

## Synthèse sonore d'instruments à vent par méthodes "data-driven" : application à la trompette

### Supervision :

Vincent Fréour (Yamaha R&D division / LMA (UMR CNRS 7031))

Christophe Vergez (Directeur de recherche CNRS, LMA (UMR CNRS 7031))

Bruno Cochelin (Professeur, Ecole Centrale Méditerranée, LMA (UMR CNRS 7031))

### Lieu :

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, LMA

4, impasse Nikola Tesla, 13013 Marseille, France

Des réunions avec les équipes de Yamaha Corporation (Japon) seront organisées pendant le stage.

**Profil recherché :** étudiant de Master 2 ou en dernière année école d'ingénieur, éventuellement doctorant en césure.

**Durée :** maximum 6 mois

**Rémunération :** environ 600€/ mois

**Langue :** français, occasionnellement anglais

**Contact :** Vincent Fréour : [vincent.freour@music.yamaha.com](mailto:vincent.freour@music.yamaha.com)

### Description

La simulation sonore par modèle physique repose, comme son nom l'indique, sur une représentation des phénomènes physiques en jeu dans le fonctionnement d'un instrument de musique. Cette approche constitue un outil pertinent pour simuler la variété des comportements de l'instrument (applications en synthèse sonore), et également une technologie très utile pour les fabricants d'instruments, afin de mieux comprendre l'influence de certains choix de facture sur la réponse du système (timbre, niveaux de pression de souffle, temps d'attaque, etc.) En effet, à l'aide de tels outils, les luthiers et ingénieurs de Yamaha peuvent étudier numériquement les conséquences de choix de conception, sans passer par la fabrication de prototypes physiques. Cette aide numérique est donc particulièrement appropriée pour évaluer un grand nombre de choix techniques (la géométrie interne de la perce pour les instruments à vent par exemple).

Par ailleurs, un des verrous dans le développement de tels modèles repose sur la représentation du musicien, en d'autres termes des lèvres pour un instrument de la famille des cuivres comme la trompette. En effet, les lèvres constituent un système biomécanique complexe, et sont actuellement modélisées par un simple oscillateur linéaire ou parfois non linéaire.

Même si ces modèles offrent des performances satisfaisantes, leurs paramètres (fréquences de résonance, amortissement, masse vibrante) restent difficiles à estimer précisément. De plus, les mesures de ces paramètres sont très difficiles (voire impossibles) à réaliser sur des musiciens dans des conditions peu invasives.

Pour tenter de surmonter ce problème, des systèmes expérimentaux tels que des « musiciens artificiels » ou « bouches artificielles » ont été développés au LMA et dans les laboratoires de Yamaha afin de jouer des instruments dans des conditions contrôlées, et de mesurer un certain nombre de grandeurs physiques (pressions, déplacement des lèvres, etc.) pendant le jeu.

L'objectif de ce projet est d'étudier les performances de techniques d'identification de systèmes basées sur les données (« data-driven »), pour identifier des modèles de lèvres et les paramètres associés à l'aide de données expérimentales collectées sur une bouche artificielle développée au LMA. Cette approche repose sur la combinaison de techniques favorisant la parcimonie et de méthodes d'apprentissage machine, afin d'identifier les équations physiques qui gouvernent la dynamique du système à partir de mesures.

Le travail s'organiserà en trois étapes :

- 1- Explorer différents algorithmes de régression et d'apprentissage pour l'identification de systèmes non linéaires en utilisant des données générées numériquement (oscillateurs non linéaires, modèles simplifiés d'instruments à vent).
- 2- Appliquer ces méthodes à des données expérimentales collectées sur la bouche artificielle développée au LMA.
- 3- Valider le système identifié au moyen de simulations numériques et de comparaisons avec les sons obtenus expérimentalement.

Ce stage s'inscrit dans le cadre de la chaire industrielle NAMI (Numerically Aided Musical Instrument Design) établie entre Yamaha Corporation of Japan, le LMA et l'Ecole Centrale Méditerranée.

[1] S. Brunton, J.L. Proctor, J.N. Kutz, Discovering governing equations from data: Sparse identification of nonlinear dynamical systems, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 113 (15), 2016.

[2] V. Fréour, L. Guillot, H. Masuda, S. Usa, E. Tominaga, Y. Tohgi. Numerical continuation of a physical model of brass instruments: Application to trumpet comparison, Journal of the Acoustical Society of America, 148 (2), 2020.

**Title**

Improving trumpet sound simulations by data-driven modelling techniques

**Supervisors**

Vincent Fréour (Yamaha R&D division / LMA (UMR CNRS 7031))

Christophe Vergez (Directeur de Recherche CNRS, LMA (UMR CNRS 7031))

Bruno Cochelin (Professeur, Ecole Centrale Méditerranée, LMA (UMR CNRS 7031))

**Place of internship**

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, LMA (UMR CNRS 7031)

4 impasse Nikola Tesla, 13013 Marseille

Online meetings with Yamaha corporation (Japan) will be organized during the internship

**Duration:** 6 months

**Gratification:** about 600 EUR/ month

**Language:** French and English

**Contact**

Vincent Fréour : [vincent.freour@music.yamaha.com](mailto:vincent.freour@music.yamaha.com)

**Description**

Sound simulation by physical modelling relies on the representation of the physics underlying the functioning of musical instrument. It constitutes an interesting tool to simulate the variety of behaviors of the instrument, and also a very useful tool for musical instrument makers in order to better understand the influence of the different design parameters on the response of the system (sound, blowing pressure, etc.). Indeed, the instrument designer can investigate numerically the consequences of changes in the conception on the response of the instrument, without having to build a physical prototype. This numerical aid is therefore very interesting to investigate various design choices.

Furthermore, one challenge in developing such physical models relies on the modelling of the players, that is to say of the lips for brass instruments. Indeed, the lips constitute a sophisticated biomechanical system that are currently modelled using simple linear or nonlinear mechanical oscillators.

Although these models provide relatively satisfactory performances, the parameters of these models (resonance frequencies, damping, mass) remain difficult to estimate precisely. Besides, measurements to identify these parameters are very difficult (or even impossible) to conduct without perturbing the player.

To try to overcome this issue, experimental systems such as artificial players have been developed at LMA and in Yamaha laboratories in order to play instruments in controlled conditions, and to monitor a number of variables (pressure, lip displacement, etc.) during the performance.

The objective of this project is to study the performance of a data-driven system identification technique to identify lip models and their parameters using experimental data collected on an artificial trumpet player developed at LMA. This approach relies on combining sparsity-promoting techniques and machine learning with nonlinear dynamical systems, to discover the governing physical equations from measurement data.

The work will consist of the following phases:

- 1- Explore different regression and machine learning algorithms for the identification of nonlinear systems using data generated numerically (simple nonlinear systems, simple models of wind instruments)
- 2- Apply the identification techniques to experimental data collected on an artificial player system at LMA
- 3- Validate the identified system by running simulations and comparisons with sounds obtained on the artificial player system

This internship is proposed in the context of the academic chair NAMI (Numerically Aided Musical Instrument Design) between Yamaha corporation, Ecole Centrale Méditerranée, and LMA.

[1] S. Brunton, J.L. Proctor, J.N. Kutz, Discovering governing equations from data: Sparse identification of nonlinear dynamical systems, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113 (15), 2016.

[2] V. Fréour, L. Guillot, H. Masuda, S. Usa, E. Tominaga, Y. Tohgi. Numerical continuation of a physical model of brass instruments: Application to trumpet comparison, *Journal of the Acoustical Society of America*, 148 (2), 2020.