

**Titre en français :** Étude des interactions sensori-motrices entre musiciens dans des environnements immersifs

**Titre en anglais :** Study of sensory-motor interactions between musicians in immersive environments

**Nom du directeur de thèse :** Sølvi YSTAD et Noël Nguyen

**Tel :** 0491164250

**E-Mail :** ystad@prism.cnrs.fr

**Laboratoire :** PRISM et LPL

**Financement :** demandé

**Type de financement :** contrat doctoral "Établissement Aix-Marseille Université"

#### **Résumé en français :**

Ce projet de thèse a pour objectif d'étudier les interactions sensori-motrices entre musiciens dans des environnements immersifs (réels, virtuels ou augmentés), dans leurs rapports avec les interactions langagières.

Les dispositifs actuels de réalité virtuelle et augmentée permettent la création d'espaces immersifs de plus en plus réalistes. Les mondes virtuels qui ont souvent été associés aux jeux vidéo et au cinéma 3D, occupent une place grandissante dans nos vies, et sont susceptibles de changer notre quotidien dans un futur proche. Ces nouvelles technologies ouvrent de nombreuses perspectives. D'un côté, elles permettent de sonder l'influence d'environnements parfaitement calibrés sur les comportements humains. D'un autre côté, elles ouvrent de nombreuses perspectives d'applications industrielles, sociétales et artistiques et permettent d'envisager des nouvelles formes de communication dans des environnements variés et parfois distants qui rendent les interactions entre les différents acteurs difficiles. Comprendre les effets perceptifs induits par ces dispositifs pour les adapter à la perception et la cognition humaine devient alors un enjeu important.

Ce projet est destiné à nous permettre de construire des ponts entre les recherches menées sur 1) la production et la perception musicales par des ensembles de musiciens dans des espaces acoustiques immersifs (PRISM), et 2) la production et la perception de la parole chez deux ou plusieurs locuteurs en situation d'interaction (LPL).

Les protocoles envisagés se basent d'un côté sur une expertise en analyse, traitement et synthèse sonore mondialement reconnue qui a permis de développer des outils de synthèse basés sur des invariants perceptifs (Aramaki et al., 2011, Conan et al., 2014). Cette expertise nous permettra également de construire des environnements acoustiques immersifs afin d'étudier l'influence de différents lieux (réels, virtuels ou augmentés) sur les interactions entre musiciens. D'un autre côté, il s'agira de s'inspirer des protocoles expérimentaux employés dans les études sur la communication langagière dans les interactions conversationnelles. Ces études ont notamment montré que deux interlocuteurs engagés dans une conversation tendent à converger l'un vers l'autre dans leur façon de produire les sons de la parole. Il est aujourd'hui considéré que ce phénomène de convergence phonétique contribue à établir un terrain d'entente conversationnel entre les locuteurs et à faciliter

la compréhension mutuelle. Une large variété de paramètres phonétiques sont mis en jeu dans la convergence, telle que la fréquence fondamentale de la voix (Aubanel & Nguyen, 2020).

Dans ce projet, nous entreprendrons d'adapter ces protocoles expérimentaux dans le but de faire apparaître de possibles effets de convergence entre interprètes dans un contexte musical. Il s'agira pour nous de déterminer si l'adaptation inter-individuelle se base sur des indices similaires dans le cadre de la musique et du langage. Cette adaptation dépend-elle uniquement de la production sonore, ou est-elle également liée aux mouvements des musiciens (Roze, 2017, Ipe et al., 2016, Hilt et al., 2019), aux spécificités de chaque instrument et au rôle des musiciens (Lembke et al., 2017), au genre musical (Stupacher et al., 2013), ou encore à l'environnement acoustique, vibratoire ou visuel (Fargeot, 2022, Novembre et al., 2012) ?

Le travail consistera, d'une part, à établir un répertoire musical favorisant différentes catégories de conversation sensori-motrice, et d'autre part analyser le jeu instrumental en fonction de la production sonore et des mouvements des musiciens pour différents environnements (réels, virtuels ou augmentés), genres musicaux et catégories d'instruments. Des méthodes et outils d'analyse seront développés afin de caractériser et de modéliser la convergence inter-individuelle au sein d'un ensemble de musiciens dans un espace acoustique immersif. Cela comprendra notamment des mesures de similarité entre patterns spatio-temporels multidimensionnels, ainsi que des méthodes statistiques pour l'analyse de la directionnalité des effets de convergence telles que la Causalité de Granger.

Ce projet hautement novateur vise à tirer le meilleur parti des méthodes, des outils et des ressources instrumentales développées dans nos deux laboratoires depuis de longues années afin de jeter une lumière nouvelle sur les fondements cognitifs et sensori-moteurs de l'adaptation inter-individuelle dans la musique et la communication langagière.

### **Résumé en anglais :**

This thesis project aims to study the sensory-motor interactions between musicians in immersive environments (real, virtual or augmented), in their relationship with language interactions.

Current virtual and augmented reality devices allow the creation of increasingly realistic immersive spaces. Virtual worlds, which have often been associated with video games and 3D cinema, occupy a growing place in our lives, and are likely to change our daily lives in the near future. These new technologies open many perspectives. On the one hand, they allow us to probe the influence of perfectly calibrated environments on human behavior. On the other hand, they open many perspectives for industrial, societal and artistic applications and allow us to consider new forms of communication in varied and sometimes distant environments that make interactions between different actors difficult. Understanding the perceptual effects induced by these devices to adapt them to human perception and cognition becomes an important issue.

