

VERS UNE APPRÉCIATION OBJECTIVE DES PROPRIÉTÉS DES BOIS DU VIOLON

V. BUCUR

Le violon, instrument de musique à cordes frottées, présente un intérêt théorique et musical très particulier, en raison de la place considérable qu'il a occupée dans le développement de la musique européenne.

Par la pureté de la forme, la simplicité du matériau et la beauté du son, le violon représente un sommet dans la facture d'instruments, et il fournit un exemple de réussite empirique remarquable au terme d'un processus de mise au point qui a exigé des siècles d'essais.

Le propos de cet exposé est de relier l'art du luthier à la science du bois en montrant qu'il est possible de s'appuyer sur les propriétés objectives, mesurables du bois, pour obtenir à coup sûr les qualités acoustiques recherchées. Une telle démarche conduit inévitablement à remettre en question un certain nombre de légendes relatives aux « secrets » des anciens luthiers.

Les instruments authentiques de Crémone du XVII^e ou XVIII^e siècle en bon état sont rares aujourd'hui. Lorsqu'on les écoute, ou lorsqu'on en joue sans idées préconçues, il est impossible de les distinguer d'autres bons instruments anciens ou modernes. On rapporte que J.-B. Vuillaume a copié le Guarnerius de Paganini si fidèlement que Paganini lui-même ne pût reconnaître l'original. L'expérience en a été répétée souvent, avec d'autres instruments, à l'occasion de « concours de sonorité » organisés depuis le début du siècle.

Devant la complexité des phénomènes acoustiques et le nombre élevé des variables à maîtriser, on a pensé que les méthodes électro-acoustiques pourraient être utilisées pour fournir une explication rationnelle du fonctionnement du violon. Mais on s'est rendu compte rapidement que les tentatives pour établir une véritable physique des instruments restaient très limitées.

Dès le départ, le problème essentiel était de trouver une méthode objective permettant de justifier, sur des diagrammes, les avis subjectifs des utilisateurs des instruments en ce qui concerne, d'une part la machine à fabriquer des sons, et d'autre part les matériaux utilisés qui font des violons de véritables objets d'art. En l'état actuel des choses, les sonagrammes rendent compte de façon objective de la réalité sonore d'un instrument (Benade A., 1976 ; Leipp E., 1976).

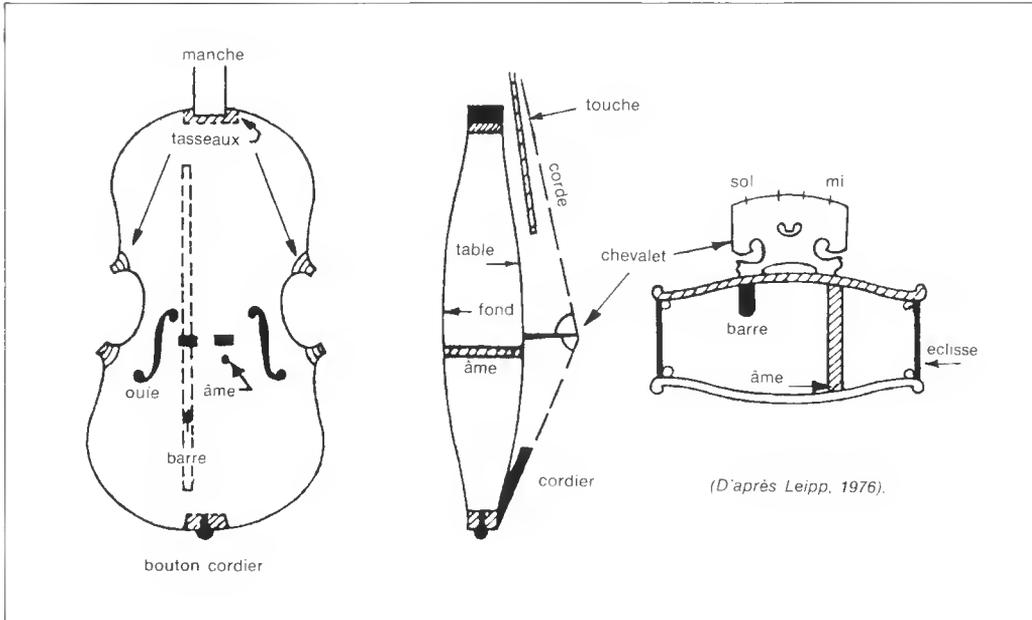
En ce qui concerne les matériaux, d'après l'opinion des musiciens, les violons doivent présenter un certain nombre de qualités qui sont fonction de constantes acoustiques du bois de résonance utilisé.

