

**DÉLIMITATION DE L'AUBIER
ET DU BOIS DE CŒUR
PAR
ANALYSE DENSITOMÉTRIQUE
DE CLICHÉS
RADIOGRAPHIQUES**

PAR

Hubert POLGE

Laboratoire de Recherches de la Chaire de Technologie



1 — Généralités

11 — TERMINOLOGIE.

Le terme « bois de cœur », bien que proscrit par la norme française B 50 002, sera utilisé au cours de cette étude, concurremment avec ceux de « bois parfait » et de « duramen », parce que c'est, d'une part le plus couramment employé dans la pratique en France, et d'autre part le plus compréhensible pour les lecteurs anglophones, étant l'équivalent mot à mot du terme anglais « heartwood ».

12 — INTÉRÊT DES RECHERCHES SUR LA DÉLIMITATION DU BOIS PARFAIT.

La distinction entre bois de cœur et aubier est fort ancienne, et l'on sait depuis longtemps déjà par exemple, que les couches les plus externes du bois, formées de tissus conducteurs et de cellules vivantes riches en hydrates de carbone, ont une teneur en eau généralement élevée, la partie centrale des troncs, ou bois parfait, jouant au contraire le rôle de tissu de soutien et étant caractérisée par une certaine sécheresse relative, par la disparition de l'amidon et des sucres et leur remplacement par des tanins, de la résine ou des matières colorantes, ainsi que par l'apparition fréquente de thyllés dans les vaisseaux. Mais on ne peut pas dire pour autant que tous les problèmes se rapportant aussi bien à la physiologie de la duraminisation qu'à la morphologie du bois de cœur, notamment dans les espèces à aubier non différencié, soient actuellement résolus.

L'intérêt de telles études n'est cependant pas à négliger en raison de l'incidence de la duraminisation sur les qualités et la technologie des bois :

Le bois de cœur est en effet caractérisé, d'une façon générale, par une plus grande dureté, par une amélioration de certaines caractéristiques mécaniques et par une durabilité plus élevée due à la présence fréquente de substances toxiques, à la fois pour les champignons et pour les insectes xylophages, et accessoirement, par une meilleure flottabilité à l'état frais.

L'aubier, par contre, bénéficie d'une plus grande facilité d'imprégnation par les antiseptiques qui permet de remédier, en partie, à sa plus forte altérabilité.

Enfin, il ne faut pas oublier que la proportion d'aubier est, du point de vue sylvicole, un excellent indicatif de la qualité de la station et de la vigueur de végétation, et, du point de vue génétique, un élément sans doute important du patrimoine héréditaire.

2 — Etat actuel des recherches relatives à l'étendue et à la morphologie du bois de cœur

21 — DONNÉES NOUVELLEMENT ACQUISES CONCERNANT LA RÉPARTITION DE L'EAU DANS LES ARBRES.

211 — *Bois de cœur à teneur en eau élevée:*

Il était généralement admis, jusqu'à une époque relativement récente, que l'humidité propre de l'aubier était toujours sensiblement plus élevée que celle du bois parfait, et cette croyance était d'autant plus satisfaisante pour l'esprit qu'elle concordait parfaitement avec ce que l'on savait de la physiologie de la circulation de la sève dans les arbres.

Or, en 1952, SMITH et GOBEL, travaillant sur 6 espèces américaines du genre *Carya* (1) ont montré que la teneur en eau de l'aubier y est en toutes saisons plus faible que celle du bois de cœur (en moyenne 50 % contre 70 %), ce qui explique les très grandes difficultés qu'il y a à sécher ce bois sans provoquer de fentes, puisque l'eau contenue dans la partie non duraminisée, déjà moins abondante au départ, s'évapore plus rapidement, en sorte que le retrait s'y manifeste beaucoup plus vite et plus brutalement que dans le bois de cœur.

Si l'hickory paraît constituer un cas extrême, d'autres anomalies peuvent être relevées, et pour ne citer que les espèces indigènes, les deux principales essences feuillues françaises, le Hêtre et le Chêne, peuvent dans certains cas avoir des taux d'humidité pratiquement identiques pour l'aubier et le bois parfait, tout au moins durant la période estivale où la transpiration est plus active.

212 — *Zone humide à l'intérieur d'un bois de cœur sec:*

Les observations qui précèdent concernent des espèces pour lesquelles la totalité du bois parfait présente une teneur en eau élevée; il en est d'autres où cette forte humidité relative est limitée à certaines zones bien définies de celui-ci.

Dès 1939, GIBBS signalait que pour le Sapin baumier et le *Tsuga*, certains îlots du bois de cœur étaient plus riches en eau que l'aubier (2).

En 1958, LINZON (3) a fait des constatations analogues sur le Pin weymouth, où il a mis en évidence des zones de bois de cœur en forme de doigts de gants ou d'anneaux circulaires plus ou moins complets, situées le plus souvent à proximité des nœuds, et dont la teneur en eau était anormalement élevée.

22 — NOUVELLES MÉTHODES DE DÉLIMITATION.

La difficulté qu'il y a de fixer d'une façon précise la limite entre aubier et bois parfait, notamment pour les espèces à cœur non différencié, est à l'origine des nombreuses recherches entreprises depuis un certain nombre d'années pour permettre des délimitations plus aisées.

Ces recherches peuvent être classées en deux catégories suivant qu'elles font appel à des changements de propriétés physiques ou chimiques.

221 — *Méthodes Physiques:*

Les plus classiques sont basées :

— sur des différences de conductibilité électrique : l'aubier, plus riche en eau, offrant une moindre résistance au passage du courant que le bois de cœur,

— sur des différences de conductibilité thermique : la partie duraminisée plus sèche s'opposant davantage à la diffusion de la chaleur,

— sur des différences de perméabilité à l'eau, aux matières colorantes et au tétrachlorure de carbone qui traversent beaucoup plus facilement la partie vivante du bois,

— sur la présence ou l'absence de substances chimiques diverses susceptibles d'être décelées par l'étude de diagrammes de diffraction de rayons X monochromatiques.

Deux méthodes plus originales ont été décrites récemment :

— la première (4) est basée sur la différence de diffusion d'une solution savonneuse en fonction de la perméabilité du bois qui rend possible une localisation de l'aubier par l'apparition de mousse sur le côté d'une éprouvette opposé à celui où est faite l'injection.

— la seconde (5) utilise l'effet Russell, suivant lequel, par suite d'un phénomène de réduction dû à un agent volatil inconnu, une différence d'image apparaît lorsqu'un échantillon de bois est placé, en absence de toute radiation lumineuse, au contact d'une pellicule photographique.

