

Titre Thèse Title	Développement d'un réseau de capteurs/actionneurs MEMS innovants pour la mise en œuvre d'un système MIMO pour le contrôle en boucle fermée d'écoulements avec réduction de modèle ou machine learning.	
(Co)-Directeur	Abdelkrim Talbi	E-mail : abdelkrim.talbi@centralelille.fr
(Co)-Directeur	Philippe Pernod	E-mail : philippe.pernod@centralelille.fr
(Co)-Encadrant (s)	Colin Leclercq / Denis Sipp (ONERA)	E-mail : colin.leclercq@onera.fr/denis.sipp@onera.fr
Laboratoire(s)	IEMN	Web : https://www.iemn.fr
Groupe(s)	AIMAN-FILMS (IEMN)	Web:https://www.iemn.fr/en/la-recherche/les-groupes/aiman-films
Financement acquis ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
	Origine :	
Financement demandé	Contrat Doctoral <input type="checkbox"/>	Etablissement porteur : Univ. Lille <input type="checkbox"/> Centrale Lille <input checked="" type="checkbox"/> JUNIA <input type="checkbox"/>
	Région <input checked="" type="checkbox"/>	Co-financement acquis : Oui <input type="checkbox"/> Non <input checked="" type="checkbox"/> Préciser son origine (qu'il soit acquis ou non) : Demande financement AID ou Centrale Lille
	Autre :	

Résumé :

Le contrôle des écoulements est l'un des thèmes majeurs de la recherche en aérodynamique. Plusieurs stratégies de contrôle existent : celles dites actives avec apport d'énergie présentent le plus gros potentiel. Elles ont été principalement réalisées en boucle ouverte, sans considérer la situation réelle de l'écoulement. Certaines études ont utilisé des capteurs pour ajuster la loi de contrôle aux variations lentes des conditions de fonctionnement, visant à modifier les propriétés moyennes de l'écoulement, mais sans exploiter les échelles de temps naturelles de l'écoulement [1]. Les gains de performance et de robustesse restent cependant limités au regard de la complexité de la mise en œuvre par rapport au contrôle passif. Au contraire, les stratégies de contrôle par rétroaction peuvent offrir des gains drastiques car elles ciblent une action aux échelles de temps naturelles de l'écoulement [2-3]. Cela permet de stabiliser les points de fonctionnement souhaitables en évitant le développement des instabilités ou en rejetant les fluctuations aérodynamiques indésirables (déclenchement de la transition ou fluctuations bruyantes du jet). Deux expériences seront considérées dans ce projet : une cavité turbulente entraînée par un cisaillement (écoulement résonateur) et un jet turbulent (amplificateur de bruit). Dans les deux cas, la difficulté provient d'une dynamique large bande associée à la turbulence. Les contrôleurs de rétroaction seront conçus pour supprimer les structures cohérentes de basse fréquence à grande échelle. Par construction ce contrôle est très robuste et beaucoup moins coûteux. **Dans ce sens, le développement de technologies MEMS (capteurs et actionneurs) est pertinent pour apporter une réponse et une validation des stratégies de contrôle en boucle fermée.**

Cette thèse vise à apporter une rupture technologique dans le domaine du contrôle en boucle fermée des écoulements par : i) le développement de micro-actionneurs intégrables en réseaux ii) le développement de micro-capteurs ultra-miniaturisés iii) l'intégration desdits MEMS en architecture MIMO¹ sur deux cas génériques d'instationnarités basses fréquences en régime turbulent : le contrôle d'instabilités dans le cas d'un écoulement de cavité (1), et dans le cas d'une couche de mélange d'un écoulement de jet (2).

S'appuyant sur le savoir-faire du groupe AIMAN-FILMS de l'IEMN [5-10], de l'ONERA MEUDON[1-3], la thèse présentée ici permettra de pousser l'innovation dans le domaine des microsystèmes pour la métrologie et le contrôle d'écoulements aérodynamiques. Les technologies brevetées devront être poussées aux limites de leurs potentialités et de nouvelles pistes pourront être explorées, comme le développement de structures inédites à base d'une transduction thermo-plasmonique (source de chaleur localisée avec des formes arbitraires pour la mesure vectorielle du frottement) ou des hauts parleurs thermiques à base de matériaux poreux qui permettent la génération du son avec une bande passante allant jusqu'à une 100kHz.

