HAL
open science

Un nouveau concept de table d'harmonie de guitare

Sylvie Le Moyne, Joël Frelat, Charles Besnainou

To cite this version:

Sylvie Le Moyne, Joël Frelat, Charles Besnainou. Un nouveau concept de table d'harmonie de guitare : Etude numérique du comportement vibratoire. 11e colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2013, Giens, France. hal-01722103

HAL Id: hal-01722103

https://hal.science/hal-01722103

Submitted on 5 Mar 2018

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.

Public Domain

CSMA 2013
11e Colloque National en Calcul des Structures
13-17 Mai 2013

Un nouveau concept de table d'harmonie de guitare.

Etude numérique du comportement vibratoire.

Sylvie LE MOYNE [1]*, Joël FRELAT [1], Charles BESNAINOU [1]

1 CNRS, Université Pierre et Marie Curie Paris 6, Institut Jean Le Rond d'Alembert, sylvie.le_moyne@upmc.fr; joel.frelat@upmc.fr
* Auteur correspondant

Résumé — Un nouveau concept de table d'harmonie d'instruments à corde est évalué par une première approche numérique. L'innovation, qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet, consiste en une table fendue qui permet d'une part d'enrichir la densité modale de la table et d'autre part de systématiser l'asymétrie des modes pairs. L'objectif étant d'augmenter globalement le rayonnement acoustique. Un modèle éléments finis d'une table d'harmonie type de guitare est proposé. Par comparaison avec un modèle non fendu, il est tenté de mettre en évidence les gains envisageables avec ce nouveau concept. La comparaison est menée sur l'analyse modale de la table et sa réponse en fréquence.

Mots clés — guitare, éléments finis, comportement modal, rayonnement acoustique

1. Introduction

La table d'harmonie d'un instrument à corde est un élément primordial de son rayonnement acoustique. De nombreux travaux ont permis une bonne compréhension du comportement modal et du rayonnement des tables d'harmonie de guitare ([1]-[5]). Ces réflexions ont mené à la proposition d'une nouvelle conception de table d'harmonie qui a récemment fait l'objet d'un dépôt de brevet par deux des auteurs ([6]). L'étude présentée dans cette communication propose, par une approche numérique (éléments finis), de mettre en évidence les gains en terme de rayonnement apportés par cette nouvelle conception.

Le savoir faire du luthier réside dans l'optimisation de la transformation d'une énergie mécanique qui prend naissance dans la vibration des cordes en une énergie acoustique issue du rayonnement du corps de l'instrument. La table d'harmonie prend une part majeure dans ce rayonnement. Ce rayonnement est fortement tributaire du comportement modal de la table. La densité modale et le facteur de rayonnement des différents modes jouent en particulier un rôle de premier plan. Par le travail du barrage, les facteurs d'instrument ont beaucoup travaillé à déstructurer la symétrie originelle de la table afin de minimiser les phénomènes d'interférence qui rendent les modes pairs non rayonnants.

Fig. 1. Prototype d'une guitare fendue en composite

Le concept proposé ici consiste en une table fendue qui permet d'une part d'enrichir la densité modale de la table et d'autre part de systématiser l'asymétrie des modes pairs. L'objectif étant d'augmenter globalement le rayonnement acoustique.

Des premiers prototypes en composite ont été réalisés (figure 1). Le ressenti des musiciens qui ont essayé ces prototypes étaient positifs et ont fourni un retour subjectif d'une guitare claire et rayonnante. Il s'agit à présent de mettre en évidence de manière objective et scientifique les gains que l'on peut attendre de ce nouveau concept en terme de rayonnement acoustique.

Afin de mettre en évidence les gains envisageables grâce à ce nouveau concept, une étude numérique est proposée. Une première approche conceptuelle est menée à l'aide d'un modèle éléments finis d'une table d'harmonie. Une table fendue et une table non fendue de mêmes dimensions sont comparées. La comparaison est basée sur l'étude des modes propres (densité modale, déformées, caractère rayonnant des modes…) et des fonctions de réponses en fréquences.

2. Modèle

La modélisation est réalisée à l'aide du code de calcul éléments finis *Cast3M*.

La géométrie de la table d'harmonie est présentée figure 1. Le maillage de la table est réalisé avec une finesse de mailles de 1cm (figure 2). Des éléments plaques (DKT) sont utilisés. Les propriétés du matériau sont celle du prototype déjà réalisé (tableau 1). Ce matériau composite est considéré comme isotrope.

