

## Proposition de thèse en Acoustique-Aérodynamique-Mécatronique

***Caractérisation du comportement vocal humain dans la parole et dans le chant sur banc mécatronique robotisé. Application au développement de plis vocaux biomimétiques.***

### Informations

**Etablissement :** Université Grenoble Alpes

**Ecole doctorale :** Ingénierie pour la Santé, la Cognition et l'Environnement (ED ISCE)

**Spécialité :** Ingénierie de la Cognition, de l'interaction, de l'Apprentissage et de la création (ICA)

**Equipes :** MOVE (GIPSA-lab) et CoMHet (3SR)

**Encadrement de la thèse :** Nathalie Henrich Bernardoni, Lucie Bailly

[Nathalie.Henrich@gipsa-lab.fr](mailto:Nathalie.Henrich@gipsa-lab.fr), [Lucie.Bailly@3sr-grenoble.fr](mailto:Lucie.Bailly@3sr-grenoble.fr)

**Financement :** bourse doctorale ANR 36 mois

**Début de la thèse :** 1 Octobre 2023

**Date limite de candidature :** 15 Juin 2023

### Mots clés

production de la voix, phonation, articulation de la parole, aéroacoustique, phonétique expérimentale, vocologie, matériaux biomimétiques, essais mécaniques, vibration

### Sujet de thèse

Le projet de thèse s'inscrit dans le cadre de l'ANR AVATARS « *Artificial Voice production: control of bio-inspired port-HAmilToniAn numeRical and mechatronic modelS* » (2023-2027). Ce projet de recherche ambitieux et collaboratif entre plusieurs laboratoires français (IRCAM Paris, GIPSA-lab Grenoble, LMA Marseille, 3SR Grenoble et LPL Aix-en-Provence) et l'hôpital universitaire de Liège en Belgique a pour objectif général de développer une nouvelle approche de la production vocale humaine basée sur la modélisation physique, la théorie des systèmes non-linéaires et des conceptions innovantes en mécatronique et en science des matériaux, afin de reproduire le comportement vocal humain mesuré en voix saine et en voix pathologique et de parvenir à une compréhension plus approfondie de leurs spécificités. Le premier objectif est de concevoir des avatars vocaux théoriques et mécatroniques : des avatars numériques basés sur la modélisation physique et la simulation, et des avatars mécatroniques bio-inspirés basés sur le développement technologique et la robotique. Le deuxième objectif est d'analyser et de contrôler la phonation, en se concentrant sur les régimes oscillatoires impliqués dans les différentes qualités vocales et les registres en voix chantée, et de les valider en les comparant aux signaux biologiques humains in vivo. L'analyse des régimes (cartographies automatisées, analyse des bifurcations) vise à fournir un "manuel d'utilisation" des avatars. Les méthodes de contrôle visent à générer des gestes principaux pour atteindre des caractéristiques liées à l'expressivité et à l'articulation de la parole.

Ce projet de thèse ambitionne d'explorer les phénomènes physiques complexes mis en jeu dans la production vocale humaine et de reproduire le comportement vocal humain dans des expressions

parlées et chantées sur un banc instrumenté. Un premier banc robotisé a déjà été développé (Henrich et al., 2022). Il consiste en un conduit laryngé contenant des plis vocaux souples et déformables couplé à un conduit vocal à géométrie variable. Ce banc a permis de caractériser le comportement vibratoire de plusieurs structures homogènes, conçues à base d'élastomères ou d'hydrogels, capables de mimer les propriétés mécaniques macroscopiques du pli vocal et d'osciller de façon auto-entretenu par interaction fluide-structure (Yousefi-Mashouf, 2022).

Au cours de cette thèse, l'impact du couplage acoustique (charge acoustique par un conduit vocal reproduisant des voyelles orales) sur l'auto-oscillation des plis vocaux biomimétiques existants sera exploré dans un premier temps. La charge acoustique consistera tout d'abord en des conduits vocaux à géométries simples représentant des voyelles, puis en des conduits morfo-réalistes imprimés en 3D à partir d'images IRM de ces mêmes voyelles. Finalement, en lien avec le développement par l'équipe mécatronique du laboratoire GIPSA-lab d'un conduit vocal robotisé capable d'articuler de la parole par actionnement de la mâchoire, de la langue et des lèvres, le comportement phonatoire sera caractérisé lors de séquences co-articulées.