222 — *Méthodes Chimiques:*

De très nombreuses méthodes chimiques ont été employées, basées sur l'utilisation d'indicateurs colorés de l'amidon ou des sucres qui se trouvent concentrés dans l'aubier, de divers dérivés phénoliques ou des tanins qui, au contraire, sont plus abondants dans le bois de cœur.

Dans d'autres méthodes, les différences d'acidité qui peuvent exister à l'intérieur du bois sont mises à profit pour obtenir un meilleur contraste entre duramen et aubier, grâce à l'emploi, soit d'indicateurs colorés : vert de bromocresol, bleu de bromophénol ou méthyl

orange, soit d'indicateurs de pH fluorescents en lumière ultra violette.

Une étude extrêmement complète de la délimitation du bois de cœur au moyen de réactifs colorés a été faite au Forest Products Laboratory par KUTSCHA et SACHS (6) qui ont mis à l'épreuve 21 indicateurs variés sur 23 essences résineuses différentes. Il résulte de ce très important travail qu'il n'existe aucun réactif universel pouvant être utilisé avec succès pour toutes les essences, mais que par contre, pour toutes, sauf peut-être pour *Chamaecyparis nutkaensis*, il est possible de trouver un produit chimique spécifique susceptible de donner satisfaction, pourvu toutefois que les échantillons présentent des caractéristiques identiques au point de vue conditions de végétation et délai d'abattage, et soient, de plus, exempts de blessures ou d'anomalies de structure.

L'emploi de colorants indicateurs de pH est, au reste, extrêmement délicat puisqu'au cours d'une étude limitée entreprise au Laboratoire avec du vert de bromocrésol, les colorations obtenues sur *Picea excelsa* et sur *Pseudotsuga douglasii* ont été inversées, le bois de cœur apparaissant moins acide que l'aubier dans celui-ci et plus acide dans celui-là.

3 — Utilisation de l'analyse densitométrique

31 — OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES.

Le Service de Recherches de la Chaire de Technologie de l'École Nationale des Eaux et Forêts a été amené à étudier le problème de la délimitation du bois parfait à la suite d'une demande de renseignements émanant de la Station de Pathologie Végétale de l'I.N.R.A. qui souhaitait savoir si les techniques densitométriques, mises au point au Laboratoire, pouvaient être utilisées pour distinguer l'aubier du bois de cœur du pècher.

L'objet principal des recherches a, par suite, été le merisier qui, malgré son intérêt comme bois de tranchage et d'ébénisterie, est une essence forestière secondaire, mais présente, par contre, l'avantage d'avoir un plan ligneux extrêmement voisin de celui du pècher. Cependant, des études préalables ont été conduites sur deux essences résineuses, l'une à cœur distinct: le Pin sylvestre, l'autre à cœur non différencié: l'Épicéa.

32 — CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES.

321 — Principes de l'analyse densitométrique des clichés radiographiques:

Ils ont été exposés en détail dans les Annales de l'École Forestières et de la Station de Recherches (7), à l'occasion d'un compte rendu consacré aux premières applications de ces méthodes aux études de structure du bois.

Nous rappellerons simplement que l'absorption du rayonnement X se fait, à épaisseur constante, suivant une loi exponentielle en fonction de la densité de l'échantillon traversé. Le noircissement du cliché radiographique étant, dans certaines conditions d'intensité, proportionnel à l'exposition, on peut, toutes choses égales par ailleurs, avoir finalement une relation linéaire entre la densité du bois et la densité optique de la radiographie puisque celle-ci est, par définition, égale au logarithme décimal du noircissement.

322 — *Différence de densité entre cœur et aubier à l'état sec:*

La première idée, qui vient à l'esprit pour savoir si les techniques densitométriques sont applicables au problème de la distinction du bois de cœur, est d'étudier les variations de la densité entre la partie duraminisée de l'arbre et celle qui ne l'est pas, afin de voir si les différences éventuelles sont assez importantes pour permettre une délimitation précise.

Quelques mesures de densités sèches à l'air ont, par suite, été faites à la fois sur des essences résineuses et sur des arbres fruitiers forestiers. Les résultats sont consignés dans le tableau n° 1 ci-dessous :

TABLEAU I

	Densités à l'état sec à l'air	
	Cœur	Aubier
Epicéa	0 452	0 473
Mélèze	0 610	0 521
Pin sylvestre	0 574	0 533
Alisier	0 791	0 691
Sorbier	0 882	0 828
Merisier	0 537	0 528

On voit que les différences de densité entre le cœur et l'aubier sont généralement faibles (elles n'atteignent 10 % que pour l'alisier et le mélèze). Elles sont, par suite, insuffisantes pour permettre une délimitation rigoureuse puisqu'elles sont inférieures aux variations liées aux différents facteurs de l'environnement que l'on peut constater d'un accroissement annuel au suivant et qui dépassent parfois 30 %.

323 — *Différences de densité à l'état frais:*

Compte tenu de ce qui précède, le problème posé n'est susceptible d'être résolu d'une façon satisfaisante qu'en utilisant la différence de teneur en eau qui peut exister entre le duramen et la partie vivante de l'arbre.

Théoriquement, et en première approximation, le coefficient d'absorption du rayonnement X par un corps pur composé est égal à la somme des coefficients d'absorption correspondant aux corps simples qui le constituent ; mais, le cas des corps hétérogènes comme le bois est beaucoup plus complexe, et il n'est, en l'état actuel des recherches, pas possible d'affirmer, par exemple, que l'absorption des rayons X par du bois à l'état frais soit égale à celle dont est responsable la matière ligneuse sèche augmentée de la quote-part due à l'eau. Il semble bien, en particulier, que l'eau qui imbibe les membranes, ou qui est fixée par adsorption sur elles, joue un faible rôle dans le phénomène global d'absorption, alors que celle qui se trouve dans les cavités cellulaires y contribue, au contraire, puissamment.

Pour le vérifier et pour voir si les méthodes de l'analyse densitométriques pourraient, le cas échéant, permettre une détermination quantitative de la teneur en eau du bois, une expérience a été faite au Laboratoire en radiographiant des échantillons de pâte à papier homogènes portés à divers degrés d'humidité. La différence de densité optique maxima obtenue est de 0,1 D entre 10 % et 140 % d'humidité, c'est-à-dire qu'elle est trop faible pour permettre une dosimétrie de précision, l'eau qui est fixée dans les parois cellulaires des fibres n'ajoutant guère à l'absorption propre de celles-ci. Avec des échantillons de bois, dans lesquels la plus grande partie de l'eau se trouve localisée à l'état libre dans les cavités cellulaires, la densité peut varier de 0,6 D pour des teneurs en eau comprises entre 30 et 140 %.

