté et sa densité sont assez faibles, la période de formation du bois juvénile n'est pas trop longue.

Sur la base d'un cubage approximatif des arbres restant sur pied à l'heure actuelle, *Pinus ponderosa* arrive au 4^e rang pour le rendement aussi bien en m³ qu'en tonnes de matières sèches par ha et par an, c'est-à-dire qu'il se révèle à Royat beaucoup plus productif que certaines essences de reboisement plus réputées, tels le Mélèze d'Europe, le Tsuga, le Cyprès de Lawson ou le Nordmann.

Son rendement en fibre peut sembler assez faible, mais, parmi les 11 lots expérimentés, c'est celui dont le défibrage est apparu le plus facile, et on peut penser qu'en réduisant la concentration en soude ou la durée de cuisson, on pourrait obtenir une quantité supérieure de pâte de qualité satisfaisante.

La rétractibilité de *Pinus ponderosa* est une des plus faibles de toutes les essences étudiées.

Les analyses de corrélation ont montré qu'il y avait indépendance complète entre la largeur des cernes d'une part et soit la densité soit le retrait radial d'autre part; par contre, la corrélation directe entre la densité et le couple de torsion est particulièrement significative.

Les études faites sur *Pinus ponderosa* aux États-Unis (13) montrent que les caractéristiques physiques observées sur les arbres de Royat sont voisines de celles qui sont admises dans son pays d'origine: faible densité, faible dureté, retrait peu élevé avec corrélativement un minimum de déformation au séchage ou à la mise en œuvre, texture uniforme avec passage très progressif du bois de printemps ou d'été.

Ses utilisations sont très variées: les bois de faibles dimensions servent à faire des piquets, des bois de mine, des poteaux ou des pilots; ceux de plus fort diamètre sont utilisés comme bois de charpente ou d'emballage lorsqu'il s'agit de grumes de second choix, et comme bois de menuiserie (portes, fenêtres et lambris notamment) pour ceux de qualité supérieure; enfin, les parties sans nœuds des plus belles billes servent à faire des placages.

Grâce à la grande similitude des caractéristiques physiques observées, il semble que *Pinus ponderosa* introduit en France soit susceptible lui aussi d'avoir une gamme de débouchés très étendue, surtout en ce qui concerne les bois de qualité qui peuvent être obtenus grâce à une sylviculture appropriée ou à des élagages artificiels. On peut donc penser qu'il s'agit là d'une essence à cultiver à longue révolution et qui pourrait utilement être davantage employée dans les reboisements français.

39 — *Epicéa de Sitka*:

Il convient tout d'abord de rappeler que les recherches faites sur les épicéas de Sitka cultivés à l'arboretum de Royat n'ont pu porter que sur un très petit nombre d'échantillons ce qui, plus que pour les autres essences, interdit toute généralisation des résultats observés.

Ces réserves étant faites, le Sitka a pâti à Royat d'un démarrage relativement laborieux et d'une croissance ultérieure elle-même ralentie, en sorte que le diamètre moyen et la largeur des cernes y sont très faibles; cependant les tiges d'élite (celles qui ont 20 cer-

nes et plus à hauteur d'homme) ont bénéficié au contraire d'accroissements annuels importants, surtout ces dernières années.

La dureté sur pied est assez élevée, de même que la densité moyenne par « carotte » ; par contre, la densité moyenne à hauteur d'homme est beaucoup plus faible en raison de la très forte diminution qui peut être observée à l'échelle du cerne lorsque l'on passe de la moelle à l'écorce. Le bois juvénile du Sitka est exceptionnellement important et s'étend pratiquement jusqu'au 20^e cerne à hauteur d'homme.

Le défibrage est facile, et le rendement en pâte est plus élevé que pour tous les autres lots, ce qui ne fait que confirmer l'intérêt papetier de cette essence.

La rétractibilité est assez élevée, sans être cependant excessive.

Le Sitka est de toutes les essences expérimentées celle pour laquelle les corrélations étudiées ont été les plus significatives (compte tenu du petit nombre d'échantillons) ; cette observation est particulièrement importante en ce qui concerne la corrélation inverse entre la densité et la largeur des cernes, car, le débouché principal du Sitka semblant devoir rester la papeterie, on peut craindre que la production de fibres au m³ ne soit satisfaisante que pour les arbres à croissance plus ou moins ralentie. Cette corrélation très étroite explique d'ailleurs que l'on ne retrouve pas, tant s'en faut, sur les épicéas de sitka à larges accroissements des reboisements européens les qualités physiques ou mécaniques bien connues du « spruce » américain.

L'Épicéa de Sitka, qui pousse dans des conditions particulièrement satisfaisantes sous le climat atlantique, est de loin la première essence de reboisement de Grande-Bretagne. A ce titre, il a fait l'objet d'expérimentations étendues de la part des stations de recherches britanniques, et le Forest Products Research Laboratory lui a récemment consacré un bulletin spécial (26).

Les études qui y sont consignées ont porté sur la densité du bois, la longueur des trachéïdes, la présence de fibres torsées, les facilités d'usinage ou d'injection, chacune de ces caractéristiques étant analysée en fonction de 5 variables : climat, nature du sol, âge et densité du peuplement, classe de fertilité.

