



HAL
open science

Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois : l'analyse densitométrique de clichés radiographiques

Hubert Polge

► **To cite this version:**

Hubert Polge. Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois : l'analyse densitométrique de clichés radiographiques. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières*, 1963, 20 (4), pp.533-581. hal-02732201

HAL Id: hal-02732201

<https://hal.inrae.fr/hal-02732201>

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.

Une nouvelle méthode
de détermination de la texture du bois

**L'ANALYSE
DENSITOMÉTRIQUE
DE
CLICHÉS RADIOGRAPHIQUES**

PAR

H. POLGE

Ingénieur à la 4^e Section S.R.E.F.

1 — TEXTURE DU BOIS

11 — Définitions :

111 — D'APRÈS LES NORMES FRANÇAISES :

La Norme Française B 50 002 donne les définitions suivantes :

bois final: partie de la couche d'accroissement correspondant au bois formé à la fin de la saison de végétation,

bois d'été: pour les régions tempérées de l'hémisphère Nord, bois final généralement constitué par des tissus denses, compacts, de couleur plus foncée,

texture: dans les bois hétérogènes, rapport de la largeur de la zone de bois d'été à la largeur totale de la couche d'accroissement.

112 — DÉFINITIONS ANATOMIQUES :

112.1 — *Définition de MORK* :

Dans une étude déjà ancienne consacrée à l'Épicéa (1), MORK a suggéré de considérer comme bois d'été « l'ensemble des trachéides pour lesquelles l'épaisseur de la membrane commune entre deux cavités cellulaires multipliée par deux, est supérieure ou égale à la largeur du lumen, toutes les mesures étant faites dans le sens radial ».

Ce critère de détermination, qui a depuis lors été généralisé à l'ensemble des conifères, est certainement celui qui est à l'heure actuelle le plus couramment utilisé pour les études de texture dans les laboratoires du monde entier.

112.2 — *Définition de KLEM* :

Le chercheur Norvégien KLEM a proposé en 1945 une définition anatomique différente d'après laquelle « la limite entre le bois de printemps et le bois d'été à l'intérieur du cerne se situe à l'endroit où la dimension radiale des cavités cellulaires est tout juste inférieure à la dimension tangentielle ».

DINWOODIE qui cite cette définition dans son étude sur les variations de la longueur des fibres de l'épicéa de Sitka (2) déclare l'avoir utilisée à cette occasion avec un plein succès.

113 — *Observations relatives à ces définitions.*

Les diverses définitions des normes françaises peuvent paraître assez peu précises, mais il ne faut pas oublier qu'elles ont été élaborées, non pas à l'intention des chercheurs forestiers, mais à celle des utilisateurs de produits ligneux ; comme telles, elles présentent l'avantage de mettre l'accent sur la caractéristique essentielle du bois d'été au point de vue technologique, à savoir sa densité plus élevée.

Les définitions anatomiques quant à elles sont évidemment plus rigoureuses, mais on peut leur reprocher de fixer d'une façon statique une limite entre le bois initial et le bois final, en ignorant ce qui se passe en deçà et au delà de cette limite, notamment la rapidité avec laquelle se fait le passage de l'un à l'autre, les densités moyennes relatives de chacun d'eux, et les gradients de variation de ces densités en fonction de la distance à l'origine du cerne. Toutes ces caractéristiques exercent cependant une influence directe sur les qualités technologiques du bois produit, rendant compte par exemple de phénomènes tels que le décollement des cernes chez certains exotiques à croissance rapide, ou des difficultés de rabotage rencontrées lorsque le passage du bois de printemps au bois d'été est trop brutal.

12 — Intérêt des recherches sur la texture du bois :

121 — AU POINT DE VUE RÉSISTANCE MÉCANIQUE :

La corrélation directe entre la texture et les diverses caractéristiques mécaniques du bois est un phénomène bien connu et a été rapporté par un nombre de chercheurs tel qu'il serait vain de vouloir les énumérer.

L'importance de la proportion de bois final est si bien admise que l'on commence à en tenir compte maintenant à l'échelle de l'industrie : aux U.S.A. par exemple, les règles relatives au classement commercial du bois de Douglas (3) prescrivent de n'utiliser pour tous usages faisant intervenir les qualités mécaniques du bois, que des Douglas ayant plus de six cernes au pouce et moins de 2/3 de bois initial, ou plus de 5 cernes au pouce et moins de 50 % de bois initial.

En fait, le problème est plus complexe, pour certaines essences tout au moins, et CLARKE, travaillant sur le frêne (4), a pu montrer que la résistance en compression axiale était plus grande pour des arbres à bois d'été étroit formé de fibres à parois épaisses que pour des arbres de même densité moyenne, mais à bois d'été plus large formé de fibres à parois minces.

Cette observation montre bien l'intérêt qu'il y a à préciser davantage la notion de texture de façon à tenir compte, non seulement des largeurs respectives du bois d'été et du bois de printemps,

telles qu'elles ont été définies par MORK par exemple, mais aussi des variations de la densité à l'intérieur des divers accroissements annuels.

122 — AU POINT DE VUE TECHNOLOGIQUE :

L'exemple le plus classique de l'importance technologique de la texture est fourni par le chêne dont il est bien connu que les bois de très haute qualité technologique (bois de merrain ou bois de tranchage) sont des bois à faible densité et faible dureté, caractérisés par une production peu élevée de bois final, ce qui, l'épaisseur du bois initial étant elle-même à peu près constante, correspond à une faible texture. Là encore cependant, la simple définition anatomique de la texture ne paraît pas suffisante, puisqu'il existe des chênes à bois final large (chênes de Bourgogne ou Chênes champêtres) qui, grâce à une densité et une dureté peu élevée dans ce bois final, sont cependant d'une qualité technologique satisfaisante.

123 -- AU POINT DE VUE VALEUR PAPETIÈRE :

123.1 — *Influence de la texture sur le rendement en pâte.*

Elle n'est guère niable, et l'opinion des divers chercheurs à ce sujet est unanime : la densité moyenne du bois final étant toujours, dans les zones tempérées de l'hémisphère Nord tout au moins, beaucoup plus élevée que celle du bois initial (de 70 % supérieure pour l'Épicéa de Sitka à près de 200 % pour le Douglas), le rendement en fibres augmente avec la texture. Il serait même en liaison quasi-fonctionnelle avec celle-ci si l'on pouvait tenir compte non seulement de la largeur relative du bois d'été et du bois de printemps, mais aussi de la densité moyenne de chacun d'eux.

123.2 — *Influence sur la longueur des fibres :*

Les variations de la longueur des trachéides à l'intérieur des accroissements annuels ont été étudiées pour plusieurs essences résineuses, notamment par DINWOODIE pour l'Épicéa de Sitka (2) et par NICHOLS et DADSWELL pour *Pinus radiata* (5). A quelques nuances près, dues à la présence soit de faux cernes soit de bois de compression, ou à la proximité de la moelle, le schéma trouvé est le même : la longueur des fibres diminue dans le bois de printemps, passe par un minimum, puis augmente dans le bois d'été, la longueur maximale se situant à la fin de celui-ci et étant supérieure de 12 à 20 % à celle relevée au début du bois de printemps.

123.3 — *Influence sur les qualités papetières :*

De nombreux auteurs ont étudié ce problème fort important pour l'industrie ; tous ont conclu à une influence, complexe mais cer-

taine, de la texture sur les différentes caractéristiques mécaniques des papiers fabriqués. L'analyse la plus approfondie de ce phénomène a été menée à bien par WATSON et DADSWELL (6) qui, travaillant sur *Pinus taeda*, ont réussi à fabriquer des feuilles de papier à partir de pâtes renfermant des proportions variables de bois initial et de bois final. Il résulte des recherches auxquelles ils se sont livrés que le rendement en pâte à l'unité de volume (produit de la densité par le rapport du poids de fibre au poids de bois utilisé) est presque deux fois plus élevée pour le bois final que pour le bois initial (0,323 g/cm³ contre 0,165 g/cm³). Quant aux caractéristiques mécaniques des papiers obtenus, elles sont résumées dans le tableau n° 1 suivant :

TABLEAU n° 1
Influence de la texture sur les qualités papetières

	Pâtes faites de 100 % de bois initial avec un raffinage			Pâtes faites de 100 % de bois final avec un raffinage		
	Nul	Modéré	poussé	Nul	Modéré	Poussé
- Coefficient de résistance à la déchirure	246	116	89	183	268	144
- Longueur de rupture (en kma)	5,5	8,7	9,7	2,1	6,0	7,2
- Coefficient de tenue au pliage	4,629	5,020	1,640	8	1,063	634
- Indice d'éclatement	58	84	88	10	50	58

On constate qu'une pâte faite exclusivement de bois initial pourrait à la rigueur se passer de raffinage sans que ses qualités mécaniques en soient trop affectées, alors qu'un raffinage plus ou moins important est indispensable lorsque les fibres utilisées proviennent du seul bois final.

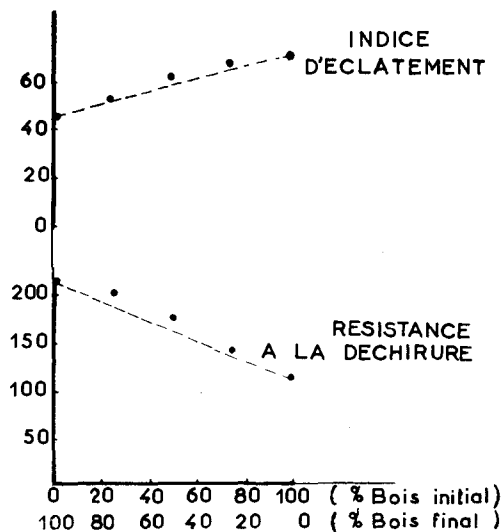
Par ailleurs et d'une façon générale, le bois final donne en plus du rendement élevé déjà signalé, une bonne résistance à la déchirure, les trois autres caractéristiques mécaniques étant au contraire supérieures pour les pâtes renfermant 100 % de bois initial.

Le graphique n° 1 ci-après, extrait de l'étude de WATSON et DADSWELL représente les variations de deux critères de résistance mécanique pour une essence qui nous est plus familière: le Pin maritime. Il tend à prouver que les résultats observés sur *Pinus taeda* peuvent être généralisés à d'autres essences, et fait ressortir en outre une certaine proportionnalité entre le pourcentage de bois d'été et l'amélioration de la résistance à la déchirure ou la détérioration de l'indice d'éclatement.

Ces observations montrent l'intérêt des études de texture si l'on sait que les caractéristiques mécaniques exigées varient avec les sortes de papiers fabriqués : bonne résistance à la déchirure pour les papiers d'emballage, bonne tenue au pliage et bon indice d'éclatement pour les papiers d'impression-écriture, bonne résistance à la traction enfin pour le papier-journal en raison de la vitesse de fabrication qui peut atteindre 700 m/minute.

GRAPHIQUE n° 1

Influence de la texture sur les caractéristiques papetières de *Pinus pinaster*.



13 — Méthodes actuelles d'études de la texture :

Elles sont très variées et ont toutes leurs avantages et leurs inconvénients, en sorte qu'aucune ne prévaut pour le moment d'une façon caractérisée.

On peut les classer en deux grands groupes suivant qu'elles font appel ou non à l'exécution de coupes microscopiques.

131 — MÉTHODE MACROSCOPIQUE :

131.1 — Méthode basée sur le changement de couleur du bois d'été :

La coloration plus accentuée du bois d'été permet pour certaines espèces, comme le douglas ou comme de nombreux pins, d'apprécier, d'une façon approchée il est vrai, la texture sur un échantil-

lon brut. De nombreux chercheurs se sont appliqués à perfectionner ce mode d'estimation en lissant tout d'abord l'échantillon au microtome, puis en procédant à une coloration destinée essentiellement à mettre en évidence le bois initial qui, grâce à la minceur de ses parois cellulaires, absorbe plus facilement les solvants que le bois final.

L'étude la plus approfondie faite à ce sujet paraît être celle de ÅKE WIKSTEN (7) qui a travaillé sur les deux principales essences suédoises, le pin sylvestre et l'épicéa commun. Il a tout d'abord expérimenté 24 colorants différents, arrêtant son choix sur un mélange à parts égales de bleu de Méthylène et de vert Malachite qui présente l'avantage de donner au bois de printemps une coloration très différente du brun-jaunâtre qui caractérise le bois d'été. Malheureusement, l'étendue de la zone colorée varie avec la concentration de la solution, la viscosité du solvant, la porosité et la perméabilité des membranes cellulaires. La glycérine par exemple et même l'eau, ont une viscosité trop élevée pour assurer une bonne pénétration dans les membranes cellulaires dès que celles-ci présentent une certaine épaisseur; la coloration risque par suite de ne pas s'étendre sur la totalité du bois initial et l'appréciation de la texture peut se trouver forcée. L'alcool absolu au contraire pénètre trop facilement dans les membranes même épaisses et son emploi comme solvant risque de conduire à une sous-estimation systématique du pourcentage de bois final.

ÅKE WIKSTEN a finalement opté dans le cas général pour une solution de 0,15 g de vert Malachite et de 0,15 g de bleu de Méthylène dans 25 cm³ d'alcool à 25°. Malheureusement, dans quelques cas particuliers, cette concentration se révèle tantôt excessive, tantôt insuffisante: Dans certains cernes très larges de l'aubier d'épicéa par exemple, la perméabilité des membranes cellulaires est telle qu'un alcool de plus faible concentration doit être utilisé comme solvant sous peine de colorer une partie du bois final. En sens contraire, dans le bois de cœur de certains pins particulièrement résineux, une partie de l'alcool se combine aux acides résiniques et il est par suite nécessaire d'augmenter la concentration du solvant pour mettre en évidence la totalité du bois initial.

A condition de choisir pour chaque échantillon ou partie d'échantillon, la bonne concentration, cette méthode permet d'aboutir à des valeurs de texture très voisines de celles résultant d'une application pure et simple de la définition de MORK.