Le problème est donc de savoir si, pour les essences étudiées, les variations de teneur en eau entre cœur et aubier sont suffisamment importantes pour occasionner des différences élevées entre les densités à l'état frais et, par suite, entre les densités optiques des clichés radiographiques correspondants. Le tableau n° 2 ci-dessous donne ces divers renseignements pour les échantillons dont les densités à l'état sec à l'air ont été indiquées plus haut :

	Teneurs en eau à l'état frais		Densités à l'état frais	
	Cœur	Aubier	Cœur	Aubier
Epicéa	30 %	140 %	0 506	0 954
Mélèze	57 %	124 %	0 739	1 000
Pin sylvestre	48 %	125 %	0 684	0 998
Alisier	52 %	96 %	0 956	1 106
Sorbier	46 %	65 %	1 048	1 071
Merisier	40 %	104 %	0 688	0 990

On voit que les différences de teneur en eau entre cœur et aubier sont, dans la plupart des cas, très importantes, ce qui se traduit par des variations considérables entre les densités à l'état frais; même lorsqu'il n'en est pas ainsi (cas du sorbier), cette différence est cependant suffisante pour que la densité de l'aubier devienne supérieure à celle du cœur, alors que l'inverse était vrai en ce qui concerne les densités à l'état sec à l'air. Étant donné que l'on peut radiographier un même échantillon à l'état frais d'abord, puis à l'état sec à l'air, il est donc théoriquement possible de distinguer, à l'aide des techniques densitométriques, la limite entre le cœur et l'aubier qui se situe à l'endroit où les courbes représentatives des densités optiques aux deux états d'humidité extrêmes, cessent d'être parallèles pour devenir divergentes.

33 — APPLICATIONS AUX ESSENCES RÉSINEUSES.

Il ressort des chiffres de densité et de teneur en eau donnés plus haut que les essences forestières résineuses fournissent un matériel d'études exceptionnellement favorable pour aborder le problème de la délimitation du bois de cœur par voie densitométrique.

331 — *Cas du Pin sylvestre:*

Il est relativement facile à étudier puisqu'il s'agit d'une essence à bois de cœur coloré pour laquelle les variations de teneur en eau sont très importantes.

Le Pin sylvestre a, par suite, été utilisé pour vérifier:

- que la limite apparente du bois de cœur (caractérisé par sa coloration rose) correspond bien à la limite entre les accroissements annuels à forte et à faible teneur en eau,
- que ces différences de teneur en eau se traduisent bien par des différences d'absorption du rayonnement X,
- que ces différences d'absorption peuvent être décelées graphiquement sur les courbes représentatives de variation de densité.

Sur la figure 1 sont réunis:

- la photographie grandeur nature d'une « carotte » de Pin sylvestre faisant apparaître le changement de couleur entre le bois de cœur et l'aubier,
- deux positifs d'après radiographies de la même carotte, l'une prise à l'état humide, et l'autre à l'état sec à l'air, la comparaison des deux clichés montrant que l'abondance de l'eau dans l'aubier se traduit bien par une plus forte absorption du rayonnement, donc par une plus grande transparence de la radiographie et, par suite, par un plus fort noircissement du positif qui en est tiré,

— enfin, les deux courbes densitométriques de ces radiographies dont la comparaison permet d'obtenir une délimitation très nette et très facile de l'aubier (ensemble des accroissements à faible densité optique moyenne), et également de vérifier que la limite de noircissement correspond bien à la limite du bois de cœur telle qu'elle apparaît sur la photographie correspondante.

332 — *Cas de l'épicéa:*

L'épicéa (comme d'ailleurs le sapin) est une essence à cœur non différencié, dans laquelle par conséquent aucun changement de coloration du bois ne peut être décelé qui permette de mettre en évidence le bois parfait comme c'est le cas pour les pins et les mélèzes.

Les problèmes concernant la duraminisation du bois de ces essences étant généralement passés sous silence dans la littérature forestière, il était intéressant, à l'occasion de cette étude, de vérifier, par exemple pour l'épicéa, si une zone à circulation de sève active pouvait être mise en évidence, et si sa limite était nette comme pour les essences à cœur différencié ou, au contraire, progressive.

La figure 2 groupe deux positifs tirés de radiographies prises l'une à l'état humide et l'autre à l'état sec à l'air et les deux courbes densitométriques correspondantes.

On voit que les observations faites à propos du pin sylvestre demeurent valables, et qu'une zone de bois de cœur relativement sec peut parfaitement être décelée, zone dont la limite est aussi nette que pour les essences à bois de cœur coloré, sur cet échantillon tout au moins.

34 — APPLICATIONS AUX ESSENCES FRUITIÈRES.

341 — *Considérations générales:*

Les différences de teneur en eau entre cœur et aubier étant généralement plus faibles que pour les essences forestières résineuses, le premier problème à résoudre consiste à mettre au point une procédure expérimentale telle que cette différence soit maximum durant l'exposition au rayonnement.

Des clichés successifs d'un même échantillon pris à des taux d'humidité variables ont montré, chose qu'il convenait de vérifier, qu'il en est ainsi lorsque leurs teneurs en eau elles-mêmes sont maximum. Il y a donc lieu, pour obtenir les meilleurs résultats, de faire en sorte que toute l'eau qui se trouve à l'intérieur des carottes lors du prélèvement y demeure jusqu'au moment de la radiographie.

342 — *Techniques permettant de garder une humidité maximum dans les échantillons:*

Deux procédés ont été expérimentés: l'enrobage dans de la paraffine fondue et l'insertion dans un tube de polyéthylène.

Dans la première de ces deux méthodes qui, au reste, donne des résultats satisfaisants, le trempage dans la paraffine chaude entraîne une certaine évaporation de l'eau, et de plus, il est difficile d'arriver à ce que le film isolant ait, après refroidissement, une épaisseur constante, d'où des difficultés d'interprétation dues à des différences d'absorption du rayonnement par la paraffine. De plus, le transport obligatoire sur le terrain d'un dispositif de chauffage constitue une assez lourde sujétion.

L'insertion dans un tube de polyéthylène, au contraire, est facile à réaliser, et la totalité de l'eau contenue est conservée pour peu que le tube soit parfaitement calibré au diamètre de la carotte. A l'origine, la gaine de matière plastique était enlevée au moment de la radiographie, mais l'expérience a montré qu'au cours de l'exposition (qui dure 30 minutes lorsque la distance source-film est de 2,5 m) une déshydratation non négligeable se produit, réduisant par là même le contraste entre le bois de cœur et l'aubier.

La meilleure méthode consiste donc à placer immédiatement après prélèvement les échantillons dans un tube de polyéthylène et à les radiographier à l'intérieur de la gaine ainsi constituée.