La densité moyenne générale se chiffre à 331 kg/m³ à 12 % d'humidité, ce qui est sensiblement inférieur au chiffre trouvé à Royat, mais s'explique par une plus grande rapidité de croissance (cernes de 4 à 5 mm de large) ; la longueur des trachéïdes varie de 2,6 à 3,3 mm témoignant de qualités papetières certaines. Malheureusement, les épicéas de Sitka des reboisements britanniques présentent à un degré plus ou moins important suivant les stations deux graves défauts : la fibre torsée qui se retrouve dans pratiquement tous les échantillons, et la fissuration sur pied, attribuée à la sécheresse, qu'on peut observer sur 22 % des arbres étudiés. Ces fentes atteignent une longueur d'environ 3 m et intéressent 10 à 15 cernes

d'épaisseur ; elles se rencontrent principalement sur les arbres à faible densité et sont rarement visibles extérieurement. Il est vrai que ce défaut existe également sur d'autres résineux tendres à croissance rapide : *Abies grandis* et *Abies nobilis* notamment.

Le séchage du bois de Sitka est facile, mais s'accompagne souvent de fentes ou de gauchissement. Le rabotage nécessite des précautions spéciales dues à la présence de nœuds particulièrement durs, et l'état de surface obtenu laisse souvent à désirer.

L'imprégnation est assez difficile, car des températures et des pressions peu élevées peuvent seules éviter que le phénomène de collapse ne se développe durant le traitement.

Aux Etats-Unis (13) les épicéas de Sitka de première génération ont pendant longtemps fourni des produits de qualité exceptionnelle : bois d'aviation, bois de résonance, montants d'échelle ; les peuplements ultérieurs sur lesquels une sylviculture plus intensive est pratiquée ne bénéficient plus des mêmes débouchés, les principales utilisations étant alors la papeterie, la charpente, l'emballage et quelquefois la tonnellerie, les bois de qualité supérieure étant quant à eux employés en menuiserie ou en construction navale.

En France, il semble bien que l'épicéa de Sitka ne végète d'une façon satisfaisante que dans les régions qui bénéficient d'une humidité atmosphérique élevée. Dans de telles conditions, il produit du bois à accroissements larges qui présente souvent les défauts signalés par les chercheurs britanniques. On peut donc penser que, dans ces régions, le Sitka qui fournit des chiffres de production particulièrement impressionnants (27) devrait le plus souvent être cultivé à courte révolution, en vue de la production de bois à pâte.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

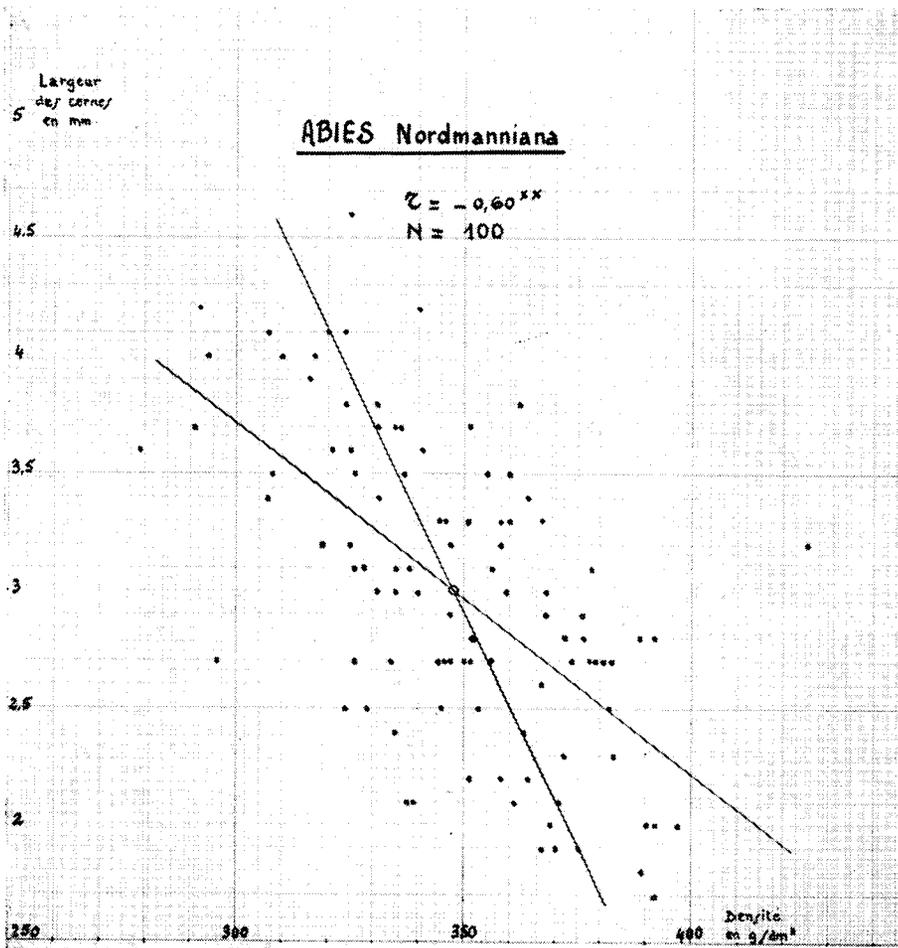
1. POURTET (J.). — Notice ronéotypée sur l'arboretum de Royat, 1958.
2. GOGGANS (J.-F.). — The correlation, variation and Inheritance of wood properties in loblolly pine. Technical report n° 14 School of forestry. North Carolina, p. 12 à 14, 1962.
3. POLGE (H.). — Recherches sur l'utilisation des prélèvements effectués à la tarière de Pressler pour l'étude des propriétés physiques et mécaniques du bois. Revue Forestière Française, p. 836 à 853, 1962.
4. KEYLWERTH (R.). — Ein Beitrag zur qualitativen Zuwaghsanalyse Holz Roh — u Werkstoff. Vol. 12, n° 3, p. 77 à 83, 1954.
5. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. U.S. Forest Products Laboratory. Report n° 2014, 1954.
6. STAMM (A.-J.). — Density of wood substance, Adsorption by wood, and permeability of wood. Jour. of Physical chem. Vol. 33, p. 398 à 414, 1929.
7. BETHEL (J.-S.). — Loblolly pine pulping qualities. Paper Ind. and paper World 22, pp. 358 à 359, 1940.
8. PAUL (B.-H.). — Juvenile wood in conifers. U.S. Dept Agr - Forest Products Laboratory. Report 2094, 1957.
9. ZOBEL (B.-J.-C.), WEBB and HENSON (F.). — Core or juvenile wood of loblolly and slash pine trees. Tappi 42, p. 345 à 355, 1959.