Si la préparation des échantillons (lissage et coloration) peut paraître assez laborieuse ou délicate, la suite de l'analyse est au contraire menée à bien facilement, sinon sans fatigue pour l'opérateur, en utilisant le microscope, le chariot et le dispositif imprimant de la machine d'EKLUND déjà décrite ici par PARDÉ (8).

131.2 — *Méthode basée sur le changement de densité du bois d'été.*

De nombreux chercheurs se sont depuis longtemps efforcés de baser les études de texture sur les variations de densité du bois, mais la détermination de microdensités à l'échelle de toutes petites fractions de cernes est une rude tâche, et il a fallu attendre les possibilités d'analyses extrêmement fines offertes par les techniques d'application des radio-éléments pour qu'une méthode précise d'investigation basée sur l'absorption du rayonnement β par la matière puisse être élaborée.

Ce fut l'œuvre de E.W.J. PHILLIPS (9) qui, en collaboration avec l'Atomic Energy Research Establishment, réussit en 1959-60 à mettre au point une méthode d'analyse, sinon tout à fait satisfaisante, tout au moins bien plus précise que tous les autres procédés de détermination de microdensités précédemment utilisés.

Le principe en est le suivant :

Lorsqu'un faisceau mince de rayons β est dirigé sur un échantillon donné, les électrons de haute énergie dont il est formé perdent une partie de cette énergie par inter-action avec les électrons périphériques des atomes constitutifs du matériau, dont le nombre dépend avant tout de la quantité de matière ligneuse traversée. L'absorption du rayonnement β rend par suite compte, à épaisseur constante, de la densité de l'éprouvette d'essai dans la zone d'impact du rayonnement. Cette absorption se faisant suivant une loi exponentielle, le logarithme du nombre d'électrons absorbés est finalement proportionnel à la densité.

Au point de vue pratique, PHILLIPS a utilisé une source d'un millicurie de strontium 90, dont le rayonnement β était collimaté de façon à obtenir une zone d'impact de 0,5 mm de largeur dans le sens radial sur 3 mm de longueur dans le sens tangentiel. L'échantillon, de forme parallélépipédique et de section 8×8 mm, était déplacé dans le sens radial à l'aide d'une tige-poussoir fileté au pas d'un demi mm, et la détermination du nombre de particules émergentes était faite tous les 0,5 mm à l'aide d'un compteur à scintillation couplé avec un amplificateur de façon à pouvoir réduire à une minute le temps de comptage pour chaque point.

PHILLIPS a pu ainsi calculer les densités d'un certain nombre d'échantillons et vérifier que les valeurs trouvées étaient dans l'ensemble très voisines des chiffres correspondants obtenus par les méthodes gravimétriques classiques, puisque l'erreur moyenne relevée pour 15 échantillons s'est chiffrée à 3,2 % seulement. Mais il a pu surtout, après avoir calculé la densité d'un échantillon à la limite du bois d'été et du bois de printemps, obtenir graphiquement une valeur exacte de la texture.

Malheureusement, ce procédé était encore assez laborieux en raison du soin avec lequel devaient être préparées les éprouvettes de

longueur axiale rigoureusement constante, de la lenteur des comptages et de la nécessité d'établir point par point, sur papier semi-logarithmique, les courbes représentatives de la densité. En outre, d'après PHILLIPS, la résolution de l'appareil était assez peu satisfaisante du fait de la largeur de la zone d'impact et de la diffusion possible du rayonnement dans l'épaisseur de l'échantillon.

131.3 — *Méthode basée sur les changements de dureté du bois d'été:*

La corrélation directe entre la densité et la dureté d'un bois est un phénomène bien connu et, depuis longtemps, les chercheurs forestiers ont pensé à procéder à des déterminations de microduretés pour connaître la répartition du bois initial et du bois final à l'intérieur d'un cerne annuel. BUSGEN (10), le premier, élaborait un procédé pratique de mesure basé sur la charge nécessaire en un point donné pour enfoncer une aiguille de 2 mm dans le sens axial de l'échantillon à analyser.

Mais c'est à MAYER WEGELIN (11) que revient le mérite d'avoir utilisé de façon systématique les analyses de dureté dans des recherches relatives à la texture du bois, et d'avoir conçu pour y parvenir un appareil simple mais relativement précis: le « Härte-taster ».

Dans celui-ci, un ressort enfonce dans l'échantillon sous une pression déterminée, une aiguille de type gramophone; la profondeur de pénétration est lue directement à 0,01 mm près sur un cadran micrométrique. L'appareil repose sur une glissière, et un vis-poussoir permet de le déplacer dans le sens horizontal. Les mesures sont faites dans la pratique tous les 0,25 mm (à 0,01 mm près).

MAYER WEGELIN signale des difficultés d'application ou d'interprétation des résultats lorsque se produisent des interférences entre trous, des déviations de l'aiguille au contact de zones de plus grande dureté ou des variations d'humidité dans l'éprouvette analysée. Malgré ces inconvénients, il est certain que le « Härte-taster » permet d'apprécier correctement la texture du bois, d'établir des cotes de dureté très voisines de celles obtenues par les méthodes traditionnelles et de retrouver une assez bonne corrélation entre cette dureté moyenne et la densité des échantillons. Il a surtout l'avantage de n'exiger aucune préparation particulière de l'éprouvette d'essai qui peut être une simple rondelle de bois, brute de sciage.

132 — MÉTHODES MICROSCOPIQUES:

Quel que soit le principe de la méthode employée, il est certain que l'utilisation de coupes microscopiques permet d'atteindre à une meilleure précision; aussi de nombreux procédés de détermination

de la texture nécessitant la confection d'échantillons plus ou moins minces (de 25 μ à 100 μ) ont-ils été mis au point; plusieurs n'appellent guère de développement, ne constituant que des applications directes ou des perfectionnements de la méthode de MORK; deux procédés par contre méritent de retenir l'attention: le procédé photométrique et le procédé radio-actif.

132.1 — *Procédé photométrique:*

Le simple examen en contre-jour d'une coupe microscopique de bois permet de faire des observations assez précises sur l'étendue de la zone de bois final, mais il ne saurait suffire pour une recherche à caractère scientifique, car les estimations que l'on peut faire de la sorte sont obligatoirement assez subjectives, surtout lorsque le passage du bois de printemps au bois d'été se fait de façon progressive.

Pour pallier cette difficulté, MÜLLER-STOLL (12) a été amené à mettre au point une méthode d'analyse quantitative en procédant à des microprojections de coupes minces et en mesurant ainsi la translucidité du bois d'un bout à l'autre du cerne grâce à un dispositif classique de mesures photométriques. Il suffit de porter sur un graphique les valeurs trouvées pour avoir une courbe par points représentative des variations de densité.

Malheureusement, d'après MAYER WEGELIN, ce procédé, comme d'ailleurs tous ceux qui font appel à l'exécution de coupes microscopiques, est assez laborieux, et ne peut être considéré comme sûr que lorsqu'on utilise des échantillons d'épaisseur absolument constante, ce qui n'est pas toujours le cas.

132.2 — *Procédé radio-actif:*

Il a été élaboré par E.W.J. PHILLIPS, E.H. ADAMS et R.I.S. HEARMON, dans le but de porter remède aux difficultés que le premier avait rencontrées dans le procédé similaire appliqué à des échantillons macroscopiques (13).

Les perfectionnements apportés concernent les points suivants:

— grâce à la faible épaisseur des échantillons (1/10 mm), la largeur de la fente de collimation a pu être réduite à 0,3 mm, tout en utilisant des rayons moins pénétrants issus d'une source de carbone 14.

— le déplacement des échantillons n'est plus manuel mais est commandé par un moteur électrique, la vitesse d'avancement du chariot étant de 2,5 cm à l'heure. Le comptage des électrons passant à travers la coupe microscopique ne se fait plus point par point, mais en continu, avec un dispositif d'enregistrement automatique, en sorte que l'appareil peut fonctionner jour et nuit avec une surveillance réduite.

— le compteur linéaire a été remplacé par un compteur logarithmique, ce qui permet d'obtenir directement une courbe représentative des variations de la densité.

Malgré les sujétions entraînées par l'exécution des coupes minces, les améliorations apportées au procédé de mesure des microdensités et de la texture par absorption des rayons β sont donc considérables et l'on peut dire que, grâce à PHILLIPS et à son équipe, le « Forest Products Research » dispose maintenant d'un instrument de recherches sur la structure interne du bois d'une remarquable efficacité.

2 — RADIOGRAPHIE DU BOIS

21 — Rappel de quelques notions concernant le rayonnement X :

211 — PRODUCTION :

Les rayons X sont des radiations électromagnétiques de très faible longueur d'ondes (10 000 fois environ inférieure à celles de la lumière visible), produites dans un tube à vide analogue à celui qui est représenté schématiquement ci-dessous (fig. 2).

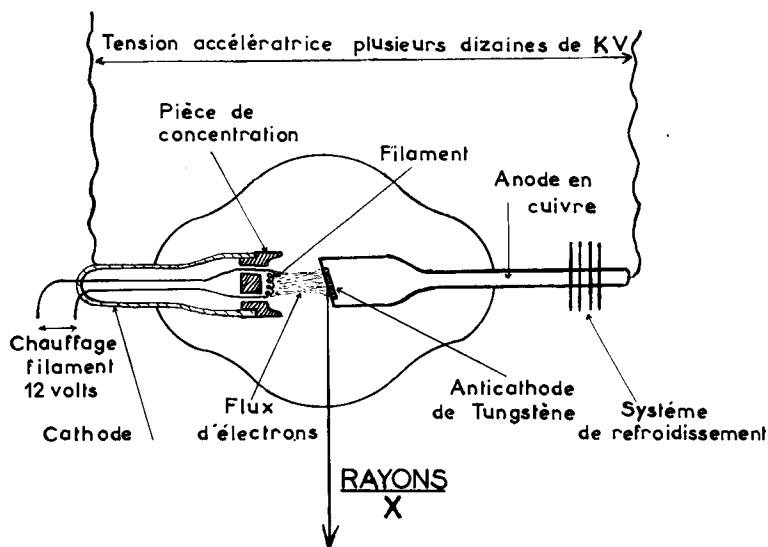


FIG. 2.

Schéma d'un tube à rayons X

Ses éléments essentiels sont :

— le filament qui, parcouru par un courant de faible ampérage sous une tension généralement de l'ordre de 12 volts, émet des électrons par effet thermo-ionique,

— le champ électrique de sens constant créé entre les deux électrodes sous l'action d'une différence de potentiel élevé qui imprime aux électrons une très grande vitesse,

— l'anticathode de Tungstène qui, sous l'effet du bombardement électronique émet les rayons.

Dans la pratique, il est nécessaire de connaître, pour les applications qui vont suivre, les principes essentiels suivants :

— *l'intensité du rayonnement* est d'autant plus grande que la température du filament, donc l'intensité du courant de chauffage est plus élevée.

— *le pouvoir de pénétration du rayonnement* augmente avec l'énergie des photons produits et varie donc en raison inverse de la longueur d'onde du rayonnement. Celle-ci étant d'autant plus faible que le champ électrique est plus intense, le pouvoir de pénétration augmente avec la différence de potentiel appliqué aux bornes du tube émetteur.

212 — *Absorption :*

Le phénomène de l'absorption des rayonnements électromagnétiques par la matière est assez complexe, les photons pouvant, suivant leur énergie, provoquer des arrachements d'électrons (rayonnement β de fluorescence) ou être transformés en photons de plus grande longueur d'onde par interaction avec les divers éléments constitutifs des atomes rencontrés.

Mais le phénomène global résultant, qui seul compte dans la pratique, peut s'exprimer par une loi exponentielle classique :

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

dans laquelle I représente l'intensité du rayonnement après passage à travers un échantillon d'épaisseur x , I_0 l'intensité initiale et μ un coefficient d'absorption caractéristique du matériau traversé.

En fait, on constate que μ croît avec la densité ρ de la substance absorbante, en sorte que le rapport $\frac{\mu}{\rho}$ reste pratiquement

constant. Si l'épaisseur x est elle-même invariable, l'intensité du rayonnement ne dépend plus que des variations de la densité.

D'une façon générale, l'opacité d'un corps au rayonnement augmente avec la masse atomique des atomes constitutifs ; les substances organiques entrant dans la composition des matériaux ligneux, cellulose et lignine, ne renfermant que les 3 éléments de base, carbone, hydrogène et oxygène, de masse atomique relativement faible, sont donc particulièrement transparentes aux rayons X, et il suffira de rayons de faible énergie, dit *rayons mous*, pour les traverser.

213 — ACTION PHOTOCHEMIQUE :

Comme pour la lumière visible, les photons du rayonnement X sont capables d'ioniser le bromure d'argent, puis de transformer les ions Ag^+ en argent métal ; une image latente est ainsi obtenue, qui se transforme en image définitive lorsque, à partir des traces d'argent apparues à l'exposition, d'autres cristaux de bromure d'argent auront à leur tour été réduits en argent métal par l'action du révélateur ; c'est le principe de la radiographie.

On admet qu'en première analyse, et pour les faibles opacités, le noircissement d'un cliché n'est fonction que de l'intensité du rayonnement reçu à l'unité de surface et du temps d'exposition, en supposant bien entendu que la longueur d'onde du rayonnement et les caractéristiques de développement restent constantes.

22 — **Applications actuelles des rayons X aux recherches forestières :**

221 — ETUDE DES INSECTES LIGNIVORES :

Une des premières applications des rayons X en matière forestière a été l'étude *in vivo* des insectes lignivores. Le seul examen d'un cliché ordinaire permet de localiser approximativement les galeries qui se traduisent par une réduction de l'épaisseur de matière ligneuse traversée, donc par une diminution du rayonnement absorbé. L'insecte lui-même, au contraire, dont les tissus sont gorgés d'eau, est plus opaque aux rayons que les couloirs dans lesquels il vit et se déplace. Mais le fait que l'ensemble soit projeté sur un plan unique ne permet souvent pas d'apprécier d'une façon exacte tous les détails d'une implantation qui s'étend en général dans un espace à trois dimensions. L'utilisation de deux stéréoradiographies obtenues par un déplacement relatif du tube par rapport au film est susceptible de pallier cet inconvénient.

