

Comment l'état de surface du bois modifie les caractéristiques des résonances dans la perce des instruments à vent

H. BOUTIN^{a,b,c*}, S. LE CONTE^a, B. FABRE^{b,c}, J.-L. LE CARROU^{b,c}

a. CNRS : USR3224, Laboratoire du musée de la musique, Paris, France

boutin@lam.jussieu.fr

b. Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, UMR 7190, LAM - Institut d'Alembert

c. CNRS, UMR 7190, LAM - Institut d'Alembert, Paris, France

* : Auteur correspondant

Résumé :

Dans les registres bas et medium, la jouabilité des instruments à vent dépend des caractéristiques des résonances de la colonne d'air. Dans le cas des instruments en bois, ces caractéristiques sont liées à l'état de surface de la perce sur lequel le facteur et le musicien peuvent agir par le choix de l'essence, de la direction du fil de coupe et le huilage. Nous mesurons les impédances d'entrée de tuyaux en érable avec différents états de surface. L'application d'un bain d'huile accroît significativement les facteurs de qualité et amplitudes des douze premières résonances acoustiques de la perce. Lorsque le fil de coupe est de biais relativement à la direction du tronc, la porosité du tuyau est supérieure et l'effet d'un second bain d'huile sur ces caractéristiques est plus important. Les tuyaux dont le fil de coupe est droit et ayant subi deux bains d'huile ont une impédance d'entrée proche de celle d'un modèle de tuyau rigide.

Abstract :

In the low and medium range, the playability of woodwind instruments depends on the resonance characteristics of the air column. These characteristics are related to the surface condition of the bore. They are determined by the wood species and the direction of the cutting line, and are modified by several immersions in oil during and after the making process. The input impedances of pipes made of maple with different surface conditions are measured. One immersion in oil significantly increases the quality factors and the amplitudes of the first twelve bore resonances. When the wood fiber is not parallel to the trunk direction, the porosity of the pipe is higher, and a second immersion in oil increases these characteristics to a bigger extent. For the pipes with a fiber parallel to the trunk and immersed twice in oil, the input impedance is similar to that of a model of rigid pipe.

Mots clefs : instruments de musique à vents; bois; tuyau; impédance acoustique; résonances; état de surface; érable; woodwind instruments; wood; pipe ; acoustic impedance; resonances; surface condition; maple.

1 Introduction

Les essences de bois utilisées pour fabriquer les instruments à vent varient suivant l'origine et le type d'instrument. L'état de surface de la perce dépend des propriétés mécaniques de l'essence utilisée ainsi que de la direction du fil de coupe, à cause du caractère anisotrope du bois. Au cours de la facture, les corps en bois sont généralement plongés dans l'huile pendant plusieurs heures. Par la suite, la perce de l'instrument est à nouveau huilée par le musicien régulièrement. En pénétrant dans le bois, l'huile modifie l'état de surface de la perce. Pour ces raisons, la porosité et la rugosité à l'intérieur de la perce varient considérablement parmi les instruments à vent en bois. Ces caractéristiques affectent les conditions de réflexion de l'air sur la surface interne de la perce et par conséquent les résonances de la colonne d'air. Au cours de cette étude, nous mesurons l'impédance d'entrée de tuyaux cylindriques en érable, de directions de fil de coupe différentes, ayant subi zéro, un ou deux bains d'huile. Nous examinons l'influence des caractéristiques de surface sur les variations de fréquence, de facteur de qualité et d'amplitude des résonances de la perce. Nous comparons ces mesures avec un modèle simple de propagation dans un tuyau cylindrique rigide.

2 Protocole expérimental

Six tuyaux en érable ont été fournis par Pierre Ribo, facteur de serpents. Trois ont un fil de coupe droit, c'est-à-dire des cernes parallèles à l'axe de la colonne d'air. Les trois autres ont un fil de coupe d'orientation aléatoire. Dans la suite les trois premiers tuyaux sont dits « droits » et les trois autres « de biais ». Pour chaque groupe, un échantillon a subi un bain d'huile pendant plusieurs heures, et un autre deux bains d'huile, séparés par une semaine de séchage. Le troisième dit « brut » n'a pas été huilé. Chaque tuyau droit est constitué de deux pièces collées dans le sens de la longueur. Le bois étant moins résistant dans les autres directions, les tuyaux de biais se composent d'un plus grand nombre de pièces. Les perces, approximativement cylindriques, ont une longueur comprise entre 338.5 et 339.5 mm et un rayon entre 12.0 mm et 12.1 mm.

Les impédances d'entrée des tuyaux sont mesurées par le capteur développé conjointement par le LAUM et le CTTM (Le Mans, France) et décrit par le Roux et al [1]. Le tuyau est placé verticalement sur le plan de référence du capteur, et son axe coïncide avec celui de la cavité cylindrique du capteur. L'étanchéité du contact entre le tuyau et le capteur est assurée par un joint de silicone recouvert de vaseline. Au cours des mesures, la température est restée comprise entre 22.5 et 23.0°C, et l'humidité relative entre 56 et 58%.