Sur la figure 3 sont réunis les positifs d'après radio d'une carotte de merisier exposée au rayonnement suivant cette procédure et du même échantillon porté à l'état anhydre, ainsi que les deux courbes densitométriques correspondantes. Il apparaît que, si les essences fruitières posent des problèmes plus délicats que les résineux forestiers pour lesquels aucune précaution spéciale ne doit être prise lors de la radiographie, il est cependant possible d'obtenir une assez bonne délimitation de l'aubier en suivant la méthode décrite ci-dessus.

343 — *Autres techniques permettant d'augmenter le contraste entre le bois de cœur et l'aubier:*

Il peut être intéressant dans certains cas particuliers, par exemple lorsque la différence de teneur en eau n'est pas suffisante pour compenser une densité plus élevée du bois de cœur, d'augmenter artificiellement la capacité d'absorption du rayonnement par l'aubier, en imbibant l'échantillon analysé à l'aide d'une solution de sels opaques aux rayons X tel le chlorure de baryum.

Il est bien connu, en effet, d'une part que les atomes lourds comme ceux du baryum ont un coefficient d'absorption au rayonnement très élevé, et, d'autre part, que le bois de cœur, dont les cavités cellulaires

sont obstruées, soit par des thyllés, soit par des produits de sécrétion variés (tanin, résines, matières colorantes, etc...) est plus difficile à imprégner que l'aubier.

Les premières recherches réalisées dans ce sens ayant paru encourageantes, divers essais ont été effectués pour mettre au point la meilleure technique d'application.

Les diverses variantes ont porté :

- sur l'état de l'échantillon au moment où il est plongé dans la solution (état frais ou réhumidification dans de l'eau distillée),
- sur la concentration en chlorure de baryum : 10, 20 ou 40 %,
- sur la durée de trempage : 3 h ou 12 h,
- sur le traitement de la carotte après imbibition : radiographie directe à l'air libre ou séchage de 1 h dans une étuve à 70°.

Sur les 24 traitements ainsi essayés, les meilleurs résultats ont été obtenus avec un trempage de 10 h dans une solution à 20 % sans qu'une différence significative apparaisse entre les carottes fraîches et réhumidifiées.

En ce qui concerne l'état de l'échantillon au moment de la radiographie, il semble que les résultats soient satisfaisants, aussi bien avec un échantillon passé à l'étuve qu'avec un échantillon radiographié directement à l'air libre, avec peut-être un contraste légèrement meilleur dans ce dernier cas.

Sur la figure 4 ont été groupés un positif d'après radiographie d'une carotte ayant subi le traitement qui est décrit ci-dessus comme le meilleur, et la courbe densitométrique correspondante.

Bien que cet échantillon ne provienne pas du même arbre que celui faisant l'objet de la figure 3, il apparaît cependant assez nettement que le traitement au chlorure de baryum est susceptible d'améliorer considérablement le contraste entre le bois de cœur et l'aubier.

35 — OBSERVATIONS DIVERSES.

351 — *Répartition de l'eau entre aubier et bois de cœur dans les Caryas cultivés en France :*

Il était intéressant, à l'occasion de cette étude, de vérifier si la sécheresse relative de la partie vivante de l'arbre, signalée dans les Caryas américains, se retrouvait également pour les arbres du même genre introduits en France.

Si l'on néglige les arbres de parcs ou les individus plus ou moins isolés des arboretums, il existe en France une station importante de Caryas en forêt communale de Colmar. 15 échantillons de *Caryas alba* et *amara* y ont été prélevés, sur lesquels les teneurs en eau moyennes se sont chiffrées à 73,7 % pour le bois de cœur et à 51,1 % pour l'aubier !

La figure 5 concerne un *Carya amara* dont les taux d'humidité respectifs du duramen et de l'aubier se chiffrent à 90,9 % et 60,1 % ; y sont réunis :

— la photographie de l'échantillon où le bois parfait apparaît en foncé,

— un positif d'après radiographie de cette carotte à l'état frais sur lequel le bois de cœur, plus riche en eau, doit, sauf dégradation du cliché à l'impression, se distinguer également par une coloration plus sombre,

— enfin, la courbe densitométrique de cette radiographie qui montre bien la baisse brutale du taux d'humidité au moment du passage de la partie duraminisée de l'échantillon à celle qui ne l'est pas.

Ceci prouve que la sécheresse relative de l'aubier du *Carya* est bien un caractère spécifique dont il reste à trouver une explication à la fois sur le plan anatomique et sur le plan physiologique.

352 — *Décalage entre la limite de coloration et celle de la teneur en eau :*

Ainsi qu'il a été signalé au paragraphe 331, le changement de coloration du bois correspond, en général, exactement à la limite entre l'aubier et le bois parfait telle qu'elle ressort des radiographies et des courbes densitométriques, c'est-à-dire par conséquent, à la limite entre la partie de l'arbre qui est riche en eau et celle qui est relativement plus sèche. Mais il existe des exceptions à cette règle, et un écart plus ou moins important entre ces deux limites peut être observé sur des échantillons d'essences variées ; ce décalage n'intéresse, le plus souvent, qu'un demi accroissement annuel, mais est quelquefois supérieur, comme c'est le cas pour le Douglas faisant l'objet de la figure 6, où un cerne complet sépare la partie colorée du bois de cœur de la partie de l'aubier à teneur en eau élevée.

353 — *Aubier dispersé :*

Le plus souvent, les radiographies d'échantillons frais font apparaître deux zones bien distinctes à humidité très différente avec un passage brutal de l'une à l'autre ; cependant, dans certains cas, l'aubier riche en eau se présente sous forme d'une multitude de taches de taille plus ou moins importante.

La figure 7 représente un positif d'après radiographie d'un échantillon de Pin sylvestre d'environ 120 ans ayant poussé sur un sol de grès vosgien sec et filtrant. On voit que, même à proximité immédiate de l'écorce, l'eau se trouve concentrée en un grand nombre de taches de faible étendue. Cette constatation est à rappo-

cher des observations faites par GIBBS et LINZON sur certaines essences résineuses américaines. Mais les zones humides mentionnées par ces auteurs (qui n'ont malheureusement pas décrit leurs méthodes de délimitation) se trouvent localisées à l'intérieur du bois de cœur, et leurs dimensions sont bien supérieures à celles dont il est question ici; il est vrai que la finesse d'analyse des clichés radiographiques permet de déceler des variations de teneur en eau limitées à de faibles surfaces, ce qui n'est vraisemblablement pas possible avec d'autres techniques telles que celles qui sont basées sur les changements de conductibilité thermique ou de conductibilité électrique par exemple.

