



Titre Thèse	Contrôle réactif d'écoulements par réseaux de MEMS innovants et réduction de modèle ou machine learning : augmentation des performances et réduction de l'empreinte écologique et nuisances des systèmes de transport.	
(Co)-Directeur	Abdelkrim TALBI	E-mail : abdelkrim.talbi@centralelille.fr
(Co)-Directeur	Philippe PERNOD	E-mail : philippe.pernod@centralelille.fr
(Co)-Encadrant		
Laboratoire	Institut d'Electronique de Microélectronique et de Nanotechnologie IEMN UMR CNRS 8520	Web : www.iemn.fr
Equipe	AIMAN-FILMS	Web : https://www.iemn.fr/la-recherche/les-groupes/aiman-films
	Contrat Doctoral Etablissement	Lille 1 <input type="checkbox"/> UVHC <input type="checkbox"/> ECL <input type="checkbox"/> ISEN <input type="checkbox"/>
Financement prévu	Président-Région <input type="checkbox"/>	Région – Autre <input checked="" type="checkbox"/> Préciser : CNRS
Acquis <input type="checkbox"/>	Président- Autre <input type="checkbox"/> Préciser	DGA – Autre <input checked="" type="checkbox"/> Préciser
	Contrat de recherche <input type="checkbox"/> Type	Autre <input type="checkbox"/>
Collaboration	ONERA	

Résumé du sujet :

La thèse proposée vise à apporter une rupture technologique dans le domaine du contrôle d'écoulement aérodynamique, en démontrant la viabilité et les avantages majeurs de contrôles en boucles fermées à l'aide de MEMS innovants (micro-actionneurs et micro-capteurs brevetés par l'IEMN), intégrables en réseaux denses et espaces confinés sur véhicules ou engins réels, et mettant en œuvre des stratégies de contrôles en boucle fermée tirant profit de réductions de modèles pour un contrôle adaptatif efficace et temps réel.

Les démonstrations seront réalisées sur un nouveau cas générique de problématiques rencontrées dans le domaine des transports (terrestre, aéronautique, ou aérospatial) : Le contrôle en boucle fermée d'instationnarités à basse-fréquence dans un écoulement turbulent (collaboration avec l'ONERA).

Ce cas générique vient compléter celui considéré au cours du projet ANR Astrid « CAMELOTT » qui vient de se terminer sur les contrôles de décollements sur un volet motorisé orientable (représentatif d'un volet d'aile d'avion par exemple). Les deux cas génériques sont représentatifs d'une très grande variété de cas d'intérêt pour l'amélioration des systèmes de transport (augmentation de performances, réduction de nuisances et d'impact sur l'environnement). Ceci comprend :

- La diminution de la traînée des véhicules (par modification ou suppression des décollements), permettant une minimisation de la consommation de carburant (ou électrique) et une réduction des gaz polluants ou à effet de serre,
- L'augmentation de la portance ou de l'efficacité des gouvernes d'avions (par réduction ou suppression des décollements sur les volets hyper-sustentateurs et les dérives verticales),
- La diminution de nuisances sonores, vibrations et fatigue des structures, l'extension du domaine de vol des engins, par suppression des sources de vibration fluide (buffet)
- L'amélioration des performances des moteurs (pompage d'entrée d'air supersonique), etc.

Travail de thèse :

Le programme de travail de la thèse sera composé de deux grandes parties :

- La première partie sera consacrée au développement d'une nouvelle génération des technologies IEMN de micro-actionneurs et micro-capteurs MEMS à caractéristiques améliorées afin de permettre une mise en œuvre expérimentale des dernières avancées conceptuelles de contrôle d'écoulements, et un élargissement des champs applicatifs adressables de ces dispositifs (contrôle d'instationnarités). Pour les micro-actionneurs, il s'agira plus particulièrement d'optimiser les paramètres physiques et géométriques du système magnéto-électro-mécanique dans le but d'obtenir des fonctions de transfert compatibles avec des lois de commande complexes exploitant la dynamique des instationnarités à contrôler. Des bandes passantes au-delà de 1 kHz sont notamment visées.