L'impédance d'entrée de chaque tuyau est mesurée entre 20 Hz et 6 kHz, puis divisée par l'impédance caractéristique Z_c . Sur chaque courbe d'impédance adimensionnée sont mesurées l'amplitude et la fréquence des douze premiers pics de résonance. Les facteurs de qualité sont estimés en divisant la fréquence de résonance par la bande passante à -3 dB.

3 Modèle de propagation dans un tuyau rigide

Les mesures sont comparées à l'impédance d'entrée d'un modèle de tuyau rigide cylindrique de longueur L et de rayon R . La pression et la vitesse acoustique sont supposées uniformes sur toute section droite. L'impédance acoustique adimensionnée ramenée à l'entrée du tuyau est donnée par l'équation :

$$Z = \frac{Z_L \cos kL + jZ_c \sin kL}{Z_c \cos kL + jZ_L \sin kL} \quad (1)$$

où k est le coefficient de propagation et Z_L l'impédance en L . Ces deux paramètres complexes sont donnés respectivement par Fletcher [2] et Dalmont [3]. La partie imaginaire de k décrit les pertes viscothermiques et celle de Z_L le rayonnement à l'extrémité ouverte du tuyau en l'absence d'écran. Pour le calcul de l'impédance caractéristique Z_c , la densité de l'air et la célérité du son sont données respectivement par les modèles de Kay & Laby [4] et Cramer [5].

4 Résultats

a- Variation des caractéristiques des pics de résonance

Parmi les courbes d'impédance mesurées, les fréquences, facteurs de qualité et amplitudes des pics varient significativement. Les plus grandes différences apparaissent entre l'impédance d'entrée du tuyau droit ayant subi deux bains d'huile et celle du tuyau de biais brut, cf. Fig1. Les caractéristiques des résonances du tuyau droit ayant subi deux bains d'huile sont beaucoup plus proches de celles du modèle de tuyau rigide, que celles du tuyau de biais brut.

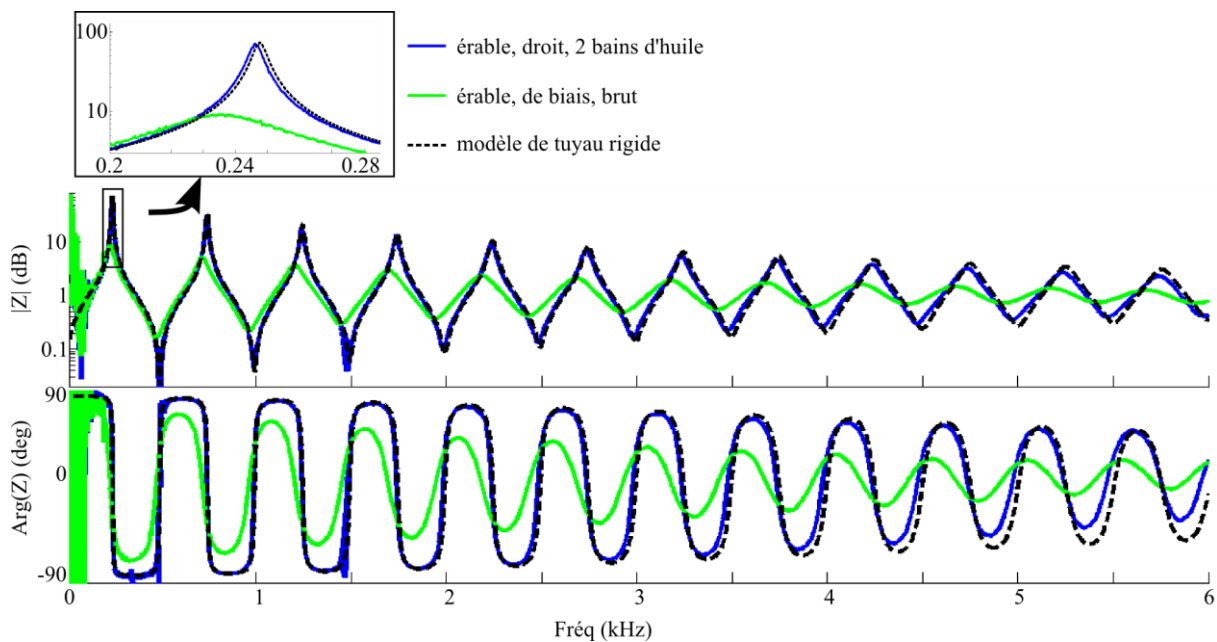


Figure 1. Impédance d'entrée adimensionnée d'un tuyau en érable avec un fil de coupe de biais n'ayant subi aucun bain d'huile (vert), d'un tuyau en érable avec un fil de coupe droit ayant subi deux bains d'huile (bleu) et d'un modèle de tuyau rigide (noir).