222 — RECHERCHES RELATIVES A LA QUALITÉ DES GRAINES FORESTIÈRES :

Depuis plusieurs années déjà, à la suite notamment des travaux effectués par les Chercheurs forestiers suédois, la radiographie est devenue un moyen courant de détermination de la qualité des semences forestières. BOUVAREL et LEMOINE ont publié dans cette revue une étude très documentée sur la question, suivie de nombreuses références bibliographiques (14). Ce sont eux qui, les premiers, ont, au sein de la Station de Recherches et Expériences Forestières Françaises, utilisé les ressources offertes par les rayons X ; les premières radiographies de bois réalisées par la 4^e Section l'ont été sur leur appareil en conservant les paramètres d'exposition qui leur avaient procuré les meilleurs résultats pour les études

de graines ; les conseils qu'ils nous ont donnés à cette occasion nous ont été fort utiles par la suite (*).

223 — DÉNOMBREMENT ET ÉTUDE DE LARGEUR DES CERNES :

En 1957, le chercheur forestier LENZ publiait une étude remarquable (15) sur « l'utilisation de la radiographie pour l'examen des couches d'accroissement ». C'était, semble-t-il, la première fois que les rayons X étaient employés pour irradier des échantillons prélevés à la tarière de Pressler, et LENZ avait déjà observé, à cette occasion, la remarquable différenciation obtenue sur les films entre le bois d'été et le bois de printemps ; mais, faute sans doute de travailler sur des clichés de qualité suffisante, il ne pensait pas pouvoir aller au delà d'une détermination subjective, conseillant, pour des mesures exactes de texture sur des essences à passage progressifs, de s'en rapporter à d'autres méthodes : la méthode micrométrique de VON PECHMANN (16) ou celle de MAYER WEGELIN basée sur la microdureté du cerne (11).

23 — Utilisation possible des radiographies de bois pour les études de densité et de texture :

231 — PRINCIPES DE LA MÉTHODE :

On a vu que, toutes choses égales par ailleurs et notamment l'épaisseur de l'échantillon, l'absorption du rayonnement X est fonction de la densité du matériau traversé. Or, un échantillon prélevé à la tarière de Pressler a, tout au moins le long d'un plan diamétral, une épaisseur constante ; tout changement observé dans le noircissement d'un cliché radiographique de « carotte » lors d'un examen fait en suivant l'axe de celle-ci, ne peut donc que traduire une modification de densité, le bois final plus lourd étant plus absorbant et apparaissant en plus clair que le bois initial.

L'examen des radiographies d'échantillons prélevés à la tarière de Pressler fournit donc un moyen possible d'étude de la microdensité et de la texture du bois, et les avantages d'un tel procédé sont à priori considérables :

— Les échantillons sont prélevés facilement sur des arbres vivants et peuvent être analysés sans aucune préparation spéciale, telle que lissage, coloration ou découpage à épaisseur constante.

— La méthode est doublement non-destructive : d'une part, l'arbre n'a pas à être abattu et sa croissance n'est pratiquement pas affectée par le prélèvement qui peut être répété en cas de besoin :

(*) Nous tenons à les en remercier ici et à exprimer également notre gratitude aux responsables de la Recherche Forestière Française qui nous ont donné les moyens matériels nécessaires à la poursuite de ces travaux, ainsi qu'à l'Agent Technique MICHEL qui a su s'adapter rapidement aux techniques minutieuses de la radiographie quantitative et de la microdensitométrie et dont la collaboration dévouée nous a été des plus précieuses.

d'autre part, la « carotte » demeure intacte et ses caractéristiques technologiques restent inchangées à la suite de l'exposition subie (il en est tout autrement pour les radiations électromagnétiques de plus courte longueur d'onde, tels les rayons γ , qui affectent notamment les phénomènes d'absorption de l'eau et par suite de rétractibilité lorsque la dose de rayonnement reçue dépasse un certain minimum (17)); il est donc possible de procéder à de nouvelles radiographies sur le même échantillon, qui peut en outre être par la suite utilisé pour d'autres recherches (densité globale ou partielle, retraits, rendement en fibres, etc...).

232 — CONDITIONS PRATIQUES DE RÉALISATION DES RADIOGRAPHIES :

232.1 — *Conditions relatives à l'appareil émetteur.*

Si la source du rayonnement était ponctuelle, l'image radiographique d'un point quelconque de l'objet serait également un point

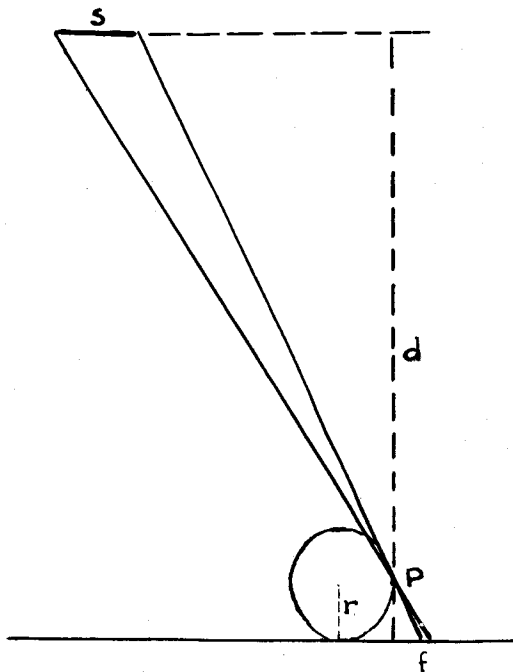


FIG. 3.
Flou dû à la source
(carotte vue en coupe)

bien déterminé du cliché. Or, la zone de l'anode qui subit le bombardement électronique occupe obligatoirement une certaine sur-

face. Pour réduire le flou consécutif à cet état de choses, les constructeurs de tubes inclinent fortement l'anticathode par rapport à la direction du flux électronique et tout se passe par suite comme si la source de rayonnement occupait une surface focale apparente beaucoup plus réduite que la surface réelle (le facteur de réduction étant égal à la cotangente de l'angle d'inclinaison). Un moyen de connaître l'étendue de cette surface focale apparente consiste, en s'inspirant de la vieille méthode du sténopé, à percer dans une feuille de plomb placée à mi-distance source-film un trou infiniment petit: lorsque le tube fonctionne, une image grandeur nature de la surface recherchée s'inscrit sur le film.

En ce qui concerne l'appareil de la 4^e Section, la dimension maximum de la source obtenue de cette façon est de 1,3 mm. La radiographie étant faite par contact, la distance moyenne objet-film est égale au rayon de la « carotte » augmenté de l'épaisseur de la double enveloppe de papier et de carton, soit en tout 3 mm. La distance source-objet adoptée étant, pour des raisons qui seront vues plus loin, de 1,30 m, le flou f dû à la source se calcule aisément (voir figure 3) et est égal à 3μ , ce qui est pratiquement négligeable.

232.2 — Conditions relatives à l'échantillon:

232.21 — Précautions à prendre lors du prélèvement.

232.211 — Nécessité d'un prélèvement radial.

Si l'on admet que tous les accroissements annuels se font suivant des zones concentriques, le fait de prélever une « carotte » dans une direction autre que radiale conduit à des erreurs d'estimation aussi bien en ce qui concerne la largeur des cernes que

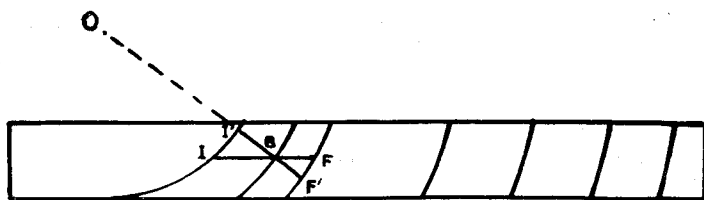


FIG. 4.

Erreur due à un prélèvement non radial
(vue en plan)

la texture: le premier inconvénient est évident mais peut être facilement supprimé en mesurant la largeur de la couche d'accroissement suivant un rayon présumé, soit suivant $I'F'$ au lieu de IF (voir figure 4); il n'en est malheureusement pas de même en ce qui concerne la texture, car d'une part la proportion de

bois final par rapport à l'accroissement total mesurée suivant l'axe

de la « carotte » $\left(\frac{BF}{IF}\right)$ est généralement différente de la pro-

portion exacte mesurée radialement $\left(\frac{BF'}{I'F'}\right)$ et d'autre part l'épais-

seur de l'échantillon n'est pas constante le long du trajet $I'F'$ en sorte que les variations de noircissement du cliché ne correspondent pas obligatoirement à des changements de densité du bois.

232.212 — Nécessité d'un prélèvement perpendiculaire au fil du bois.

Dans une « carotte » prise obliquement par rapport à la direction générale des fibres, les limites des cernes au lieu d'être perpendiculaires à l'axe de la « carotte » se trouvent être inclinées par rapport à celui-ci. Lorsque le prélèvement est convenablement effectué, le rayonnement est parallèle au plan formé par les limites des accroissements annuels en sorte que, sur la radiographie, le passage du bois d'été d'une année au bois de printemps de l'année suivante, se fait d'une façon brutale en raison du brusque changement de la densité du bois qui intervient. Un flou au contraire se produit en cas de prélèvement oblique par rapport au fil du bois, flou qui s'explique de la façon suivante (voir figure 5):

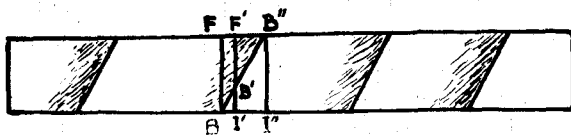


FIG. 5.

Erreur due à un prélèvement non perpendiculaire au fil du bois (vue de profil)

la densité, après avoir crû à l'intérieur du cerne, arrive à un maximum en BF où le rayonnement ne traverse que du bois final, mais par la suite, au lieu de tomber brutalement, décroît progressivement au fur et à mesure que la proportion de bois initial $B'I'$ croît par rapport au bois final $B'F'$, et atteint son minimum quand les rayons ne traversent plus que du bois initial $B''I''$.

232.22 — Précautions à prendre lors de la radiographie.

232.221 — Nécessité de placer la « carotte » de façon que le rayonnement soit parallèle au fil du bois.

L'influence de l'anisotropie du bois sur l'absorption des rayonnements électromagnétiques a été étudiée par LAKATOS qui, tra-

vaillant principalement sur les rayons γ , a procédé à quelques mesures avec les rayons X, à simple titre de comparaison. Les résultats obtenus sont rapportés par STANKO BADUN (17) sous forme du tableau suivant dans lequel le nombre d'impacts/minute (obtenus vraisemblablement en utilisant un compteur à scintillation) correspond au rayonnement passant à travers l'échantillon.

TABLEAU n° 2

Effet de l'anisotropie sur l'absorption.

Direction du rayonnement par rapport au fil du bois —	Nombre d'impacts par minute —	% —
perpendiculaire	766	100
oblique	878	114,6
parallèle	928	121,0

On sait que d'après LAKATOS, le bois serait beaucoup plus opaque à un rayonnement reçu perpendiculairement à la direction de ses fibres que parallèlement à celle-ci. Il est donc prudent, pour faire des comparaisons valables, de placer les échantillons sur le

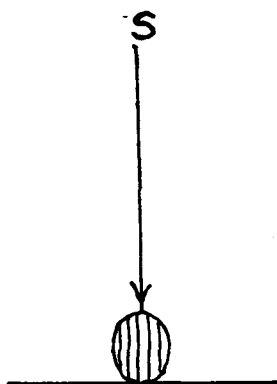


FIG. 6.

Disposition du fil du bois par rapport aux rayons
(vue en coupe)

film toujours de la même façon et, si l'on veut obtenir la meilleure pénétration, de les exposer au rayonnement dans le sens axial.

On a vu dans une étude précédente (18) qu'une « carotte » non saturée est constituée par un cylindre de section elliptique dont le

grand axe correspond au fil du bois et le petit au sens tangentiel. Sa position d'équilibre est atteinte lorsque le grand axe est horizontal, c'est-à-dire perpendiculaire au rayonnement. Si l'on veut qu'il en soit autrement, il est nécessaire de maintenir artificiellement la « carotte » sur champ (voir figure 6) par exemple au moyen d'un très léger collage à une extrémité.

232.222 — Influence de la teneur en eau.

On peut penser a priori que lorsque la teneur en eau est élevée, l'opacité au rayonnement augmente, ne serait-ce qu'en raison du fait que les atomes constitutifs de l'eau se surajoutent à ceux de la matière ligneuse. Pour vérifier cette hypothèse, le dispositif expérimental suivant a été utilisé (figure 7) : une fente de dimension appropriée est pratiquée, à la verticale de la source, dans une feuille de plomb dont le rôle est de soustraire au rayonnement le reste du

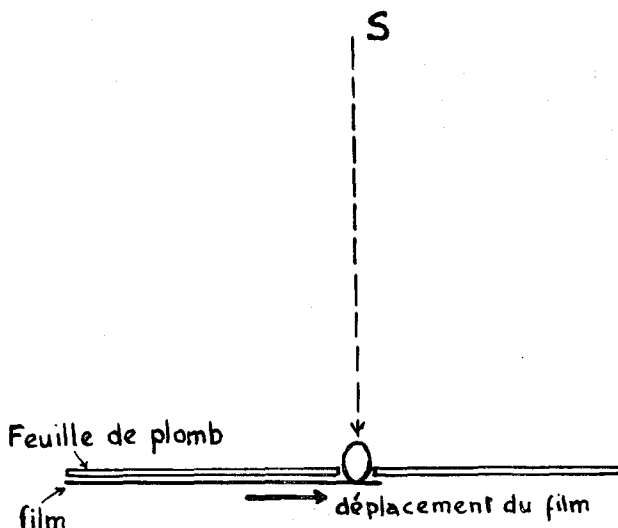


FIG. 7.