Pour les micro-capteurs de frottement pariétal et de pression nano-pirani, il s'agira tout d'abord d'adapter les designs pour élargir la bande passante au-delà de 100 kHz et de réduire les tailles caractéristiques des mesures localisées afin de résoudre le haut du spectre de la turbulence. Il s'agira dans un second temps de poursuivre l'étalonnage de ces micro-capteurs sur diverses configurations d'écoulements génériques. Des tests dans les souffleries de l'ONERA Meudon seront menés sur diverses configurations pour évaluer le comportement dynamique des capteurs dans des régimes d'écoulement différents (écoulements laminaire, transitionnel, turbulent, bas subsonique, transsonique, supersonique, transitionnels, etc.).

- La seconde partie sera consacrée à la réalisation d'une démonstration expérimentale de contrôle en boucle fermée d'instationnarités à basses fréquences dans une cavité à l'aide des micro-capteurs et micro-actionneurs MEMS précédents. Les micro-actionneurs fluidiques IEMN seront mis en réseaux et intégrés sur le montage d'une cavité ouverte de l'ONERA Meudon installé dans la soufflerie S19Ch. Les micro-capteurs MEMS de frottement pariétal et de pression nano-pirani seront implémentés : 1) en sortie directe des micro-actionneurs (éventuellement en zones confinées) pour permettre une boucle de contrôle courte de ces derniers, 2) en aval de l'écoulement dans les zones de sensibilités maximales (éventuellement confinées) pour la mise à jour temps réel de la loi de contrôle. La boucle de contrôle courte permettra d'obtenir un actionneur disposant d'une forte souplesse de commande en amplitude et en fréquence alors que la loi de contrôle pour la manipulation de l'écoulement visera à annuler les fluctuations naturelles par génération de structures en opposition de phase. Cette dernière sera bâtie à partir d'un modèle réduit basé sur la réponse fréquentielle de l'écoulement issue des équations de Navier-Stokes linéarisées autour du champ moyen et une commande robuste (voir Leclercq et al. 2019). Ce contrôle est moins coûteux et plus robuste qu'un contrôle en boucle ouverte car il ne modifie pas les propriétés moyennes de l'écoulement et car il peut s'adapter en temps réel aux variations des conditions environnantes (Reynolds, ...). Un tel contrôle représente cependant un véritable défi et il existe encore très peu d'exemples aboutis de contrôle en boucle fermée au niveau expérimental. Il est en effet nécessaire : 1) d'acquérir une bonne compréhension de la dynamique des instabilités naturelles du système pour mieux définir les caractéristiques optimales de l'actionneur, 2) de définir une loi de contrôle performante et robuste transformant un signal de mesure issu d'un capteur en une loi de contrôle dans un système dont la dynamique est fortement non-linéaire, 3) de développer de nouveaux concepts de micro-actionneurs avec une très bonne souplesse de commande en amplitude et en fréquence et de micro-capteurs à haute résolutions temporelle et spatiale pour ce qui concerne le système de contrôle.

Les livrables prévus et échéancier sont :

- La mise à disposition des nouvelles générations de micro-actionneurs (T0+12)
- La mise à disposition des nouvelles générations de micro-capteurs MEMS (T0+15)
- Caractérisations sans écoulement des dispositifs MEMS (T0+18)
- Caractérisations sous différents écoulements (T0+24)
- Démonstration d'un contrôle en boucle fermée d'instationnarités basses fréquences de cavité à l'aide des micro-capteurs et micro-actionneurs MEMS précédents et l'utilisation d'un modèle réduit représentatif de la dynamique des instabilités (T0+36)

Profil recherché :

Micro-nano-Technologies, Instrumentation, Ingénierie.