Influence de la perce sur l'inharmonicité des fréquences de résonance du hautbois

Jean-Pierre Dalmont, P. Dupire

► To cite this version:

Jean-Pierre Dalmont, P. Dupire. Influence de la perce sur l'inharmonicité des fréquences de résonance du hautbois. Journal de Physique IV Proceedings, 1994, 04 (C5), pp.C5-653-C5-656. 10.1051/jp4:19945141 . jpa-00252819

HAL Id: jpa-00252819

<https://hal.science/jpa-00252819>

Submitted on 1 Jan 1994

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.

Influence de la perce sur l'inharmonicité des fréquences de résonance du hautbois

J.-P. DALMONT et P. DUPIRE

Laboratoire d'Acoustique, Université du Maine, BP 535, 72017 Le Mans cedex, France

Abstract : In this paper it is shown theoretically how a local change on the conicity of the main bore can reduce the anharmonicity of the resonance frequencies. A comparative study of three different oboes has been made. The measurement of the respective main bore explains partially the differences of the anharmonicity.

1. Introduction

L'harmonicité des fréquences de résonance est une caractéristique acoustique déterminante des instruments à anche de perce conique. Limiter l'inharmonicité des fréquences de résonance, lorsque ces dernières ne sont pas d'amplitude négligeable, est un des buts essentiels à atteindre pour le facteur s'il veut préserver l'homogénéité de timbre de l'instrument et la facilité d'émission. La perce étant la principale cause d'inharmonicité nous nous intéressons à la relation existant entre la perce du hautbois et l'inharmonicité de ses fréquences de résonance.

Nous montrons tout d'abord par une étude théorique comment un resserrement de la perce sur le haut de l'instrument modélisé par une double conicité peut permettre de diminuer l'inharmonicité sur le premier registre de l'instrument. Une confrontation entre les harmonicités calculées par le logiciel RESONANS à partir de mesures de perce et les inharmonicités déduites des mesures d'impédance d'entrée pour trois hautbois de modèles différents est ensuite réalisée. Elle permet alors de mieux comprendre les compromis réalisés par le facteur lors de la conception d'un instrument.

2. Approche théorique : exemple du résonateur à double conicité

Si on considère le cas de référence du cône complet, les fréquences de résonance f_n sont données par une équation caractéristique : $\text{tg}(kL)=0$ où $k=2\pi f_n/c$ et où c est la vitesse du son. Ces fréquences sont alors parfaitement harmoniques puisque les solutions sont données par $f_n=nc/2L$.

De manière générale, si on considère un résonateur de perce approximativement conique, on pourra toujours écrire l'équation caractéristique sous la forme : $\text{tg}(kL)=\varepsilon$ où ε est une fonction de la fréquence et L une longueur dite "longueur équivalente" de l'instrument, choisie de telle façon que le développement limité de ε en fonction de la fréquence ne contienne pas de terme du premier ordre. On vérifie que minimiser ε revient à minimiser l'inharmonicité des résonances. Un moyen d'obtenir ce résultat consiste à éliminer un à un les infiniment petits de ε dans l'ordre croissant. En ce sens, le cône tronqué complété par un volume équivalent égal au volume du cône manquant est un optimum puisque dans ce cas le terme du troisième ordre du développement limité de ε est nul (notons que tous les termes d'ordre pair sont nuls). Ceci justifie l'assertion de Benade affirmant que l'anche du hautbois est conçue en particulier de façon à ce que son volume équivalent soit égal au volume du cône manquant [1].

Si l'on considère maintenant un résonateur constitué de deux troncs de cônes successifs sans discontinuité de section (figure 1), on peut montrer [2] qu'il existe un rapport optimal entre les conicités des deux cônes pour lequel le premier terme non nul du développement limité de ε est du septième ordre.

Figure 1 : Schéma du système avec double conicité.

Ce résultat est applicable directement au dimensionnement du tube, support de l'anche, correspond à un premier cône de longueur L_1 réduite, et conduit à des résultats similaires à ceux obtenus par un calcul différent par Benade [3]. Ils restent qualitativement valables pour un premier tronc de cône de longueur plus importante : un resserrement de conicité dans le haut de l'instrument est susceptible de diminuer l'inharmonicité des fréquences de résonance. La figure 2.a représente, pour deux cas optimaux du type de ceux discutés ci-dessus, l'inharmonicité théorique (sans pertes) entre les deux premiers pics en fonction de la "longueur équivalente" L de l'instrument. Les conicités principales sont identiques et représentent une schématisation réaliste de la perce d'un hautbois (cf. Nederveen [4][5]). On vérifie que l'on a bien une harmonicité moins importante pour le système à deux cônes. Dans les deux cas, les courbes divergent pour les petites longueurs ($L < 0.4\text{m}$).

