

Développement d'un micro-capteur piézoélectrique à nanofils de ZnO pour la mesure du frottement pariétal dans les écoulements hydrodynamiques

Sujet détaillé

Dans le domaine de la mécanique des fluides, les aérodynamiciens sont demandeurs de **technologies de capteur** disruptives permettant la **métrologie des écoulements aérodynamiques ou hydrodynamiques**. En effet, la complexité des équations de Navier-Stokes rend nécessaire la complémentarité entre expériences et simulations. Comprendre les écoulements pour en prévoir le comportement et les contrôler est un enjeu majeur dans ce domaine. Plus précisément, une des deux grandeurs d'importance dans les équations de la mécanique des fluides est le **frottement pariétal** (force tangentielle à la surface d'un objet lors d'une interaction fluide/objet), l'autre étant la pression pariétale [1]

Le **consortium pluridisciplinaire de ce sujet de thèse** rapproche le CROMA (C. Ghouila-Houri, G. Ardila), le LEGI (S. Hoerner, P-L. Delafin), le LMGP (V. Consonni) et le G2ELab (L. Gimeno), autour du **développement d'une nouvelle technologie de micro-capteurs de frottement pariétal**, exploitant des nanomatériaux (**nanofils de ZnO**) et permettant des mesures en milieux liquides (**écoulements hydrodynamiques**).

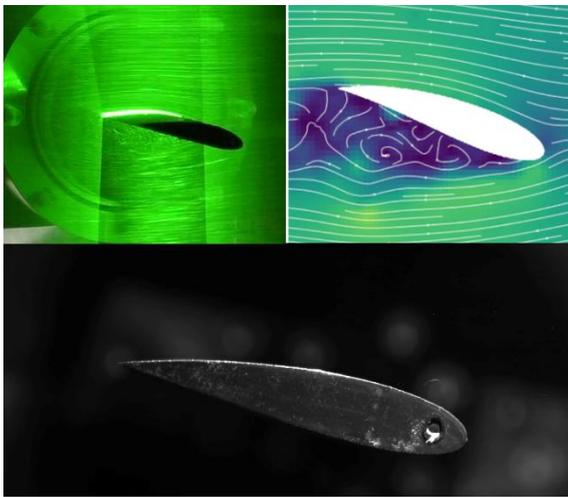


Figure 1: Décollement de l'écoulement sur un profil hydrodynamique dans la veine d'essai de Grenoble au LEGI. (en haut à gauche) Nappe laser avec traceurs d'écoulement pour la Vélocimétrie à Images de Particules (en haut à droite) Mesurages à grande vitesse de l'écoulement décollé (en bas) Profil hydrodynamique flexible

Contexte applicatif :

Le contrôle de l'écoulement au niveau des pales est un sujet important dans les domaines des turbomachines et de l'aéronautique. Dans le présent projet, nous nous intéressons à une problématique système liée aux turbines hydrocinétiques à axe vertical pour lesquelles contrôler l'écoulement permettrait non seulement une amélioration des performances mais également de leur durée de vie [2-4]. Plus précisément, le phénomène hydrodynamique à contrôler est le décollement de la couche limite sur les pales de turbines : l'écoulement ne suit plus la géométrie du profil de la pale mais s'en détache avec l'apparition d'une zone de recirculation (en forme d'un tourbillon) directement au-dessus de la surface de la pale. Le contrôle de l'écoulement sur un profil d'aile au moyen d'une modification active de sa géométrie (morphing) peut permettre d'éviter le décrochage et ainsi améliorer les performances d'une turbine, par exemple (voir Fig. 1). Afin d'avoir un mécanisme de contrôle automatique en boucle fermée, il est nécessaire de détecter le décollement de la couche limite et son évolution le long de la surface du profil. Dans ce but, ce sujet de thèse vise à développer un capteur d'épaisseur très faible (afin de ne pas perturber l'écoulement autour du profil). Ce capteur doit permettre de détecter le niveau du frottement pariétal et notamment le signe (positif ou négatif) donc la direction de ce frottement, afin de permettre l'identification du point de décollement.

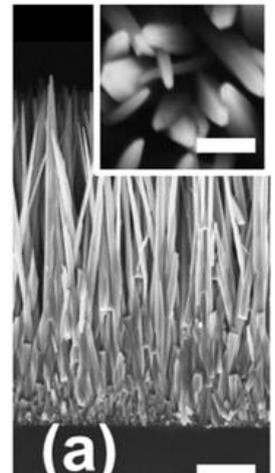


Figure 2 Nanofils de ZnO fabriqués par voie chimique (Chemical Bath Deposition)[6]

Contexte technologique

Les dispositifs piézoélectriques suscitent un intérêt croissant en tant que capteurs via l'effet piézoélectrique direct. Toutefois, les meilleures performances sont obtenues avec des matériaux dont le niveau de toxicité les rend soit compliqués à gérer soit interdits à utiliser pour des applications concrètes (par exemple le PZT contenant du plomb). Les travaux menés à CROMA dans un contexte de recherche collaboratif avec le LMGP visent à étudier des nanocomposites piézoélectriques exploitant des nanofils semi-conducteurs verticaux afin d'obtenir, grâce à la nanostructuration, des performances piézoélectriques élevées couplées à une plus grande flexibilité et des conditions de fabrication moins sévères (croissance basse température) [5-7]. L'intérêt de tels développement réside, entre autres, dans la capacité à exploiter ces matériaux pour réaliser de nouveaux concepts de capteurs.