Dispositif de radiographie d'une carotte à humidité variable.

film. Une « carotte », portée à l'état de saturation maximum par une méthode déjà décrite (18), est placée dans la fente et une exposition est faite. Le film est translaté par rapport à la fente et une nouvelle radiographie est prise, au bout d'une heure par exemple, en même temps que la « carotte » est pesée pour connaître son nouveau taux d'humidité, et ainsi de suite jusqu'à stabilisation à l'état

sec à l'air; puis une nouvelle exposition est faite après obtention dans une étuve de l'état anhydre et détermination du poids anhydre correspondant.

La photographie n° 1 ci-dessous montre les résultats obtenus avec une « carotte » d'*Abies nobilis*. Bien que la qualité du cliché aille en se détériorant, d'abord lors du tirage d'un positif après radio, puis lors de l'impression, on observe ou on devrait pouvoir observer les points suivants :

— le bois à saturation maximum est pratiquement opaque aux rayons mous utilisés (radio n° 1).

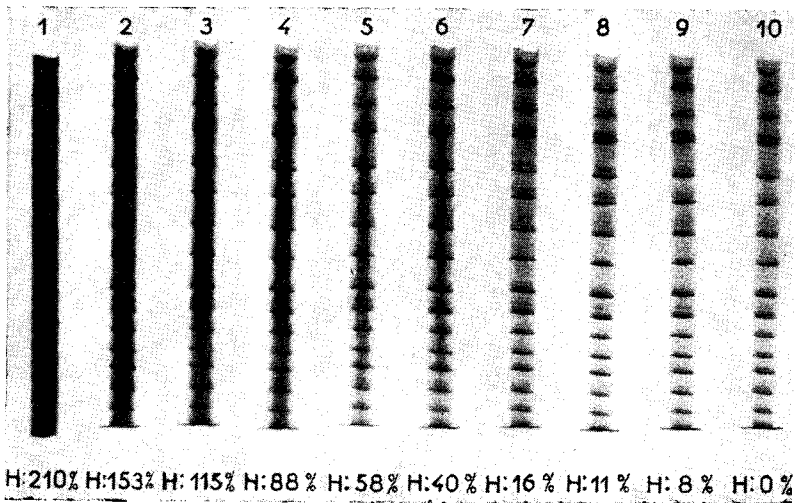


PHOTO n° 1

Radiographie d'une carotte à des taux d'humidité variable.

— les radios suivantes, n° 2 à 6, permettent de suivre d'une façon assez spectaculaire les étapes de la déshydratation qui progresse plus vite dans le sens radial que dans le sens tangentiel,

— le point de saturation (point à partir duquel les retraits commencent à se produire) se situe entre les radios 6 et 7 au moment où disparaît la zone axiale plus foncée,

— les 3 derniers clichés 8, 9 et 10 correspondant à des taux d'humidité respectifs de 11 %, 8 % et 0 % paraissent à l'œil assez semblables; une étude de densité optique faite suivant le procédé qui sera exposé plus loin, montre cependant qu'il n'en est rien, l'absorption diminuant et le contraste augmentant dans l'ordre des teneurs en eau décroissantes.

232.223 — Influence de l'excentricité de la « carotte »
par rapport à l'axe du rayonnement.

Elle est doublement fâcheuse car elle provoque à la fois un flou et une déformation linéaire :

— Le flou tient au fait qu'une surface parallèle au rayonnement telle qu'une limite de cerne ne se projette pas suivant une droite mais suivant une ellipse dont le petit axe FD (figure 8) peut être calculé en fonction de l'excentricité DH et du diamètre de la « carotte » CD; dans les clichés faits à la 4^e Section, on se limite, sauf exception, à des radiographies de « carottes » de 10 cm de longueur (quitte à prendre plusieurs radios pour une même « carotte »), ce qui correspond à une excentricité de 50 mm conduisant, avec une distance source-film de 1 300 mm à un flou maximum FD de 0,2 mm.

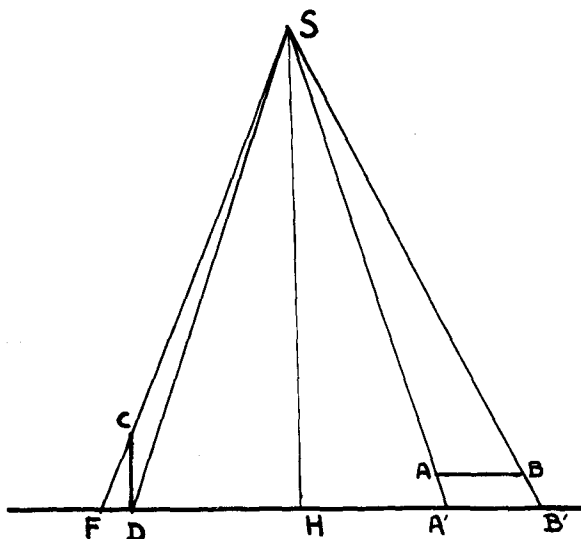


FIG. 8.

Conséquences de l'excentricité de l'échantillon.

— La déformation linéaire intéresse au contraire les distances horizontales, les largeurs de cernes par exemple, qui se trouvent systématiquement mais légèrement augmentées, telle la largeur AB mesurée suivant un plan diamétral de la « carotte » qui devient (figure 8) A'B', soit une surestimation maximum facilement calculable de $2 \text{ }^0/\text{ }_{\infty}$.

232.3 — *Conditions relatives à la radiographie:*

232.31 — Le film.

232.311 — Influence de l'enveloppe.

Les films radio sont généralement livrés sous double enveloppe opaque, une de carton, une de papier, c'est-à-dire protégés par une épaisseur non négligeable de matières cellulosiques mélangées de charges diverses qui vient se surajouter d'une façon uniforme il est vrai, à la cellulose et à la lignine constitutives du bois. On peut donc penser a priori que cette enveloppe absorbe une partie du rayonnement nuisant à la finesse et au contraste des clichés obtenus.

Pour vérifier cette hypothèse, deux « carottes » identiques ont été prises sur le même arbre et suivant la même direction à 1 cm l'une de l'autre; elles ont été collées bout à bout de façon à obtenir un échantillon symétrique dont une radio a été prise en chambre noire, moitié sous enveloppe et moitié sans enveloppe. Cette expérience montre d'une façon manifeste que la double enveloppe nuit d'une façon considérable à la qualité de la radiographie en sorte que, pour un travail de précision, il y aurait lieu d'opérer toujours en chambre noire, ce qui n'est pas sans poser certains problèmes au point de vue appareillage.

232.312 — Influence du grain.

La définition d'une radiographie est d'autant meilleure que la granulation que présente le film après traitement est plus fine. Cette granulation qui dépend essentiellement de la qualité de la pellicule employée est également plus grossière lorsque les rayons utilisés sont plus pénétrants. Il y a donc intérêt à travailler avec des rayonnements aussi mous que possible et avec un papier à grain très fin même si cette double option a pour conséquence d'augmenter considérablement les temps de pause.

232.32 — Les facteurs d'exposition.

232.321 — La distance.

Le tube émet en fonction de l'intensité du courant de chauffage un certain nombre de photons par seconde dans un angle solide déterminé. Quand la distance source-objet double par exemple, la surface interceptée par cet angle solide devient quadruple en sorte que le nombre de photons reçus par unité de surface est divisé par 4. L'intensité du rayonnement parvenant sur l'objet est donc inversement proportionnelle au carré de la distance, d'où la nécessité de prévoir des temps d'exposition très longs lorsqu'on veut utiliser des distances importantes.

Les différents points d'un film de format donné reçoivent donc des intensités différentes puisqu'ils sont situés à des distances variables de la source; mais les changements d'intensité qui en résultent sont d'autant moins importants que le film est plus éloigné de la source.

C'est un premier avantage des grandes distances d'exposition, mais il n'est pas le seul car le flou dû à une excentricité donnée de l'échantillon par rapport à l'axe du rayonnement, ainsi d'ailleurs que le flou dû à la surface focale est d'autant plus grand que la source est plus proche de l'objet (voir figures 3 et 8).

232.322 — La tension appliquée aux bornes du tube.

On a vu qu'elle règle la pénétration du rayonnement. Pour une essence donnée, il faut donc choisir un voltage aussi bas que possible pour que les rayons soient pratiquement arrêtés par le bois final tout en traversant facilement le bois initial, ce qui augmente le contraste tout en diminuant le grain; avec la plupart des essences essayées jusqu'ici, une tension de 20 KV convient parfaitement à cet effet; mais pour d'autres, tels le pin Weymouth ou les aunes, une différence de potentiel de 15 000 volts seulement donne de meilleurs résultats.

232.323 — La quantité d'électricité passant à travers le filament.

Elle régit la quantité de rayonnements émis qui est donc proportionnelle au produit des milliampères mesurés sur le primaire du transformateur de chauffage par le facteur de transformation et par le temps de fonctionnement du tube. Toutes choses égales par ailleurs, lorsque l'on veut augmenter l'intensité du rayonnement reçu sur l'échantillon, il est nécessaire, la température du filament ne pouvant excéder un certain maximum, d'augmenter d'une façon souvent considérable le temps d'exposition.

3 — ANALYSE DENSITOMÉTRIQUE DES CLICHÉS

31 — Définitions :

En matière de sensitiométrie photographique, on appelle transparence d'un cliché le rapport entre la lumière I que laisse passer le dépôt d'argent qui recouvre la pellicule et celle qui frappe ce dépôt I_0 . L'opacité est l'inverse de la transparence et la densité optique correspond au logarithme décimal de l'opacité.

$$d = \log_{10} \frac{I_0}{I}$$

L'expression coin de densité variable désigne un dispositif optique formé de deux lames de verre enserrant entre elles une matière opaque (gélatine + encre de Chine) d'épaisseur régulièrement croissante d'une extrémité à l'autre du coin.

Enfin, on appelle fond d'une radiographie toute la surface du cliché entourant l'image de l'échantillon étudié, c'est-à-dire la zone ayant reçu la totalité du rayonnement sans autre absorption que celle due à l'air et éventuellement à l'enveloppe de la radio.

32 — Appareillage :

321 — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES :

Il existe de nombreux modèles d'appareils pour mesurer la quantité de lumière passant à travers un échantillon donné, notamment tous ceux du type photomètre qui donnent une réponse linéaire à l'éclairage reçu; pour des motifs qui seront exposés plus loin, un appareil donnant directement une réponse logarithmique, c'est-à-dire un densitomètre, nous a paru mieux adapté aux recherches entreprises; cependant, en raison du caractère microscopique de certains éléments anatomiques susceptibles d'être étudiés sur une radiographie de « carotte », en raison aussi de la nécessité de n'explorer que l'axe même de l'image si l'on veut éviter les répercussions éventuelles sur l'opacité du cliché, des changements d'épaisseur dans le sens tangentiel, il faut que l'analyse des densités optiques puisse être faite sur de très petites surfaces, d'où la nécessité d'un appareil plus précis appelé microdensitomètre.

322 — DESCRIPTION D'UN MICRODENSITOMÈTRE :

La figure 9 représente un schéma très simplifié du microdensitomètre utilisé par la 4^e Section de la Station de Recherches et Expériences Forestières. Le principe en est le suivant: la lumière provenant d'une source unique S est divisée en deux faisceaux dont l'un traverse l'échantillon à analyser et l'autre un coin de densité variable CO, tous deux étant reçus alternativement, par l'intermédiaire d'un volet obturateur V, tournant à 100 tours par seconde, sur un photo-multiplicateur unique Ph. Celui-ci émet à chaque rotation du volet un signal proportionnel à la différence des intensités lumineuses des deux faisceaux; ce signal est utilisé comme tension d'écart d'un servo-moteur SM qui tend à déplacer le coin de façon à obtenir une égalisation des deux flux lumineux. Il suffit de rendre un dispositif d'enregistrement solidaire des mouvements du coin pour obtenir en ordonnée une reproduction graphique des densités, le déplacement de l'échantillon étant quant à lui porté en abscisse, à un grossissement déterminé, grâce à une liaison mécanique entre la table porte-échantillon et la table d'enregistrement.

La zone analysée, sur laquelle la lumière est concentrée par un condenseur C, peut être réduite à des dimensions infimes, de l'ordre du micron, par le jeu d'une ouverture finale qui en règle la largeur et la longueur après agrandissement par passage à travers un objectif O et projection sur le plan du diaphragme OF.

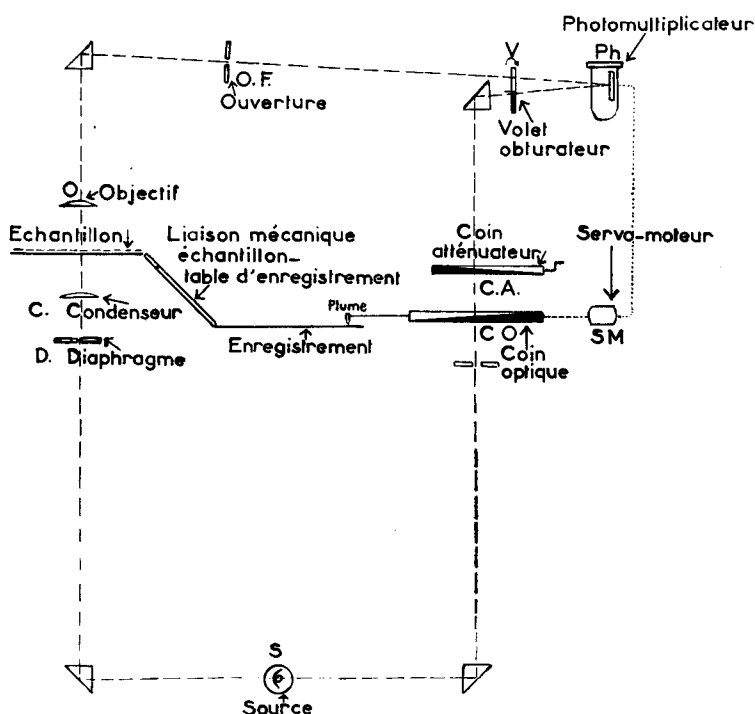


FIG. 9.

Schéma d'un microdensitomètre.

