

Analyse input/output optimale d'un jet à faible densité globalement instable pour orienter un contrôle en boucle ouverte efficace

PARTENAIRES

AIRBUS

LATECOERE

Mots-clés : jet, contrôle, stabilité, résolvant

Département : DAEP (Département Aérodynamique, Énergétique et Propulsion)

DESCRIPTION DU POSTE :

Plusieurs études antérieures ont examiné l'effet d'une excitation axiale ou transversale (azimutale) harmonique dans le temps sur l'instabilité globale d'un jet axisymétrique à faible densité [1-2], en particulier la transition vers la synchronisation (1:1 lock-in) sous différents degrés de désaccord de fréquence entre la fréquence d'excitation f_f et la fréquence propre du mode global f_n . Ces différentes voies vers le lock-in influencent la manière dont le mode naturel est amorti [2]. Sous excitation axiale avec un faible désaccord de fréquence, la synchronisation est obtenue, mais seulement au prix d'une forte amplification du mode forcé, entraînant des niveaux d'oscillation globaux élevés (non représentés sur la Fig. 1). Avec un désaccord plus important ($f_f/f_n = 1.17$, Fig. 1a), le mode naturel est plus proprement supprimé, bien qu'une énergie significative subsiste dans la réponse en raison de l'alignement axisymétrique des modes. À l'inverse, l'excitation transversale découple spatialement les modes naturel et forcé, permettant un amortissement à la fois synchrone et asynchrone avec une amplification minimale. Dans ce cas, le mode naturel décroît avant le verrouillage, et le mode forcé demeure faible tout au long du processus (Fig. 1b), conduisant à une suppression de l'instabilité plus efficace et plus robuste. Ainsi, l'excitation transversale constitue une

ISAE-SUPAERO

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace

10, avenue Marc Pélegrin | BP 54032 | 31055 Toulouse CEDEX 4 | France

33 (0)5 61 33 80 80

contact@isae-supaero.fr



voie vers la synchronisation et l'amortissement plus fiable et moins intrusive, en particulier pour de forts désaccords de fréquence, atteignant le verrouillage par suppression sans exciter de fortes dynamiques résonantes. Cette approche apparaît donc comme une stratégie de contrôle en boucle ouverte prometteuse pour éliminer le cycle limite et stabiliser l'écoulement.

