

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2025-61**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DTIS/COVNI
DAAA/MASH

Tél. : 05 62 25 29 22/01 46 73 41 87

Responsable(s) du stage : Fabrice Demourant
Pierre Nibourel

Email : fabrice.demourant@onera.fr
pierre.nibourel@onera.fr

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : Identification et Commande des Systèmes

Type de stage : Fin d'études bac+5 Master 2 Bac+2 à bac+4 Autres

Intitulé : Cartographie linéaire pour la stabilisation en boucle fermée d'un écoulement résonateur du type fluidic Pinball

Ce stage s'inscrit dans le développement de méthodologies pour la modélisation et le contrôle d'écoulements fluide et plus particulièrement sur les écoulements de type *résonateur* qui sont globalement instables. Pour ces écoulements, la stabilisation non-linéaire ne peut être réalisée que si la stabilisation linéaire autour des points fixes est assurée par une loi de commande [1].

Dans ce stage, nous nous intéresserons à la modélisation et au contrôle linéaire autour des points fixes/points d'équilibre ($\dot{X} = f(X) = 0$), appelés plus couramment *baseflow* ou écoulement de base, d'un écoulement résonateur du type *fluidic pinball*.

Ce type d'écoulement est constitué de 3 cylindres plongés dans un fluide en déplacement. Le comportement de cet écoulement dépend fortement du nombre de Reynolds (ratio entre les effets inertiels et visqueux) considéré. En l'occurrence on s'intéressera aux cas de Reynolds supérieurs à 18, ce qui correspond au 1^{er} Reynolds critique qui conduit à l'instabilité du fluide [2].

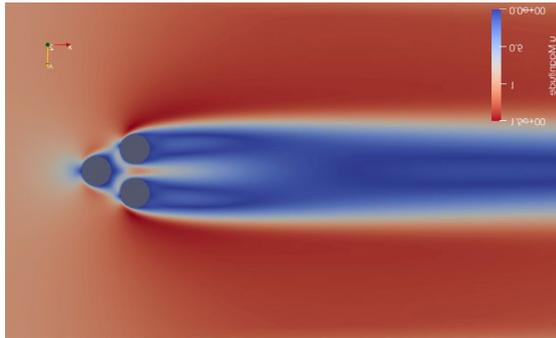
La dynamique autour du *baseflow* correspond à la dynamique linéarisée des équations de Navier-Stokes. Cette dynamique linéarisée présente un certain nombre de modes instables qu'il sera donc nécessaire de contrôler et de stabiliser par la mise en œuvre de lois de commandes en boucle fermée.

Deux axes méthodologiques seront étudiés et mis en œuvre :

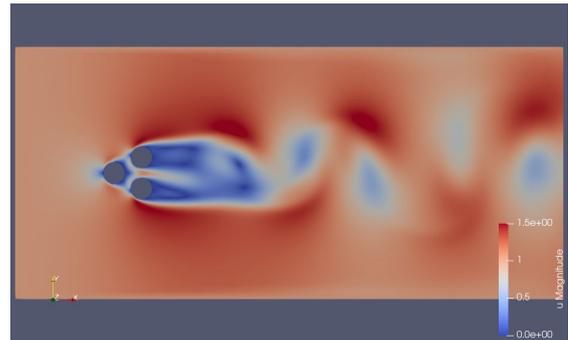
- Le premier axe consistera à construire des modèles linéaires dits LTI à l'aide d'outils d'identification. Rappelons simplement que ces outils permettent de construire, typiquement, une représentation d'état à partir de données mesurées en entrée et sortie du système à modéliser [3];
- Le deuxième axe s'articulera autour de la synthèse de lois de commande stabilisant l'écoulement fluide autour des points d'équilibres [4, 5].

L'architecture de la loi de commande se basera sur un ou plusieurs actionneurs du type soufflage/aspiration ou rotation des cylindres. Les mesures seront des mesures de vitesse en aval de l'écoulement et donc de l'actionnement. Le nombre d'actionneurs et de capteurs ainsi que le type d'actionnement qui devront être utilisés par la loi de commande font partie de la problématique du stage.

Cette étude sera réalisée sur plusieurs valeurs de Reynolds puisque la variation de ce dernier impacte profondément les dynamiques linéaires et non-linéaires sous-jacentes [2,6].



Écoulement en équilibre Re=100



Écoulement hors équilibre Re=100

Bibliographie

[1] W. Jussiau, C. Leclercq, F. Demourant and P. Apkarian, "Learning Linear Feedback Controllers for Suppressing the Vortex-Shedding Flow Past a Cylinder," in *IEEE Control Systems Letters*, vol. 6, pp. 3212-3217, 2022, doi: 10.1109/LCSYS.2022.3183526

[2] Deng, Nan & Noack, Bernd & Morzynski, Marek & Pastur, Luc. (2019). Low-order model for successive bifurcations of the fluidic pinball. *Journal of Fluid Mechanics*. 884. 10.1017/jfm.2019.959

[3] Liu, K., Jacques, R. N., and Miller, D. W. (June 1, 1996). "Frequency Domain Structural System Identification by Observability Range Space Extraction." ASME. *J. Dyn. Sys., Meas., Control*. June 1996; 118(2): 211–220. <https://doi.org/10.1115/1.2802306>

[4] Paul Garnier, Jonathan Viquerat, Jean Rabault, Aurélien Larcher, Alexander Kuhnle, Elie Hachem, A review on deep reinforcement learning for fluid mechanics, *Computers & Fluids*, Volume 225, 2021, ISSN 0045-7930, <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2021.104973>.

[5] P. Apkarian and D. Noll, "Nonsmooth optimization for multi- band frequency domain control design," *Automatica*, vol. 43, no. 4, pp. 724–731, 2007.

[6] Leclercq C, Sipp D. Mean resolvent operator of a statistically steady flow. *Journal of Fluid Mechanics*. 2023;968:A13. doi:10.1017/jfm.2023.530

Est-il possible d'envisager un travail en binôme ? Non

Méthodes à mettre en œuvre :

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Recherche théorique | <input checked="" type="checkbox"/> Travail de synthèse |
| <input checked="" type="checkbox"/> Recherche appliquée | <input type="checkbox"/> Travail de documentation |
| <input type="checkbox"/> Recherche expérimentale | <input type="checkbox"/> Participation à une réalisation |

Possibilité de prolongation en thèse : Oui

Durée du stage :

Minimum : 5 mois

Maximum : 6 mois

Période souhaitée : Début Mars-Avril 2024

PROFIL DU STAGIAIRE

Connaissances et niveau requis :

- Connaissances en mécanique des fluides ;
- Connaissances en automatique ;
- Bonne maîtrise de Python et Matlab.

Ecoles ou établissements souhaités : Grandes Ecoles/Universités.