354 — *Aubier discontinu:*

Il s'agit d'un phénomène quelque peu différent de celui qui fait l'objet du paragraphe précédent, en ce sens que la partie périphérique à fort taux d'humidité n'est pas pulvérisée en une multitude de petites taches mais voit des cernes entièrement secs s'intercaler entre d'autres plus ou moins riches en eau; tel est le cas de l'*Epicéa* de Sitka, dont les positifs d'après radiographies de carotte prise à l'état humide, puis à l'état sec, sont groupés sur la figure 8. On voit, par comparaison entre ces deux clichés, que les cernes 1954, 1955 et 1956 forment une zone d'aubier sec précédée et suivie par un ensemble d'accroissements annuels à forte teneur en eau.

355 — *Variations de teneur en eau à l'intérieur des cernes:*

C'est là l'observation la plus inattendue à laquelle le présent travail ait donné lieu; il ressort en effet de nombreuses radiographies que, pour certains Conifères tout au moins, l'eau est très inégalement répartie à l'intérieur des accroissements annuels dans la partie vivante de l'arbre: en règle générale, l'eau libre paraît à peu près absente dans le bois d'été, ce qui peut s'expliquer par le faible diamètre des cavités cellulaires et par la forte épaisseur des membranes qui font que, dans l'absorption du rayonnement X, le rôle de l'eau qui peut se trouver dans les lumens est négligeable par rapport à celui de la matière ligneuse, et ce d'autant que le bois final est produit en règle générale après l'arrêt de la pousse en hauteur, c'est-à-dire à un moment où la circulation de la sève est fortement ralentie.

Mais, chose plus étonnante, le début du bois initial est également, certaines années tout au moins, à peu près aussi sec que dans la partie duraminisée, et pourtant cette zone à faible humidité correspond au point de vue anatomique à la partie de l'accroissement annuel où la proportion entre la surface des cavités cellulaires et celle des membranes est la plus élevée et où par suite, l'eau libre, si elle était présente en quantité notable, devrait apparaître le plus clairement sur les clichés radiographiques d'échantillons frais.

Sur la figure 9 sont regroupés un cliché agrandi d'une fraction d'aubier de l'Epicéa de Sitka faisant l'objet de la figure 8, radiographié à l'état frais puis à l'état sec ainsi que, à titre d'exemple, les profils densitométriques correspondants pour le cerne 1960 et une courbe, établie point par point à partir des deux précédentes, donnant les différences de densité optique qui ne sont fonction que des variations de teneur en eau.

On voit que le taux d'humidité de l'échantillon frais est extrêmement faible au début de la saison de végétation, qu'il augmente ensuite, passe par un palier intermédiaire, n'atteint son maximum qu'à la fin du bois initial pour diminuer brutalement dans le bois d'été et s'y stabiliser à un niveau très voisin de celui qui existait au début du cerne.

Cet état de choses est bien malaisé à interpréter, mais une explication partielle peut être avancée sous toutes réserves :

On doit tout d'abord observer que cette sécheresse relative, constatée au début du bois initial, n'est pas régulière; elle ne se manifeste que certaines années où on peut l'observer sur presque tous les échantillons; on est donc amené à l'attribuer à des facteurs d'origine climatique, et elle pourrait notamment se produire lorsqu'un certain décalage existe entre le début de la croissance en circonférence et celui de la pousse en hauteur qui semblent régis par des facteurs climatiques différents, mettant en œuvre deux processus hormonaux, indépendants l'un de l'autre.

On a longtemps pensé que la première commençait après ou, au mieux, en même temps que la seconde; or, dans une étude récente consacrée au Douglas, DIMOCK (8) a montré que pour cette essence, l'accroissement diamétral commençait bien avant l'éclatement du bourgeon terminal, puisque, sur une moyenne portant sur deux années consécutives et établie sur un échantillonnage de 10 arbres, 27 % de la largeur du cerne étaient produits au moment du débourrage. Il n'est pas impossible que, dans ce cas, le bois initial élaboré avant que la sève ne circule en abondance ait un taux d'humidité relativement faible.

Une expérimentation a été entreprise à l'arboretum de la Sivrite pour étudier et comparer les rythmes saisonniers de la croissance en hauteur et en circonférence sur 4 essences de reboisement différentes; elle devrait permettre, après plusieurs années d'observations régulières et compte tenu des renseignements bioclimatiques qui auront pu être recueillis par ailleurs, de vérifier cette hypothèse, et d'établir d'éventuelles corrélations entre les divers facteurs du climat et la répartition de l'eau à l'intérieur des cernes annuels.

Des recherches faites au Laboratoire, et dont les résultats n'ont pas encore été publiés, ont montré que certains éléments de la structure interne du bois, tels que le pourcentage de bois final et la présence ou l'absence de doubles cernes, étaient de puissants indica-

teurs des conditions météorologiques locales; on peut penser que, lorsque les divers éléments qui conditionnent les variations de teneur en eau d'une extrémité à l'autre des accroissements annuels seront mieux connus, un nouvel et important progrès pourra être réalisé dans cette voie.

4 — Conclusion

Il apparaît, à la lumière des quelques observations ci-dessus, que certaines notions relatives à la localisation de l'eau dans l'aubier demandent à être vérifiées ou précisées.

On peut même dire que, dans un certain sens, la présente étude a soulevé davantage de problèmes qu'elle n'en a résolus.

Mais l'analyse densitométrique de clichés radiographiques est apparue, à l'occasion de ce travail, comme susceptible de servir de base à une méthode d'investigation à la fois rapide et précise; comme telle, elle peut aider ceux qui en auront le désir et les possibilités à approfondir ces questions dont l'intérêt pour les recherches relatives aussi bien à la technologie du bois qu'à la physiologie de l'arbre, n'est pas à négliger.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