Figure 2 : Inharmonicité théorique I des deux premières fréquences de résonance en fonction de la longueur équivalente L :

- a) ----- cône tronqué avec volume optimal,
 — — système avec double conicité et volume optimaux dans le cas particulier où la longueur du premier cône L_1 est égale à la longueur de la troncature L_0 (cf. fig.1),
- b) — — système avec double conicité et volume non optimaux.

Les optimums théoriques sont certainement réalistes, même s'ils ne prennent pas en compte les pertes et les trous latéraux ; toutefois, du fait que les longueurs équivalentes que peut prendre l'instrument sont limitées ($0.35\text{m} < L < 0.75\text{m}$), on peut imaginer des compromis sensiblement différents de l'optimum théorique. Ainsi, il est certainement intéressant de tolérer une inharmonicité négative pour les grandes longueurs si cela permet de diminuer l'inharmonicité pour les petites longueurs. La figure 2.b présente un compromis de ce type pour un résonateur constitué de deux cônes avec un rapport de conicité différent du rapport correspondant à l'optimum théorique.

3. Résultats expérimentaux

Le facteur de hautbois a certainement conscience du rôle que joue la perce sur les qualités de l'instrument. Cependant, comme le montrent les mesures de perces, il ne se contentera pas en général d'une perce simplement réduite à deux cônes : les écarts à la conicité moyenne peuvent être très localisés et même si l'on peut souvent dégager deux conicités principales, ce nombre est en général insuffisant. Les mesures de perce effectuées sur trois modèles de hautbois différents ont permis de "découper" les hautbois en un certain nombre de troncs de cônes successifs (de 5 à 10, cf. [2]). L'inharmonicité des fréquences de résonance obtenues à l'aide du logiciel RESONANS pour différentes longueurs de l'instrument (figure 3a) sont assez bien corrélées avec celles obtenues à partir des mesures d'impédance (figure 3b). Les résultats sont satisfaisants, compte tenu du fait que les calculs réalisés à l'aide du logiciel RESONANS n'ont volontairement pas pris en compte les trous latéraux et que de plus les mesures de perce mettent en évidence des différences de rayon qui n'excèdent pas 0.2mm, ce qui est de l'ordre de grandeur de l'erreur de mesure estimée sur ces rayons. On comprend à ce propos combien la facture de hautbois peut être délicate. Ceci étant, il semble que, pour les hautbois considérés, le compromis est plutôt du type de celui de la figure 3, en particulier pour le hautbois A.

On remarque pour les trois hautbois, sur la note do médium en particulier, des inharmonicités importantes, mais sensiblement différentes. Cette note est considérée comme ayant, sur les hautbois en général, un timbre relativement "nasillard". Ceci est plus particulièrement sensible sur le hautbois B pour lequel l'inharmonicité est la plus importante. Il apparaît ainsi que la différence de perce entre hautbois, bien que minime, est un élément de différenciation qui permettra au facteur de personnaliser ses instruments.

Figure 3 : Courbes d'inharmonicité des deux premières fréquences de résonance du premier registre pour trois modèles de hautbois différents, notés A,B,C, en fonction de la longueur équivalente L :

- a) calcul à partir des mesures de perces par le logiciel RESONANS,
- b) courbes déduites des mesures d'impédance d'entrée.

4. Conclusion

Cette étude permet de mieux cerner le travail du facteur de hautbois lors de la conception d'un nouveau modèle. Sa latitude est cependant relativement restreinte : seule la perce est susceptible d'être modifiée et l'inharmonicité ne doit pas dépasser une certaine limite (en particulier pour le do médium) s'il veut préserver la qualité et l'homogénéité du timbre. Il apparaît finalement que de petites modifications de perce, parfois incontrôlées, auront pour effet de modifier légèrement l'inharmonicité des fréquences de résonance modifiant ainsi légèrement le timbre de l'instrument.

Références

- [1] Benade A.H. - Fundamentals of musical acoustics (Oxford U.P., New York 1976).
- [2] Dupire Ph. - Rapport de stage de D.E.A. d'acoustique appliquée (Le Mans 1993).
- [3] Benade A.H. and Richards - J.Acoust.Soc.Am. (1983) 73 (5), p 1794.
- [4] Nederveen C.J. and Bruijn - Acustica (1967) 18, p 47.
- [5] Nederveen C.J. - Acoustical aspects of woodwind instruments (Fritz Knuff, Amsterdam 1969)
- [6] RESONANS - Logiciel d'aide à la conception d'instruments à vent développé au L.A.U.M. (Le Mans) en collaboration avec l'I.R.C.A.M. (Paris) et distribué par le C.T.T.M. (Le Mans).