

**Titre du doctorat :** « Apports de l'apprentissage machine et des simulations sonores par modèle physique pour la customisation perceptive d'instruments de musique »

**Titre en anglais :** Contribution of Machine Learning and physics-based sound simulations for the perceptual customization of musical instruments

### **Encadrants**

Directeur de thèse : Jean-François PETIOT (Professeur, Ecole Centrale de Nantes, LS2N (UMR CNRS 6004)). Equipe PACCE (Perception Action Cognition pour la Conception et l'Ergonomie).

Co-encadrant : Vincent FREOUR (LMA, Marseille (UMR 7031), YAMAHA Research & Development).

### **Résumé**

Les simulations sonores par modèles physiques sont intéressantes pour retranscrire la physique sous-jacente au fonctionnement d'un instrument de musique. Ces simulations permettent d'écouter un instrument virtuel avec un mode de fonctionnement représentatif de l'interaction musicien/instrument (piloter un son par les causes qui le créent). Le travail de thèse consiste à étudier l'apport des méthodes d'apprentissage machine sur des sons de synthèse pour « typer » un instrument selon différentes grandeurs perceptives d'intérêt (justesse, facilité d'émission, dimensions du timbre, ...). A terme, la méthode pourrait présenter un intérêt pour l'aide à la facture instrumentale et la customisation d'instruments.

Mots clés : conception centrée utilisateur, psychophysique, apprentissage machine,

### **Descriptif du sujet de thèse**

Pour le développement de produits nouveaux et l'innovation, il est important de savoir prédire lors de la phase de conception comment un futur produit sera perçu par l'utilisateur. La qualité d'un instrument de musique, telle qu'elle est perçue par un musicien, est une problématique complexe qui met en jeu à la fois les perceptions du musicien (facteurs humains) et des phénomènes physiques complexes dans l'instrument (acoustique, mécanique).

Pour étudier la qualité perçue par l'utilisateur, deux approches sont nécessaires :

- Approche subjective ou perceptive. Elle consiste à étudier l'**espace perceptif** que se construit l'auditeur ou le musicien et dans lequel les perceptions sont représentées, et à qualifier les principales dimensions de cet espace à l'aide de termes sémantiques. Cette approche est basée principalement sur des tests utilisateurs et utilise des outils **d'analyse de données** (ACP – Analyse multidimensionnelle des similarités, CAH, catégorisation, ...),
- Approche objective : Elle consiste à caractériser l'instrument par des mesures objectives (mesures acoustiques ou analyse des signaux sonores (**descripteurs audio**))

Pour pouvoir étudier de manière systématique les relations entre ces deux types de données, et inférer des règles de conception, **les simulations sonores par modèles physiques** constituent une piste très intéressante car elles permettent, en travaillant sur un prototype virtuel, d'explorer l'**espace de conception, en créant un grand nombre d'instruments virtuels**. L'intérêt principal de ces simulations est que le résultat sonore est piloté par les causes qui créent le son, comme pour un instrument réel : si le modèle physique utilisé est suffisamment détaillé pour générer des simulations en accord avec le comportement réel (tel qu'il est perçu par le musicien), alors les simulations peuvent constituer un outil prédictif pour la mise au point de l'instrument (acoustique virtuelle). Les travaux de thèse précédents réalisés dans les équipes encadrantes [1-2] montrent, outre une maîtrise des techniques de simulations sonores par modèle physique pour le cas des instruments de la famille des cuivres, une capacité des simulations à être représentatives du comportement réel [3].

On s'intéressera pour ce projet au cas des cuivres, pour lequel le modèle physique proposé comporte une modélisation minimale du résonateur d'une part (impédance d'entrée) et de l'excitateur d'autre part (musicien virtuel). A partir des variables de conception de l'instrument (géométrie du résonateur), l'outil de simulation sonore permet donc d'obtenir des sons représentatifs de l'instrument. En modifiant les variables de conception, il est ainsi possible d'obtenir une base de données d'apprentissage large comportant des dizaines de milliers d'individus, sur laquelle des méthodes d'apprentissage machine peuvent être entraînées. Les dimensions perceptives étudiées concerneront principalement la justesse, la facilité d'émission, les différentes dimensions du timbre, pour lesquelles des métriques représentatives sont proposées dans la

littérature (inharmonicité, pression de seuil, centre de gravité spectral, flux spectral, temps d'attaque, respectivement). Des tests perceptifs devront confirmer les métriques utilisées.

L'objectif du projet est de mettre au point des outils de classification supervisée pour entraîner un classifieur à prédire les dimensions perceptives, à partir de descripteurs calculés sur le signal audio issu des simulations. On testera dans un premier temps les descripteurs utilisés classiquement en reconnaissance de la parole (MFCC, deltaMFCC [4], descripteurs spectraux [5]), ainsi que les classifieurs classiques (CNN [6], GMM, SVM).

Pour mener à bien ce sujet, il s'agira d'étudier dans quelles mesures les prédictions d'un classifieur sont en accord avec celles générées par un musicien utilisant un instrument réel. Différents modèles de simulations seront considérés (équilibrage harmonique, simulations temporelles). L'approche expérimentale pourra utiliser les instruments paramétrés (embouchure variable, branches d'embouchure paramétrées) déjà réalisés au LS2N pour valider les simulations. Le travail de thèse portera sur la méthodologie à mettre en œuvre pour mener à bien une conception pilotée par les dimensions perceptives.