La mise en place de l'échantillon peut être réglée dans les deux sens perpendiculaires à l'aide de verniers de précision, et l'angle d'alignement lui-même du cliché peut être modifié par rotation de l'ensemble de la platine, ce qui est extrêmement important pour concentrer le faisceau lumineux sur l'axe de la « carotte » lorsque l'image de celle-ci n'est pas parallèle au bord du film.

Chaque coin optique permet de mesurer une gamme de densités déterminée; un coin de densité variable de 0 à 2 par exemple convient parfaitement pour la plupart des bois étudiés, alors que pour d'autres échantillons moins contrastés, un coin de 0 à 0,5 pourrait suffire; mais l'opacité générale du cliché change avec les caractéristiques de l'exposition, en sorte que, pour équilibrer la densité,

optique de l'échantillon, il est nécessaire de corriger la densité du coin de mesure en y ajoutant une densité constante, fournie par le coin atténuateur CA que l'on peut déplacer manuellement pour tenir compte du noircissement général du fond.

La vitesse d'exploration est réglable et un servo-mécanisme la fait en outre varier automatiquement pour tenir compte des changements de densité.

Un tel microdensitomètre est donc un appareil doté d'une grande précision et d'une haute fidélité de reproduction. Sa vitesse d'enregistrement est remarquable: la plume peut se déplacer à 33 cm/sec. et une carotte de 10 cm de long peut aisément être explorée en moins d'une minute.

33 — Applications aux études de densité et de texture :

331 — ANALYSE QUALITATIVE :

331.1 — Variations intraspécifiques :

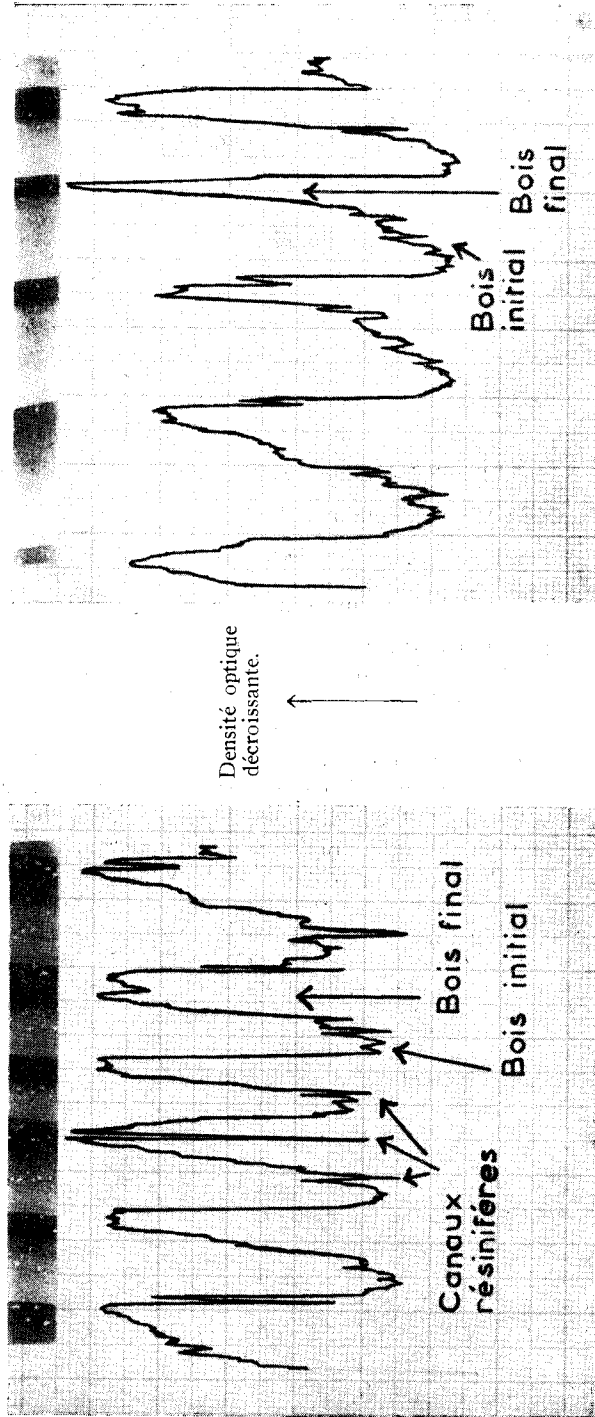
331.11 — Le pin maritime.

Une des premières études non quantitatives de texture a été faite sur des « carottes » de pin maritime envoyées à la 4^e Section par la Station régionale de Bordeaux. Le problème posé était de savoir s'il existait des différences de densité significatives entre les arbres « plus » sélectionnés en vue d'une amélioration génétique de l'espèce et les arbres témoins. A cette occasion, des variations de densité si considérables ont été observées qu'une vérification par examen de la texture sur radiographie a paru nécessaire pour éliminer notamment l'influence de la résine qui n'avait pas pu être épuisée complètement lors de la détermination des densités.

La figure 10 ci-après représente les courbes densitométriques obtenues à cette occasion sur un échantillon de densité moyenne 0,398 à droite et un échantillon témoin de densité 0,503 à gauche. Ces courbes ont été obtenues avec un grossissement de largeur de cernes de deux; elles sont accompagnées de deux photographies tirées des radios correspondantes avec un rapport d'agrandissement sensiblement égal. Ces clichés étant des positifs, les zones de noircissement élevé correspondent à des zones de faible densité optique sur les radios.

La largeur moyenne des cernes sur les deux échantillons étant du même ordre de grandeur, on peut observer que les variations de texture rendent parfaitement compte des différences de densité du bois. On peut aussi remarquer que les radios permettent de localiser d'une façon précise les canaux résinifères qui sont notablement plus abondants dans l'échantillon à forte texture; on notera également que le densitomètre a exploré au cours des déplacements du cliché un certain nombre de ces canaux qui se traduisent sur

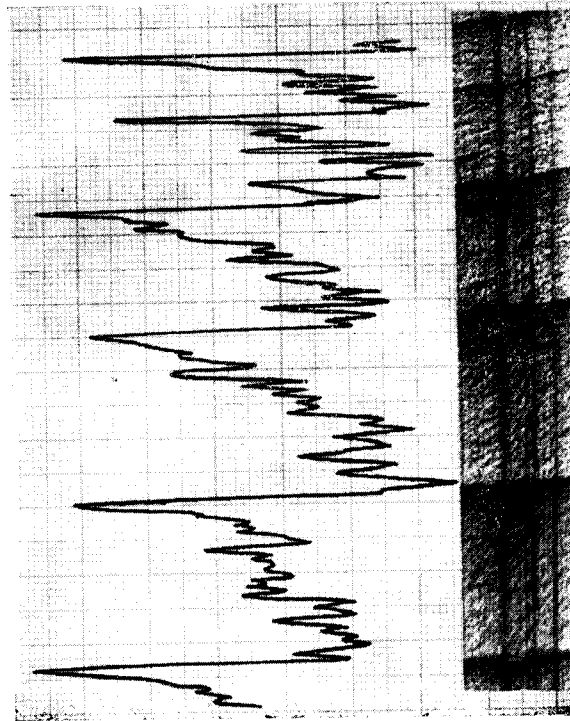
Fig. 10.
PIN MARITIME



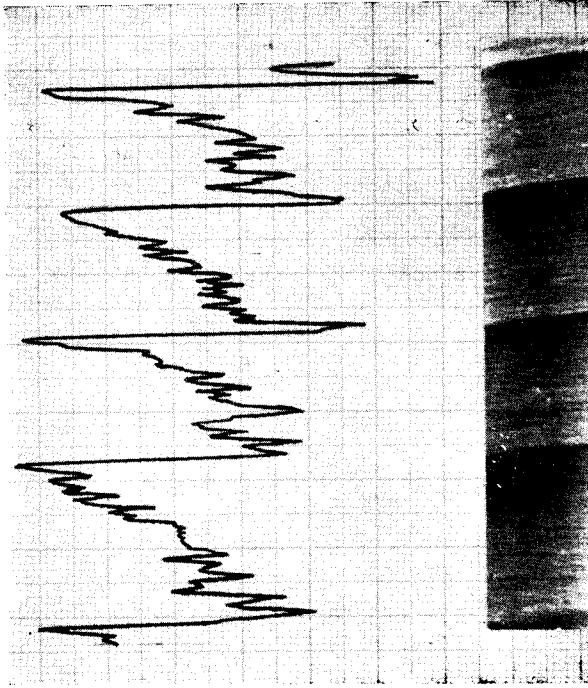
Echantillon témoin à densité élevée
($d = 0,503$)

Echantillon à faible densité
($d = 0,398$)

FIG. 11.
HETRE



Echantillon : A



Echantillon : B

les courbes par des points de faible densité optique et qui ont été parfaitement analysés par l'appareil malgré leurs très petites dimensions.

Enfin, l'attention doit être attirée sur le fait que les limites de cernes se traduisent sur les courbes densitométriques par une droite sensiblement parallèle à l'axe des ordonnées. On doit en déduire d'une part que la largeur de fente utilisée pour l'exploration des clichés radiographiques est suffisamment faible pour qu'il n'y ait pas interférence entre le bois d'été d'une année et le bois de printemps de l'année suivante, d'autre part que la diffusion du rayonnement à l'intérieur du bois est infime, et que les flous de diverses origines dont les causes ont été analysées plus haut sont pratiquement négligeables.

331.12 — Le hêtre.

C'est certainement à l'heure actuelle l'essence qui pose le plus de problèmes au point de vue technologique en raison des variations considérables de qualité que l'on peut observer non seulement d'une station à l'autre, mais aussi d'un individu à l'autre dans une même station.

Bien que le hêtre ait un bois homogène, il semble que l'étude densitométrique de clichés radiographiques soit susceptible de faire progresser nos connaissances sur les critères de qualité de cette essence.

La figure 11 se rapporte à deux arbres provenant tous deux de la hêtraie réputée de Montiers-sur-Saulx. Ces deux échantillons, désignés respectivement par les références A et B, présentent les caractéristiques suivantes :

Echantillons	A	B
	—	—
Diamètre de l'arbre	50	57
Classe	dominant	dominant
Cime	moyenne	supérieur à la moyenne
Infradensité	0,612	0,503
Couple de la torsion à la tarière	400 cm.kg	320 cm.kg
Retrait volumétrique total	25,09 %	17,73 %

Les radiographies ont été faites comme pour les pins maritimes précédents, sur un même cliché, donc avec des caractéristiques d'exposition rigoureusement identiques. Le rapport d'agrandissement aussi bien pour les photographies prises d'après radio que pour l'échelle des abscisses (largeur de cernes) est 5.

On peut faire les observations suivantes :

L'ordre de grandeur des largeurs de cernes étant le même pour les deux échantillons, des différences considérables peuvent être relevées aussi bien dans les caractéristiques technologiques rapportées ci-dessus que dans les courbes densitométriques des radios.

L'échantillon A qui souffre d'une densité élevée, d'une grande dureté et d'une très forte rétractibilité, et qui est par suite impropre à toutes utilisations nobles, tel le déroulage, est caractérisé anatomiquement par une grande abondance de fibres et la rareté d'éléments vasculaires. Sa courbe de densité est convexe vers le haut à l'intérieur des divers cernes, c'est-à-dire que la densité augmente rapidement au début de chaque saison de végétation.

L'échantillon B au contraire bénéficie d'un bois léger, tendre, d'une bonne stabilité dimensionnelle et par suite tout à fait apte au déroulage. Sur le plan anatomique, il est riche en vaisseaux et sa courbe densitométrique est concave vers le haut, traduisant le fait que la densité reste faible pendant la majeure partie de la saison de végétation. On peut observer enfin que les maxima et les minima de densité sont tous deux plus bas pour l'échantillon A que pour l'échantillon B.

331.2 — Variations interspécifiques :

La photographie n° 2 représente côte à côte des radiographies de 8 essences résineuses différentes, à savoir de gauche à droite : le *Thuja plicata*, le Weymouth, le Nordmann, le Grandis, le Douglas, le pin Laricio de Corse, l'*Abies nobilis* et le sapin pectiné. On voit que chaque essence a une physionomie, au point de vue texture, qui lui est propre :

Le thuja plicata (a) se distingue par une faible proportion de bois final et par la grande opacité de celui-ci au rayonnement, donc corrélativement par une rupture brutale de densité aux changements de cernes.

Le pin Weymouth (b) est extrêmement homogène avec un bois de printemps très large et un bois d'été à peine plus lourd que celui-ci, ce qui explique que l'on a affaire à un bois très léger doté d'une excellente stabilité dimensionnelle.

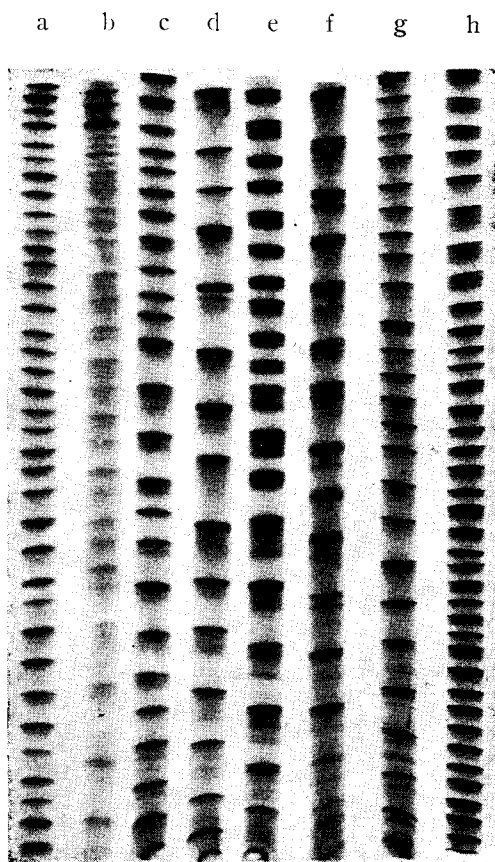
Le Normann (c) se caractérise comme tous les abies à accroissements larges par un passage assez progressif du bois initial au bois final.