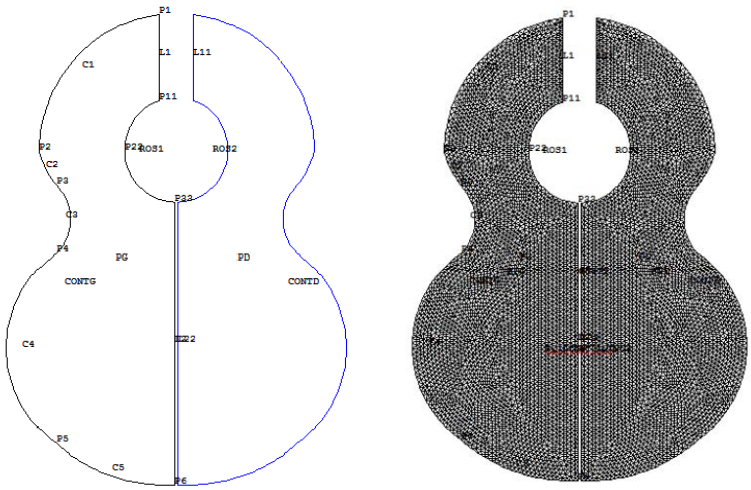

Fig 2. Modèle éléments finis de la table. Gauche : géométrie. Droite : maillage.

Module d'Young	Masse volumique	Coefficient de Poisson	Epaisseur de référence
$1{,}1.\ 10^{10}$ Pa	400 $kg.m^{-3}$	0,37	1mm

Tableau 1. Caractéristiques matériau

Le chevalet permet la transmission des vibrations des cordes vers la table d'harmonie. Non fendu, il permet la transmission des vibrations d'une partie à l'autre de la table d'harmonie fendue. Son rôle est donc primordial dans le comportement vibroacoustique de l'ensemble. Il est modélisé à l'aide d'éléments volumiques, reliés au maillage de la table par une fonction d'accroche (figure 3).

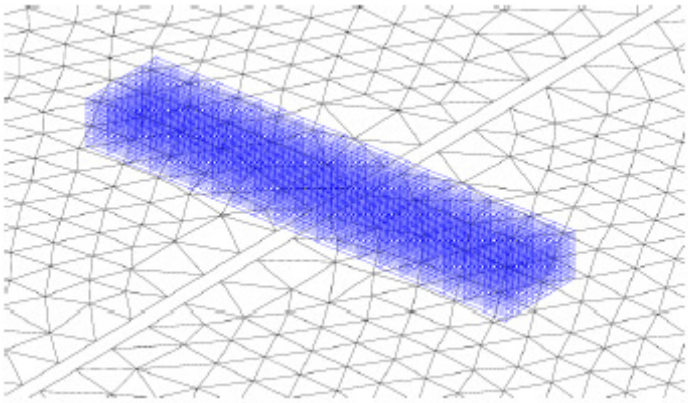

Fig. 3. maillage du chevalet.

Le maillage complet contient 7566 éléments, 12468 nœuds et 36404 degrés de liberté.

Des conditions d'encastrement aux bords (contact avec les éclisses et la touche) ont été considérées.

2.2. Résultats

1.1.1 Analyse modale

L'analyse modale a été menée pour la table non fendue d'épaisseur constante, puis pour la table fendue avec différentes configuration d'épaisseur : symétrique (même épaisseur des deux demi tables), asymétrique. Un exemple de résultat est présenté figures 4 à 6. Le simple fait de fendre la table augmente naturellement la densité modale et permet l'apparition de nouveaux modes non symétriques. Cette tendance est, comme attendue accentuée lorsque les épaisseurs des demi tables sont différentes.