Ainsi, la clarté du jeu au violon s'exprime par la vitesse de propagation du son et sa légèreté par l'impédance acoustique⁽¹⁾.

(1) L'impédance acoustique $v \times \rho$ où v est la vitesse de propagation du son et ρ la densité du bois.

Le phénomène de l'extinction du son est régi par le facteur de qualité de l'amortissement de la vibration dans le bois⁽²⁾.

L'anatomie du violon est décrite dans le schéma 1 :



La table, habituellement en Épicéa, le fond en Érable et les éclisses également en Érable constituent le « corps sonore ».

Pour choisir le bois de résonance d'Épicéa pour la table du violon, les luthiers font usage des critères empiriques suivants :

- matériau totalement dépourvu d'imperfections anatomiques,
- accroissements de largeur 0,8 à 2,5 mm d'une régularité presque parfaite,
- longues périodes de séchage naturel,
- masse volumique faible à 12 % d'humidité (400 kg par m³).

Les figures 1 et 3 donnent quelques renseignements sur la structure macro et microscopique du bois d'Épicéa de résonance.

Dans le même ordre d'idées, on peut montrer le parallélisme étonnant entre la largeur de l'accroissement annuel et la vitesse du son (figure 5). Le graphique montre l'importance capitale de la largeur de la couche annuelle pour la sonorité de l'instrument. Il justifie les choix empiriques des luthiers qui préfèrent des cernes étroits pour le violon, et larges pour le violoncelle, car il existe une dépendance directe entre la vitesse et la fréquence d'une oscillation (à une fréquence élevée correspond une grande vitesse du son).

(2) Le facteur de qualité de l'amortissement de la vibration dans le bois est donné par la formule $Q = \frac{f_r}{\Delta f}$ où f_r est la fréquence de résonance et Δf l'intervalle des fréquences séparant deux régions successives de la courbe de résonance où l'amplitude est réduite à $1/\sqrt{2}$ fois l'amplitude maximale.

V. BUCUR

Pour le bois d'Érable, le critère de sélection est l'aspect, car les individus présentant une ondulation du fil du bois sont les plus recherchés en raison du bel effet esthétique qu'ils donnent après vernissage (figure 2). Quelques détails sur la structure du bois d'Érable ondé sont donnés dans la figure 4.

D'autre part, le comportement du bois de résonance dans un champ vibratoire est déterminé par le phénomène de frottement interne exprimé par la valeur du facteur de qualité de l'amortissement de la vibration (tableau 1).

On peut remarquer sur le tableau 1 que les valeurs élevées du facteur de qualité sont associées à des valeurs élevées de la vitesse du son. Les différences entre les valeurs mentionnées s'expli-

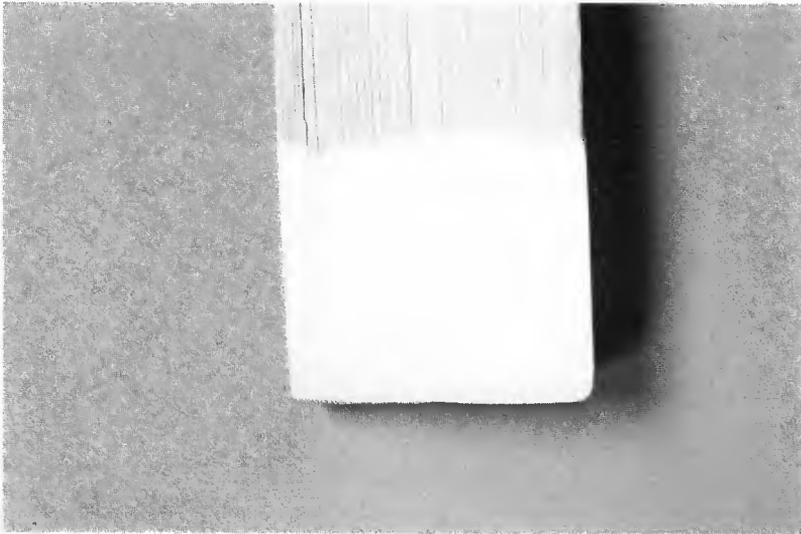


Figure 1
**BOIS D'ÉPICÉA
DE RÉSONANCE**

Echantillons collection E.N.G.R.E.F. - Nancy - Photos V. BUCUR.