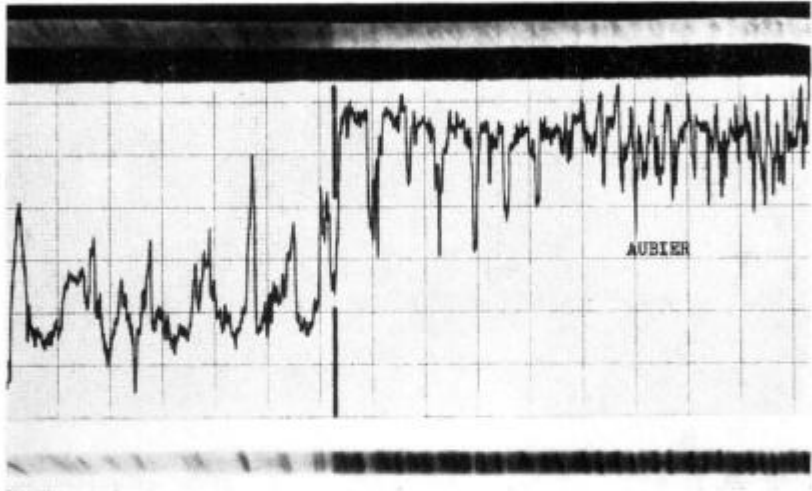
- (1) SMITH (W.-R.) and GOBEL (N.-B.). — 1952: The moisture content of green hickory. *Jour. Forestry*, 50: 616-618.
- (2) GIBBS (R.-D.). — 1939: Studies in tree physiology. I General introduction water contents of certain Canadian trees. *Canadian Jour. Research C* 17: 460-482.
- (3) LINZON (S.-N.). — Water content variation in the heartwood of white pine and its relation to incipient decay. *For. Chronicle*, 3-1958, vol. 34.
- (4) TIEMANN (H.-D.). — 1948: Permeability of wood to Air and Liquids. Soap Foam Tests. *South. Lumberman* 177 (2223): 68-69.
- (5) NAMBIYAR (V.-P.-N.). — 1960: Russel Effect in Woods. *Forest Prod Jour.* (10 (1)): 48-50.
- (6) KUTSCHA (P. Nordmann) and SACHS (B. Irving). — Color tests for differentiating heartwood and sapwood in certain softwood tree species. Report No. 2246 - May 1962.
- (7) POLGE (H.). — L'analyse densitométrique de Clichés Radiographiques. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences*. Tome XX, fascicule 4, 1963.
- (8) DIMOCK (Edward J.). — Simultaneous variation in Seasonal Height and Radial Growth of Young Douglas Fir. *Journal of Forestry*, Volume 62, Number 4, April 1964: 252-255.

PLANCHES

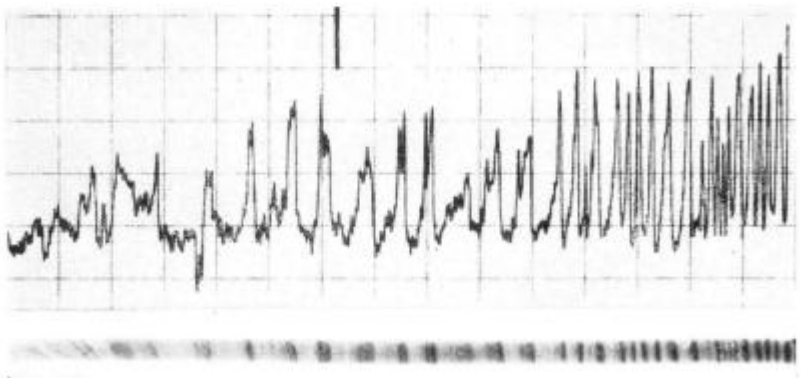
FIG. 1.

Pinus sylvestris

Photographie



↑
Positif de radiographie à l'état humide.



↑
Positif de radiographie à l'état sec.

FIG. 2.
Positifs d'après radiographies et profils densitométriques
Picea excelsa

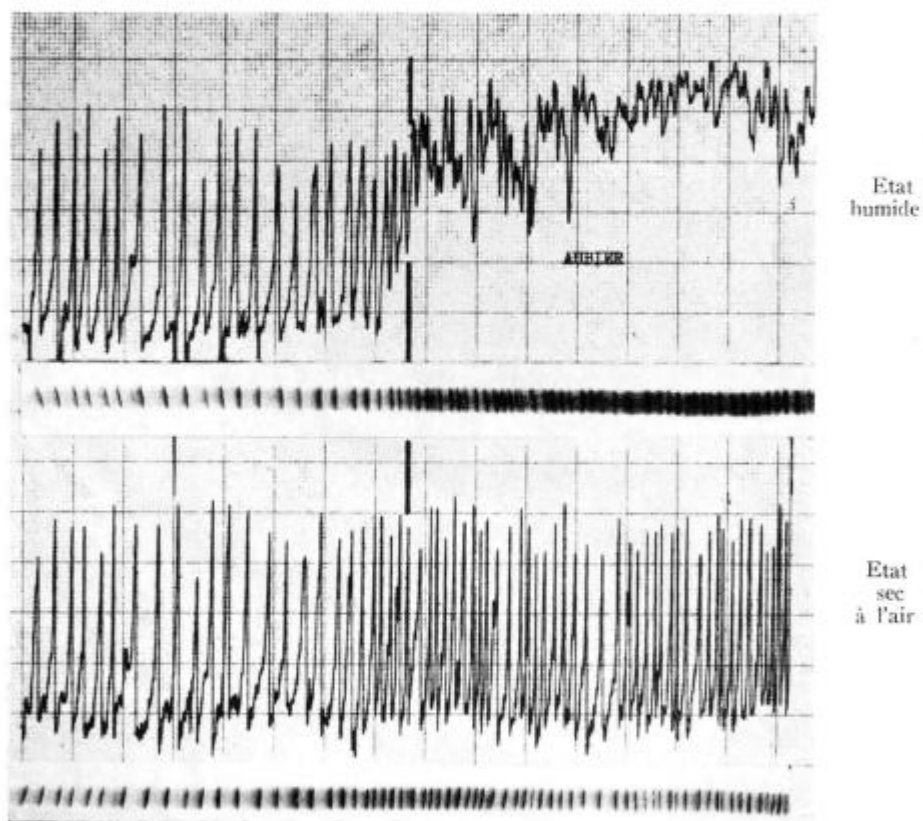
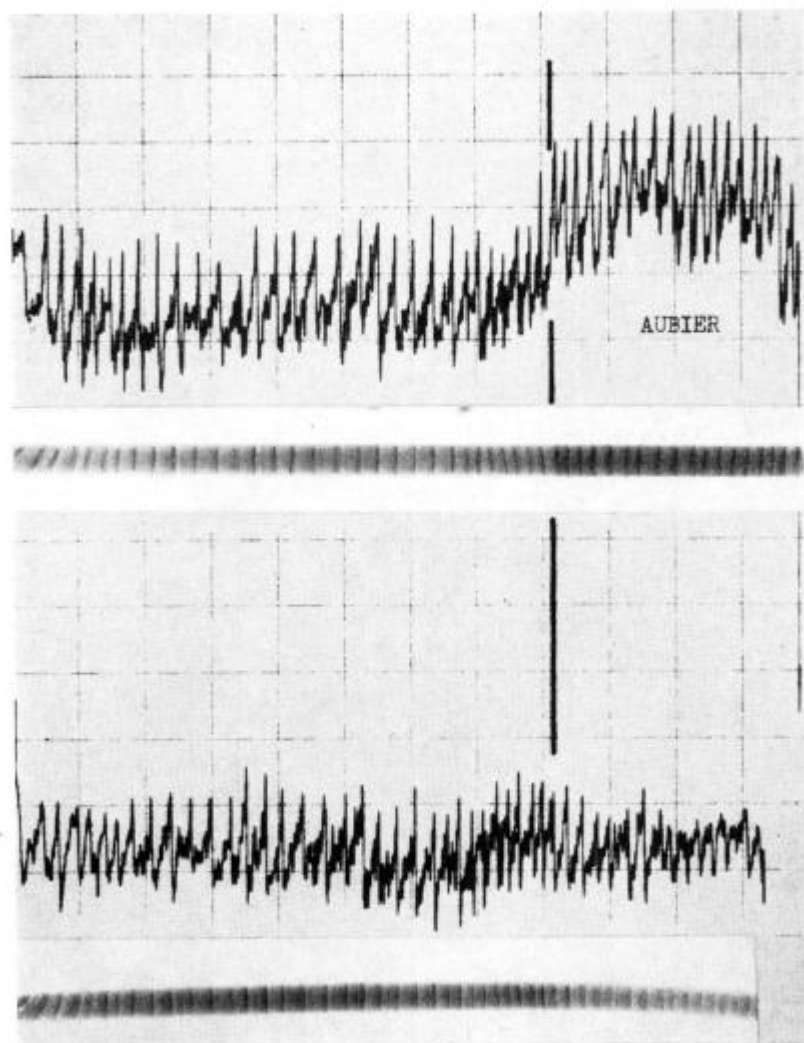