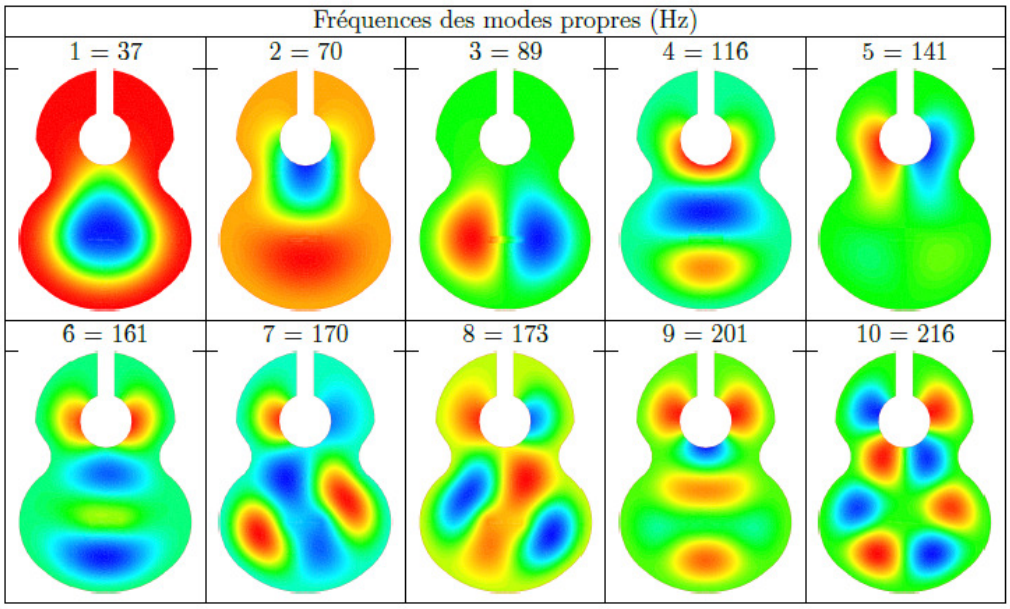

Fig.4. Premiers modes de la table non fendue d'épaisseur 1mm.

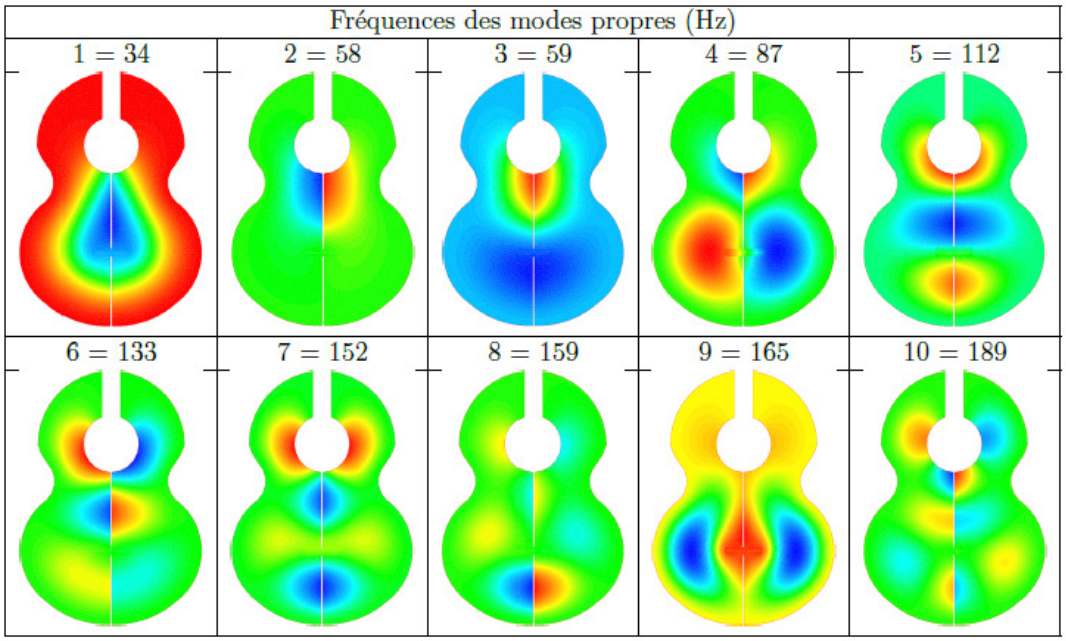

Fig.5. Premiers modes propre de la table fendue. Epaisseur identique de 1mm.

