

Laurent Pottier  
Maître de conférence (HDR) en musicologie  
Responsable du Master PRO "RIM - Réalisateur en Informatique Musicale"  
Directeur adjoint du CIEREC  
tel : 04 77 42 16 61  
fax : 04 77 42 16 84  
laurent.pottier@univ-st-etienne.fr



## Projet « Clavecin -audio »

### Objectifs

Le Musée d'Art et d'Industrie de Saint-Etienne a entrepris la restauration d'un prestigieux clavecin qu'il possède dans ses collections depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle. Selon les résultats d'études scientifiques préalables avant restauration menées depuis 2007, il est impossible de le remettre en état de jeu.

L'objectif du projet « **Clavecin audio** » est de présenter au public, à travers une borne interactive, les phénomènes acoustiques produits par les différents éléments constitutifs d'un instrument à cordes pincées comme le clavecin et leurs interactions.

Ces travaux s'inscrivent dans les activités du programme de recherche ANR FEEVER (Faust Environment Everywhere - nov. 2013 – juin 2017) portant sur la mise au point de solutions ubiquitaires pour le traitement audio numérique portable et multiplateforme<sup>1</sup>.

Cette étude pourra être organisée en trois axes :

- étude des mécanismes d'excitation des cordes (touche, sautereau, plectre, étouffoir) ;
- description du système de cordage, étude du comportement vibratoire d'une corde métallique, de cordes doublées, d'un ensemble de cordes couplées ;
- rôles de la table d'harmonie et de la caisse de résonance, couplage cordes-chevalet-table d'harmonie et table d'harmonie-caisse de résonance.

A ces trois axes seront associés des dispositifs de synthèse par modèles physiques, présentés sur plusieurs pages, permettant de visualiser et d'entendre le résultat produit en temps réel selon les paramètres modifiés (caractéristiques du plectre, dimensions de la corde, dimensions du résonateur, matériaux utilisés, etc.) et les conditions initiales du dispositif.

Plusieurs techniques de modélisation pourront être mise en œuvre : synthèse par guides d'ondes, (Stanford), synthèse modale (Ircam), synthèse par éléments finis (ACROE), ...

Le laboratoire de recherche du musée de la musique (Cité de la Musique à Paris) pourrait apporter plusieurs expertises dans le projet :

- donner la possibilité, avec l'aval de Christine Laloue la conservatrice, de prises de son sur un clavecin de la collection ;

<sup>1</sup> Partenaires : ARMINES CRI (coord.), GRAME-Centre National de Création Musicale, Inria Rennes - Bretagne Atlantique, CIEREC-Université Jean Monnet.

- apporter son expertise au travers des compétences de Sandy Leconte, concernant la physique des phénomènes, et de Jean-Claude Battault, concernant les questions organologique ;
- le Service des Activités Culturelles, au travers de son expertise et de son expérience dans la conception d'outils de médiation à destination de divers publics serait lui aussi d'une aide précieuse (Caroline Bugat).

Le Musée de la musique pourrait par la suite exploiter dans ses collections le matériel développé durant le projet.

Les différents éléments étudiés feront également appel à des partenariats avec des centres spécialisés travaillant sur le clavecin et qui ont déjà été contactés à ce sujet :

- l'équipe « Acoustique instrumentale » de l'Ircam (René Caussé) qui pourrait s'intéresser à intégrer dans son logiciel Modalys des modèles sophistiqués d'excitation par plectres ;
- l'équipe Lutherie Acoustique et Musique (LAM) d'Hugues Genevois) qui dispose d'outils de mesure et d'expérimentation sophistiqués et accepterait d'accueillir Luc Faure pour une étude particulière ;
- la classe de clavecin de Martial Morand au CRR de Saint-Etienne pour des mesures sur place.

#### • **Présentation**

Le projet sera décliné en trois versions :

- une version pour la borne interactive en démonstration à côté du clavecin au musée d'Arts et d'Industrie de Saint-Etienne ;
- une version pour smartphones et tablettes (application téléchargeable sur le WEB) ;
- une version « html » pour le site Internet du musée.