Figure 2
**BOIS D'ÉRABLE
ONDÉ.**

Tableau 1 Valeur de quelques constantes acoustiques de divers bois de résonance

Espèce	Section de l'éprouvette	Vitesse du son selon l'axe longitudinal	Facteur de qualité
Épicéa de résonance	longitudinale radiale	6 300	105
Sapin de résonance	longitudinale radiale	6 100	100
Érable ondé	longitudinale radiale	4 500	35
Érable ordinaire	longitudinale tangentielle	4 900	45

quent par la structure anatomique du bois. Les valeurs faibles révèlent une structure complexe qui intervient distinctement dans le phénomène de l'amortissement de l'oscillation, tandis que les valeurs élevées indiquent une structure continue, simple et uniforme qui facilite la propagation de la vibration à travers les éléments anatomiques.

Cette constatation justifie à nouveau le choix des luthiers pour le bois d'Épicéa pour la table et pour celui de l'Érable pour le fond du violon, car la table doit porter le son tandis que le fond doit l'étouffer. En fait, le bois de Sapin de résonance n'apparaît pas inférieur à celui d'Épicéa. Le comportement presque identique du bois d'Épicéa et de Sapin justifie l'utilisation du bois de Sapin pour la fabrication des violons de concert.

Par ailleurs, le bois d'Érable ondé débité sur « maille », c'est-à-dire perpendiculairement aux couches d'accroissement, a un facteur de qualité presque égal à celui de l'Érable ordinaire débité sur « dosse » (parallèlement aux couches d'accroissement).

Ceci explique que certains violons fabriqués avec un fond en Érable ordinaire ainsi orienté aient cependant des qualités acoustiques incontestables. Cette constatation tend à prouver que le choix d'Érables ondes est essentiellement dicté par des considérations esthétiques.

En ce qui concerne les longues périodes de séchage, il est unanimement admis que les instruments de très bonne qualité ont besoin de bois ayant subi plusieurs années de vieillissement naturel (3 ans ... 100 ans).

Pour les petites durées de séchage, de trois à dix ans, on suppose qu'il s'agit d'une stabilisation dimensionnelle du bois engendrée par l'équilibre hygroscopique parfait et par la stabilisation des tensions internes.

De même, les luthiers ont observé sans l'expliquer le phénomène de « durcissement » du bois, évolutif avec le temps ; il s'agit d'un processus qu'on peut attribuer à des modifications dans la structure cristallographique de la cellulose.

Ceci a été mis en évidence par la méthode de diffraction aux rayons X ; la cristallinité de la cellulose (exprimée par l'indice de cristallinité du cristal de cellulose) est variable. Pour le bois d'Épicéa de résonance, elle présente un maximum à quatre ans (41,5), diminue vers soixante ans (39,9) et augmente à nouveau à cent ans (46,9).

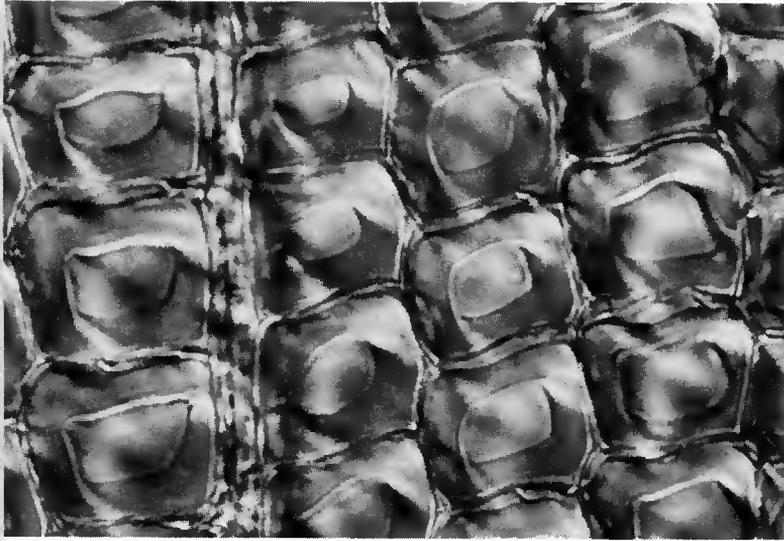


Figure 3
**STRUCTURE ANATOMIQUE DU BOIS
D'ÉPICÉA DE RÉSONANCE.**

a) ci-contre, à gauche : section transversale
($\times 325$) - zone de bois final ;