Les longueurs et les rayons des tuyaux du corps varient de $\pm 0.2\%$ et $\pm 0.8\%$ autour de leurs valeurs moyennes respectives, 339.0 mm et 12.1 mm. D'après le modèle de tuyau rigide, les modifications des caractéristiques des douze premiers pics, dues aux variations de rayon, longueur, température et humidité sont faibles. Leurs écarts type valent 0.1 Hz pour les fréquences, 0.4 pour les amplitudes et 0.4 pour les facteurs de qualité. Parmi les impédances mesurées, les écarts types des variations sont beaucoup plus élevés : 0.8 Hz pour les fréquences, 44.9 pour les amplitudes et 45.8 pour les facteurs de qualité. Les variations de géométrie, température et humidité relative ont donc une faible influence sur les résonances de la perce, par rapport aux variations d'état de surface, liées au nombre de bains d'huile et à la direction du fil de coupe.

b- Effet des bains d'huile et de la direction du fil de coupe

La figure 2 montre les amplitudes et facteurs de qualité des douze premiers pics de résonance des six tuyaux en érable. Quelle que soit la direction du fil de coupe, l'amplitude et le facteur de qualité des pics de résonance augmentent lorsque le tuyau subit un bain d'huile. Mais lorsque le fil de coupe est droit, l'augmentation de ces deux caractéristiques engendrée par un second bain d'huile est beaucoup plus faible que lorsque le fil de coupe est de biais.

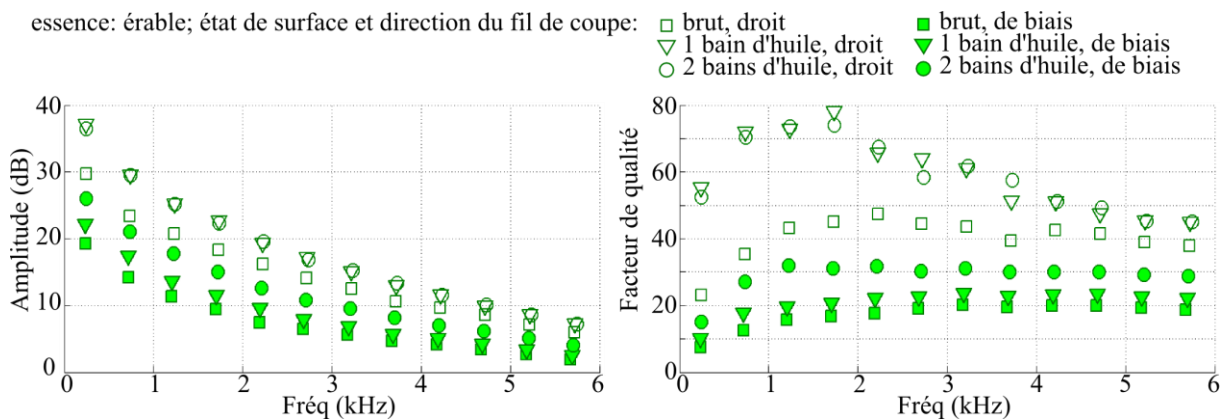


Figure 2: amplitudes (gauche) et facteurs de qualité (droite) des douze premiers pics d'impédance des tuyaux en érable bruts (carrés), ayant subi un bain d'huile (triangles) et deux bains d'huile (cercles). Les symboles vides correspondent aux tuyaux de coupe droite et les symboles remplis aux tuyaux de coupe de biais.

La porosité de la perce est supérieure lorsque le fil de coupe est de biais. En conséquence, alors qu'un bain d'huile suffit à remplir les pores du tuyau droit, un second bain continue de modifier significativement l'état de surface des tuyaux de biais.

5 Perspectives

Nous envisageons de mesurer également l'impédance d'entrée de tuyaux en buis, alisier et arbres fruitiers fréquemment utilisés en facture d'instruments à vent. Nous élaborerons un nouveau modèle de tuyau dont la porosité de l'état de surface est prise en compte en imposant une vitesse acoustique radiale non nulle sur la paroi. Par l'ajustement de ce paramètre, ce modèle permettra de caractériser la porosité des essences considérées, et d'établir une relation entre la porosité et les caractéristiques des résonances de la perce.

6 Remerciements

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat Français géré par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de l'Idex Sorbonne Universités dans le cadre du programme Investissements d'avenir portant la référence ANR-11-IDEX-0004-02. Nous remercions également Pierre Ribo, pour la facture des tuyaux en bois.

Références

- [1] J.-C. Le Roux, J.-P. Dalmont, B. Gazengel, A new impedance tube for large frequency band measurement of absorbing materials, Proceedings of Acoustics'08, Paris, France, 2008
- [2] N.H. Fletcher, T.D. Rossing, The Physics of Musical Instruments, Springer-Verlag New York Inc., chap.8.2, 1991
- [3] J.-P. Dalmont, C.J. Nederveen, N. Joly, Radiation impedance of tubes with different flanges: numerical and experimental investigations, J. Sound Vib. 244(3) (2001) 505–534
- [4] G.W.C. Kaye, T.H. Laby, Tables of Physical and Chemical Constants 1973 pp. 18–19
- [5] O. Cramer, The variation of the specific heat ratio and the speed of sound in air with temperature, pressure, humidity, and CO₂ concentration, J. Acoust. Soc. Am. 93(5) (1993) 2510–2516