Dans un second temps, des améliorations seront apportées au vibreur. La structure, le type de matériaux et la géométrie des plis vocaux biomimétiques seront variés pour en explorer l'impact sur le comportement phonatoire. En particulier, des plis vocaux avec une structure fibreuse bi-couche seront élaborés et testés, sur la base de premiers résultats prometteurs (Yousefi-Mashouf, 2022).

La caractérisation du comportement auto-oscillant des plis vocaux biomimétiques en interaction fluide-structure-acoustique se fera par des mesures aérodynamiques de pression et débit d'air, des mesures acoustiques à partir de l'onde sonore rayonnée, et par analyse d'images obtenues par cinématographie ultra-rapide. La méthode optique de stéréo-corrélation d'images numériques sera également utilisée pour caractériser la déformation de la structure vibrante en 3D, en s'appuyant sur le savoir-faire du laboratoire 3SR et les caméras ultra-rapides présentes sur le banc. L'usage d'un silicone conducteur sera aussi envisagé pour permettre une mesure du contact glottique sur maquette par électroglottographie, technique très usitée de caractérisation de ce contact chez l'humain.

## Précisions sur l'encadrement

La thèse se déroulera au GIPSA-lab, sur le plateau technique AERO de la plateforme de Mesures Avancées du laboratoire : <https://www.gipsa-lab.grenoble-inp.fr/recherche/plateau-technique/aero>

Le doctorant aura également accès au laboratoire 3SR et à sa plateforme technique pour la caractérisation du comportement mécanique des matériaux utilisés et pour l'impression 3D.

Le doctorant publiera ses travaux en cours de thèse dans des revues scientifiques internationales. Il participera activement à des ateliers, conférences et congrès nationaux et internationaux.

## Profil et compétences recherchées

Le (la) candidat(e) devra être titulaire (ou en cours d'obtention) d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur dans une formation orientée Acoustique/Aérodynamique/Mécanique avec un goût prononcé pour le travail expérimental et la recherche appliquée. Doté(e) d'une grande curiosité scientifique, et de bonnes capacités de synthèse et de communication écrite et orale, d'un bon niveau d'anglais (requis), le (la) candidat(e) sera force de proposition et capable de travailler en équipe et de manière autonome.

## Candidature et contact

Les candidat(e)s intéressé(e)s devront faire parvenir un CV accompagné d'une lettre de motivation décrivant leur expérience en recherche et leurs centres d'intérêts, à :

**Nathalie Henrich Bernardoni, Directrice de recherche CNRS**

GIPSA-lab, 11 rue des Mathématiques, 38400 Grenoble

Mel : [Nathalie.Henrich@gipsa-lab.fr](mailto:Nathalie.Henrich@gipsa-lab.fr)

Tel : (+33) (0) 4 76 57 45 36

## Références bibliographiques

Henrich Bernardoni N., Girault R., Yousefi-Mashouf H., Luizard P., Orgéas L., Bailly L. (2022) Développement d'un banc in vitro pour la caractérisation vibratoire de plis vocaux biomimétiques et pré-déformés, 34<sup>e</sup> Journées d'Études sur la Parole JEP2022 « Parole, Geste, Musique : des unités à leur organisation », Juin 2022, Noirmoutier, France  
[[https://hal.science/hal-03833126v1/preview/Henrich\\_JEP\\_2022\\_microvoice.pdf](https://hal.science/hal-03833126v1/preview/Henrich_JEP_2022_microvoice.pdf) ]

Yousefi-Mashouf H. (2022) *Design of self-oscillating biomimetic vocal folds : materials, mechanics and vibrations*. PhD thesis Univ. Grenoble Alpes. [<https://theses.hal.science/tel-04052239v1>]