b) ci-dessous, à gauche : section radiale
($\times 160$) - zone d'intersection entre rayons
ligneux multisériés (1) et trachéides (2) ; les
punctuations aréolées sont observables dans
les parois des trachéides ;

c) ci-dessous, à droite : section tangentielle
($\times 150$) - deux types de rayons : unisériés (1)
et fusiformes (2) avec un canal résiniteur
transversal (3).

Photos V. BUCUR.

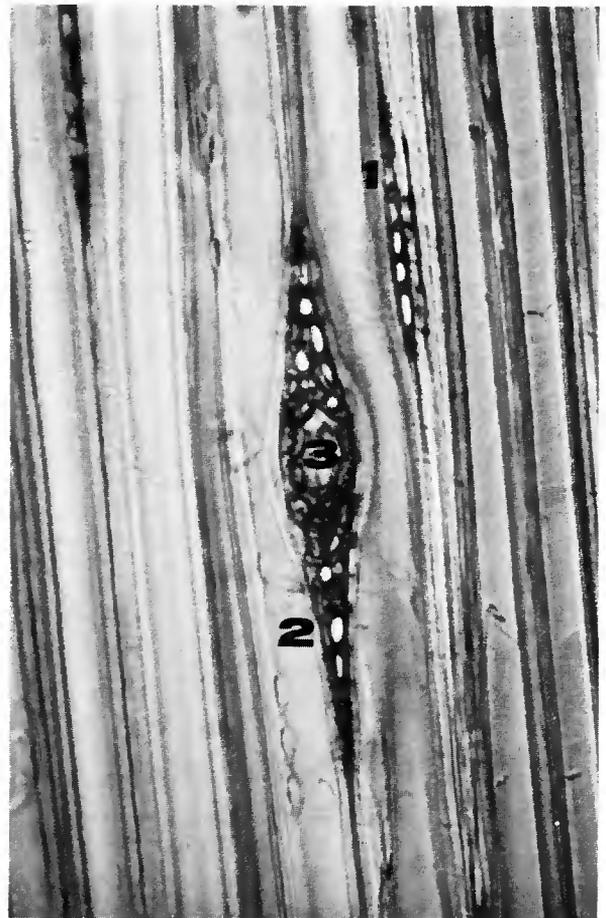
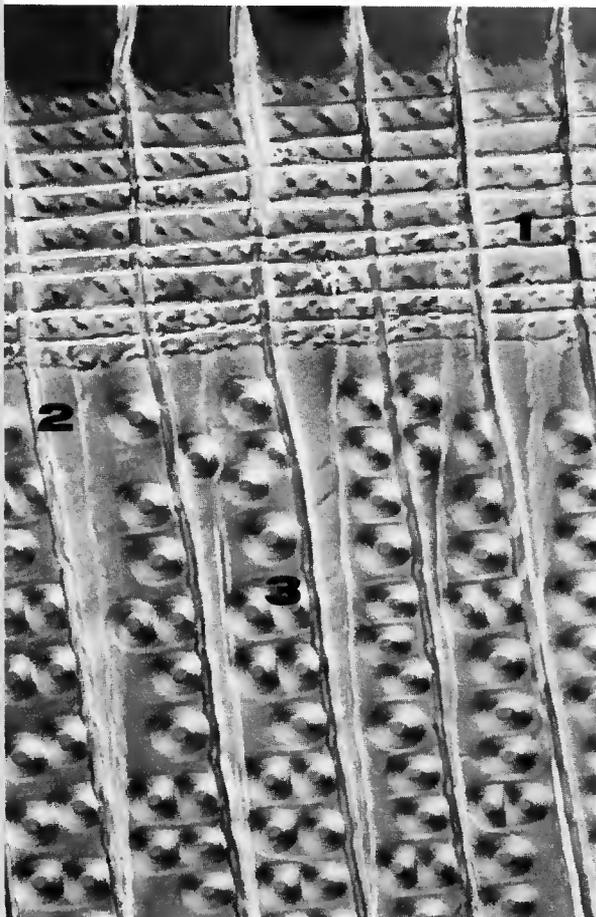


