RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

PROPOSITION DE STAGE EN COURS D'ETUDES

Référence : **DTIS-2025-06**
(à rappeler dans toute correspondance)

Lieu : Toulouse

Département/Dir./Serv. : DTIS/COVNI
DTIS/SAPIA

Tél. : 05 62 25 29 22

Responsable(s) du stage : Fabrice Demourant/Adrien Chan Hon Tong/William Jussiau

Email. : fabrice.demourant@onera.fr
adrien.chan_hon_tong@onera.fr
william.jussiau@ntnu.no

DESCRIPTION DU STAGE

Thématique(s) : ICS/IAD

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

Intitulé : Stabilisation en boucle fermée d'un écoulement résonateur par continuation numérique : le fluidic pinball.

Ce stage s'inscrit dans le développement de méthodologies pour la modélisation et le contrôle d'écoulements fluides, et plus particulièrement sur les écoulements de type *résonateur* qui sont globalement instables [1].

L'écoulement auquel on s'intéresse ici 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 à l'écoulement avec un nombre de Reynolds supérieur à 18, ce qui correspond au premier Reynolds critique, qui conduit à l'instabilité du fluide [2].

L'objectif du stage est de stabiliser l'écoulement non-linéaire en utilisant une stratégie de synthèse de loi de commande basée sur la **continuation numérique**. L'idée générale est la suivante : on conçoit d'abord une loi de commande pour un nombre de Reynolds faible (typiquement inférieur à 18, zone où la synthèse est facile à réaliser). Puis, on utilise la continuité de la solution par rapport au Reynolds pour réajuster progressivement cette loi à des nombres de Reynolds plus élevés. De proche en proche, on s'attend ainsi à obtenir un correcteur stabilisant l'écoulement, idéalement jusqu'à Re = 100. La structure de la loi de commande restera volontairement simple, de type LTI [1].

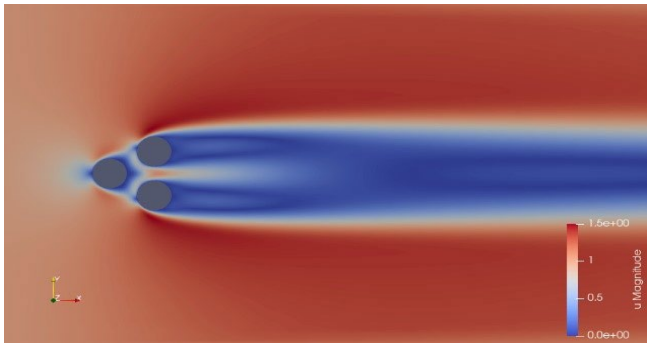
Deux axes méthodologiques seront explorés :

- **Premier axe :** analyser l'évolution du comportement de l'écoulement en fonction du nombre de Reynolds. Cette étape comprendra la construction de modèles linéaires réduits, issus de l'identification autour des écoulements de base (point fixe : $\dot{x} = f(x) = 0$) et leur stabilisation [4,5]. Par ailleurs, cette analyse permettra d'évaluer et de valider la pertinence *a priori* de l'approche par continuité numérique selon les variations de Reynolds.
- **Deuxième axe :** développer des lois de commande capables de stabiliser l'écoulement non-linéaire au-delà du premier Reynolds critique. La stratégie reposera sur la continuation numérique et l'utilisation d'outils d'optimisation avancés (méthodes évolutionnaires, algorithmes génétiques, *reinforcement learning*) [3,6]. Cet axe offre l'opportunité de contribuer à l'émergence de nouvelles stratégies de contrôle pour des écoulements complexes.

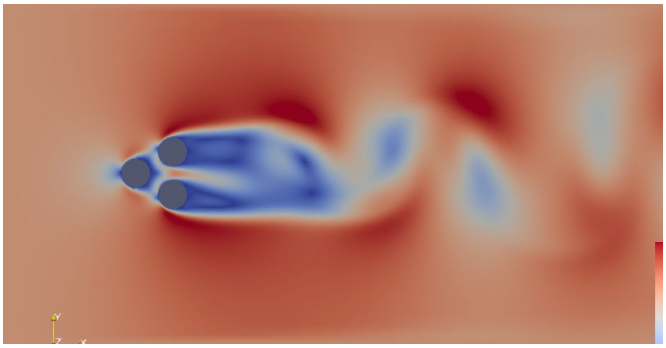
L'architecture de la loi de commande se basera sur un ou plusieurs actionneurs du type soufflage/aspiration ou rotation des cylindres. Les mesures seront des mesures de vitesse en aval de

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.

L'encadrement sera assuré par le DTIS (Département Traitement de l'Information et Système) à l'ONERA et NTNU (Université norvégienne de sciences et de technologie, Norvège).



Ecoulement à l'équilibre (Re=100)



Ecoulement hors équilibre (Re=100)

Bibliographie

[1] W. Jussiau, F. Demourant, C. Leclercq and P. Apkarian, "Control of a Class of High-Dimensional Nonlinear Oscillators: Application to Flow Stabilization," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 33, no. 5, pp. 1521-1531, Sept. 2025, doi: 10.1109/TCST.2025.3539219.

[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] 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.

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

[5] 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

[6] Daesoo Lee, Seung Jae Lee, Solomon C. Yim,. "Reinforcement learning-based adaptive PID controller for DPS", Ocean Engineering, Volume 216, 2020, ISSN 0029-8018, https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108053.

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

Méthodes à mettre en œuvre :

☐ Recherche théorique ☒ Travail de synthèse

☒ Recherche appliquée ☐ Travail de documentation

☐ Recherche expérimentale ☐ 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 :	Ecoles ou établissements souhaités : Grandes Ecoles/Universités
• Connaissances en automatique ;	

• Connaissances en optimisation ; • Bonne maitrise de Python et Matlab ; • Quelques connaissances en mécanique des fluides seraient un plus, sans être nécessaires.	