10. WAHLGREN (H.-E.) et FASSNACHT (D.-L.). — Estimating tree specific gravity from a single increment core. U.S. Forest Products Laboratory, report 2146, 1959.
 11. CHIAVERINA (J.). — Sur la dissociation des tissus végétaux. Communication à l'Association française pour l'Avancement des Sciences, 1945.
 12. Proceedings of three symposia in wood quality. Department of lands and Forests Ontario; research report n° 48, 1962.
 13. Wood handbook. U.S. Department of agr. Handbook n° 72, p. 315 à 316. Washington, 1955.
 14. KOLLMANN (F.). — Technologie des Holzes. Appendices 1 et 2. Berlin, 1936.
 15. VENET (J.). — Etude de la résistance mécanique des bois de mine en fonction des facteurs de la production forestière. Thèse d'Ingénieur Docteur, p. 193 à 206, Nancy, 1958.
 16. POLGE (H.). — Compte rendu des études technologiques faites sur quatre essences en provenance de l'arboretum de la Sivrite. Revue Forestière Française, p. 116 à 126, 1963.
 17. CAMPREDON (J.). — Etude des propriétés physiques et mécaniques de quelques bois exotiques. Annales E.N.E.F., p. 181 à 220, 1934.
 18. GUINIER (Ph.), VIDAL (L.), BROT (M.), ARIBERT (M.). — Utilisation en papeterie du bois de trois conifères américains cultivés dans l'est de la France. Annales E.N.E.F., p. 289 à 314, 1935.
 19. Qualités et utilisations du bois de douglas provenant des reboisements français. Centre Technique du Bois, 1958.
 20. QUIQUANDON (B.). — Comment procéder au choix des essences en vue de la production d'un bois de qualité. Revue du Bois, 1962.
 21. VENET (J.). — Essais mécaniques sur poteaux de ligne provenant de diverses essences de reboisement. Revue Forestière Française, p. 713 à 718, 1962.
 22. POURTET (J.). — Repeuplement artificiel. E.N.E.F., Nancy, 1951.
 23. OCACHAR, Monographie du mélèze, 1950.
 24. WELLWOOD (R.-W.) and SMITH (J.-G.-H.). — Variation in some important qualities of wood from young douglas fir and hemlock trees. Research Papers, n° 50, 1962.
 25. Forest Products Research Laboratory. Princes Risborough. Thinnings of dome grown lodgepole pine (*Pinus contorta*), report n° 1027, 1960.
 26. BROUGHTON (J.-A.-H.). — Properties of 30 - 27 Year old sitka spruce Timber. Forest Products Research Laboratory, bulletin n° 48, 1962.
 27. PARDÉ (J.). — Aperçu sur la productivité des plantations résineuses en Bretagne. Revue Forestière Française, p. 401 à 416, 1963.
-