This project is intended to allow us to build bridges between the research conducted in our two respective laboratories on 1) the production and perception of music by ensembles of musicians in immersive acoustic spaces (PRISM), and 2) the production and perception of speech by two or more speakers in an interaction situation (LPL).

The envisaged protocols are based on the one hand on a world-renowned expertise in sound analysis, processing and synthesis that has allowed us to develop synthesis tools based on perceptual invariants (Aramaki et al., 2011, Conan et al., 2014). This expertise will also allow us to build immersive acoustic environments in order to study the influence of different locations (real, virtual or augmented) on musician interactions. On the other hand, we will draw on experimental protocols used in studies on language communication in conversational interactions. These studies have notably

shown that two interlocutors engaged in a conversation tend to converge towards each other in their way of producing speech sounds. It is now considered that this phenomenon of phonetic convergence contributes to establishing a conversational common ground between speakers and to facilitating mutual understanding. A wide variety of phonetic parameters are involved in convergence, such as the fundamental frequency of the voice (Aubanel & Nguyen, 2020).

In this project, we will adapt these experimental protocols in order to reveal possible convergence effects between performers in a musical context. We will investigate whether inter-individual adaptation is based on similar cues in music and language. Does this adaptation depend solely on sound production, or is it also related to the musicians' movements (Roze, 2017, Ipe et al., 2016, Hilt et al., 2019), to the specificities of each instrument and the role of the musicians (Lembke et al., 2017), to the musical genre (Stupacher et al., 2013), or to the acoustic, vibratory, or visual environment (Fargeot, 2022, Novembre et al., 2012)?

The work will consist, on the one hand, in establishing a musical repertoire favoring different categories of sensory-motor conversation, and on the other hand, in analyzing instrumental playing as a function of sound production and musicians' movements for different environments (real, virtual or augmented), musical genres and instrument categories. Analytical methods and tools will be developed to characterize and model inter-individual convergence within an ensemble of musicians in an immersive acoustic space. This will include measures of similarity between multidimensional spatio-temporal patterns, as well as statistical methods for the analysis of the directionality of convergence effects such as Granger Causality.

This highly innovative project aims to make the most of the methods, tools and instrumental resources developed in our two laboratories over many years to shed new light on the cognitive and sensorimotor foundations of inter-individual adaptation in music and language communication.

#### **Profil du candidat recherché :**

Le candidat devra avoir une formation initiale en acoustique et des compétences en traitement du signal et en programmation (Matlab, Python, Max/MSP).

Des connaissances dans le domaine de la perception sonore sont un plus.

Un intérêt pour le domaine du son et de la musique est essentiel.

Des notions de musicologie, lecture de partitions et orchestration.

#### **Publications sur le sujet :**

Aubanel V, Nguyen N (2020) Speaking to a common tune: Between-speaker convergence in voice fundamental frequency in a joint speech production task. PLOS ONE 15(5): e0232209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232209>

Fargeot, S., Etude de la perception d'environnements acoustiques 3D, thèse AMU soutenue le 1<sup>er</sup> décembre 2022

Hilt, P.M., Badino, L., D'Ausilio, A. et al. Multi-layer adaptation of group coordination in musical ensembles. Sci Rep **9**, 5854 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42395-4>

Ipe, G., D'Ausilio, A., Badino, L., Camurri, A., & Fadiga, L. (2016). Measuring social interaction in music ensembles. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 371(1693), 20150377. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0377>

Lembke, S.-A. & Levine, S. & Mcadams, S. (2017). Blending Between Bassoon and Horn Players: An Analysis of Timbral Adjustments During Musical Performance. Music Perception: An Interdisciplinary Journal. 35. 144-164. 10.1525/mp.2017.35.2.144.

Novembre G, Ticini LF, Schütz-Bosbach S, Keller PE. 2012 Distinguishing self and other in joint action. Evidence from a musical paradigm. **Cereb. Cortex** **22**, 2894–2903. ([doi:10.1093/cercor/bhr364](https://doi.org/10.1093/cercor/bhr364))

Roze, J., L'influence des mouvements posturaux des violoncellistes sur leur expressivité musicale, thèse de doctorat AMU, soutenue le 27 octobre 2017

- Schärer, Z., Kalkandjiev and Weinzierl, S. "The influence of room acoustics on solo music performance: An empirical case study," *Acta Acustica united Ac*, vol. 99, no. 3, pp. 433–441, 2013
- Stupacher J, Hove MJ, Novembre G, Schütz-Bosbach S, Keller PE. 2013, Musical groove modulates motor cortex excitability: a TMS investigation. **Brain Cogn.** **82**, 127–136. ([doi:10.1016/j.bandc.2013.03.003](https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.03.003))
- Volpe, G., D'Ausilio, A., Badino, L., Camurri, A., & Fadiga, L. (2016). Measuring social interaction in music ensembles. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1693), 20150377. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0377>

**Insertion professionnelle après thèse** : publique et/ou privée