

Titre en français : Développement d'une instrumentation intra-orale pour l'étude des résonances du conduit vocal et leurs usages dans le chant et la pratique instrumentale.

Titre en anglais : Development of an intraoral instrumentation for the analysis of vocal tract resonances and their usages in singing voice and wind instruments playing

Nom du directeur de thèse : Philippe Guillemain (guillemain@lma.cnrs-mrs.fr, DR)

Laboratoire : Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, UMR 7031

Co-directeur : Fabrice Silva (silva@lma.cnrs-mrs.fr, CR)

Co-encadrante : Nathalie Henrich-Bernardoni (DR, GIPSA-lab UMR 5216, Grenoble, nathalie.henrich@gipsa-lab.fr)

Financement : demandé

Type de financement : École Doctorale

Résumé en français : Le conduit vocal est le lieu de production de la variété des sons à la base du langage et joue ainsi un rôle essentiel dans la communication orale humaine. Du fait du mouvement des articulateurs (mandibule, langue, lèvres, velum, larynx), le conduit vocal se comporte comme un résonateur variable au cours du temps et cette variabilité est fortement exploitée dans la parole, la voix chantée et la pratique musicale experte d'instruments à vents. La caractérisation *in vivo* et *in operando* des résonances acoustiques du conduit vocal demande le développement d'une instrumentation spécifique à destination de la recherche en sciences de la voix et de la parole. Elle fait l'objet de travaux récents basés sur l'émission et réception aux lèvres. En particulier, la thèse de Timothée Maison (ED353, 2019-2023) a rendu possible la mesure en cours de phonation et a mis en évidence l'intérêt de positionner les capteurs à l'intérieur même du conduit vocal pour une meilleure identification modale.

La proposition de thèse porte ainsi sur le développement d'un dispositif intra-oral de caractérisation acoustique du conduit vocal et l'adaptation du modèle de mesure aux contraintes *in vivo* et *in operando*. La thèse vise également à rendre le dispositif intra-oral utilisable à la pratique orthophonique et à la captation du geste musical pour les instruments de musique à vent.

Résumé en anglais :

Vocal tract is the place for producing the variety of sounds that form the basis of human language, and thus plays an essential role in human oral communication. Due to the movement of the articulators (mandible, tongue, lips, velum, larynx), the vocal tract behaves like a variable resonator within time, and this variability plays an important role in speech, singing and expert wind instruments playing. *In vivo* and *in operando* characterization of vocal tract resonances requires development of a specific instrumentation for speech and voice research. This is the subject of recent work based on emission and reception at the lips. The PhD work realized by Timothée Maison (ED353, 2019-2023) made it possible to measure vocal tract during phonation and highlighted benefits of positioning sensors inside the vocal tract for better modal identification. The PhD proposal therefore concerns the development of an intra-oral device for vocal tract acoustic characterisation et adaptation of the measurement model to *in vivo* and *in operando* constraints. The PhD also aims to make the device usable for speech therapy practice and to study musical gestures for wind instruments.

Contexte : L'appareil vocal humain peut être décomposé en étages fonctionnels : poumons et trachée forment une source aérodynamique capable de mettre en vibration les plis vocaux (communément appelés « cordes vocales ») et de générer une onde acoustique. De la glotte aux lèvres, le conduit vocal joue le rôle d'un résonateur acoustique contrôlable grâce aux positionnements des articulateurs (mandibule, lèvres, langue, velum, larynx). Les résonances du conduit vocal influent sur la production de la voix articulée (parole, chant, ...), à la fois par la rétroaction acoustique sur l'interaction fluide-structure au niveau de la glotte et par le filtrage des ondes acoustiques qui s'y propagent, essentiel notamment à l'intelligibilité des voyelles et des consonnes émises.

Les travaux en phonétique et en acoustique musicale témoignent d'un besoin d'approfondir les connaissances sur le conduit vocal et son contrôle dynamique, notamment par le développement de techniques de mesures temps-réel *in vivo*. En effet, l'étude du conduit vocal permet la compréhension des mécanismes de production de son. Le conduit vocal, avec les articulateurs, contribuent à la formation d'un langage intelligible. La compréhension fine de l'influence du conduit vocal dans la production de la parole présente un avantage pour les techniques de rééducations orthophoniques, en cas de dyspraxie oro-faciale.

Du point de vue de l'acoustique musicale, l'étude du geste vocal lors de la pratique du chant permet une meilleure appréhension des adaptations résonantielles du conduit vocal lors de la production de certaines notes. Un exemple parlant est celui de la partie la plus aiguë des tessitures de soprano, pour laquelle la production des notes relève d'un ajustement de la première résonance du conduit vocal à la hauteur de la note chantée par élévation laryngée et ouverture buccale. La pratique d'instruments à vent est aussi un terrain d'étude riche. Deux axes peuvent se distinguer. Le premier concerne les pratiques instrumentales mettant en œuvre l'utilisation du conduit vocal. Les clarinettes, par exemple, peuvent combiner doigtés et configurations particulières du conduit vocal pour faire varier la hauteur de la note émise, et ainsi s'éloigner considérablement de la note prévue. Le deuxième axe est celui des pathologies de la voix pour les instrumentistes à vent. Les musiciens ayant une pratique intensive sont exposés à un nombre important de troubles de santé. La prévalence des pathologies des sphères orales (buccale et oto-rhino-laryngologique) et de la stomatologie est particulièrement élevée. Ces pathologies sont souvent induites par de fortes pressions ou des dysfonctions laryngées. Ces deux axes de réflexion mettent en lumière l'influence du conduit vocal sur le jeu musical, et celle de la pratique instrumentale sur l'appareil phonatoire.