ANNEXE N° 1

CORRÉLATION ENTRE LA DENSITÉ ET LA LARGEUR
DES CERNES

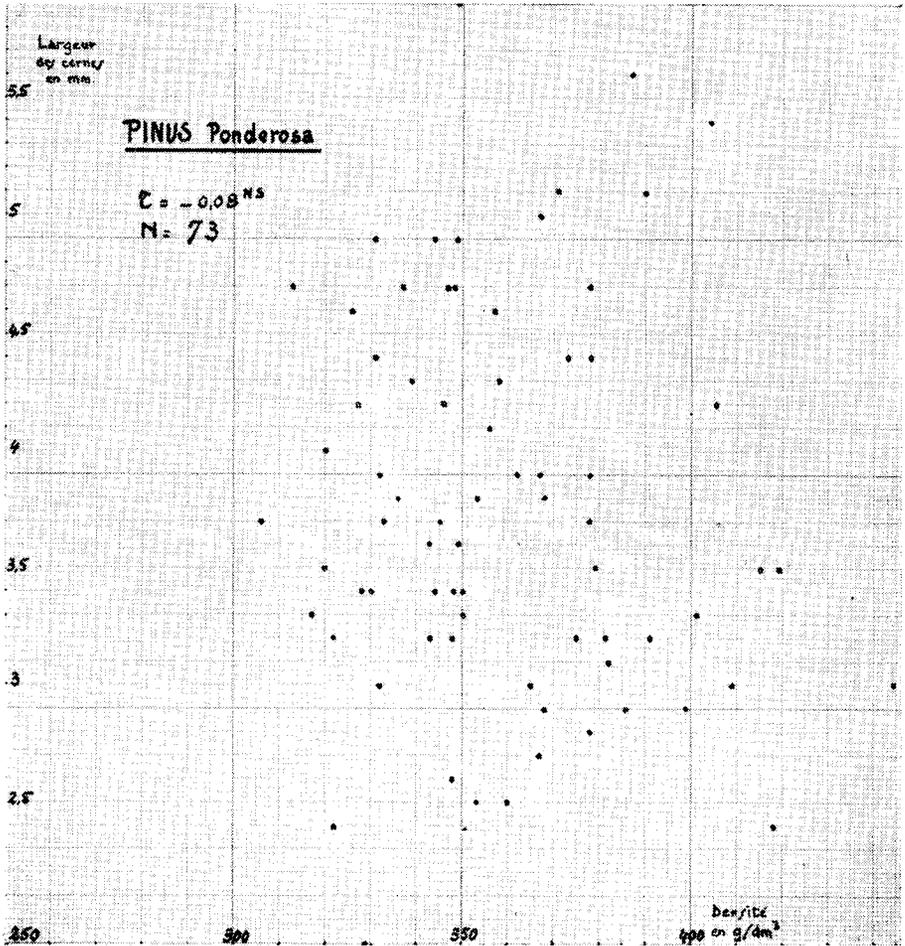
Cas de corrélation très significative:



