
Étude vibratoire du couplage au chevalet d'une guitare

Contexte

Depuis une vingtaine d'année, les recherches se sont intensifiées dans la production de son de guitare classique par modélisation physique [1,2,3]. Elles se sont légitimement focalisées sur la modélisation des principaux éléments acoustiques de l'instrument (table d'harmonie, barrage, cordes, etc) ainsi que de leur couplage. Un point central reste la connexion entre la corde et la table d'harmonie, réalisée par le chevalet. Ce dernier n'a pourtant pas fait l'objet de travaux de recherche spécifiques mettant en avant son rôle acoustique bien que sa constitution et sa forme fasse l'objet d'un fort intérêt de la part des guitaristes et des luthiers. Un chevalet de guitare classique est composé de deux éléments principaux : un matériau généralement en bois symétrique ou non (padouk, palissandre de Madagascar, palissandre indien, ébène, etc...) sur lequel les cordes sont fixées et d'un sillet qui peut être en os, plastique ou tusq. Au-delà de la masse et de la raideur locale ajoutées à la table d'harmonie, il est certain que tous ces paramètres vont participer à une certaine dissipation d'énergie vibratoire entre la corde et la table d'harmonie. Du point de vue mécanique, le chevalet peut être vu comme une matrice d'admittance tridimensionnelle qui est, elle-même, couplée à la table d'harmonie. Expérimentalement, il est difficile d'identifier l'ensemble des composants de cette matrice indépendamment de la structure sur laquelle le chevalet est monté [4,5,6].

Objectifs scientifiques

Nous nous proposons dans ce stage de (1) caractériser expérimentalement et (2) développer une modélisation du chevalet compatible avec le formalisme Udwadia-Kalaba [3,7,8] afin d'étudier l'impact des paramètres physiques du chevalet sur le son de l'instrument. Pour cela, une méthode d'identification inverse sera développée basée sur l'estimation de l'effort injecté par la corde à partir de la mesure du champ de déplacement sur la table d'harmonie. La corde sera remplacée, dans un premier temps, par une excitation contrôlée (en position et en orientation) couplée à une structure bidimensionnelle dont les propriétés mécaniques sont connues et les conditions aux limites maîtrisées. Le champ de déplacement pourra être mesuré par vibrométrie laser / accéléromètres / profilomètres dont le maillage sera adapté au domaine de fréquence afin d'estimer par méthode inverse type CFAT [9,10,11] le champ d'effort exercé par le chevalet sur la table. Dans un second temps le chevalet sera excité par la corde et les efforts induits estimés avec pour objectif d'obtenir un modèle équivalent du chevalet qui pourra être exploité comme équation de contrainte dans un formalisme de sous-structuration Udwadia-Kalaba développée très récemment et donnant des résultats particulièrement encourageant que ce soit pour la synthèse sonore d'une guitare [3], d'un clavicorde [7] ou d'une harpe [8]. In fine des synthèses sonores incluant des chevalets paramétriques permettront d'évaluer son impact dans le son de guitare.

*Ce stage s'inscrit dans un projet ANR (MAESTRAFONE 2024-2028) dont l'objectif est de développer une méthode de prototypage virtuel de table d'harmonie architecturée, intégrant des descripteurs sonores dans le processus d'optimisations. **Une poursuite en thèse de doctorat peut être envisagée à la suite de ce stage de master.***

Résultats attendus :

- Caractérisation dynamique du chevalet in situ.
- Synthèse sonore de guitare incluant le chevalet
- Analyse des résultats : influence du matériau / géométrie

Profil

Les candidats devront être en master 2 (ou équivalent école d'ingénieur) en mécanique/vibrations/acoustique. De solides connaissances en mécanique et en vibrations sont souhaitées et un intérêt pour l'objet musical est indispensable.

Les candidatures sont à envoyer à jean-loic.le_carrou@sorbonne-universite.fr, kerem.ege@insa-lyon.fr et quentin.leclere@insa-lyon.fr en joignant un CV et une lettre de motivation.

Encadrement

Jean-Loïc Le Carrou (Enseignant Chercheur à Sorbonne Université / équipe LAM de l'Institut Jean Le Rond d'Alembert à Paris)

Kerem Ege (Enseignant-Chercheur à l'INSA / Laboratoire Vibrations Acoustique LVA, Lyon)

Quentin Leclère (Enseignant-Chercheur à l'INSA / Laboratoire Vibrations Acoustique LVA, Lyon)

Financement :

Une gratification de stage de 6 mois est prévue avec un début envisagé au 1^{er} mars 2024. Le stage peut se dérouler au LVA (INSA Lyon) ou à l'institut d'Alembert (à Paris) en fonction du candidat. Des voyages/séjours sont prévus entre ces deux lieux sur la durée du stage.

Bibliographie :

- [1] G. Derveaux. Modélisation numérique de la guitare acoustique. Mathématiques [math]. Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique X, 2002. Français.
- [2] J. Woodhouse. On the synthesis of guitar plucks. Acta acustica united with Acustica Vol 90, pp. 928-944, 2004
- [3] V. Debut, J. Antunes. Physical synthesis of six -string guitar plucks using the Udwardia-Kalaba modal formulation. Journal of the Acoustical Society of America, Acoustical Society of America, 2020, 148 (2), pp.575-587.
- [4] X. Boutillon et G. Weinreich. Three-dimensional mechanical admittance: Theory and new measurement method applied to the violin bridge. Journal of the Acoustical Society of America, Acoustical Society of America, 1999, 105 (6), pp. 3524-3533.
- [5] J. Cuenca et R. Caussé. Three-dimensional interaction between strings, bridge and soundboard in modern piano's treble range. 19th International Congress on Acoustics, Madrid, Espagne, 2007
- [6] G. Orelli Paiva, F. Ablitzer, F. Gautier, J. M. Campos dos Santos. The Roving Wire-Breaking Technique: a low cost mobility measurement procedure for string musical instruments. Applied Acoustics, 2018, 139, pp.140-148.
- [7] J-T. Jiolat, C. D'Alessandro, J-L. Le Carrou et J. Antunes, Toward a physical model of the clavichord. Journal of the Acoustical Society of America, 150(4), pp. 2350-2363 (2021).
- [8] F. Fabre, J-L. Le Carrou et B. Chomette, Physical modelling of a harp from Central Africa. Journal of the Acoustical Society of America, 154(4), pp.2337-2348 (2023)
- [9] Q. Leclère et C. Pézerat. Vibration source identification using corrected finite difference schemes. Journal of Sound and Vibration, 331(6), pp.1366-1377 (2012)
- [10] Q. Leclère, F. Ablitzer et C. Pézerat. Practical implementation of the Corrected Force Analysis Technique to identify the structural parameter and load distributions. Journal of Sound and Vibration, 351, pp.106-118, (2015)
- [11] F. Marchetti, K. Ege et Q. Leclère. Development of the Corrected Force Analysis Technique for laminated composite panels. Journal of Sound and Vibration, 490 :115692 (2021)