#### • **Financements**

##### **Frais de déplacements :**

Les frais de déplacement des personnels seront pris en charge par les centres dont ils dépendent sauf dans le cas de représentations organisées à la demande du Musée d'Arts et d'Industrie et qui seront donc à sa charge ;

##### **Equipement :**

Le matériel nécessaire à la réalisation de la borne interactive sur le site du Musée d'Arts et d'Industrie est à la charge de ce dernier (un ordinateur avec écran tactile ou clavier MIDI, casques, supports) ;

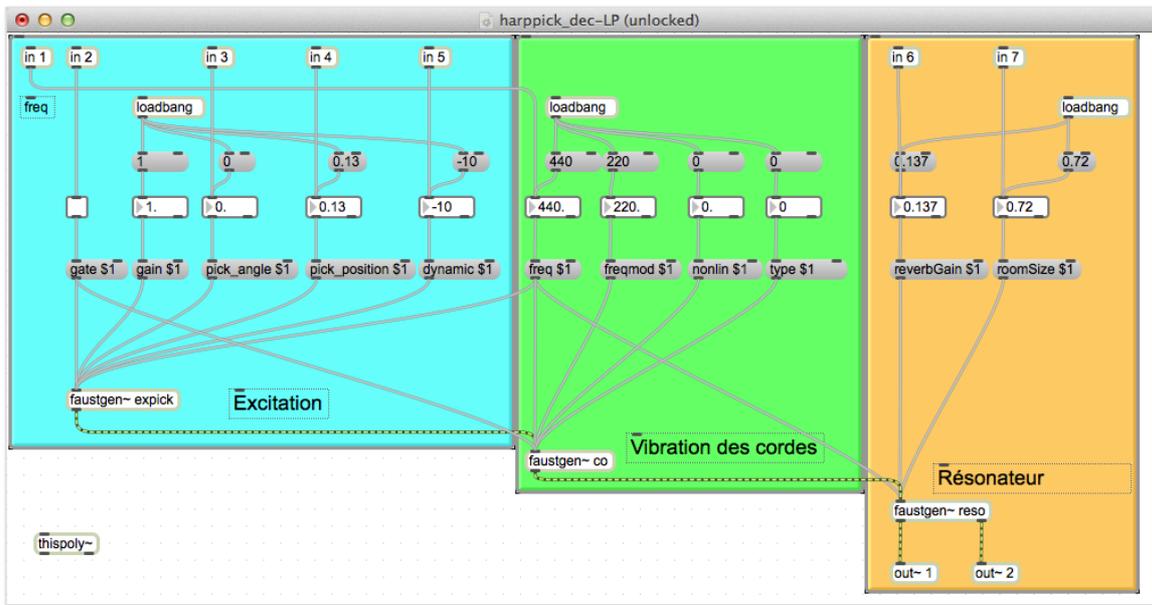
#### • **Calendrier**

Les réalisations seront disponibles à l'occasion de la présentation du clavecin restauré lors des Journées du patrimoine 2014. La date de remise de la borne interactive est donc fixée au 1<sup>er</sup> septembre 2014.

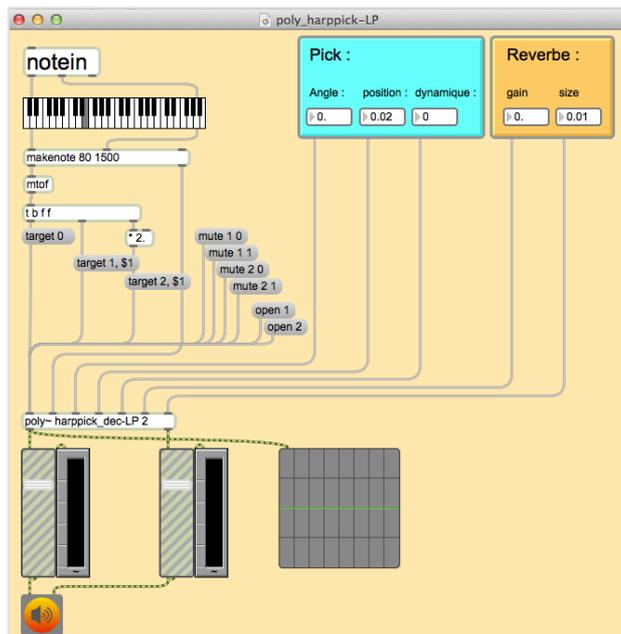
La version finalisée de la borne interactive pour le Musée devra être opérationnelle, dans sa version Beta, pour le 1<sup>er</sup> juillet 2014 afin de permettre des tests, des réglages et d'éventuelles modifications d'ici septembre 2014.