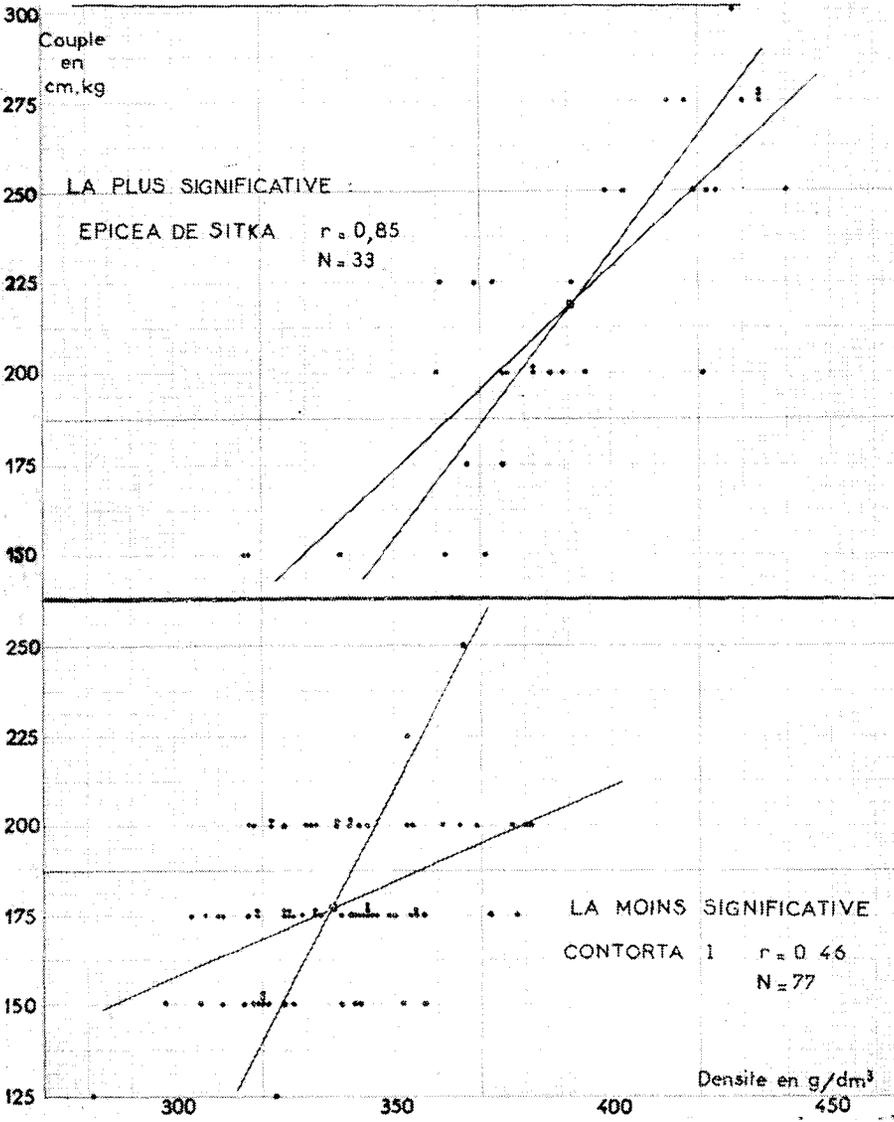
ANNEXE N° 2

CORRÉLATION ENTRE LA DENSITÉ
ET LA LARGEUR DES CERNES

Cas d'indépendance à peu près complète

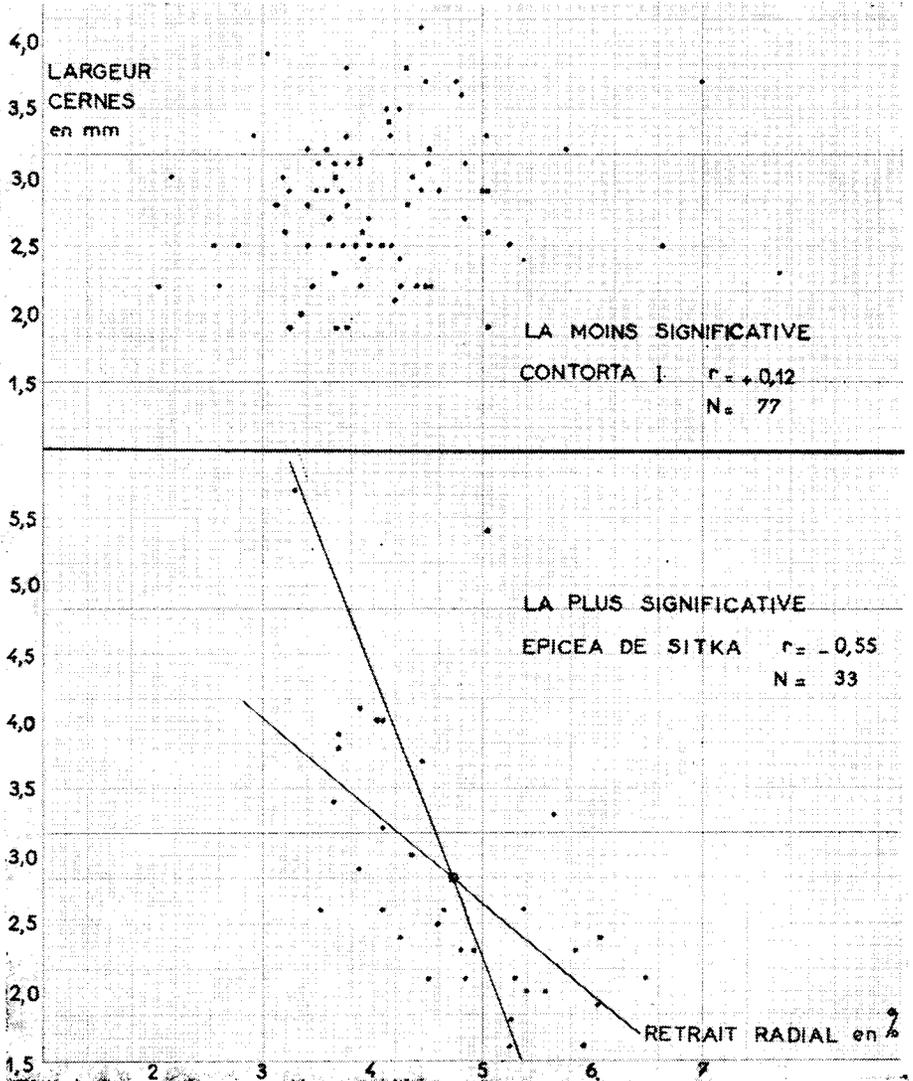


ANNEX n° 3
CORRÉLATION DENSITÉ-DURETÉ



ANNEXE n° 4

CORRÉLATION RETRAIT RADIAL - LARGEUR CERNES



RÉSUMÉ

Cette étude fait le point des recherches entreprises sur des échantillons provenant de l'arboretum de Royat (altitude 800 m, pluviosité 856 mm, température moyenne 8°, roche-mère granitique) pour apprécier les qualités du bois de 10 essences de reboisement distinctes et pour l'une d'elles (*Pinus contorta*) comparer entre eux deux lots de provenances diverses.

Au point de vue de la rapidité de croissance, sont analysées séparément la vitesse de démarrage des plants (nombre d'années nécessaires pour atteindre la hauteur de 1,30 m) et la croissance ultérieure (diamètre moyen, largeur moyenne des cernes); en outre, les variations des accroissements annuels sont étudiés de façon à prévoir les modifications possibles de la hiérarchie actuelle des différentes essences.

La dureté des arbres sur pied a été appréciée au torsiomètre et s'est révélée en corrélation étroite avec la densité.

Cette dernière caractéristique physique a fait l'objet d'études approfondies: elle a tout d'abord été déterminée d'une façon globale pour l'ensemble des échantillons prélevés à la tarière de Pressler. La corrélation entre cette densité globale et la largeur moyenne des cernes a été étudiée. Elle n'est apparue significative que pour 6 lots sur 11, 2 cas d'indépendance absolue étant en outre observés.

Les variations de densités suivant l'âge des cernes ont été étudiées deux cernes par deux cernes, selon une méthode dérivée de la méthode de saturation intégrale. Connaissant la densité propre des divers accroissements annuels et leur largeur (donc la surface qu'ils occupent), la densité moyenne à hauteur d'homme a été calculée.