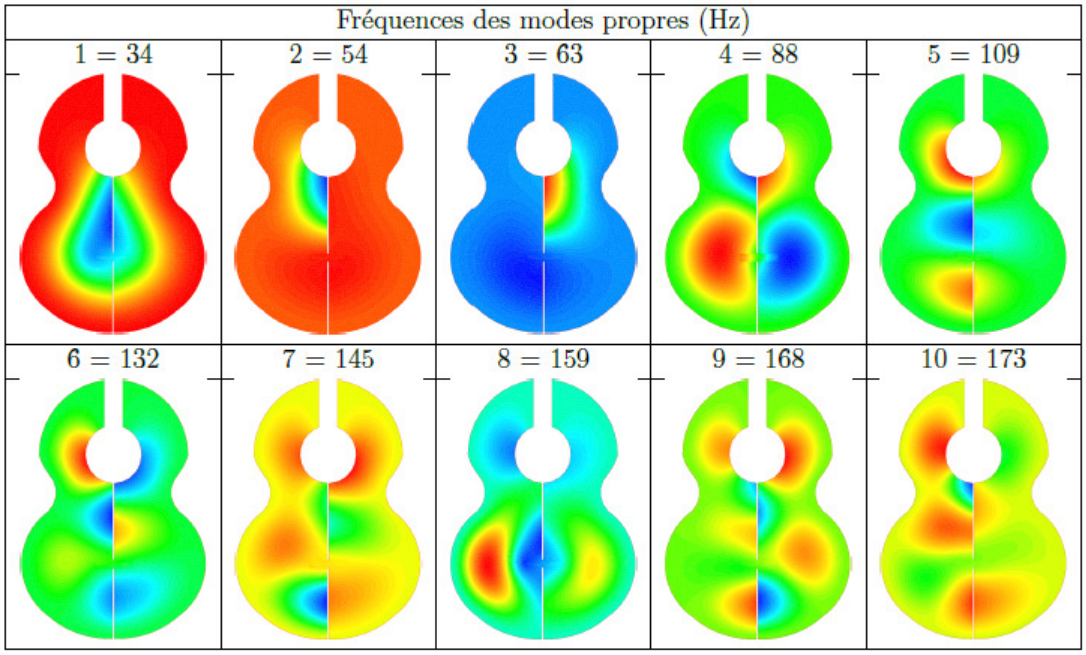

Fig.6. Premiers modes de la table fendue. Epaisseurs différentes (0,9mm, 1mm).

L'objectif de l'étude étant l'amélioration du rayonnement acoustique de la guitare, dans un premier temps un descripteur du comportement vibratoire a été choisi pour estimer le caractère plus ou moins rayonnant de la table. Le rayonnement des modes propres est évalué en réalisant l'intégration des déplacements verticaux normalisés (normaux au plan de la table) sur la surface de la table. Plus le mode est symétrique, plus cette valeur est faible, il a été considéré qu'un mode ne rayonne pas lorsque cette valeur est sous le seuil de -60dB (-10^{-3}). Les résultats sont présentés tableau 2.

CL Encastré	Table non fendue 1mm	Table fendue 1mm	Table fendue 0,9mm/1,1mm
Nb de modes propres (0-1500Hz)	94	101	101
Nb de modes propres rayonnants	57	62	101
% de modes propres rayonnants	61%	61%	100%

Tableau 2. Modes propres rayonnant de la table d'harmonie encastrée.

Le simple fait de fendre la table augmente le nombre de modes dans la bande de fréquence considérée (0-1500Hz) et le nombre de modes rayonnants est lui aussi augmenté, même si le taux de modes rayonnants reste constant si la table est symétrique. Lorsque la table est rendue dissymétrique par différence d'épaisseur des deux demi-tables, le taux de modes rayonnants est augmenté de manière significative.

1.1.2 Réponse en fréquence

Après l'analyse modale, un calcul de réponse en fréquence a été mené. La table est excitée par une impulsion au chevalet au point d'encrage d'une corde. Il a été au préalable vérifié que la réponse de la table était très similaire quelque soit la corde choisie. La fonction de transfert calculée est un rapport entre l'intégrale de la réponse vibratoire sur la surface totale de la table et la force d'excitation. Cette fonction de transfert est une approche de l'énergie vibratoire rayonnante de la table. Cette simple étude purement vibratoire est bien entendue insuffisante et des calculs de rayonnement acoustique par méthode éléments de frontière sont prévus en compléments.
Afin d'avoir une estimation énergétique globale, les fonctions de transfert sont tracée par tiers d'octave.