Le Grandis (d) lui est assez semblable mais se distingue par une grande fréquence de doubles cernes de faible amplitude.

Le Douglas (e) est de toutes les essences groupées sur ce cliché celle dont la silhouette densitométrique est la plus caractéristique :

son bois d'été représente une fraction très importante de l'accroissement annuel et surtout sa limite avec le bois de printemps de la même année est tout à fait brutale.

PHOTO n° 2



L'échantillon de pin Laricio de Corse (f) présente une croissance très rapide; dans ce cas particulier, sa silhouette rappelle celle du pin Weymouth, à la différence près que le bois final est plus large et plus dense; l'existence de cernes à zones de bois d'été multiples doit en outre être signalée.

L'*abies nobilis* (g) se caractérise par une structure assez homogène, semblable à celle du Grandis, mais le contraste entre le bois final d'une année et le bois initial de l'année suivante est moins accentué.

L'échantillon de sapin pectiné (h) enfin, qui a été récolté en forêt domaniale d'Abreschviller, représente assez bien l'arbre-type de cette essence dans cette station; on retrouve en effet les caractéristiques générales des sapins poussant sur le grès vosgien: forte texture et passage du bois initial au bois final, sinon brutal, tout au moins

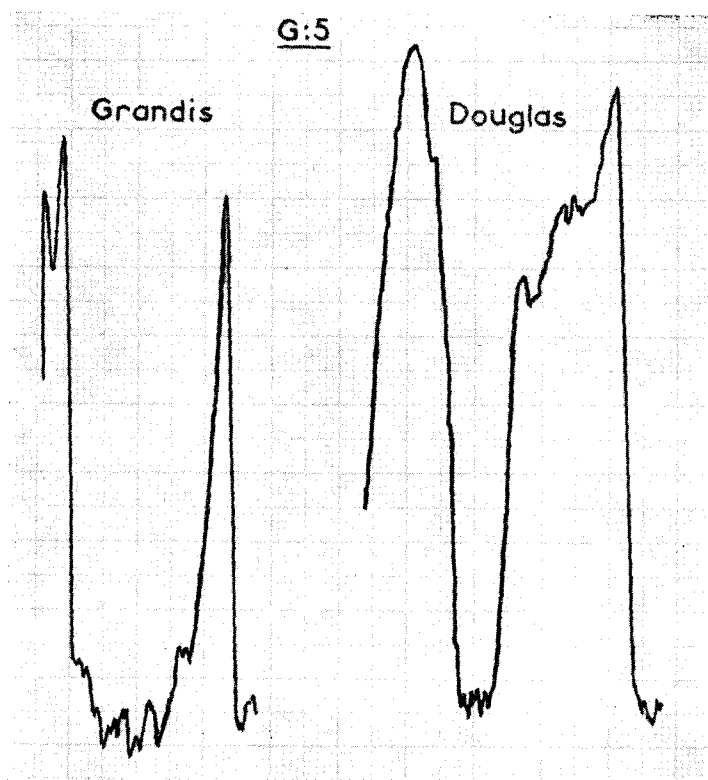


FIG. 12.
Courbes densitométriques.

assez peu progressif (les sapins pectinés de provenance granitique ont, au contraire, un pourcentage de bois final assez faible et une montée en densité beaucoup plus régulière).

La figure 12 montre à titre d'exemple les profils densitométriques de deux cernes de même largeur, un de douglas, et un de grandis.

332 — ANALYSE QUANTITATIVE:

332.1 — *Hypothèse de base:*

On a vu que lorsqu'on radiographie un échantillon d'épaisseur constante et de densité variable ρ , l'intensité du rayonnement parvenant au film est donnée par la formule exponentielle suivante:

$$I_{\rho} = I_0 e^{-K\rho}$$

Si l'on suppose que le noircissement est, dans la gamme relativement restreinte des longueurs d'ondes utilisées et dans les conditions rigoureusement constantes de développement observées, proportionnel à l'intensité du rayonnement reçu, l'opacité du cliché en un point où le bois traversé à une densité ρ peut s'exprimer, l'opacité du fond O_0 étant elle-même considérée comme constante, par la formule:

$$O_{\rho} = O_0 e^{-K\rho}$$

soit en prenant les logarithmes:

$$L O_{\rho} = L O_0 - K\rho$$

ou encore:

$$\log_{10} O_{\rho} = \log_{10} O_0 - \frac{K\rho}{0,434} \quad \text{soit } d_{\rho} = K' - \frac{K}{0,434} \rho$$

En première analyse, on peut donc penser que la *densité optique du cliché en un point est inversement proportionnelle à la densité du bois au point correspondant de l'échantillon.*

332.2 — *Influence du fond:*

Dans le calcul précédent, on a supposé que l'intensité du rayonnement qui arrive sur la plaque est rigoureusement invariable. Il devrait en être ainsi, à émission constante, lorsque, la source étant très éloignée du film, les différences de distance entre elles et les divers points du cliché sont négligeables. Ce n'est malheureusement pas le cas avec l'appareil de la 4^e Section qui émet, dans des conditions d'exposition absolument identiques, un rayonnement qui varie légèrement, à la fois dans le temps et dans l'espace, ces variations n'étant bien entendu pas perceptibles à l'œil nu, mais étant décelées par le microdensitomètre.

332.21 — Variations dans le temps:

Elles n'ont pu être supprimées jusqu'ici, et se traduisent par une opacité du fond des radios qui n'est pas absolument identique d'un

cliché à l'autre, même si l'on contrôle d'une façon étroite les temps d'exposition, les tensions aux bornes du tube et les milliampères envoyés dans le filament. On peut cependant espérer en venir à bout en apportant au tube émetteur certaines modifications, notamment en le dotant d'un milliampéremètre de plus grande sensibilité et en améliorant le système de refroidissement de l'anode.

332.22 — Variations dans l'espace :

Elles furent à l'origine très importantes, et apparaissaient d'une façon frappante lorsqu'on voulait tracer sur un cliché les courbes représentatives des points de même densité optique. Ces courbes étaient non seulement irrégulières, mais aussi asymétriques. En fait, des améliorations ont pu être apportées, d'une façon empirique, à cet état de choses, en délimitant sur un film radiographique pris à courte distance, une zone de densité homogène, et en plaçant les clichés ultérieurs dans l'alignement de cette zone par rapport à la source. On a pu ainsi obtenir des fonds de radio à peu près constants, les écarts maximum constatés n'excédant pas 0,05 points de densité optique. D'autres progrès peuvent d'ailleurs être attendus de la mise en place de diaphragmes destinés à éliminer tout effet de diffusion parasite sur les supports du tube émetteur.

332.23 — Palliatif de ces variations :

En attendant qu'il leur soit porté remède d'une façon définitive par d'autres moyens, il est possible de tourner les difficultés d'interprétation qui en résultent en faisant le long de chaque échantillon un profil du fond ; on obtient ainsi pour chaque point de l'axe des abscisses deux densités optiques différentes, l'une mesurée sur la courbe du fond qui correspond à l'intensité du rayonnement parvenant à la plaque, l'autre mesurée sur la courbe densitométrique de l'échantillon qui correspond à l'intensité du rayonnement après absorption par celui-ci :

Lorsque l'intensité du rayonnement arrivant sur la plaque varie, la densité optique d_ρ , en un point où la densité du bois est ρ , est liée à la densité optique du fond au voisinage de ce point (d_0), par la formule (voir paragraphe 332.1)

$$d_\rho = d_0 - \frac{K}{0,434} \rho$$

ou encore :

$$d_0 - d_\rho = \frac{K}{0,434} \rho$$

On peut donc penser que dans les conditions précédemment définies, il existe une relation linéaire directe entre la densité du bois et la différence entre la densité optique du fond et celle de l'image radiographique de l'échantillon au point correspondant.

332.3 — *Expérience fondamentale:*

Pour vérifier les hypothèses précédentes, une éprouvette d'essai formée de 15 échantillons de bois de densité différente mais d'épaisseur uniforme égale au diamètre des « carottes », c'est-à-dire 5,4 mm a été confectionnée; son taux d'humidité s'est stabilisé à l'état sec à l'air aux environs de 8 % comme les échantillons prélevés à la tarière de Pressler laissés dans une atmosphère de laboratoire.

Cette éprouvette a été soumise à un rayonnement parallèle au sens radial du bois de façon à intégrer les variations de densité à l'intérieur des divers cerne.

La figure 13 regroupe une photographie du cliché radiographique obtenu, ainsi que les courbes densitométriques du fond et de l'image.

Les différences de densité optique entre fond et image Δd relevées sur ce graphique sont reportées sur le tableau n° 4 ci-dessous en même temps que la densité des divers échantillons à 8 % d'humidité:

TABLEAU n° 4

Numéro	Essence	Densité à 8 %	Δd
1	Balsa	0,153	34
2	Abies Grandis	0,325	60
3	Peuplier	0,416	74
4	Epicéa	0,418	74
5	Tremble	0,529	89
6	Aune glutineux	0,546	92
7	Poirier	0,616	102
8	Bouleau	0,638	103
9	Sorbier	0,679	109
10	Charme	0,772	118
11	Robinier	0,802	119
12	Buis	0,855	127
13	Dalbergia melanoxyton	1,070	143
14	Rhus pentaphylla	1,122	146
15	Piratinera guianensis	1,275	162

Enfin, sur le graphique 14, est tracée la courbe représentative par points des variations de Δd en fonction de la densité du bois.

On voit que dans la gamme de rayonnement utilisée et dans des limites de densité intéressant les bois cultivés dans l'hémisphère Nord, c'est-à-dire comprises entre 0,4 et 0,9, on retrouve la relation linéaire escomptée. On peut observer accessoirement que des échan-

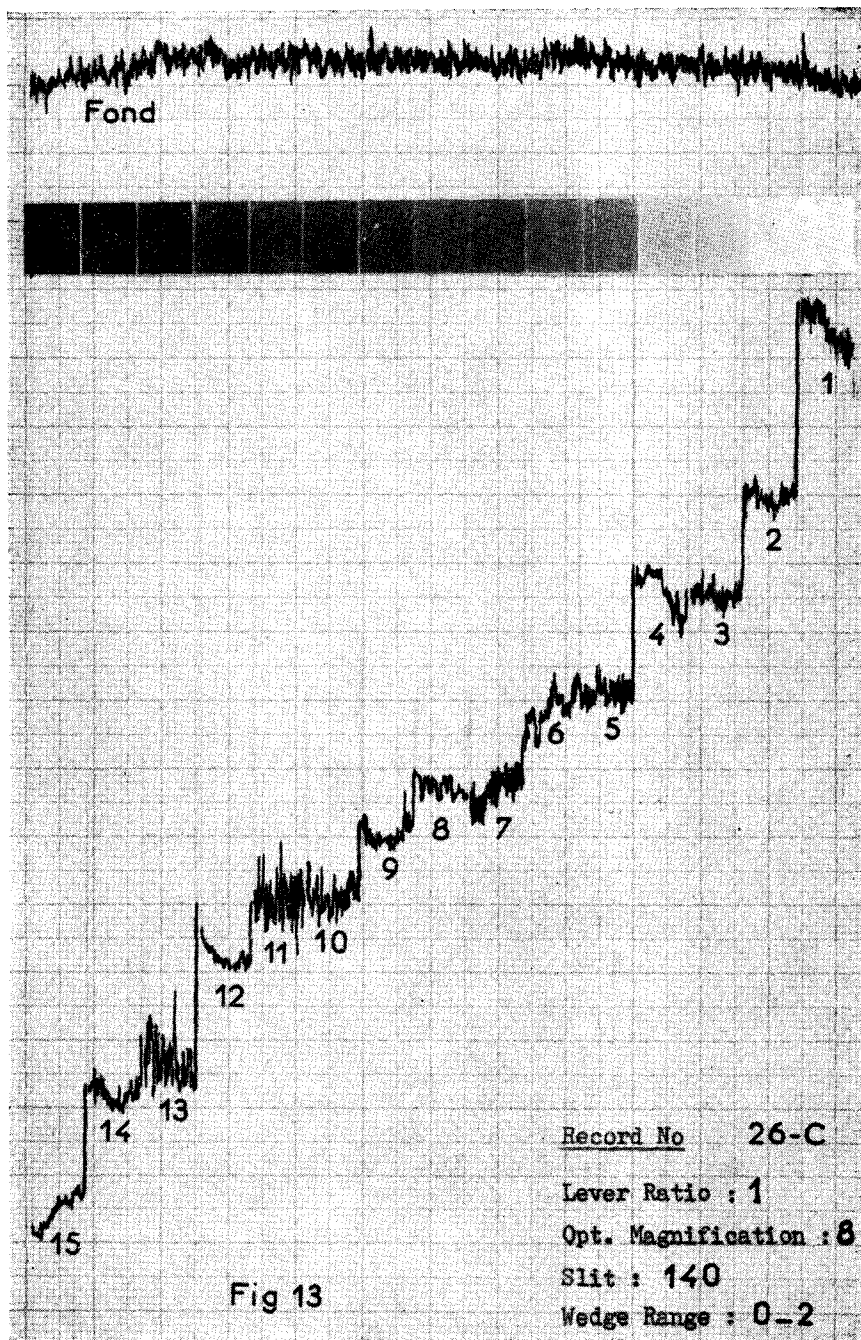


Fig 13
 Courbe densitométrique d'une radiographie de bois de densité variable.

tillons de même densité tels l'épicéa et le peuplier, présentent une même opacité au rayonnement bien que faisant partie au point de vue structure du bois de deux groupes différents.