Une estimation du rendement en tonnes de matières sèches par ha et par an a été faite, basée sur la production en m³ par ha et par an et sur la densité moyenne à hauteur d'homme.

Un certain nombre d'échantillons des diverses essences ou provenances ont été défibrés par un procédé voisin du procédé Kraft, pour apprécier leur valeur papetière comparée; une liaison quasi-fonctionnelle entre le poids anhydre de bois de l'échantillon et le poids anhydre des fibres susceptibles d'en être tirées a été mis en évidence.

Les retraits tangentiels et radiaux entre l'état saturé et l'état anhydre ont été étudiés, et les chiffres obtenus comparés avec ceux déjà publiés par ailleurs.

Enfin, des essais mécaniques ont été réalisés sur bois ronds et sur éprouvettes normalisées pour un certain nombre d'essences.

Le Douglas est apparu comme une essence très productive ayant un démarrage très rapide, bénéficiant d'une densité élevée et se défibrant facilement; son retrait, surtout tangentiel, est important.

Le Grandis pousse également très bien à Royat et devance même le Douglas au point de vue de la largeur des cernes les plus périphériques; sa densité est faible et n'augmente guère le long d'un échantillon radial; sa rétractibilité est moins élevée que celle du Douglas. Le défibrage est aisé; les caractéristiques mécaniques médiocres.

Les deux Mélèzes ont prospéré d'une façon satisfaisante à Royat, surtout le Mélèze du Japon, mais actuellement, le Mélèze d'Europe bénéficie d'accroissements plus larges. La densité de leur bois est élevée, et le Mélèze du Japon notamment arrive au 2^e rang au point de vue production en matières sèches. Par contre, *Larix leptolepis* et *Larix europaea* ont un rendement en fibre plus faible que les autres essences étudiées. Leur rétractibilité est forte. Le Mélèze du Japon bénéficie d'une bonne résistance mécanique.

Le Sapin de Nordmann a eu au début une croissance très ralentie, mais qui va en s'améliorant actuellement par rapport aux autres essences; sa densité est faible et il arrive dernier pour la production en tonnes de matières sèches par ha et an. Le rendement en fibre est satisfaisant, ainsi que les caractéristiques mécaniques, pour les bois de forte densité tout au moins. Le coefficient de corrélation entre la densité et la largeur des cernes est très significatif, d'où une variabilité importante des qualités du bois suivant la vitesse de croissance.

Le Cyprés de Lawson a eu un démarrage rapide, mais sa croissance se ralentit maintenant; son bois est dur et dense; son défibrage est très difficile. Ses principales qualités résident dans la très faible rétractibilité de son bois, dans des caractéristiques mécaniques élevées, et dans la faible corrélation qui existe entre la densité et la largeur des cernes.

Le Tsuga a souffert à Royat d'un démarrage très lent d'où une production volumétrique faible; cependant la vitesse de croissance est maintenant meilleure comparée à celle des autres essences: la densité du bois, surtout pour les accroissements les plus périphériques est peu élevée. La production en matières sèches par ha et par an est médiocre. Le rendement en fibre est bon et le défibrage facile; la rétractibilité est assez faible; les échantillons à croissance

lente présentent de bonnes caractéristiques mécaniques, mais une corrélation inverse très significative existe entre les qualités du bois et la largeur des cernes.

Des deux *Pinus contorta* étudiés, c'est l'échantillon en provenance de haute altitude (Orégon 1 200 m) qui est le meilleur aussi bien au point de vue rapidité de croissance qu'au point de vue densité du bois; tous deux ont une rétractibilité faible et un défibrage difficile.

Le *Pinus ponderosa*, malgré un démarrage assez lent, est une des essences les plus productives parmi celles qui ont été essayées à Royat; son bois est d'une densité assez faible, mais sa rétractibilité est exceptionnellement peu élevée; son défibrage est très facile.

L'*Épicéa de Sitka* a eu un démarrage lent et sa vitesse de croissance est elle-même peu élevée; la proportion de bois juvénile est très importante en sorte que la densité moyenne à hauteur d'homme est faible. La rétractibilité est assez élevée, mais le défibrage est facile et le rendement en pâte très important. La corrélation inverse entre la largeur des cernes et la densité est très significative.

SUMMARY

This study is a review of the investigations begun on samples grown in the Royat Arboretum (altitude 800 m, rainfall 856 mm.; average temperature 8°C, granitic mother-rock) in order to appreciate wood qualities of ten distinct species used for reforestation and for one of them (*Pinus contorta*) to compare two lots of different origin.

In regard to growth rate, the swiftness of plant initial development (number of years necessary to reach the height of 1.30 m) and the ulterior growth (average diameter, average width of annual rings) have been analysed separately; besides, the variations of annual increment have been studied so as to provide for possible alterations in the present hierarchy of these various species.

The hardness of standing trees has been estimated with a « tor-siometre » and was found to be in close relationship with density.

This last physical characteristic formed the subject of extensive studies: first it has been determined as a total for all samples cut off with Pressler's borer. The correlation between this total density and the average width of annual rings has been studied. It has appeared significant for only six out of the eleven lots; besides two cases of absolute independance have been observed.

The variations of density with annual-ring age have been studied, taking rings two by two, according to a method derived from the integral saturation method. Knowing the real densities of the various annual increments and their width (therefore the area that they occupy), the average density at breast height has been calculated.

