

## Mise en œuvre d'une formulation mixte pour l'analyse d'une structure gonflable

**Encadrants :** Fabrice Silva (LMA) [silva@lma.cnrs-mrs.fr](mailto:silva@lma.cnrs-mrs.fr) - 04 8452 4271  
Stéphane Lejeunes (LMA) [lejeunes@lma.cnrs-mrs.fr](mailto:lejeunes@lma.cnrs-mrs.fr) - 04 8452 5597

**Contexte :** Dans le cadre de l'étude de la production de la voix et des sons d'instrument à vent, des maquettes de cordes vocales et de lèvres artificielles sont réalisées au GIPSA-lab et au LMA depuis plusieurs années dans un but de compréhension des phénomènes impliqués dans la production sonore ainsi que de validation de modèles physiques (analytiques) simplifiés. Ces maquettes sont constituées d'une enveloppe de latex renfermant un volume d'eau réglable, et la fréquence d'oscillation est contrôlée en variant la pression hydrostatique. Elles sont conçues de manière à permettre un contrôle indépendant de différents paramètres caractéristiques comme la pression d'alimentation en air, la tension des cordes ainsi que leur écartement.



**Exemple de maquette de cordes vocales**

Des efforts ont été entrepris récemment (thèse de Nicolas Hermant) en collaboration avec le LMB afin de proposer des modèles capables de prédire les propriétés de ces structures en termes de résonances mécaniques. Ils reposent sur des formulations de type masse ajoutée initialement développées dans le cadre aéronautique et qui permettent de prendre en compte l'effet de l'eau sur le conteneur.<sup>1</sup> Ces formulations ont été étendues pour intégrer la précontrainte de gonflement et son influence sur les propriétés modales, mais les comparaisons avec l'expérience indiquent qu'il est nécessaire de considérer le caractère quasi-incompressible du latex dans ces modèles.<sup>2</sup>

Ces travaux peuvent s'appliquer de manière plus générale aux structures gonflables et déployables, ou encore à base de gels, comme utilisées par exemple dans l'aéronautique pour les sièges éjectables, les amortisseurs de chocs, etc...

**Objectif :** Les premiers pas dans le sens des formulations mixtes ont été réalisés par Rémi Allandrieu (stage ECM 2A, 2016) dans le cadre de l'élasticité linéaire en l'absence de précontrainte. Il s'agira donc dans ce projet de :

- comprendre le principe des formulations de type mixte en déplacement et pression mieux à même de rendre compte de la contrainte de quasi incompressibilité<sup>3</sup> ;
- l'adapter aux calculs en grandes déformations pour simuler le gonflement de la maquette ;
- formuler et mettre en œuvre l'analyse modale de la structure gonflée.

Les développements numériques seront réalisés dans Abaqus et/ou FreeFem++.

Dans la mesure du possible, on envisagera des mesures vibrométriques sur maquette et on comparera les résultats expérimentaux et numériques.

**Mots clés :** Cordes vocales, modélisation, formulations mixtes, incompressibilité.

1. Numerical study of the vibrations of an elastic container filled with an inviscid fluid, N. Hermant, F. Chouly, F. Silva, P. Luizard & X. Pelorson, soumis à *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 2016.

2. Hydro-elastic finite element model of a vocal fold replica. N. Hermant, F. Chouly, F. Silva, P. Luizard & X. Pelorson, ICSV'22, 2015.

3. Les éléments finis : de la théorie à la pratique, André Fortin et André Garon, Cours de l'Université de Laval, 2011.