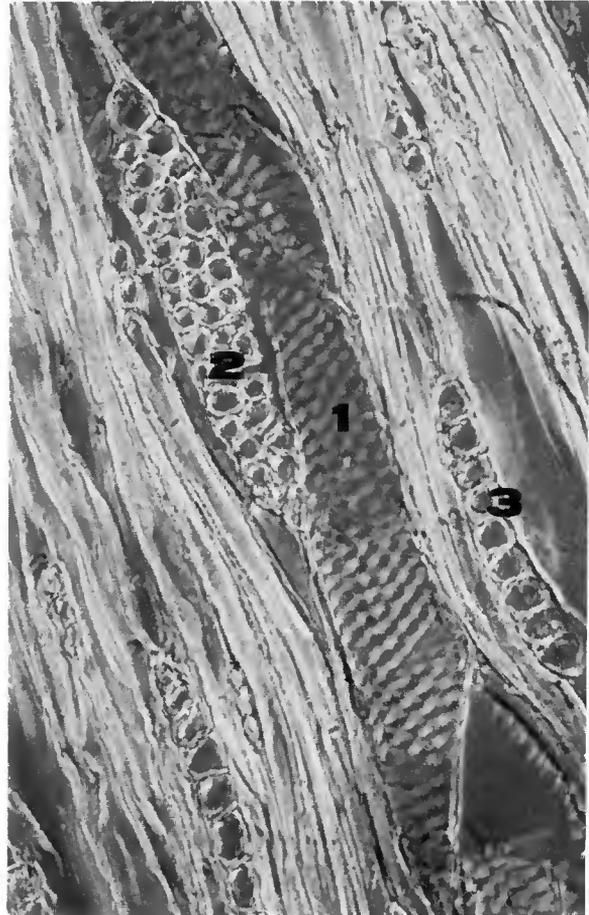
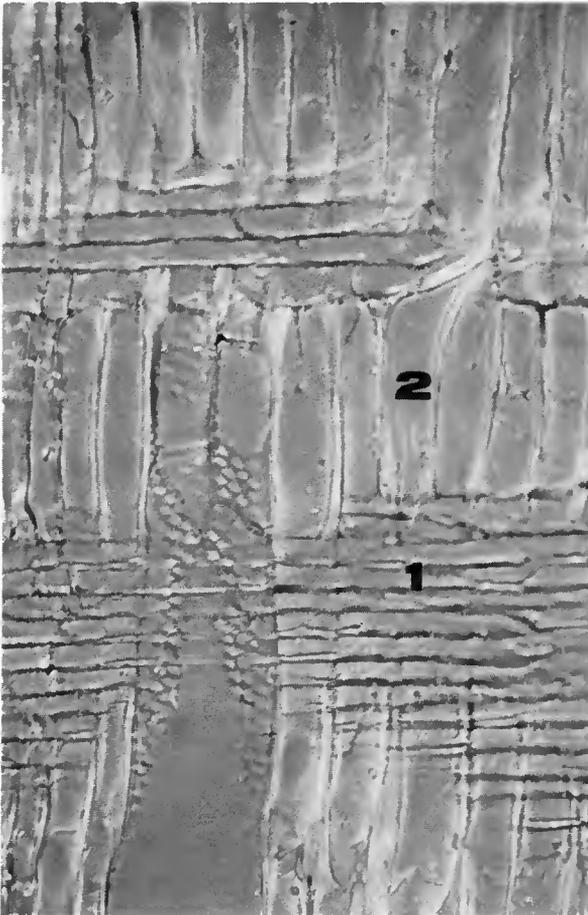
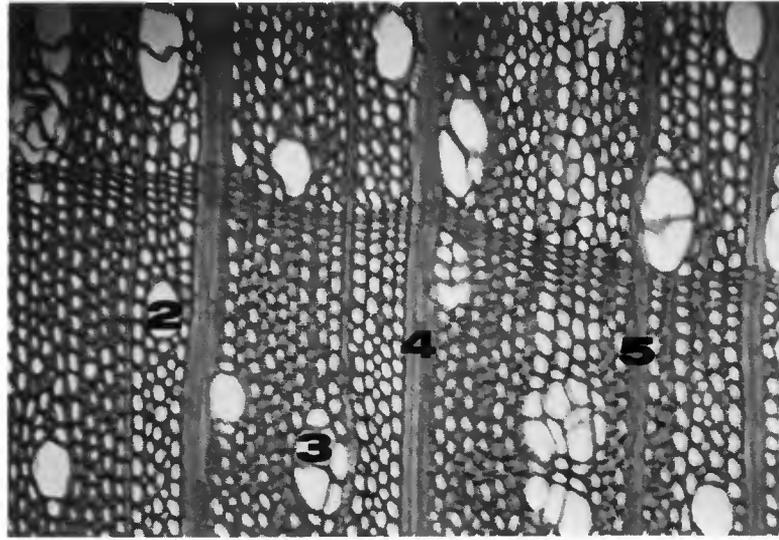
Figure 4