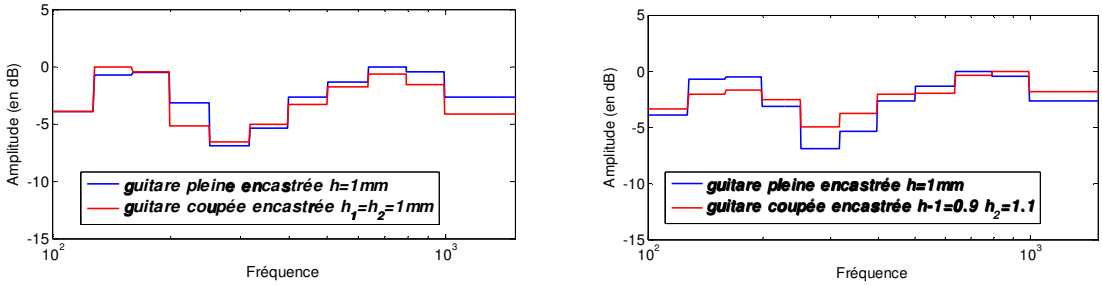

Fig.7. Fonctions de transfert en 1/3 d'octave de la table excitée par une impulsion au chevalet.

Pour la table fendue mais symétrique, le gain en terme d'énergie vibratoire ne semble pas significatif, on note même une énergie plus faible au-delà de 400Hz. Par contre lorsque la table fendue est rendue dissymétrique la courbe de réponse en fréquence est plus plate que pour la table non fendue, ce qui devrait permettre un meilleur rayonnement grâce à une énergie mieux répartie sur la bande de fréquence étudiée. On note en particulier une perte d'énergie beaucoup moins marquée dans la bande [250-500] Hz. Ces premiers résultats ne sont que des données vibratoires et sont donc à considérer avec prudence. En effet dans ce domaine de vibrations de flexion subsoniques, le rapport entre l'énergie vibratoire et l'énergie acoustique rayonnée n'est pas constante. La prise en compte des relations de phase entre les zones ventrales permet ici une première approche mais qui n'est pas suffisante. Il est donc envisagé de poursuivre cette étude par un calcul du rayonnement acoustique par éléments de frontière. Ces calculs devraient permettre d'accéder au facteur de rayonnement des modes propres et à la puissance acoustique rayonnée pour la réponse en fréquence. La sensibilité de l'oreille, qui n'est pas constante non plus (courbes de pondération), pourra également être prise en compte à ce stade de l'étude.

3. Conclusion

Une première étude exploratoire a été proposée ici. Un modèle simple de table d'harmonie équipée de son chevalet a été conçu et testé pour différentes configurations. L'effet de la fente et de la dissymétrie de la table a été étudié sur le comportement modal et sur la réponse en fréquence sous une excitation au chevalet. La séparation de la table d'harmonie en deux demi-tables dissymétriques permet une augmentation de la densité modale et surtout une augmentation conséquente du nombre de modes rayonnants. Les réponses en fréquence calculées montrent une meilleure répartition de l'énergie vibratoire. Les vibrations de la table étant subsoniques dans le domaine fréquentiel d'étude, une seule étude vibratoire n'est pas suffisante et ne peut être qu'un préambule à une étude de rayonnement acoustique complète. Cette étude est en cours de réalisation et comprend un volet numérique (éléments de frontière) et un volet expérimental (antennerie et holographie acoustique).

Références

[1] E. Bécache, A. Chaigne, G. Derveaux, P. Joly (2005), Numerical simulation of a guitar, Comput. Struct. 83, 107–126, 2005.

[2] S. Griffin, H. Luo, S. Hanagud, Acoustic guitar function model including symmetric and asymmetric plate modes, Acta Acust. Acust. 84, 144–152, 1998.

[3] I. Curtu, M. D. Stanciu, N. C. Cretu, C. I. Rosca, Modal Analysis of Different Types of Classical Guitar Bodies, Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on Acoustics Music. Theory Appl., pp. 30-35, 2009.

[4] J. A. Torres, R. R. Boullosa, Radiation efficiency of a guitar top plate linked with edge or corner modes and intercell cancellation, J. Acoust. Soc. Am. 130 (1), pp. 546–556, 2011.

[5] E. Gorrostieta-Hurtado, J-C. Pedraza-Ortega, J-M. Ramos-Arreguin, A. Sotomayor-Olmedo, J. Perez-Meneses, Vibration analysis in the design and construction of an acoustic guitar, International Journal of Physical Sciences Vol. 7(13), pp. 1986 - 1997, 2012.

[6] UPMC, C. Besnainou, J. Frelat, A. Mamou-Mani, Instrument de musique à cordes et table d'harmonie, brevet N° 9F-1949CAS19, 18/01/2010, 2010.