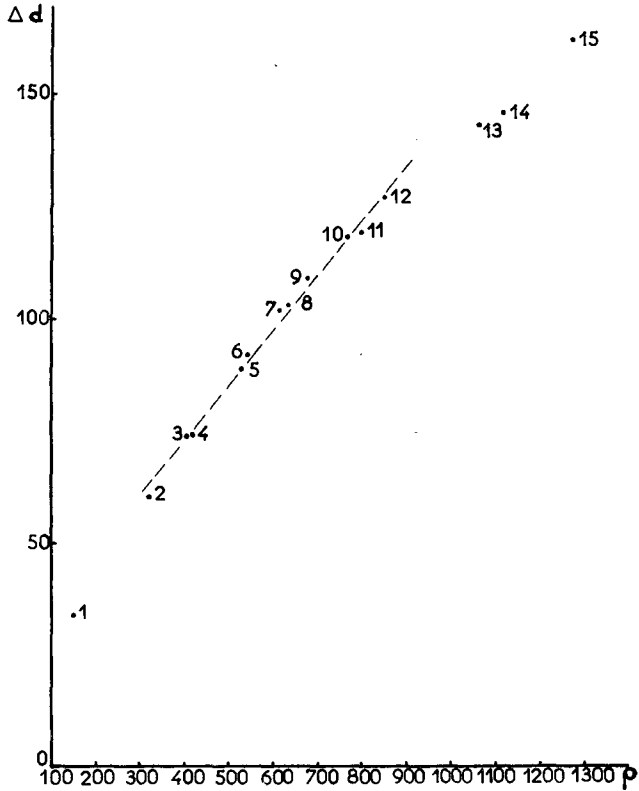


FIG. 14.

Graphique de variation de la différence de densité fond-image en fonction de la densité du bois.

Il résulte de ce qui précède que l'on a deux possibilités pour déterminer la microdensité d'un bois en un point donné à partir des courbes densitométriques :

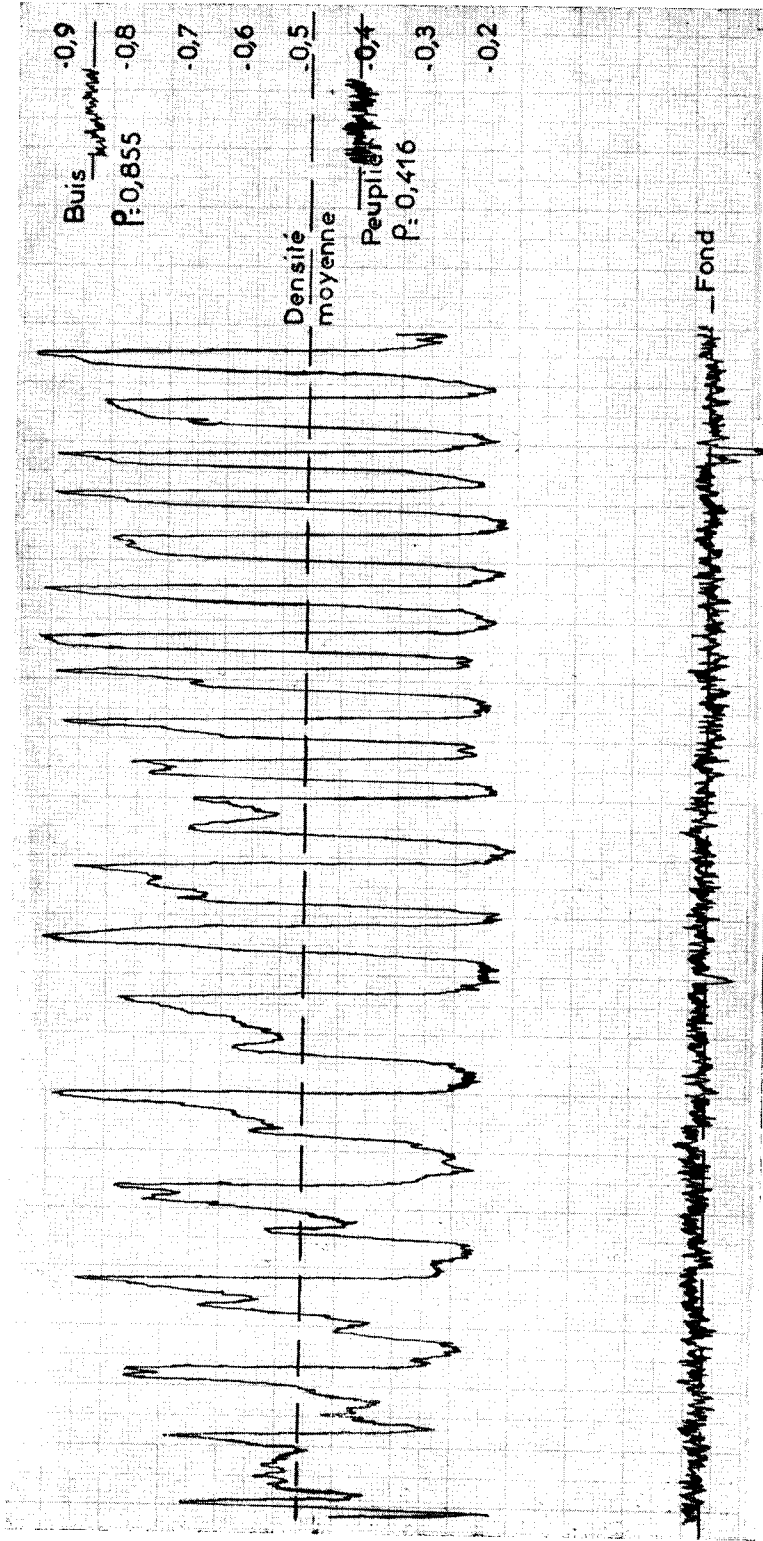
ou bien, pour des calculs approchés, graduer directement en densité l'axe des ordonnées (ce qui revient à négliger les variations du fond),

ou bien, lorsqu'on recherche une plus grande précision, mesurer à l'échelle, la différence d'ordonnées entre l'image et le fond.

332.4 — Estimation de la microdensité:

Elle se fera immédiatement par graduation directe de l'axe des ordonnées, à partir du moment où l'on aura obtenu, à caractéris-

FIG. 15.
Courbe représentative des microdensités.



tiques d'exposition et de développement égales, une densité optique du fond invariable.

Tant que cette condition n'est pas réalisée, il suffit de radiographier sur un même cliché, à côté de la « carotte » analysée, deux échantillons de densité connue, destinés à servir d'étalons. C'est ce qui a été fait avec des éprouvettes de buis et de peuplier lors de la radiographie de la « carotte » de douglas, dont l'étude densitométrique fait l'objet de la figure 15, sur laquelle la graduation en densités de l'axe des ordonnées résulte d'une interpolation entre les densités connues des deux échantillons témoins. (Cette carotte est celle dont la radiographie est reproduite sur la photographie n° 2.)

Il est possible également de calculer sur ce graphique la densité moyenne de l'échantillon. Il suffit pour cela de mesurer au planimètre la surface comprise entre les courbes densitométriques, image et fond, et les deux abscisses extrêmes, et de diviser cette surface par la longueur comprise entre ces deux abscisses. Le calcul conduit à une densité moyenne de cette « carotte » de douglas de 0,485, alors que la densité réelle était exactement de 0,500, soit une différence en moins de 3 %. Cette différence peut s'expliquer en partie par la disposition radiale des échantillons ayant servi à l'étalonnage, alors que les « carottes » sont radiographiées dans le sens axial. Cependant, nous nous sommes livrés à plusieurs essais sur des bois de densité différente pour vérifier l'influence de l'anisotropie du bois sur l'absorption du rayonnement, signalée par LAKATOS. Au cours de ces essais, des radiographies d'une même « carotte » ont été faites avec un rayonnement tantôt parallèle au fil du bois, tantôt perpendiculaire dans le sens tangentiel. Aucune différence significative d'absorption n'a pu être mise en évidence, ce qui pourrait s'expliquer par les très faibles dimensions des échantillons, alors que LAKATOS, ayant surtout en vue une comparaison avec l'absorption des rayons γ , devait utiliser des échantillons de plus forte épaisseur et par suite un rayonnement de plus courte longueur d'ondes.

Quoi qu'il en soit, cette différence de 3 %, qui ne varie guère d'une essence à l'autre (l'écart maximum constaté jusqu'ici est de 5 %) ne paraît pas très grave, car le but des études densitométriques n'est pas bien entendu de fournir une nouvelle méthode de calcul de la densité moyenne d'un échantillon, mais de permettre d'apprécier les différences de densité d'un point à un autre de la « carotte », différences qui ne sont pas effectuées par un déplacement identique des deux courbes densitométriques des échantillons utilisés comme étalons.

332.5 — Estimation de la texture:

Connaissant la densité du bois au point de passage du bois initial au bois final fixé par la définition de MORK, il est possible de dé-

terminer sur la courbe densitométrique, la texture de chaque cerne ou encore la texture moyenne de l'échantillon.

Il suffit de tracer, suivant le degré de précision recherché, une parallèle au fond ou une parallèle à l'axe des abscisses, de mesurer sur celle-ci la longueur de bois final interceptée et de la com-

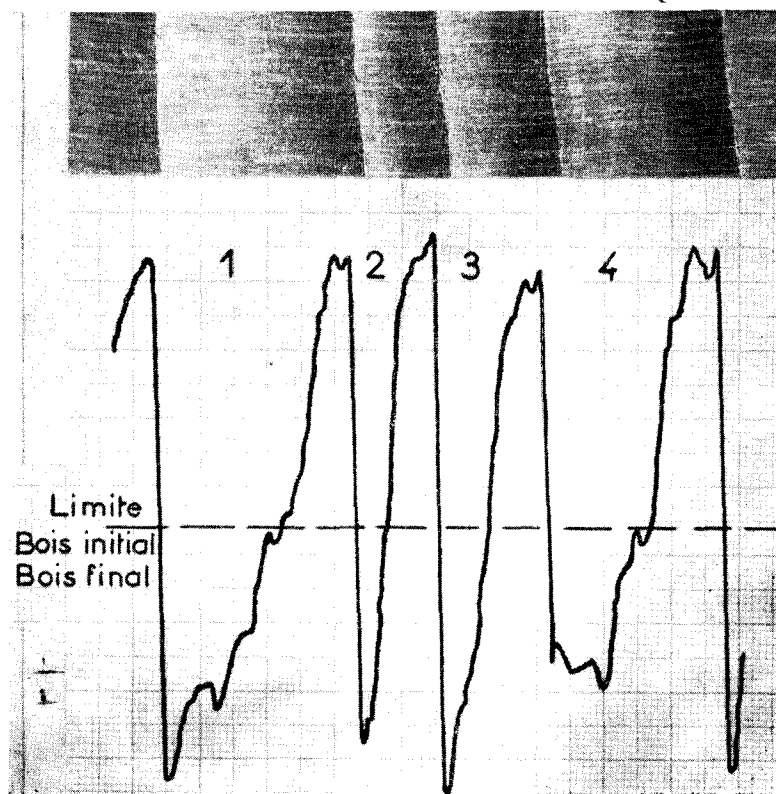


FIG. 16.
Etude de texture.

parer à la longueur totale du cerne correspondant. La figure 16 représente une étude de texture faite sur 4 cernes d'un sapin pectiné de provenance Abreschviller et au-dessus la microphotographie correspondante. Dans le tableau (n° 5) suivant, sont comparés le pourcentage de bois final trouvé sur le graphique densitométrique et celui résultant d'une délimitation faite sur la coupe microscopique en utilisant la définition de MORK.

TABLEAU n° 5

Numéro du cerne	1	2	3	4
Texture	—	—	—	—
mesurée sur coupe microscopique.	45 %	55 %	64 %	36 %
mesurée sur coupe densitométrique ..	42 %	55 %	64 %	38 %

On voit qu'il y a coïncidence exacte pour les deux cernes médians, tandis qu'une légère différence apparaît, en sens contraire d'ailleurs, pour les cernes extrêmes. Ces écarts s'expliquent, semble-t-il, par la présence dans ces deux cernes, d'une bande de bois plus dense qui ne correspond pas à un faux cerne, mais se traduit néanmoins sur la courbe densitométrique, par un léger redent. La limite du bois initial et du bois final se situant à proximité immédiate du redent, l'application de la définition de MORK est assez aléatoire, et de nouvelles mesures faites en déplaçant la coupe de quelques millimètres conduisent à des valeurs de texture différentes.

Il est cependant certain qu'à partir du moment où l'on dispose de courbes représentatives des variations de la microdensité, le recours dans chaque cas particulier à la définition de MORK pour déterminer la densité du bois à la limite du bois d'été et du bois de printemps, est une servitude qui ne se justifie guère. Il semblerait beaucoup plus indiqué de se ranger à l'opinion de PHILLIPS qui préconisait dans son étude déjà citée (9) de « fixer pour chaque essence une valeur de densité standard à la limite inférieure du bois d'été et d'utiliser cette valeur comme critère universel pour les études de texture ». En outre, d'autres renseignements, tirés des courbes de densité, pourraient avantageusement être pris en compte pour toutes les recherches faisant intervenir les modifications de structure du bois à l'intérieur des accroissements annuels successifs, par exemple la pente des courbes entre le bois d'été et le bois de printemps, ou la présence et la situation des points d'inflexion.

En tout état de cause, il serait souhaitable que de nouveaux critères de définition de la texture soient élaborés, par entente internationale, permettant de tirer tout le parti possible des courbes de microdensité qui peuvent maintenant être obtenues par plusieurs moyens différents.

34 — Autres applications :

Grâce à la possibilité qu'elle offre d'obtenir rapidement et automatiquement l'enregistrement du nombre et de la largeur des couches annuelles d'accroissement, l'interprétation densitométrique des clichés radiographiques peut rendre d'éminents services, même lorsque l'on n'a nullement en vue des études de technologie du bois. Dans le cas de cernes exceptionnellement fins notamment, la mé-

thode paraît d'autant plus séduisante qu'elle dispense de recourir aux techniques microscopiques qui, à défaut, seraient seules utilisables.

La figure 17 donne un exemple d'application de ce procédé à un épicéa commun de provenance suédoise; l'échelle des largeurs de cernes utilisée est de 20/1 et l'exploration faite dans la partie de l'échantillon où les accroissements sont le plus minces permet de mettre en évidence 13 couches annuelles sur une largeur totale de 4,4 mm, soit une moyenne de 0,34 mm par cerne!