#### • **Convention**

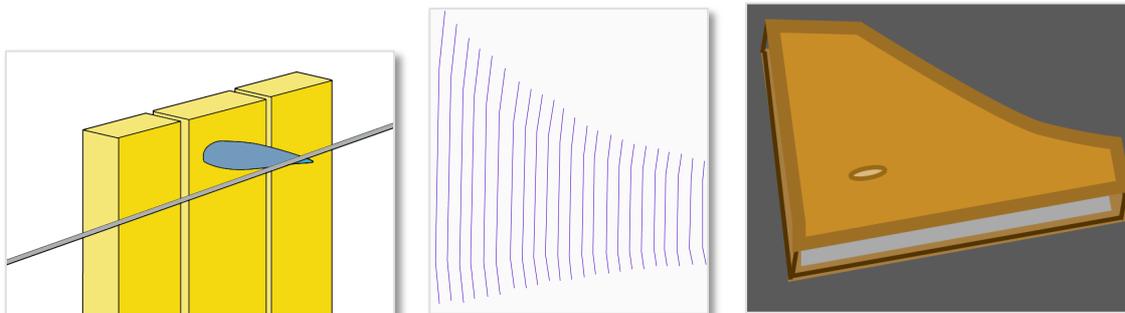
Les conditions de réalisation de ce projet sont assujetties à une convention reliant le CIEREC, le Musée d'Arts et d'Industrie et le Musée de la Musique de Paris.



Patch de synthèse d'une corde de clavecin, d'après le modèle « harpsi.dsp » de Romain Michon, intégré dans Max/MSP, avec séparation « excitation, vibration, résonance ».



Patch de contrôle des paramètres de la synthèse d'une corde de clavecin.



Excitation de la corde – vibration des cordes – table d'harmonie & caisse de résonance