STRUCTURE ANATOMIQUE DU BOIS D'ÉRABLE ONDÉ.

a) ci-contre, à droite : section transversale ($\times 50$) - limite de cernes avec zone de parenchyme terminal (5 rangs de cellules) (1), de pores isolés (2) ou accolés radialement (3) répartis de manière clairsemée, des rayons ligneux multi- (4) et monosériés (5) ;

b) ci-dessous, à gauche : section radiale ($\times 150$) - zone d'intersection entre le rayon ligneux multisérié (1) et les fibres libriformes (2) ;

c) ci-dessous, à droite : section tangentielle ($\times 160$) - vaisseau large (1), rayon ligneux multisérié (2), rayon ligneux unisérié (3).



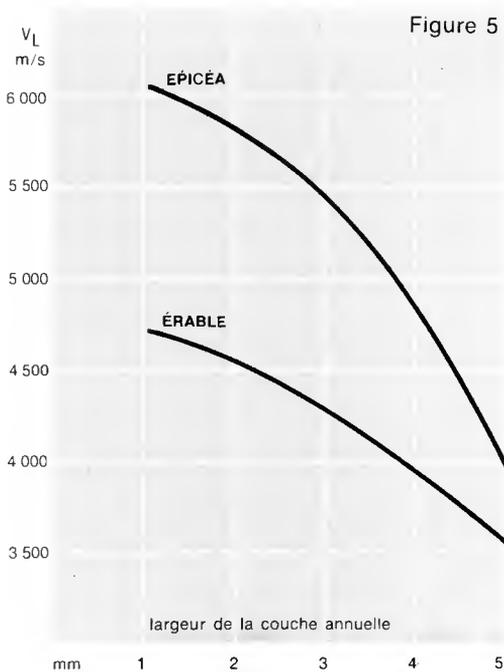
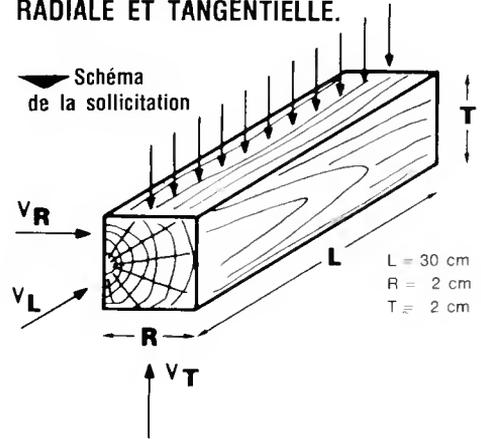
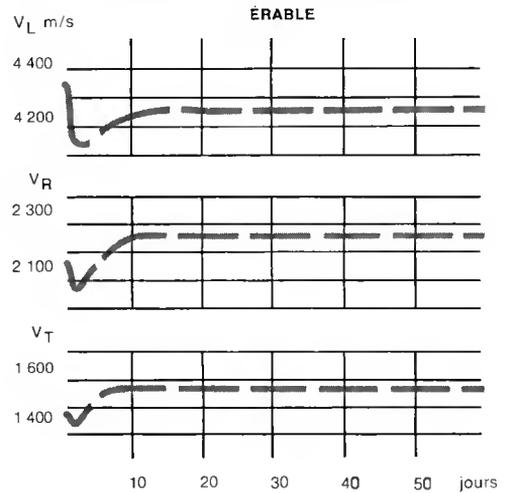
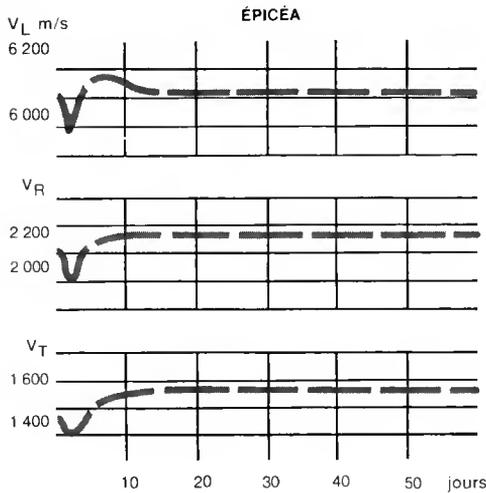