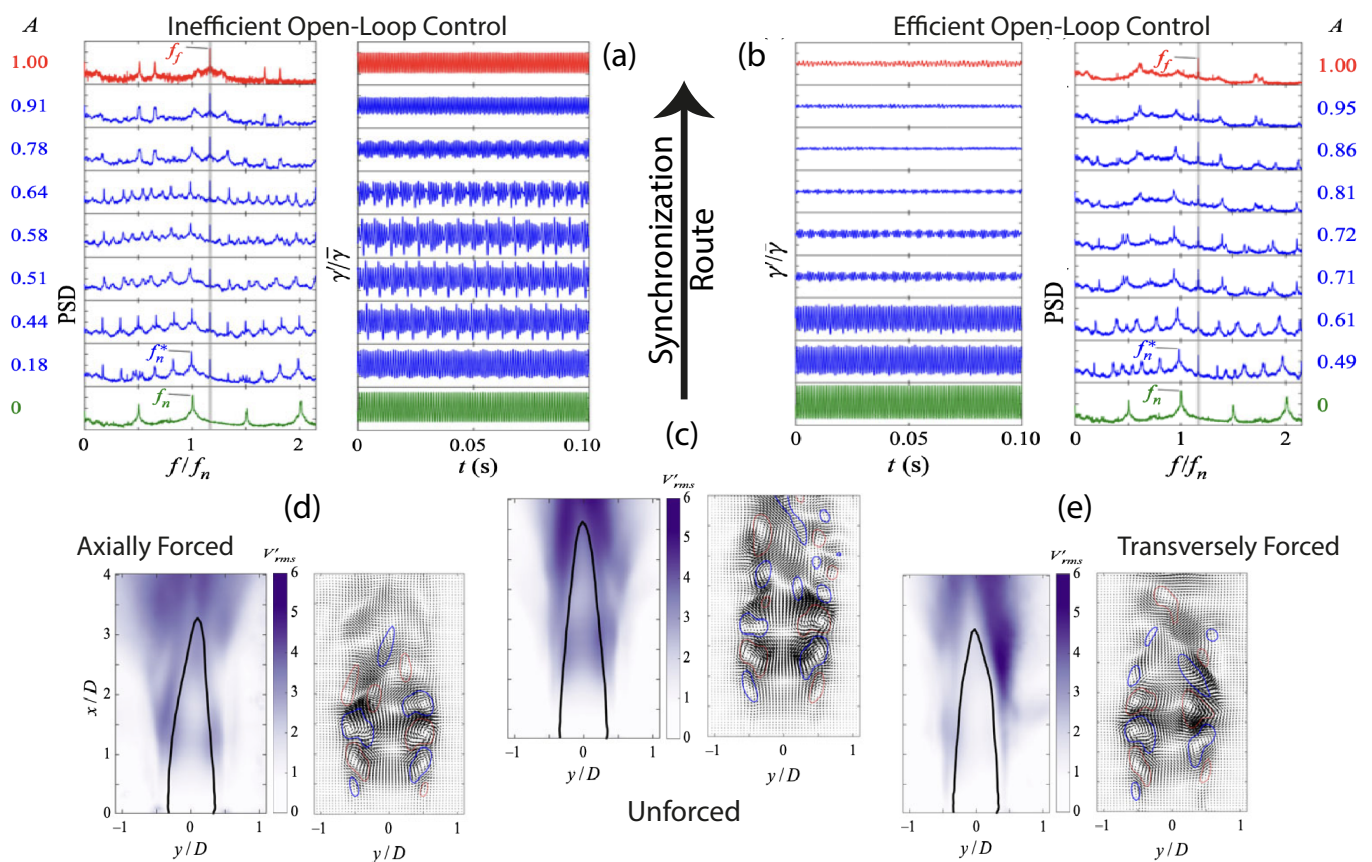


Figure 1 : (a) Dynamique de synchronisation du jet soumis à une excitation axiale à une fréquence éloignée de sa fréquence globale naturelle, c'est-à-dire $f_f/f_n = 1.17$. Les densités spectrales de puissance (PSD) et les signaux temporels associés pour des amplitudes de forçage croissantes A sont présentés respectivement dans les panneaux de gauche et de droite. (b) Même configuration que (a), mais pour une excitation transversale. On observe que l'amplitude finale est considérablement réduite : cette comparaison directe identifie clairement l'excitation transversale comme une stratégie efficace de contrôle en boucle ouverte. (c)–(e) Distribution spatiale de la dynamique du jet, mesurée par PIV par Kushwaha *et al.* [2]. Les panneaux de gauche montrent la valeur quadratique moyenne des fluctuations de vitesse totales V'_{rms} ; la ligne noire désigne la limite du cœur potentiel du jet ; l'efficacité des différents forçages peut être appréciée à travers la réduction

des fluctuations à l'intérieur de ce cœur potentiel. Les panneaux de droite montrent les structures cohérentes du jet extraites par décomposition en modes dynamiques (DMD). Un déphasage de $\pi/2$ entre les couches de cisaillement gauche et droite est visible en (e) et résulte de la rupture d'axisymétrie induite par le forçage de contrôle.

Bien que ces études de faisabilité mettent en évidence les avantages d'une excitation azimutale par rapport à une excitation axiale, un cadre théorique systématique permettant de prédire la structure azimutale optimale et le désaccord de fréquence approprié pour cette catégorie de jets globalement instables fait encore défaut. Cette étape vise à combler cette lacune en menant des analyses linéaires entrée/sortie optimales à l'état de l'art – en particulier les analyses du résolvant harmonique et du résolvant moyen [3–4]. Par la décomposition en valeurs singulières (SVD) de l'opérateur résolvant, cette approche permettra d'identifier les modes de forçage et de réponse présentant la plus forte amplification énergétique, fournissant ainsi une base rigoureuse pour le positionnement optimal des actionneurs et des capteurs dans le cadre de stratégies de contrôle en boucle ouverte et fermée.

MISSIONS :

Cette recherche vise à faire progresser les méthodologies de contrôle des écoulements au moyen d'analyses linéaires entrée/sortie de pointe — en particulier les analyses du *résolvant harmonique* et du *résolvant moyen*. En exploitant la décomposition en valeurs singulières (SVD) de l'opérateur résolvant, l'étude cherche à identifier les modes de forçage et de réponse les plus énergétiquement significatifs, fournissant ainsi un cadre rigoureux pour le positionnement optimal des actionneurs et des capteurs dans des systèmes de contrôle en boucle ouverte et fermée.

PROFIL RECHERCHÉ :

Une solide formation en dynamique des fluides, en algèbre linéaire et en programmation est requise. Une connaissance préalable des méthodes numériques avancées est également nécessaire. Une excellente maîtrise du langage Python et de la bibliothèque PETSc est vivement souhaitée. Les candidats intéressés sont invités à contacter les encadrants par courrier électronique. Le courriel devra inclure le curriculum vitae du candidat ainsi que les relevés de notes universitaires antérieurs.



www.isae-supaero.fr

RÉMUNÉRATION : 4,35 euros/h – 35h par semaine

DURÉE : 6 MOIS

LIEU : TOULOUSE

RESPONSABLE DU SUJET :

NOM : NASTRO

E-MAIL : gabriele.nastro@isae-supaero.fr

TÉL. : 05 61 33 87 89

MODALITÉS DE CANDIDATURE :

Les candidatures (cv et notes) doivent être envoyées à gabriele.nastro@isae-supaero.fr et alessandro.bongarzone@onera.fr

RÉFÉRENCES :

[1] L. Lesshafft, P. Huerre & P. Sagaut 2007 Frequency selection in globally unstable round jets Phys. Fluids 19 (5), 054108.

[2] A. K. Kushwaha, N. A. Worth, J. R. Dawson, V. Gupta & L. K. B. Li 2022 Asynchronous and synchronous quenching of a globally unstable jet via axisymmetric breaking J. Fluid Mech. 937, A40.

[3] Padovan, A. & Rowley, C. W. 2022 Analysis of the dynamics of subharmonic flow structures via the harmonic resolvent: Application to vortex pairing in an axisymmetric jet. Phys. Rev. Fluids 7 (7), 073903.

[4] A. Bongarzone, C. Content, D. Sipp & C. Leclercq 2025 Adjoint-free method for mean resolvent analysis of periodic flows arXiv arXiv:2503.08401.

ISAE-SUPAERO

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace



10, avenue Marc Pélegrin | BP 54032 | 31055 Toulouse CEDEX 4 | France

33 (0)5 61 33 80 80



contact@isae-supaero.fr