## Références

- Nicolas Barascud, *Synthèse fréquentielle de sons de guitare pour l'aide à la facture*, rapport de stage en laboratoire (mars à juillet 2010), université Pierre et Marie Curie Telecom Paristech Master 2 ATIAM, 58 p.
- L. Castelain, « Modalys Version 1.4 Trois exemples de constructions d'instruments », documentation IRCAM, 1996.
- Diderot et d'Alembert, « Clavecin », *Encyclopédie de Diderot et d'Alembert*, 1751-1772, <http://musicologie.org>
- S. Dixon, M. Mauch, D. Tidhar, « Estimation of harpsichord inharmonicity and tempérament from musical recordings », 2011, <http://www.eecs.qmul.ac.uk/~simond/pub/2012/Dixon-Tidhar-Mauch-JASA2012-preprint.pdf>
- François Durant, *Non-linéarité de la caisse de résonance des instruments à cordes*, rapport de stage de recherche, MIP, 2e année, LAM, Paris, juillet 2001, 19 p.
- Kerem Ege et Xavier Boutillon, « Vibroacoustics of the piano soundboard: Reduced models, mobility synthesis, and acoustical radiation regime », *Journal of Sound and Vibration*, 332 (18), 2013, p. 4261-4279.
- K. Ege, X. Boutillon, B. David, « Analyse modale haute résolution », *9e colloque national en calcul des structures*, Giens : France, 2009, 6 p.
- Benjamin Elie, *Caractérisation vibratoire et acoustique des instruments à cordes – application à l'aide à la facture instrumentale*, thèse de doctorat, juin 2013, École doctorale Sciences pour l'ingénieur, géophysique et architecture, 236 p.
- Neville H. Fletcher & Thomas D. Rossing, « 11. Harps, Harpsichord, Clavichords and Dulcimers », *The Physics of Musical Instruments*, 2nd ed., Springer, 1998, p. 331-351
- Aline Hufschmitt, *La synthèse par modèle physique*, mémoire de maitrise, Paris IV, juin 2000.
- M. Karjalainen, V. Välimäki, T. Tolonen, « Plucked-String Models : From the Karplus-Strong Algorithm to Digital Waveguides and Beyond », *Computer Music Journal*, vol. 22, no. 3, pp. 17-32, Fall 1998.
- Edward Kottick, Kenneth Marshall et Thomas Hendrickson, « L'acoustique du clavecin », *Les instruments de l'orchestre*, Paris, Pour la Science-Belin, 1995, p. 41-48
- Sandy Le Conte, S. Le Moyne, « Modélisation mécanique et holographie acoustique : application à la restauration et à la conservation du clavecin loannes Couchet (inv. E.2003.6.1) », *Actes de la journée d'étude Le Bois : instrument du patrimoine musical*, Cité de la musique, 29 mai 2008.
- P. J. Meyer, « Physical Modeling with Modalys », 2008, [http://www2.ak.tu-berlin.de/Studio/PhysModeling/Slides\\_1.pdf](http://www2.ak.tu-berlin.de/Studio/PhysModeling/Slides_1.pdf)
- Romain Michon, *Modélisation physique d'instruments de musique par guides d'ondes numériques – enjeux, environnements existants, implémentation, perfectionnements et utilisation*, Mémoire de Master2, UJM, Saint-Etienne, 2012, 196 p.
- H. Penttinen, « On the Dynamics of the Harpsichord and its Synthesis », *Proc. of the 9th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-06)*, Montreal, Canada, 18-20 septembre 2006.
- C-Y. J. Perng, J. O. Smith, T. Rossing, « Physical Modeling of the Harpsichord Plectrum-String Interaction », *Proc. of the 13th Int. Conference on Digital Audio Effects (DAFx-10)*, Graz, Autriche, 6-10 septembre 2010.

D. Ronan, *The Physical Modelling of a Sitar*, Master of Science in Music Technology, University of Limerick, 2010.

Thomas D. Rossing, « 14.7 The Harpsichord », *The Science of Sound*, 2nd Ed. Addison Wesley, 1990, p. 296-297.

J. O. Smith, « Audio Signal Processing in Faust », 2012, <https://ccrma.stanford.edu/~jos/aspf/>.

J. O. Smith, « Making Virtual Electric Guitars and Associated Effects Using Faust », [https://ccrma.stanford.edu/realsimple/faust\\_strings/faust\\_strings.pdf](https://ccrma.stanford.edu/realsimple/faust_strings/faust_strings.pdf)

J. O. Smith, « Signal Processing Libraries for Faust », <http://lac.linuxaudio.org/2012/papers/25.pdf>

Claude Valette, « Description modale : mécanismes dissipatifs, entretien », *cours ATIAM*, chapitre 4, juin 2000, p. 143-226.

Vesa Valimäki, Henri Penttinen, Jonte Knif, Mikael Laurson, Cumhur Erkutn « Sound Synthesis of the Harpsichord Using a Computationally Efficient Physical Model », *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 2004:7, 934–948,  
<http://www.ee.columbia.edu/~dpwe/e6820/papers/ValPK04-harpsi.pdf>  
<http://www.acoustics.hut.fi/publications/papers/jasp-harpsy/>

P. Verbeek, « Rapport d'expertise, Clavecin Andreas Ruckers 1640 », Août 2010,  
[http://www.clavicordes.be/fr/telechargements/le-clavecin-andreas-ruckers-1640-de-lhotel-de-groesbeeck-de-croix-namur/at\\_download/file](http://www.clavicordes.be/fr/telechargements/le-clavecin-andreas-ruckers-1640-de-lhotel-de-groesbeeck-de-croix-namur/at_download/file)