

Influence de la variabilité de l'épaisseur de la table et de la hauteur du chevalet sur les vibrations d'une table d'harmonie de piano

Encadrants : Kerem Ege, Bernard Laulagnet et Benjamin Trévisan

Contacts : kerem.ege@insa-lyon.fr (0472436393); bernard.laulagnet@insa-lyon.fr

Durée du stage au LVA : Février-Septembre 2017

Contexte :

Le savoir disponible sur la vibration des tables d'harmonie du piano consiste en des mesures vibratoires menées sur un très petit nombre d'instruments (analyses modales en basses fréquences [1,2], en moyennes fréquences [3], quelques mesures (exploitables) de mobilité mécanique ou d'impédance au chevalet [4,5], de nombreuses observations de facteurs (mais trop rarement systématiques ou objectivées), de très rares travaux d'analyse [2,3,4,6,7,8]. Le rayonnement acoustique de la table d'harmonie de piano quant à lui est beaucoup moins bien observé que sa vibration. Seules quelques études expérimentales ont été publiées et il faut remonter à un article de Suzuki de 1986 [9] pour trouver des résultats rigoureux sur le sujet : mesure de la puissance acoustique, de l'efficacité et de la résistance de rayonnement d'une table d'harmonie de piano à queue. Cette étude qui date forcément ne répond plus à ce que les simulations numériques sont capables d'estimer aujourd'hui [3,6,7,8].

Le Laboratoire Vibrations Acoustique travaille sur le sujet depuis 2013 dans le cadre de la thèse de Benjamin Trévisan [10-13] soutenue en décembre 2016, et qui a eu pour but de fournir une modélisation analytique simplifiée de la vibro-acoustique de la table d'harmonie de pianos droit ou à queue. Le LVA est également partenaire du projet ANR 2015-2018 « MAESSTRO »¹, dont le but est de fournir un outil numérique pour la CAO de tables d'harmonie de piano, proposer de nouvelles architectures de tables (structure sandwich, composites ou non) et des méthodes pour leur optimisation.

Objectifs de l'étude :

La table d'harmonie du piano est une des pièces maîtresses de l'instrument. C'est elle qui assure la puissance du son rayonné. Elle est excitée par les cordes frappées par le marteau, elles-mêmes fixées au chevalet (poutre curviligne permettant de plaquer les cordes sur la table). La table est en bois (matériau orthotrope) comme le chevalet, tous deux d'épaisseurs et hauteurs légèrement variable. Un modèle analytique d'un chevalet collé sur une table d'harmonie raidie a été développé dans le cadre de la thèse de Benjamin Trévisan [10-13], moyennant quelques simplifications géométriques, notamment épaisseurs de table et hauteur de chevalet constants.

L'objectif de ce sujet de master est d'obtenir par des études paramétriques, l'influence de la variabilité de l'épaisseur de table et de la hauteur du chevalet sur les vibrations de l'ensemble. Dans un premier temps, on s'intéressera à la variabilité d'épaisseur d'une table

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

Sujet de master recherche – Année Universitaire 2016-2017

de piano droit simplifiée, de forme rectangulaire et non barrée, avec une variabilité d'épaisseur compatible avec la méthode analytique développée dans le travail de thèse cité. On montrera la sensibilité de ce paramètre sur les modes de table, répartition fréquence et allure, par rapport à une table à épaisseur constante. On effectuera le même développement pour le chevalet que l'on couplera à la table d'épaisseur constante, puis variable. La mobilité au chevalet sera analysée en fonction de cette hauteur variable, dépendant de la note concernée (position sur le chevalet).

Enfin pour compléter cette étude et si le temps le permet, des mesures vibratoires sur un piano à queue seront effectuées, notamment pour quantifier les répartitions de l'énergie vibratoire entre la table et les autres composants, comme la ceinture, le meuble, ou le cadre métallique qui supporte la tension des cordes. Ces mesures effectuées sur un piano à queue en situation de jeu complèteront ainsi une précédente campagne de mesure vibroacoustique menée dans le cadre du projet MAESSTO sur une table d'harmonie de piano droit sans cordes ni cadre (stage de master 2 de Pierre Margerit [14]).