Ceci amène à considérer le développement plus général de techniques de caractérisation expérimentale de guides d'ondes acoustiques variables. Ces techniques se doivent de tenir compte des particularités des différents signaux en jeu, avec la contrainte de temps d'analyse court pour permettre le suivi temporel des caractéristiques du guide. En effet, une des principales différences entre le conduit vocal et la majorité des résonateurs acoustiques classiques est sa grande variabilité temporelle. En voix parlée comme en voix chantée, il s'agit d'un système capable d'évoluer rapidement au cours du temps. De plus, à la manière de ce qui se fait en analyse modale opérationnelle, la caractérisation du conduit vocal gagnerait à se faire en situation écologique, c'est-à-dire lorsque le conduit vocal est utilisé pour réellement produire un son, sans supprimer la perception auditive qu'a le locuteur sur sa propre production sonore. La mesure des résonances du conduit vocal en phonation a déjà été rendue possible grâce à un dispositif extra-buccal placé devant les lèvres, avec étalonnage bouche fermée. La

méthode montre des limites de par le positionnement du dispositif. En effet, si elle permet la caractérisation du conduit vocal en phonation, elle n'est pas applicable lors de l'étude de l'influence du conduit vocal dans la pratique d'instruments à vent. De plus, l'étalonnage et la méthode de mesure induisent des mouvements qui modifient les caractéristiques acoustiques de l'appareil phonatoire, et qui parasitent la pratique du chanteur.

Ces considérations motivent le développement plus général d'une instrumentation intra-orale, qui contribuerait à minimiser inconfort et modification du conduit vocal, tout en étant adaptée à l'étude de la pratique instrumentale.

Travail de thèse proposé

Le sujet de la thèse s'inscrit dans la continuité de la thèse de doctorat de Timothée Maison (ED353, 2019-2023), en collaboration avec Nathalie Henrich-Bernardoni (GIPSA-lab, Univ. Grenoble Alpes/CNRS/Grenoble INP). Les lignes qui suivent décrivent de manière sommaire les travaux proposés (une description détaillée est disponible sur demande). Ils s'articulent autour de trois axes suivants.

1. Développement de l'instrumentation intra-orale

- Proposer une procédure d'insertion de microphones MEMS et de leur électronique sur support biocompatible, et procéder à l'étalonnage acoustique des microphones dans leur nouvel environnement
- Procéder à l'optimisation numérique du placement des microphones dans le conduit vocal, pour maximiser la visibilité des résonances et la robustesse vis-à-vis des incertitudes de positions
- Valider les placements candidats sur maquettes (simplifiées puis morpho-réalistes)
- Concevoir et réaliser une antenne de microphone MEMS
- Valider l'instrumentation intra-orale réalisée sur maquettes morpho-réalistes de conduits vocaux.

2. Amélioration du protocole de mesure

- Adapter le modèle de mesure pour s'affranchir de la mesure de référence en bouche fermée ou, s'appuyer sur une mesure aux lèvres en bouche fermée qui doit jouer le rôle d'intermédiaire dans la prise en compte de la référence.
- Optimiser le signal d'excitation pour aller vers la caractérisation rapide sinon temps-réel du conduit vocal, par exemple émission de signaux de type sweep qui se chevauchent en temps sans se croiser (à la manière du glissando de Risset-Shepard) avec une cadence de caractérisation du conduit vocal inférieure à 1s.

3. Application à l'étude du geste vocal et instrumental

- Mettre en œuvre des applications de *biofeedback*, avec présentation des caractéristiques résonnantes rafraîchies en temps-réel, dans un contexte de la pédagogie de techniques vocales ou d'exercices orthophoniques.
- Étoffer le panel d'outils développés au LMA depuis 10 ans pour capturer le geste musical, en adaptant le dispositif intra-oral et son modèle de mesure au cas du jeu sur instruments à vent.

Retombées scientifiques : Les travaux proposés pourront avoir un impact assez large, en recherche fondamentale et appliquée (en acoustique musicale avec prise en compte de la biomécanique du musicien, en phonétique et en vocologie). Ils viseront en premier lieu à apporter une instrumentation efficace pour toute la communauté scientifique et clinique. L'analyse de comportements dynamiques fournira également un retour (*biofeedback*) précieux pour l'aide au diagnostic, pour la rééducation vocale et pour la pédagogie du chant.

Profil du candidat recherché : Le/la candidat-e devra avoir une maîtrise de la physique des ondes (de préférence acoustiques). Une pratique vocale musicale et une expérience des dispositifs audio/électroacoustiques seront fortement appréciées.

Insertion professionnelle après thèse : public/privée, recherche et développement.
Les compétences développées au cours de la thèse concernent des domaines variés comme le traitement du signal audio et l'instrumentation in-vivo, avec débouchés possibles dans les secteurs d'activité associés.