Figure 5 VARIATION DE LA VITESSE LONGITUDINALE EN FONCTION DE LA LARGEUR DE LA COUCHE ANNUELLE.

Figure 6 VARIATION DE LA VITESSE LONGITUDINALE, RADIALE ET TANGENTIELLE.



Durée de la sollicitation tangentielle



En ce qui concerne la sonorité des violons utilisés pendant des années, les opinions des musiciens sont très diverses. Sans doute, la sonorité du violon s'améliore-t-elle au fur et à mesure de son utilisation ! Le changement du timbre est attribué, soit à la rigidité acquise par le bois au fil des années, soit à la richesse des harmoniques de basse fréquence acquises par les instruments anciens.

Evidemment, un violon soigneusement construit, avec des matériaux de qualité, atteint en deux mois un bon niveau de performance sonore, mais en revanche, un violon de construction médiocre ne s'améliorera pas avec le temps.

Il est cependant maintenant possible de mieux préciser l'influence du jeu du violon sur sa qualité sonore par des expériences de simulation faisant intervenir des sollicitations de longue durée.

Des éprouvettes soumises à des efforts de longue durée peuvent en effet simuler plus ou moins exactement les efforts réels du bois du violon. Les sollicitations prédominantes dans la caisse du violon sont des sollicitations de flexion statique à un niveau qui correspond à 20 % de la contrainte de rupture, pour lesquelles la détérioration de la structure anatomique du bois, observable au microscope ordinaire, ne se produit pas.

La figure 6 montre les variations de la vitesse mesurée selon les trois axes d'anisotropie du bois sur une éprouvette de longueur 30 cm, sollicitée en flexion statique, selon la direction tangentielle, en simulant la tension des cordes qui donne une résultante sur le chevalet qui, à son tour, appuie sur la table du violon selon l'axe T.

On observe qu'à un certain moment de la sollicitation statique (en général après le douzième jour), les propriétés acoustiques se stabilisent à une valeur différente de la valeur initiale. Ainsi la stabilisation se manifeste à une valeur supérieure pour V_R et V_T ⁽³⁾ et a une valeur inférieure pour V_L , par rapport à la valeur initiale, ce qui toutes choses égales par ailleurs doit correspondre à une amélioration des propriétés acoustiques de l'instrument.

Cependant, les variations de vitesse au cours des essais ne peuvent être déterminées que par des modifications de la structure du bois.

Il est probable que, dans le cas du bois de résonance utilisé en lutherie, le phénomène de fatigue, déterminé par le jeu de l'instrument devient stationnaire à un certain moment dicté par le niveau de la sollicitation.

Ainsi se trouvent justifiées par l'expérience, la pratique empirique des facteurs d'instruments traditionnels et celle des musiciens, puisque la fluctuation du timbre des violons neufs peut être attribuée également à la modification de la structure très intime du bois sous l'effet des sollicitations supportées à la suite d'un long usage.

V. BUCUR

Station de Recherches sur la Qualité des Bois
CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIÈRES (I.N.R.A.)
Champenoux
54280 SEICHAMPS

BIBLIOGRAPHIE

- BENADE (A.). — Fundamentals of musical acoustics. — Oxford University Press, 1976.
- BUCUR (V.). — Modification des propriétés acoustiques du bois de résonance sous l'effet de sollicitations de longue durée.
Annales des Sciences Forestières, vol. 37, n° 3, 1980, pp. 249-264.
- LEIPP (E.). — Le violon. *Bulletin du groupe d'acoustique musicale, G.A.M.*, n° 6, 1965, Université de Paris VI.
- LEIPP (E.). — Acoustique et musique. — Paris : Masson, 1976.

(3) V_R = vitesse radiale. V_T = vitesse tangentielle. V_L = vitesse longitudinale.