FIG. 3.

Positifs d'après radiographies et profils densitométriques

Cerasus avium.

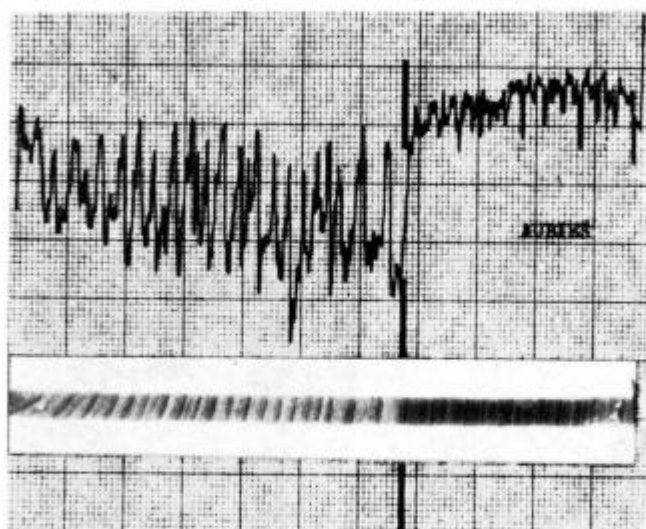


Etat
humide

AUBIER

Etat
sec
à l'air

FIG. 4.
Cerasus avium.

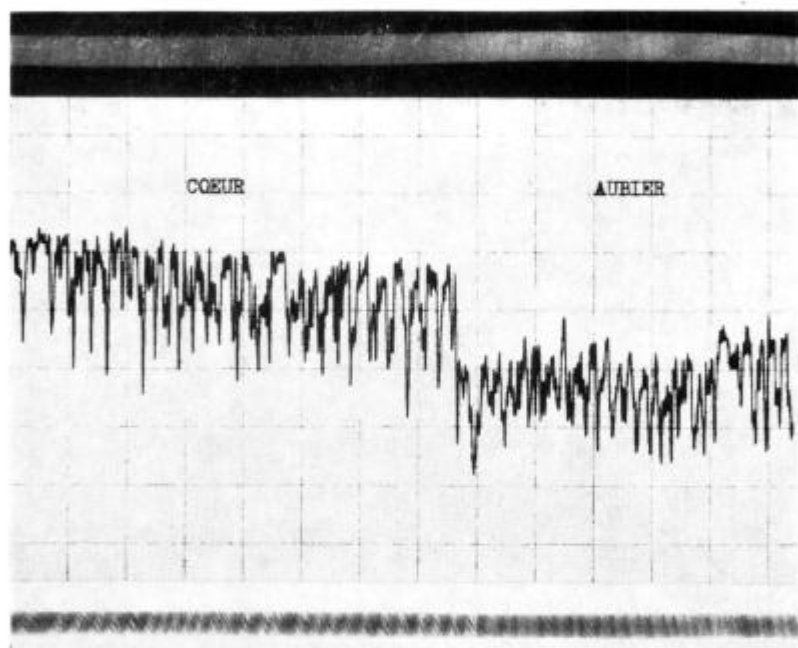


Positif d'après radiographie et profil densitométrique
d'un échantillon traité au Chlorure de Baryum.

FIG. 5.

Carya amara.

Photographie



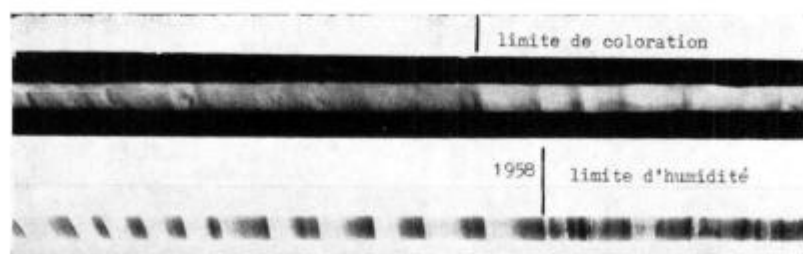
Profil
densitométrique
état frais



Psitif de radiographie à l'état frais.

FIG. 6.
Pseudotsuga douglasii.

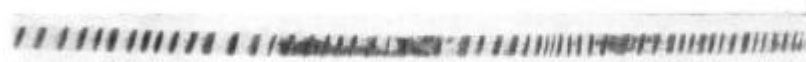
Photographie



Positif de radiographie à l'état frais.

FIG. 7.

Pinus sylvestris.

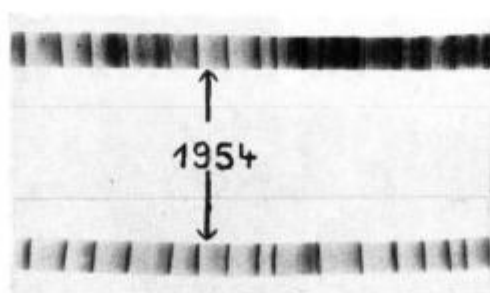


Positif de radiographie à l'état frais.

FIG. 8.

Picea sitchensis.