¹ Multiple Inputs Multiple Outputs

Pertinence vis-à-vis du programme allocations région HdF :

- Ce projet de thèse s'inscrit au sein des thématiques phares de la SRESRI régionale « Innovation au service d'une planète en mutation » / « Transition écologique et climatique » et « Monde numérique au service de l'humain ».
- Ce projet de thèse participe à la structuration de la recherche en Région car il entre au cœur du projet CPER RITMEA (Recherche et Innovation en Transports et Mobilité Eco-responsables et Autonomes) porté par la FR TTM pour la nouvelle contractualisation 2021-2027, et dans lequel l'IEMN intervient au travers notamment de la plateforme CONTRAERO (CPER ELSAT 2020).
- Ce projet de thèse sera conduit en partenariat avec l'ONERA Lille - LMFL, déjà fortement impliqué sur le contrôle des écoulements turbulents.
- Projet de thèse en phase l'axe thématique AID « FLUIDES, STRUCTURES », Sous thème : « ECOULEMENTS FLUIDES ». Il correspond dans ce sous-thème à deux priorités : d'une part « Contrôle des écoulements (passif/actif) : approches théoriques et de simulation du contrôle, développement de technologies d'actionneurs », d'autre part « Aérodynamique des formes complexes ».

Abstract:

Flow control is one of the major topics in aerodynamics research. Several control strategies exist: those called active with energy input have the greatest potential. They have been mainly realized in open loop, without considering the real situation of the flow. Some studies have used sensors to adjust the control law to slow variations of the operating conditions, aiming at modifying the average properties of the flow, but without exploiting the natural time scales of the flow [1]. However, the gains in performance and robustness remain limited with respect to the complexity of the implementation compared to passive control. In contrast, feedback control strategies can offer drastic gains as they target action at natural flow time scales [2-3]. This allows stabilizing desirable operating points by avoiding the development of instabilities or rejecting undesirable aerodynamic fluctuations (transition triggering or noisy jet fluctuations). Two experiments will be considered in this project: a turbulent cavity driven by a shear (resonator flow) and a turbulent jet (noise amplifier). In both cases, the difficulty arises from the broadband dynamics associated with the turbulence. Feedback controllers will be designed to suppress low frequency coherent structures on a large scale. By construction this control is very robust and much less expensive. In this sense, the development of MEMS technologies (sensors and actuators) is relevant to provide an answer and a validation of closed loop control strategies.

This thesis aims at bringing a technological breakthrough in the field of closed-loop flow control by: i) developing microactuators that can be integrated in networks ii) developing ultra-miniaturized micro-sensors iii) integrating those MEMS in a MIMO architecture on two generic cases of low-frequency instabilities in turbulent regime: instability control in the case of a cavity flow (1), and in the case of a mixing layer of a jet flow (2).

References :

- [1] T. Chabert, J. Dandois, and É. Garnier, "Experimental closed-loop control of separated-flow over a plain flap using extremum seeking," *Exp. Fluids*, vol. 57, no. 3, p. 37, 2016.
- [2] S. L. Brunton and B. R. Noack, "Closed-loop turbulence control: progress and challenges," *Appl. Mech. Rev.*, vol. 67, p. 050801, 2015.
- [3] C. Leclercq, F. Demourant, C. Poussot-Vassal, D. Sipp, Linear iterative method for closed-loop control of quasiperiodic flows, *J. Fluid Mech.* (2019), vol. 868, pp. 26–65.
- [4] VIARD R., TALBI A., GHOUILA HOURI C., KOURTA A., MERLEN A., PERNOD P. Magnetomechanical micro-valve for active flow control. *Sens. Actuator A-Phys.* 316 (2020) 112387 published december 1, 2020 doi: 10.1016/j.sna.2020.112387
- [5] GHOUILA-HOURI C., CLAUDEL J., GERBEDOEN J.C., GALLAS Q., GARNIER E., MERLEN A., VIARD R., TALBI A., PERNOD P., High temperature gradient micro-sensor for wall shear stress and flow direction measurements *Appl. Phys. Lett.* 109, 24 (2016) 241905, 4 pages doi: 10.1063/1.497240
- [6] GHOUILA-HOURI C., TALBI A., VIARD R., GALLAS Q., GARNIER E., MERLEN A., PERNOD P. High temperature gradient micro-sensors array for flow separation detection and control, *Smart Mater. Struct.* 28, 12 (2019) 125003, 9 pages (available online october 8, 2019 ; published december 2019) doi: 10.1088/1361-665X/ab4be4
- [7] GHOUILA-HOURI C., TALBI A., VIARD R., GALLAS Q., GARNIER E., MERLEN A., PERNOD P. Unsteady flows measurements using a calorimetric wall shear stress micro-sensor, *Exp. Fluids* 60, 4 (2019) 67, 10 pages (available online march 16, 2019 ; published april 2019) doi: 10.1007/s00348-019-2714-5
- [8] TALBI A., GIMENO L., GERBEDOEN J.C., VIARD R., SOLTANI A., MORTET V., PREOBRAZHENSKY V., MERLEN A., PERNOD P., A micro-scale hot wire anemometer based on low stress (Ni/W) multi-layers deposited on nano-crystalline diamond for air flow sensing, *Micromech. Microeng.* 25, 12 (2015) 125029, doi: 10.1088/0960-1317/25/12/125029