

RESUMÉ et MOTS CLÉS

Pour la diffusion sur le *web*

TITRE EN FRANÇAIS : Modélisation vibro-acoustique du cristal Baschet : jouabilité et timbre des sons produits par le frottement

Le cristal Baschet est un instrument de musique conçu par les frères Baschet dans les années 1950. Les sons émis par cet instrument résultent de vibrations induites par le frottement, causées par l'interaction entre les doigts humides du musicien et des tiges de verre. Chaque tige est reliée à un résonateur constitué d'un assemblage de poutres, dont les caractéristiques dynamiques fixent la hauteur de la note. Les vibrations sont ensuite transmises à de grandes et fines plaques métalliques qui jouent le rôle d'éléments rayonnants. La fabrication et le réglage de l'instrument s'appuient principalement sur un savoir-faire empirique. L'objectif de la thèse est de construire un modèle du fonctionnement acoustique de l'instrument, afin de mieux comprendre l'influence des paramètres de lutherie sur la jouabilité et le timbre singulier du son produit.

Un modèle, qualifié de minimal est développé pour rendre compte des auto-oscillations résultant du frottement. Le résonateur est décrit par sa base modale, issue d'un modèle numérique, validé par une analyse modale expérimentale. L'interaction entre le doigt et le résonateur est régie par une loi de friction connue de la littérature. Celle-ci est par ailleurs mesurée au moyen d'une méthode inverse appropriée, développée pour identifier les spécificités du contact frottant entre le doigt mouillé et la tige de verre. Pour ce système dynamique, les conditions d'apparition des auto-oscillations sont étudiées au moyen d'une analyse de stabilité linéaire et également de simulations temporelles. Celles-ci permettent de discuter le rôle des paramètres de conception et de réglage du résonateur sur la facilité d'émission du son, c'est-à-dire la jouabilité de l'instrument.

Le modèle minimal de l'instrument est enrichi de façon à prendre en compte des éléments connectés au résonateur tels que des tiges libres (moustaches) ou des plaques métalliques fines (diffuseurs). Ces éléments induisent un enrichissement spectral important, qui participe à l'identité sonore de l'instrument.

Les moustaches donnent lieu à des vibrations par sympathie, dont les conditions d'apparition peuvent être modulées dans le temps, donnant lieu à des effets perceptifs inhabituels. Ce phénomène est mis en évidence expérimentalement et les paramètres le contrôlant sont identifiés grâce des études paramétriques numériques. Les plaques fines en métal vibrent avec de grandes amplitudes, ce qui induit des non-linéarités géométriques conduisant à un enrichissement spectral similaire à celui existant dans les sons produits par les cuivres. Cet effet, étudié expérimentalement et par simulation s'exprime de façon relativement hétérogène sur l'ensemble de la tessiture de l'instrument.

Le travail développé dans la thèse permet de comprendre et hiérarchiser les mécanismes physiques impliqués dans la production sonore de l'instrument, contribuant ainsi à la formalisation de règles de conception utiles à son évolution.

MOTS-CLÉS en français (8 maximum) :

- | | | | |
|---|---------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | Acoustique musicale | 5 | Vibrations non-linéaires de plaque |
| 2 | Loi de frottement | 6 | |
| 3 | Simulation temporelle | 7 | |
| 4 | vibration par sympathique | 8 | |

TITRE EN ANGLAIS : Vibro-acoustic modeling of the Cristal Baschet: playability and timbre of friction-produced sounds.

Résumé en anglais :

The Cristal Baschet is a musical instrument designed by the Baschet brothers in the 1950s. The sounds produced by this instrument result from vibrations induced by friction, caused by the interaction between the musician's wet fingers and glass rods. Each rod is connected to a resonator made of an assembly of beams, whose dynamic characteristics determine the pitch of the note. The vibrations are then transmitted to large, thin metal plates that act as radiating elements. The instrument's fabrication and tuning rely primarily on empirical know-how. The objective of the thesis is to build a model of the acoustic functioning of the instrument, to better understand the influence of design parameters on playability and the unique timbre of the sound produced.

A minimal model is developed to account for the self-oscillations resulting from friction. The resonator is described by its modal basis, derived from a numerical model, validated by an experimental modal analysis. The interaction between the finger and the resonator is governed by a friction law known from the literature. This law is measured using an appropriate inverse method developed to identify the specifics of the frictional contact between the wet finger and the glass rod. For this dynamic system, the conditions for the appearance of self-oscillations are studied through linear stability analysis and also through time-domain simulations. These allow for a discussion of the role of design and tuning parameters of the resonator on the ease of sound emission, i.e., the playability of the instrument.

The minimal model of the instrument is enriched to take into account elements connected to the resonator, such as free rods (whiskers) or thin metal plates (diffusers). These elements induce significant spectral enrichment, contributing to the sound identity of the instrument.

The whiskers give rise to sympathetic vibrations, whose conditions of appearance can be modulated over time, leading to unusual perceptual effects. This phenomenon is experimentally demonstrated, and the controlling parameters are identified through numerical parametric studies.

The thin metal plates vibrate with large amplitudes, which induces geometric nonlinearities leading to spectral enrichment similar to that found in the sounds produced by brass instruments. This effect, studied experimentally and through simulation, is expressed relatively unevenly across the instrument's range.

The work developed in the thesis helps to understand and prioritize the physical mechanisms involved in the sound production of the instrument, thereby contributing to the formalization of design rules useful for its development.

MOTS-CLÉS en anglais (8 maximum) :

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| 1 Musical acoustic | 5 Non-linear vibrations of plate |
| 2 Friction law | 6 |
| 3 Time-domain simulation | 7 |
| 4 Sympathetics vibrations | 8 |

NOM et Prénom du doctorant
COUINEAUX Audrey

Visa du Directeur de thèse
Francois Gautier