Piano à queue de concert C. Bechstein. Model D-280. [HTTP://WWW.BECHSTEIN.DE/](http://www.bechstein.de/)

Déroulement des travaux :

Le déroulement des travaux proposé consiste en :

- Étude bibliographique (travail de doctorat de B. Trévisan entre autres)
- Influence de la variabilité d'épaisseur d'une table de piano droit simplifiée, de forme rectangulaire et non barrée
- Influence de la variabilité de hauteur d'un chevalet couplé à une table d'épaisseur constante
- Extension au cas avec épaisseur de table et hauteur de chevalet variables

Sujet de master recherche – Année Universitaire 2016-2017

- Mesures vibratoires (accélérométrie et vibrométrie laser à balayage) sur un piano à queue, mesure de mobilité d'entrée au chevalet : excitation au chevalet par marteau d'impact, et au pot vibrant
- Mesures acoustique : puissance rayonnée par la table mesurée par intensimétrie acoustique en champ proche, pression rayonnée en des points caractéristiques
- Comparaison avec calculs numérique (approche analytique et éléments finis)

Bibliographie :

- [1] DÉROGIS, P. & CAUSSÉ, R. (1994), "Characterization of the Acoustic Radiation of the Soundboard of an Upright Piano", *Journal De Physique IV*, 4(C5), p. 609-612.
- [2] BERTHAUT, J.; ICHCHOU, M. N. & JEZEQUEL L. (2003), "Piano soundboard : structural behavior, numerical and experimental study in the modal range", *Applied Acoustics*, 64(11), p. 1113-1136.
- [3] 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.
- [4] CONKLIN, H. A. (1996), "Design and tone in the mechanoacoustic piano .Part 2. Piano structure", *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(2), p. 695-708.
- [5] GIORDANO, N. (1998), "Mechanical impedance of a piano soundboard", *Journal of the Acoustical Society of America*, 103(4), p. 2128-2133.
- [6] 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.
- [7] CHABASSIER, J.; CHAIGNE, A. & JOLY, P. (2013), "Modeling and simulation of a grand piano", *J. Acoust. Soc. Am.*, 134(1), p. 648-665.
- [8] CHAIGNE, A.; COTTÉ, B. & VIGGIANO, R. (2013), "Dynamical properties of piano soundboards", *J. Acoust. Soc. Am.*, 133(4), p. 2456-2466.
- [9] SUZUKI, H. (1986), "Vibration and Sound Radiation of a Piano Soundboard", *Journal of the Acoustical Society of America*, 80(6), p. 1573-1582.
- [10] TRÉVISAN, B.; EGE, K. & LAULAGNET, B. (2014), "Développement d'une méthode analytique pour la prédiction des mécanismes vibro-acoustiques des plaques orthotropes raidies de forme quelconques : application à la table d'harmonie de piano", in *12e Congrès Français d'Acoustique, CFA2014.*, Poitiers.
- [11] TRÉVISAN, B.; EGE, K. & LAULAGNET, B. (2014), "Prediction of orthotropic ribbed plates' vibro-acoustics mechanisms: application to the piano soundboard", in *International Symposium on Musical Acoustics, ISMA 2014.*, Le Mans, France.
- [12] TRÉVISAN, B.; EGE, K. & LAULAGNET, B. (2016), "Vibroacoustics of orthotropic plates ribbed in both directions: Application to stiffened rectangular wood panels", *Journal of the Acoustical Society of America*, 139(1), p. 227-246
- [13] TRÉVISAN, B. (2016), "Prédiction des mécanismes vibroacoustiques des plaques orthotropes raidies de formes quelconques », Thèse de Doctorat, INSA de Lyon.
- [14] MARGERIT, P. ; TRÉVISAN, B. ; EGE, K. & LAULAGNET, B. (2015), "Caractérisation Vibro-Acoustique d'une table d'harmonie de Piano droit – Comparaison Mesures / Modèle Analytique", in *Congrès Français de Mécanique, CFM2015*, Lyon.