

Remplacement de la table d'harmonie d'un piano $\frac{1}{4}$ de queue Stephen Paulello par une structure composite

Encadrants : Kerem Ege, Jean-François Caron, Arthur Lebée, Pierre Margerit

Sujet de stage master recherche M2 proposé au [Laboratoire Navier](#) (Ecole des Ponts ParisTech) et au [Laboratoire Vibrations Acoustique](#) (INSA-Lyon) – de février/mars à juillet/aout 2019

Mots-clés : composites, amortissement, mécanique du bois, piano, table d'harmonie, structures complexes

Contexte et objectif de l'étude:

Le Laboratoire Navier (Ecole des Ponts ParisTech) et le LVA (INSA-Lyon) sont partenaires du projet ANR 2015-2019 « MAESSTRO »¹. Ce projet a pour but de fournir un outil numérique pour la CAO de tables d'harmonie de piano, de proposer de nouvelles architectures de tables et des méthodes pour leur optimisation. Dans ce cadre, l'objectif de ce stage de master est de concevoir et fabriquer une table d'harmonie d'un piano $\frac{1}{4}$ de queue Stephen Paulello (SPCP)² en matériaux composites reproduisant le comportement dynamique d'une table en épicea (bande de fréquence [20Hz-5kHz]).



Figure 1. Violon dont la table d'harmonie d'origine en épicea a été remplacée par une structure sandwich balsa/fibre de lin. D'après [1].



Figure 2. Vue du dispositif expérimental pour la mesure vibratoire de la table de référence SPCP. D'après [9]. (photo : Stephen Paulello)

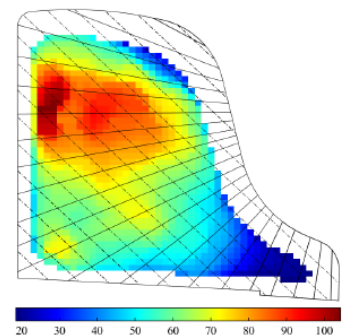


Figure 3. Identification de la raideur en flexion équivalente D_{11} de la table SPCP. D'après [9].

Outre des travaux antérieurs, ([1-5], Figure 1), ce stage de master s'appuiera en particulier sur deux études menées au Laboratoire Navier dans le cadre du projet MAESSTRO : le stage scientifique de Baptiste Durand [6] et la thèse de Pierre Margerit [7-9].

¹ Modélisations Acoustiques, Expérimentations et Synthèse Sonore pour Tables d'harmonie de piano (MAESSTRO). <http://www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-14-CE07-0014>
Consortium : LMS – ÉCOLE POLYTECHNIQUE, Navier – ÉNPC, UME - ENSTA, Stephen Paulello Pianos Technologies et LVA – INSA-Lyon.

² SPCP piano technologies, <https://www.stephenpaulello.com/>

Dans la première étude [6] les critères de choix des matériaux de substitution au bois de résonance ont été étudiés en détail et des plaques sandwich en matériaux composites (mêlant fibres de carbonés, balsa, mousse Airex, nid d'abeille...) ont été réalisées. Le stage de master s'appuiera sur ces résultats, afin de concevoir une structure composite de table en taille réelle à raideurs variables le long du chevalet, en se concentrant sur l'optimisation de l'empilement des couches composites pour atteindre des facteurs de pertes modaux souhaités.

Dans la seconde étude [7-9], un outil de caractérisation du comportement dynamique de structures viscoélastiques anisotropes hétérogènes sur une large bande de fréquence a été développé et validé sur différentes structures composites (poutre et plaques sandwichs, planche en épicea, table d'harmonie de piano : Figure 2 et 3). Ces outils permettront de caractériser les échantillons ainsi que la table d'harmonie complète et de s'assurer que son comportement dynamique est comparable à celui de la table en épicea d'origine.

L'objectif final est de monter la table d'harmonie en composite dans le piano et d'apprécier ses qualités sonores.

Ce stage de master 2 recherche durera 6 mois de février/mars à juillet/août et fera l'objet d'une gratification de stage. Il se déroulera principalement au Laboratoire Navier. De courts séjours au LVA (INSA Lyon) seront à envisager ainsi qu'une période plus longue pour la caractérisation de la table composite (courant mai-juin).

En fonction de l'avancée des résultats et de la motivation du candidat, une candidature à une bourse de thèse ministérielle INSA Lyon sur cette thématique pourra être sollicitée en Juin 2019.

Profil recherché : Master 2 ou équivalent (ingénieur...) en mécanique/matériaux. Des connaissances en comportement mécanique des composites seraient un plus.

Encadrement

Kerem Ege (Maître de conférences LVA, INSA-Lyon) ; Jean-François Caron (Professeur Navier, ENPC) ; Arthur Lebé (Maître de conférences Navier, ENPC) ; Pierre Margerit (Postdoctorant LMS, X)

Contact industriel

Stephen Paulello

Pour candidater merci d'envoyer CV et lettre de motivation à kerem.ege@insa-lyon.fr ; jean-francois.caron@enpc.fr ; arthur.lebee@enpc.fr

Bibliographie :

- [1] EGE, K.; CARON, J.-F.; MARCADET, S.; MARTIN, H. (2010), "Remplacement de la table d'harmonie du violon par un sandwich balsa/fibre de lin", *Journées Scientifiques et Techniques AMAC - Matériaux composites renforcés par des fibres végétales, Lorient*.
- [2] EGE, K.; BOUTILLON, X. & RÉBILLAT, M. (2013), "Vibroacoustics of the piano soundboard: (Non)linearity and modal properties in the low- and mid-frequency ranges", *Journal of Sound and Vibration*, 332(5), p. 1288-1305.
- [3] BOUTILLON, X. & EGE, K. (2013), "Vibroacoustics of the piano soundboard: Reduced models, mobility synthesis, and acoustical radiation regime", *Journal of Sound and Vibration*, 332(18), p. 4261-4279.
- [4] CHAIGNE, A.; COTTÉ, B. & VIGGIANO, R. (2013), "Dynamical properties of piano soundboards", *J. Acoust. Soc. Am.*, 133(4), p. 2456-2466.
- [5] TRÉVISAN, B.; EGE, K. & LAULAGNET, B. (2017), "A modal approach to piano soundboard vibroacoustic behavior" *J. Acoust. Soc. Am.*, 141(2), p. 690-709.
- [6] DURAND, B (2015); "Tables d'harmonie de piano en matériaux composites", *Rapport de stage scientifique, École des Ponts ParisTech*
- [7] MARGERIT P., LEBÉE A., CARON J.-F. & BOUTILLON X. (2018), "High Resolution Wavenumber Analysis (HRWA) for the mechanical characterization of viscoelastic beams", *Journal of Sound and Vibration*, 433, p. 198-211.
- [8] MARGERIT P., LEBÉE A., CARON J.-F., EGE K. & BOUTILLON X. (2018), "High-Resolution Wavevector Analysis for the characterization of the dynamic response of composite plates", Soumis à *Journal of Sound and Vibration*.
- [9] MARGERIT P. (2018), "Caractérisation large bande du comportement dynamique linéaire des structures hétérogènes viscoélastiques anisotropes. Application à la table d'harmonie du piano", *Thèse de doctorat de l'Université Paris Est*.