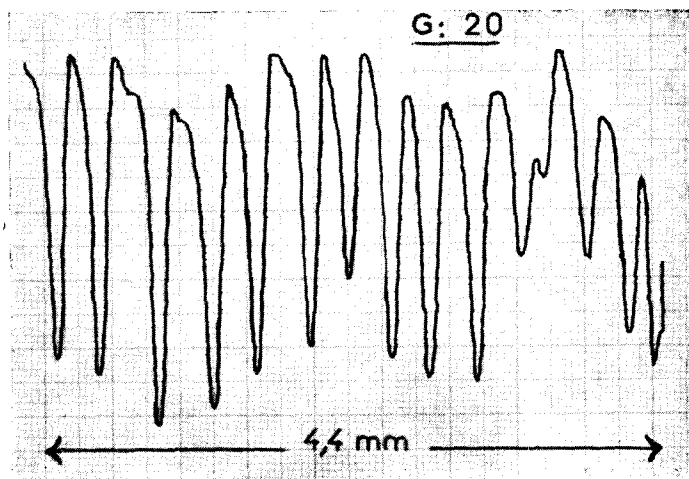


FIG. 17.

Dénombrement de cernes de très faible largeur.

Conclusion

Les recherches dont il est rendu compte ci-dessus ont été entreprises dans le but essentiel de mettre au point une méthode rapide et non-destructive de détermination de la texture du bois.

Il ne s'agit pour l'instant que d'une ébauche, car, si certaines applications du rayonnement X (Spectrographie X, Fluorescence X) ont fait l'objet d'études extrêmement poussées au point d'être maintenant de pratique courante, il n'en est malheureusement pas de même pour le phénomène global de l'absorption appliquée à des matériaux hétérogènes et anisotropes. Pour des études quantitatives sur films radiographiques telles que celles qui sont consignées ici en effet, on avance en quelque sorte sur un terrain vierge, si bien qu'il est encore nécessaire de procéder à un certain nombre de recherches fondamentales avant de pouvoir tirer tout le parti possible de la méthode.

Même si elle ne parvient pas au degré de précision atteint par PHILLIPS en mesurant l'absorption des rayons β sur des coupes microscopiques, on peut penser que l'analyse densitométrique des clichés radiographiques apporte d'ores et déjà un moyen commode de détermination de la texture dont les résultats concordent suffisamment, pour la pratique courante tout au moins, avec les valeurs exactes de celle-ci.

On peut surtout espérer que, grâce à la simplicité et à la rapidité du procédé, on parviendra à analyser un nombre d'échantillons tel que des interprétations statistiques des résultats seront possibles, permettant d'étudier les tenants et aboutissants de la texture, c'est-à-dire en amont, côté forêt, les conditions génotypiques et phénotypiques de formation du mois d'été, et en aval, côté utilisation, les rapports entre la texture et les propriétés physiques et mécaniques des bois.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) MORK E. — « Die Qualität des Fichtenholzes unter besonderer Rücksichtnahme auf Scheif- und Papierholz ». *Papierfabrikant*, 1928, 26, n° 48, pages 741 à 747.
- (2) DINWOODIE J.M. — « Variation in Tracheid Length in *Picea Sitchensis* ». *Forest Products Research*, special report n° 16.
- (3) RULEBOOK 14, West Coast Lumbermen's Association.
- (4) CLARKE S.H. — « On estimating the mechanical strength of the wood ash ». *Forestry* 7, 1933, pages 26 à 31.
- (5) NICHOLLS J.W.P. et DADSWELL H.E. — « Tracheid Length in *Pinus radiata* D. Don ». *Division of forest Products Technological Paper* n° 24. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, 1962.
- (6) WATSON A.J. et DADSWELL H.E. — « Influence of fibre morphology on paper properties, part. II. Early wood and late wood ». *A.T.I.P.* 35 817, mai 1962.
- (7) AKE WIKSTEN. — « Methodik vid Matning av Asringens Varved och Hostved Genom Fargning ». *Meddel. fran Statens Skogsforsoksanstalt* 34, pages 476 à 488, mai 1954.
- (8) PARDÉ Jean. — « Une belle réalisation suédoise: la machine à mesurer les accroissements annuels des arbres ». *Revue Forestière Française*, 1958, pages 274 à 278.
- (9) PHILLIPS E.W.J. — « The beta ray method of determining the density of wood and the proportion of summer wood ». *Journal of the Institute of Wood Science*, n° 5, 8/1960.
- (10) BÜSGEN M. — « Zur Bestimmung der Holzärte ». *Z.f.F. u. Jgdw.* - H. 9, 39/1904.
- (11) MAYER WEGELIN H. — « Der Härtetaster ». *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 122 Jg n° 1, 1950.
- (12) MÜLLER STOLL W. — « Photometrische Holzstruckturuntersuchungen ». S. 397, 35/1947.
- (13) PHILLIPS E.W.J., ADAMS E.H., HEARMON R.F.S. — « The measurement of density variation within the growth rings in thin sections of wood using beta particles ».
- (14) BOUVAREL P. et LEMOINE L. — « L'examen des graines forestières aux rayons X ». *R.F.F.*, 1959, pages 618 à 624.

- (15) LENZ O. — « Utilisation de la radiographie pour l'examen des couches d'accroissement ». *Mémoires de l'Institut Suisse de Recherches Forestières*, vol. 33, fasc. 5, 1957.
 - (16) PECHMANN von H. — « Untersuchungen über Gebirgsfichtenholz ». *Forstwissenschaftl. Centralblatt*, 73, 1954.
 - (17) STANKO BADUN. — « Primjena radiotivnih izotopa u tehnologi ji drva ». *Drvna industrija*, 10 (5/6), pages 86 à 93, 1959.
 - (18) POLGE H. — « Recherches sur l'utilisation de prélèvements effectués à la tarière de Pressler pour l'étude des propriétés physiques et mécaniques des bois ». *Revue Forestière Française*, 10/10/1962 .
 - (19) POLGE H. — « Contribution à l'étude de la qualité du bois des principales essences résineuses exotiques dans les reboisements français ». *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts*, tome 20, fasc. 3, 1963.
-

RÉSUMÉ

La détermination de la texture d'un bois se fait généralement en utilisant la définition de MORK d'après laquelle le bois d'été commence lorsque la largeur des lumens dans le sens radial devient inférieure à la moitié de l'épaisseur de la membrane commune entre deux cavités cellulaires. Cette définition ignore malheureusement les variations de la densité du bois en deçà et au delà de cette limite, variations qui présentent cependant un grand intérêt pour les études relatives à la qualité du bois, puisqu'elles sont à l'origine de modifications importantes des caractéristiques mécaniques, technologiques ou papetières.

De nombreuses méthodes de détermination de la texture ont été mises au point jusqu'ici, basées soit sur des changements de couleur, soit sur des changements de dureté, soit sur des changements de densité du bois final par rapport au bois initial. Les plus précises nécessitent la confection de coupes microscopiques mais elles ont alors l'inconvénient d'être assez longues à mettre en œuvre.

Une nouvelle méthode, mise au point à la Station de Recherches et Expériences Forestières de Nancy est décrite ici. Elle est basée sur le fait que le bois d'été, plus dense, est plus opaque au rayonnement X que le bois de printemps.

Pour parvenir aux meilleurs résultats, il est tout d'abord nécessaire d'obtenir des clichés radiographiques aussi nets et aussi contrastés que possible. A cet effet, il faut, d'une part, utiliser des rayons très mous qui sont intégralement absorbés par le bois final, et d'autre part, réduire les flous de diverses origines (étendue de la surface focale, inclinaison du fil du bois par rapport à la direction de prélèvement ou par rapport à celle du rayonnement, excentricité de l'échantillon).

Les radios sont explorées par l'un des deux faisceaux lumineux d'un microdensitomètre et l'on obtient directement une courbe représentative des variations de la densité optique du cliché le long des échantillons analysés.

Or, dans la gamme des densités du bois intéressant la plupart des arbres forestiers de l'hémisphère Nord, il y a proportionnalité entre la densité optique des radiographies et la densité du bois traversé par le rayonnement. Il est donc possible d'obtenir une représentation graphique des variations de la densité de la matière ligneuse, en portant directement sur l'axe des ordonnées une graduation obtenue par interpolation entre les densités connues de deux échantillons étalons. Les graphiques de variation de la densité permettent de prévoir certaines caractéristiques technologiques des bois et de procéder à des comparaisons interspécifiques ou intraspécifiques. Deux exemples sont fournis d'une telle utilisation, l'un pour une essence résineuse, le pin maritime, l'autre pour un feuillu homogène, le hêtre.

Mais on peut aussi, à partir de telles courbes, procéder à des études quantitatives, en déterminant la densité moyenne de l'échantillon et, surtout, en calculant la texture des divers cernes consécutifs à partir de la longueur de bois d'été intercepté par une parallèle à l'axe des abscisses.

SUMMARY

The determination of summerwood percentage is generally made by using Mork's criterion according to which summerwood begins when the width of the lumen in radial direction becomes less than half of the thickness of the cellwall between two cell-cavities. Unfortunately, this definition does not take into account the variations of wood density before and beyond this boundary. However, these variations present great interest for studies about wood quality, since they involve important modifications of mechanical, technological and pulping properties.

Numerous methods have been elaborated for the determination of latewood percentage, using either change in color, change in hardness, or change in density from springwood to summerwood.

A new method worked out the French Forest Research Station, based on the fact that latewood, since heavier, is more absorptive to X rays, is described here.

For having the best results, it is necessary to obtain radiographs as sharp and as contrasted as possible. For that purpose, one must use very soft rays integrally stopped by summerwood and reduce fuzziness due to different reasons (focal area of the tube, slope of the grain in relation with the direction of boring, or with the direction of rays, excentricity of the sample).

Radiographs are scanned by one the beams of a microdensitometer and we obtain directly the record of the variations of optical density along the analysed sample.

Now, within the range of wood density of most forest trees in the Northern hemisphere, there is a linear relation between optical density of the radiographs and wood density of the specimen exposed to the rays. Therefore, it is possible to obtain a graphical representation of density variations, by direct graduation of the record in wood specific gravity, which is easy, knowing the density of two gauging samples put on the film.

The records allow to forecast certain technological characteristics of wood and to make comparisons between different species and between different trees of the same species; two examples are given: one for conifers, *Pinus pinaster*, and the other for deciduous trees, the Beech.

From using such records, it is possible to carry out quantitative studies, by determining the average specific gravity of the specimen and, mainly, by calculating the percentage of latewood in different growth rings by measuring the length intercepted on a parallel to the abscissa axis.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Bestimmung des Baustoffs einer Holzart erfolgt gewöhnlich mittels der Bezeichnung von MORK. Dieser Regel zufolge beginnt das Spätholz erst wenn die in Radialrichtung befindlichen Lichtweiten enger werden als die Hälfte der zwischen zwei gemeinsamen Zellenhöhlungen gelegenen Hautschicht. Diese Regel scheint aber die Verschiedenheit der Holzdichten beiderseits dieser Begrenzung nicht zu kennen. Diese Vielgestaltigkeit bezeichnet aber hohe Interesse betreffs der Holzeigenschaftsstudien, da diese an der Grundbasis erheblichen Abänderungen der mechanischen, bautechnischen oder papierindustriellen Eigenschaften, sind.

Zahlreiche Verfahren zur Bestimmung des Holzbaugefüges wurden bis hierher in Stand gesetzt. So waren sie alle, sei es durch die Farben= oder durch die Härteänderungen, sei es durch die Enddichte des Holzes im Vergleich des Grundholzes, begründet. Die genauesten benötigen die Herstellung von mikroskopischen Querschnitten, haben aber den Nachteil einer langfristigen Ausführung.

Ein neues, in der « Station de Recherches et Expériences Forestières » von Nancy in Stand gesetzte Verfahren, ist hier beschrieben. Es beruht auf der Grundlage, dass das dichtere Spätholz, undurchdringlicher ist den X-Strahlen entgegen als das Frühholz.

Um die maximal Ergebnisse zu erzielen, ist es allererst notwendig klare und höchst gegensätzliche Klischee zu erreichen. Dies zu erwirken müssen einerseits völlig gedämmte Strahlen, die gänzlich vom Endholzgefüge aufgenommen werden, zur Anwendung kommen, andererseits müssen die von verschiedenen Quellen herrührende Verschommenheiten (Raum der Fokalfäche, Neigung der Holzfaser bezüglich der Untersuchung oder der Strahlenrichtung, Exzentrizität des Probemusters) vermindert werden.

Die Röntgenplatten werden von einer der beiden Lichtwellen eines Mikrodichtemessgeräts durchsucht. So erhält man gleich eine

darstellende Kurve, die die verschiedenen optischen Dichten des Klischee's längs der analysierten Musterproben, kennzeichnet.

In der Skale der Holzdichten, die die Mehrzahl der Holzgattungen der nördlichen Halbkugel betrifft, besteht nun eine Gleichung von Verhältnissen zwischen der optischen Dichte der Radioplatten und der Dichte des durchleuchteten Holzes. Es ist also möglich eine graphische Darstellung der verschiedenen Holzstoffdichten zu erzielen, indem man eine Stufenleiter direkt auf die Achse der Ordinaten aufzeichnet. Diese ist das Ergebnis der Interpolation zwischen den gekanteten Dichten zweier Musterproben. Die graphischen Darstellungen dieser Dichteveränderung geben Anlass gewisse technologische Charakteristiken der Hölzer vorzusehen und dementsprechend überwiegende und ausdrückliche Ausgleichungen zu erzielen. Es verabfolgt ein doppeltes Beispiel dieser Benutzung, das eine ein Nadelholz betreffend, die Strandkiefer, das andere ein gleichmässiges Laubholz, die Buche.

Man kann aber auch, auf Grund dieser Kurven, zahlenmässige Studien unternehmen, indem man die Mitteldichte der Musterprobe bestimmt und besonders indem man das Gefüge der verschiedenen aneinanderliegenden Jahrringe festsetzt, dies von der Spätholzlänge ab, die durch eine Parallel der Abszissenachse abgestrichen ist.