Il faut noter que le sujet de thèse est très ouvert et s'établit sur un périmètre qui va au delà de l'acoustique des instruments de musique. Il nécessite une réflexion générale sur la **conception de systèmes intégrant les perceptions de l'utilisateur** (facteurs humains en conception de système), réflexion qui pourra facilement être valorisée pour la suite de la thèse.

### **Bibliographie :**

[1] Poirson Emilie. Prise en compte des perceptions de l'utilisateur en conception de produit. Application aux instruments de musique de type cuivre. Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes, 2005.

[2] Tournemenne Robin. Optimisation d'un instrument de musique de type cuivre basée sur des simulations sonores par modèle physique. Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes, 2017.

[3] Petiot J-F., Gilbert J. Comparison of trumpets' sounds played by a musician or simulated by physical modeling. Acta Acustica united with Acustica. Vol. 99, (2013), 629-641. DOI 10.3813/AAA.918642

[4] I. Maliki and Sofiyanudin. Musical instrument recognition using Mel-Frequency Cepstral Coefficients and learning vector quantization. IOP Conf.

Series: Materials Science and Engineering **407** (2018) 012118

doi:10.1088/1757-899X/407/1/012118

[5] Orchisama Das. Musical instrument identification with supervised learning.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Musical-Instrument-Identification-with-Supervised-Das/a20807d98e25a95c942507b547b141ea4215ec48>

6] Babak Toghiani-Rizi, Marcus Windmark. Musical instrument recognition using their distinctive characteristics in artificial neural networks, 2016.

EndFragment

## CV directeur(s) de thèse et encadrant(s) de thèse

### A) Jean-François PETIOT, Professeur ECN

**Nom :** PETIOT  
**Prénom :** Jean-François  
**Grade** PU  
**Section CNU** 60  
**Laboratoire/Équipe** LS2N/PACCE

#### 1. Thèmes de recherche

Science de la conception ; conception centrée utilisateur ; psychoacoustique

#### 2. Publications (extraits)

Tom Souaille, Jean-François Petiot, Nicolas Misdariis, and Mathieu Lagrange. An interactive bi-objective optimization process to guide the design of electric vehicle warning sounds. *Design Science*, Volume 8, 2022 , e26. <https://doi.org/10.1017/dsj.2022.18>

Félix Gontier, Vincent Lostanlen, Mathieu Lagrange, Nicolas Fortin, Catherine Lavandier, and Jean-François Petiot, "Polyphonic training set synthesis improves self-supervised urban sound classification", *The Journal of the Acoustical Society of America* 149, 4309 4326 (2021) <https://doi.org/10.1121/10.0005277>.

Tournemenne R., Petiot J.-F., Talgorn B., Gilbert J., Kokkolaras M. Sound simulation-based design optimization of brass wind instruments. *J. Acoust. Soc. Am.* 145(6), June 2019. DOI: 10.1121/1.5111346.

Aurélie Moyon, Emilie Poirson & Jean-François Petiot (2019) Development of an acceptance model for occupational exoskeletons and application for a passive upper limb device, *IIE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 2019, 7 (3-4), pp 291-301. DOI: 10.1080/24725838.2019.1662516. Lafay, G., Rossignol, M., Misdariis, N., Lagrange M., Petiot J.-F. Investigating the perception of soundscapes through acoustic scene simulation. *Behavior Research Methods*, 2019, 51(2), 532-555. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1138-0>.

Gloaguen, Jean-Rémy ; Can, Arnaud ; Lagrange, Mathieu ; Petiot, Jean-François. Road traffic sound level estimation from realistic urban sound mixtures by Non-negative Matrix Factorization. *Applied Acoustics*, 143, (2019), 229-238, doi: 10.1016/j.apacoust.2018.08.018

## CV directeur(s) de thèse et encadrant(s) de thèse

B) Vincent FREOUR (Researcher, YAMAHA Research & Development division) – Chercheur Associé, LMA Marseille.

### Research themes

Musical acoustics; nonlinear dynamical systems; biomechanics of music performance

### Publications (extract)

Freour, V., Guillot, L., Masuda, H., Vergez, C. and Cochelin B. (2022). Parameter identification of a physical model of brass instruments by constrained continuation, *Acta Acustica*, 6, No. 9. <https://doi.org/10.1051/aacus/2022004>

Freour, V., Gautier, F., David, B. and Curtit, M. (2015). Extraction and analysis of body-induced partials of guitar tones, *Journal of the Acoustical Society of America*, 138, No. 6, pp. 3930-3940

Mansour, H., Freour, V., Saitis, C. and Scavone, G.P. (2015). Post-classification of nominally identical steel string guitars using bridge admittances, *Acta Acustica united with Acustica*, 101, No. 2, pp. 394-407.

Hezard T., Freour V., Causse R., Helie, T. and Scavone, G.P. (2014). Synchronous multimodal measurements on lips and glottis: comparison between two human-valve oscillating systems, *Acta Acustica united with Acustica*, 100, No. 6, pp. 1172-1185.

Bianco, T., Freour, V., Cossette, I., Bevilacqua, F. and Causse, R. (2012). Measures of facial muscle activation, intraoral pressure and mouthpiece force in trumpet playing. *Journal of New Music Research*, 41, No. 1, pp. 49-65.

Cossette, I., Fabre, B., Freour, V., Montgermont, N., Monaco, P. (2010). From breath to sound: linking respiratory mechanics to aeroacoustic sound production in flutes. *Acta Acustica united with Acustica*, 96, No. 4, pp. 654-667.