An estimation of yield in ton of dry matter per ha and per year has been made, and based on the production in m³ per ha and per year and on the average density at breast height.

A certain number of samples from various species or origins have been ground by a process near Kraft method, to estimate their

comparative value for paper making; an almost functional relation between the dry weight of wood sample and the dry weight of the fibres susceptible to be obtained from it has been pointed out.

The tangential and radial shrinkage from saturated to dry conditions have been studied, and the data obtained compared with those published before.

Finally, mechanical tests have been carried out on round woods and standardized test tubes for a certain number of species.

Douglas Fir appeared as a highly productive species with a very fast initial growth, a high density and easy to be ground; its shrinkage, especially tangential, is important.

Grand Fir also grows very well at Royat and has even the advantage over Douglas Fir in regard to the width of outer annual rings; its density is low and increases but little along the radial sample; its shrinkage properties are somewhat lower than with Douglas. Grinding is easy and mechanical characteristics rather feeble.

The two Larch species have thriven satisfactorily at Royat, especially Japanese Larch, but, at present, European Larch shows wider increments. Their wood density is high and Japanese Larch especially ranges second for the production of dry matter. On the other hand, *Larix leptolepis* and *Larix europaea* have a lower fibre yield than the other species studied. Their shrinkage properties are high. Japanese Larch shows a good mechanical resistance.

At the beginning, Nordmann Fir had a very slow growth, but it is improving now as compared with the other species; its density is low and it ranges last for dry matter production in ton per ha and per year. Fibre yield is satisfactory as well as mechanical characteristics, at least for high-density woods. The correlation coefficient between density and width of annual rings is most significant, hence an important variability of wood quality according to growth rate.

Lawson Cypress had a fast initial growth which is slackening now; its wood is hard and dense; its grinding is very difficult. Its main advantages are the very low shrinkage properties of its wood, its high mechanical characteristics, and a feeble correlation between density and width of annual rings.

Hemlock suffered from a very slow initial growth at Royat, hence its low volumetric production; yet its growth rate is better now as compared with the other species; wood density is low especially for outer annual rings.

Dry matter production per ha and per year is mediocre. Fibre yield is good and grinding easy; shrinkage properties are rather low; the samples with a slow increment show good mechanical characteristics, but there is a most significant negative correlation between wood qualities and width of annual rings.

Between the two Lodgepole Pines studied, it is the sample coming from higher altitude (Oregon 1200 m.) which is the best in regard as well to growth rate as to wood density. Both have a low shrinkage capacity and their grinding is difficult.

Ponderosa Pine, in spite of its slow initial growth, is one of the species which have the highest production among those which have been tried at Royat. Its wood has a rather low density, but its shrinkage properties are exceptionnaly low; its grinding is very easy.

Sitka Spruce had a slow initial development and its growth rate is low too; the percentage of early wood is very important so that average density at breast height is low. The shrinkage properties are rather high, but grinding is easy and pulp yield very important. The negative correlation between width of annual rings and density is highly significant.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Erforschung zerlegt die Untersuchungen der aus der Baumzucht von Royat entzogenen Musterproben (Höhestand 800 M, Regenmenge 856 Mm, Mitteltemperatur 8°, auf Granitmutterfelsen). Damit werden die Eigenschaften von 10 zum anpflanzen verschiedener Holzarten bewertet. Eine darunter (*Pinus contorta*) wird in zwei von unterschiedlicher Herkunft kommenden Gruppen in Vergleich gestellt.

Was die Wuchsgeschwindigkeit anbetrifft, ist die Schnelligkeit des Anwuchses der Pflanzen (genötigte Jahresfrist um eine Höhe von 1,30 M zu erreichen) mit dem nachkommenden Wachsen (Mitteldurchmesser, Mittelbreite der Jahrringe) getrennt geschildert; ausserdem sind die Abweichungen im Jahreswuchse derart ergründet damit etwaige Änderungen in der aktuellen Rangordnung der verschiedenen Holzarten voraussichtlich erkennbar seien.

Die Härte der zu Stock stehenden Bäumen wurde mit dem Torsionsgerät festgestellt und ergab ganz enge Beziehung mit der Dichte.

Letzte physikalische Eigenschaft wurde gründlich erforscht: sie wurde allererst in der Gesamtheit mit dem Presslerbohrer ausgewundenen Musterproben gekennzeichnet. Der Zusammenhang zwischen dieser globalen Dichte und der Mittelbreite der Jahrringe wurde nachgeprüft. Dieses Einwirken schien von Bedeutung nur für 6 zu 11 Anteilungen, da 2 Fälle absoluter Nichteinwirkung zu vermerken waren.

Die Dichteveränderungen gemäss des Alters der Jahrringe wurde zu je zwei Stück geprüft, dies nach einem Verfahren der vollkommenen Sättigung herrührend. Da wir die eigentliche Dichte der verschiedenen Jahrringe und ihre Breite (also die besetzte Fläche) kennen, wurde demgemäss die Mitteldichte in Brusthöhe berechnet.

Eine Abschätzung des Ertrags an Dürrstoffen, in Tonnengewicht, pro Ha und pro Jahr, wurde hergestellt, dies je nach dem Gewinn an M³, pro Ha und pro Jahr und je nach der Mitteldichte, in Brusthöhe, berechnet.