Les nanofils présentent généralement un diamètre de plusieurs dizaines de nanomètres et une longueur d'environ un micromètre (voir Fig. 2). Grâce à cette géométrie, ils présentent généralement une excellente qualité cristalline et bénéficient de propriétés physiques remarquables liées à leur rapport surface/volume élevé. L'oxyde de zinc (ZnO), semi-conducteur, biocompatible et composé d'éléments abondants, présente notamment de nombreux atouts et peut être fabriqué sous forme de nanofils par un grand nombre de techniques de dépôt. Grâce à sa structure cristalline wurtzite, les nanofils de ZnO se développent le long de l'axe c piézoélectrique. Les réseaux de nanofils de ZnO alignés verticalement sont donc sensibles aux contraintes mécaniques et sont susceptibles d'être intégrés dans des nanocomposites piézoélectriques visant à détecter et quantifier le frottement pariétal en mécanique des fluides.

Objectif de la thèse

L'objectif de cette thèse de doctorat est ainsi de concevoir, fabriquer et caractériser un capteur miniaturisé piézoélectrique à base de nanofils de ZnO permettant une mesure directe du frottement pariétal, en écoulement hydrodynamique et sur maquette.

Pour atteindre cet objectif l'étudiant participera à : i) la conception et design à partir de simulations multiphysiques en se basant sur le savoir-faire dans le consortium de laboratoires (CROMA) [8-9], ii) le développement de procédés pour la fabrication et l'intégration de nanofils de ZnO via les différentes plateformes de salle blanche et de croissance à Grenoble (CROMA, LMGP, CIME, PTA) [6], iii) la caractérisation électrique, électromécanique et éventuellement de l'AFM (CROMA) [7][10], iv) Finalement Il/elle participera aux essais en écoulements hydrodynamiques (LEGI/CROMA) [2-3]. Le but sera de contrôler l'écoulement autour d'un profil hydrodynamique en le déformant (morphing) à l'aide d'actionneurs piézoélectriques et de fermer le circuit de régulation grâce au retour d'information du capteur développé dans le cadre de la thèse.

Le doctorant travaillera en équipe avec des étudiants de Master notamment pour le développement du packaging du dispositif puis l'instrumentation (G2ELAB/CROMA), en collaboration avec des étudiants en thèse qui se focalisent sur le développement des nanofils de ZnO (CROMA/LMGP) et enfin en collaboration avec des doctorants du LEGI pour mettre le capteur en application concrète dans le tunnel hydrodynamique (LEGI).

Références

- [1] Schlichting, H. & Gersten, K., *Boundary-Layer Theory*, Springer Berlin, (2019), /10.1007/978-3-642-85829-1
- [2] Hoerner, S., et al. *Experiments in Fluids* 62, 104 (2021). 10.1007/s00348-021-03186-8
- [3] Abbaszadeh, S., Hoerner, S., et al, *IET Renewable Power Generation*, 13, 16 (2019). 10.1049/iet-rpg.2019.0309
- [4] Delafin, P.-L., et al *Energies*. 14. 667. (2021) 10.3390/en14030667.
- [5] Bui Q C, Ardila G, et al., *Mater. Adv.* 3 498–513, 2022
- [6] Manrique M, Consonni V, Ardila G et al., *Nano Trends*. 9 100066, 2025
- [7] Jalabert T, Pusty M, Mouis M and Ardila G., *Nanotechnology* 34 115402, 2023
- [8] A. J. Lopez Garcia, M. Mouis, T. Jalabert, A. Cresti, G. Ardila, *Journal of Physics D: Applied Physics* 56 125301 2023. DOI 10.1088/1361-6463/acbc86
- [9] J. Lopez Garcia, M. Mouis, V. Consonni and G. Ardila. *Nanomaterials*, vol. 11(4), p.941 2021.
<https://doi.org/10.3390/nano11040941>
- [10] Parmar M, Leon Perez E A A, Ardila G, et al 2019 *Nano Energy* 56 859–67

Localisation

Le (la) candidat (e) travaillera dans l'équipe Micro Nano Electronics Devices (CMNE) du Centre de radiofréquences, d'optique et de micro-nanoélectronique des Alpes (CROMA) et dans l'équipe à Énergétique du Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels (LEGI). Il/Elle travaillera en collaboration avec l'équipe Nanomatériaux et Hétérostructures Avancées (NanoMAT) du Laboratoire de Génie Physique et Matériaux (LMGP).

Liens internet: <https://croma.grenoble-inp.fr/>, <http://www.lmgp.grenoble-inp.fr/>, <http://www.legi.grenoble-inp.fr>

Profil et compétences requises :

Le (la) candidat (e) doit être un étudiant en école d'ingénieur ou en Master 2 dans les domaines de l'électronique, des nanosciences et/ou de la physique des semi-conducteurs ou micro/nano systèmes ou similaire. Il est souhaitable que le candidat ait des connaissances dans un ou plusieurs de ces domaines : physique des semi-conducteurs, simulation par éléments finis, microscopie à force atomique (AFM), techniques de salle blanche et caractérisations associées (SEM, etc.). Des connaissances en mécanique et en mécanique des fluides seront un atout. Les notes et le rang obtenus en licence et surtout en master constituent un critère de sélection très important pour l'école doctorale. Des compétences spécifiques en matière de travail en équipe et d'expression orale et écrite en anglais seront appréciées. Nous recherchons des candidats dynamiques et très motivés.

Financement de la thèse de doctorat: Le financement est disponible via le pôle PEM (2025 - 2028) regroupant le CROMA, le LMGP, le G2ELAB et le LEGI dans la région grenobloise.

Contacts

Dr. Gustavo ARDILA (CROMA)	gustavo.ardila@univ-grenoble-alpes.fr	Tel : 04.56.52.95.32
Dr. Cécile GHOUILA-HOURI (CROMA)	cecile.ghouila-houri@univ-grenoble-alpes.fr	
Dr. Stefan HOERNER (LEGI)	stefan.hoerner@grenoble-inp.fr	Tel : 04.76.82.50.35