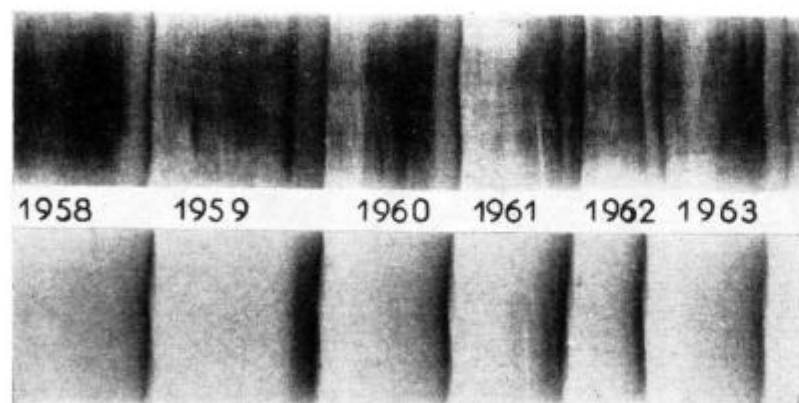
Positif de radiographie à l'état frais.



Positif de radiographie à l'état sec.

FIG. 9.
Picea sitchensis.

Courbes des différences
de densités optiques
entre les états frais et secs à l'air.



Positifs de radiographies au grossissement 5

RÉSUMÉ

Les recherches relatives à l'étendue et à la morphologie du bois de cœur ont récemment pris un certain essor à la suite d'observations assez inattendues concernant la localisation de l'eau dans la partie duraminisée de l'arbre, et de la mise au point de nouvelles méthodes de délimitation de l'aubier.

L'analyse densitométrique de clichés radiographiques, dont les principes ont été exposés dans le tome XX, fascicule 4 des Annales, a trouvé une nouvelle application dans la distinction entre aubier et bois parfait, basée sur leur différence de teneur en eau.

Il suffit d'insérer, dès leur prélèvement, des échantillons pris à la tarière de Pressler dans une gaine de polyéthylène, et de les radiographier à l'intérieur de cette enveloppe pour que l'eau qu'ils contenaient soit soustraite à toute évaporation, et contribue, par suite, à l'absorption du rayonnement X. Pour éviter toute erreur d'interprétation éventuelle due aux variations de la densité propre de la matière ligneuse, il est possible de radiographier ensuite le même échantillon à l'état sec, les différences de densité optique relevées n'étant dès lors plus attribuables qu'aux variations de la teneur en eau.

On peut augmenter, si nécessaire, le contraste en plongeant les échantillons pendant 10 heures dans une solution à 20 % de chlorure de baryum, celui-ci étant absorbé en bien plus grande quantité par l'aubier qui est plus perméable que le bois de cœur.

Cette étude a permis accessoirement :

— de vérifier que pour le genre *Carya*, la teneur en eau de l'aubier est très sensiblement inférieure à celle du bois de cœur,

— de faire apparaître, dans certains cas, un décalage pouvant atteindre un cerne entre la zone centrale colorée du bois et la limite à laquelle se produit le changement de teneur en eau,

— de mettre en évidence des aubiers dispersés ou discontinus,

— enfin de montrer que, chez les résineux, l'eau est, certaines années, concentrée dans la partie médiane des accroissements annuels de l'aubier, le début du bois initial et la fin du bois d'été étant, au contraire, relativement secs.

SUMMARY

Research about the morphology and sizes of heartwood have recently developed following unexpected observations concerning the localisation of water out of the living part of the tree, and development of new methods for the sapwood delimitation.

Densitometric analysis of radiographs, the principles of which have been exposed in the tome XX, part 4, of the *Annales* has found a new application in the distinction between sapwood and heartwood based on their difference in water content.

It suffices to insert, immediatly after taking, an increment core in a sheath of polyethylene and to radiograph it inside of this casing for obtaining that all the water remain into the sample and thus contribute to the absorption of X-rays.

To avoid eventual errors of interpretation owing to the specific gravity variations of wood, it is possible to radiograph again the same specimen air dried, the differences in optical densities being then only imputable to water content variations.

If necessary contrast can be increased by putting the samples during 10 hours into a 20 % solution of Baryum chloride which is more absorbed by sapwood.

This study has accessorly helped :

- to verify that for *Carya* water content of sapwood is noticeably less than that of heartwood.
 - to show that in certain cases there is a difference of one ring between central coloured area of wood and the limit of water content change.
 - to reveal scattered or discontinuous sapwood.
 - to show at last that some years in coniferous the water is concentrated in the middle part of the ring, the beginning of earlywood and the latewood being comparatively dry.
-

ZUSAMMENFASSUNG

Die Strukturuntersuchungen des Kernholzes haben neuerlich an Interesse gewonnen Unerwartete Beobachtungen über die Lokalisierung des Wassers im Kernholz und eine neue Methode zur Abgrenzung des Splintholzanteiles haben wesentlich dazu beigetragen.

Die Dichtemessungen von Röntgenaufnahmen (die Methode ist in den Annales de l'École des Eaux et Forêts, Band XX, Heft 4, 1963, veröffentlicht) hat eine neue Anwendung in der Unterscheidung von Kern- und Splintholz gefunden. Diese beruht auf dem Unterschied im Wassergehalt von Kern- und Splintholz.

Die mit einem Pressler'schen Zuwachsbohrer entnommenen Holzproben werden durch eine Plastikhülse vor Austrocknung geschützt. Das im Bohrspan vorhandene Wasser bewirkt eine unterschiedliche Dichte der Röntgenaufnahme. Um den Einfluss der Dichte des Holzkörpers auszuschalten wird eine zweite Röntgenaufnahme nach Trocknung der Holzprobe angefertigt. Ein Vergleich der Dichtemessungen ermöglicht den Wasseranteil zu bestimmen.

Um den Kontrast der Röntgenaufnahme zu erhöhen, kann man den Bohrspan zehn Stunden in eine 20 prozentige Bariumchloridlösung eintauchen. Das Splintholz hat eine höhere Permeabilität als das Kernholz und absorbiert daher eine grössere Menge an Bariumchlorid.

Die vorliegende Arbeit bringt folgende Ergebnisse:

1.) Bei der Gattung *Carya* konnte der deutlich höhere Wassergehalt im Kernholz gegenüber dem Splintholz überprüft werden.

2.) In gewissen Fällen konnte eine Verschiebung — bis zum Ausmass eines Jahringes — des zentralen, gefärbten Bereiches des Holzes und der Grenze des Wassergehaltwechsels aufgezeigt werden.

3.) Bei verschiedenen Holzarten konnte eine unregelmässige kleinflächige Verteilung des Wassers im Holzkörper festgestellt werden. Es zeigten sich aber auch ringförmige Verteilungen, wobei Jahrringe mit hohem Wassergehalt und trockene Jahrringe in verschiedener Folge wechseln.

4.) Bei den Koniferen konnte gezeigt werden, dass in gewissen Jahren das Wasser in einer Mittelzone des Jahringes konzentriert ist, während der erste Teil des Frühholzes und das Spätholz relativ trocken sind.

Traduction OSWALD.