Eine gewisse Anzahl Musterproben verschiedener Holzart oder Provenienz, wurde durch ein, wie von Kraft ähnliches Verfahren, zerfasert, dies um den Papierstoffgehalt vergleichsweise zu bestimm-

men; eine beinahe Verbindung zwischen dem Trockengewicht des Musterholzes und jenes der zur Gewinnung bestimmten Fasern wurde klar festgestellt.

Die tangentialen und radialen Schrumpfvorgänge zwischen nassem und trockenem Zustand wurden ergründet und die erhaltenen Ziffern mit denen, sonstwo schon veröffentlicht, in den Vergleich gestellt.

Endlich wurden mechanische Versuche auf Rundhölzer und normalisierter Musterproben für eine Anzahl Holzgattungen unternommen.

Die *Duglasie* hat sich als eine sehr einträgliche Gattung, mit sehr raschem Anfangswachstum, bewiesen. Sie besitzt hohe Dichte und zerfasert leicht; ihre Schrumpfeigenschaft, besonders in tangentialer Richtung, ist sehr wichtig.

Die *Grandistanne* gedeiht auch recht gut in Royat und übertrifft sogar die *Duglasie* betreffs der am Umkreis liegenden Jahrringbreite. Ihre Dichte ist schwach und wenig zunehmend längs eines Querschnittmusters; ihr Schrumpfverfahren ist schwächer als das der *Duglasie*, die Zerfaserung leicht, besitzt aber geringe mechanische Eigenschaften.

Beide *Lärchen* haben in Royat gut gedeiht, besonders die Japanlärche, aber zur Zeit besitzt die Europalärche einen breiteren Jahrringbau. Die Dichte ihres Holzes ist von hoher Eigenschaft, besonders die Japanlärche die in zweiter Reihe steht betreffs des Dürrstofftrags. Dagegen haben *Larix leptolepis* und *Larix europæa* eine schwächere Fasererzeugung als die anderen ergründeten Gattungen. Ihre Schrumpfeigenständigkeit ist stark. Die Japanlärche besitzt guten mechanischen Widerstand.

Die *Nordmannstanne* hatte anfangs einen sehr schwachen Auftrieb der sich aber, hinsichtlich anderer Holzarten, zur Zeit verbessert; sie besitzt schwache Dichte und ist die letzte, im Tonnengewicht, an Dürrstoffherzeugung, pro Ha und pro Jahr. Ihr Faserbeitrag und ihre mechanische Eigenschaften sind genügend wenigstens für das stark dichte Holz. Der Korrelationskoeffizient zwischen Dichte und Jahrringbreite ist sehr bedeutend, wovon eine sehr grosse Veränderlichkeit der Holzeigenschaften bezüglich der raschen Wuchsentwicklung zuzufolge.

Die *Larsonzypresse* hatte anfangs ein sehr rascher Aufstieg, aber ihr Wuchs verlangsamte sich jetzt; ihr Holz ist hart und dicht; ihr Zerfasern sehr schwierig. Ihre Haupteigenschaften bestehen aus einem sehr geringen Schrumpfverfahren des Gefüges, aus hohen mechanischen Eigenschaften und schwaches Einwirken zwischen Dichte und Jahrringbreite.

Die *Tsuga* litt in Royat an einem sehr schwachen Aufstieg der einen ganz geringen Raumentwicklung zur Folge hatte; dennoch

ist zur Zeit ihre Wuchsschnelligkeit höher im Vergleich anderer Holzarten; die Holzdicke, besonders am Umkreis liegenden Jahrringbau, sehr schwach. Der Dürrstofftrag, pro Ha und pro Jahr, ist gering, besitzt aber gute Fasererzeugung und leichtes Zerfasern; ihr Schrumpfverfahren ziemlich schwach; die Musterproben der schwachen Entwicklung legen echt gute Eigenschaften an den Tag, aber ein höchst negatives Einwirken zwischen den Holzeigenschaften und der Jahrringbreite verbleibt.

Die zwei *Pinus contorta* die erforscht wurden, das aus hoher Standhöhe entnommene Muster (Oregon 1 200 M) war das geeignetste, diesbezüglich des raschen Wuchses und auch der Dichte; beide besitzen ein schwaches Schrumpfverfahren und ein schwieriges Zerfasern.

Die *Pinus ponderosa*, trotz eines langsamen Anfangsaufstiegs, ist eine der Ertragreichsten der in Royat ausprobierten Gattungen; ihre Holzdicke ist schwach, aber ihre Schrumpffähigkeit ausnahmsweise sehr niedrig; ihr Zerfasern höchst leicht.

Die *Sitkafichte* bewies, anfangs, einen zögernden Aufstieg und selbst seine Wuchsgeschwindigkeit ist schwach; der Jungholzprozentsatz ist höchst wichtig, so dass ihre Mitteldichte, in Brusthöhe, gering ist. Das Schrumpfverfahren ist ziemlich hoch, das Zerfasern dagegen leicht und sehr ertragreich an Papierbrei. Der Einfluss zwischen Jahrringbreite und Dichte beweist sich sehr merkwürdig.

Imprimerie Georges Thomas-Nancy

Dépôt légal IV-1963 - N° 615