



Proposition de sujet de thèse - Contrats Doctoraux MESRI 2023-2026
Date limite : 31 Mai 2023.

Titre du sujet	Modélisation et simulations et analyses UQ d'un écoulement au voisinage de paroi micro ou nano-structurées
Directeur de thèse*	AIRIAU Christophe (prof. UPS) Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse Christophe.airiau@imft.fr
Collaboration externe	Pr. Alessandro Bottaro, DICCA, université de Gênes
Laboratoire	IMFT, équipe ASI (Aérodynamique, Sillages et Interactions)

Description du sujet

La technologie de parois nano-structurées a connu un essor important ces dernières années et ouvre des perspectives très intéressantes en terme ou de propriétés de mouillabilité (*amphiphobicity*, amphipolarité), de porosité ou de glissement d'un fluide, avec des effets éventuellement positifs sur la traînée de frottement local. La modélisation d'écoulement dans ce cadre connaît un intérêt certain, soit via des approches semi-analytiques multi-échelles soit par des simulations numériques directes locales [2-4]. Une longue collaboration avec le DICCA de Gênes existe sur cette thématique [1]. Une nouvelle approche a été initiée à l'été 2021 portant sur la modélisation, pour des micro-aspérités homogènes dans une direction, pour un fluide non Newtonien de type Carreau. Les premiers résultats prometteurs sont basés sur une analyse multi-échelle d'équation de Navier-Stokes à l'échelle microscopique et de leur adjoint aboutissant à une expression et un calcul sous FreeFem de longueurs de glissement dans différents plans de paramètres.

L'objet de la thèse consiste à améliorer la modélisation initiée en prenant en compte l'évolution de paramètres locaux, de paramètres physiques et des non linéarités associés au fluide dans diverses configurations tests 2D ou 3D avec la création et l'exploitation d'une base de données numériques.

Des simulations sous FreeFem vont permettent d'extraire les quantités pertinentes et une analyse de sensibilité et quantification d'incertitude permettra de consolider les dépendances. Une modélisation tridimensionnelle sera aussi investiguée et des simulations numériques 3D sous Fenics-x seront menées pour une extension vers des cas plus réalistes.

En fonction des avancées une extension à un ordre supérieur notamment pour une meilleure prise en compte des effets d'échelles pour le passage nano à micro puis à macro pourra être proposée. La prise en compte de la turbulence proche paroi avec une condition de glissement est une autre possibilité d'investigation. Au-delà des approches théoriques développées et de la validation numérique, l'amélioration des modèles de comportement au voisinage des parois permettra une future implémentation dans des codes plus industriels avec des applications potentiellement très intéressantes dans le transport ou dans la lubrification et plus généralement dans la sobriété énergétique.

1. Airiau, C. & Bottaro A. , "Flow of shear-thinning fluids through porous media", *Adv. Water Res.*, 2020.
2. Lasseux, D. & Valdés-Parada, F.J. & Bottaro, A. , "Upscaled model for unsteady slip flow in porous media", *J. Fluid Mech.*, Vol. 923, 2021.
3. Ahmed, E.N. & Bottaro, A. & Tanda, G. , "A homogenization approach for buoyancy-induced flows over micro-textured surfaces", *J. Fluid Mech.*, Vol. 941, 2022.
4. Ahmed, E.N. & Naqvi, S.B. & Buda, L. & Bottaro, A. , "A homogenization approach for turbulent channel flows over porous substrates: formulation and implementation of effective boundary conditions", *Fluids*, 2022.

Le candidat doit avoir un bon niveau en mécanique des fluides, Python (POO) et une bonne compréhension des méthodes variationnelles (EF, optimisation).



Thesis proposal for a Doctoral position 2023-2026
Deadline: May 31 st, 2023

Title	Modelling, simulation and UQ analysis of a flow over micro or nano wall patterns
Supervisor* *HDR	AIRIAU Christophe (prof. UPS) Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse Christophe.airiau@imft.fr
External collaboration	Pr. Alessandro Bottaro, DICCA, Genova.
Laboratory	IMFT, ASI group, Toulouse.

Research project description :

The technology of wall with structured micro and nano wall patterns has known interesting development for some years, opening some new perspectives for amphibocity properties, related to porosity, wall slip flows and skin friction reduction. The flow models are related to semi-analytical multiscale approaches and direct numerical simulations on a local flow region. Previous works have been performed in collaboration with DICCA (Genova university [5]). A new approach, initiated in 2021 consists on a modelling of micro-roughness, with homogenous assumption in the streamwise direction, and with a Carreau fluid where several multi-scale problems are solved and where quantities of interest result from an adjoint solution of the Stokes equation. The simulations are performed in FEM with FreeFem++ and the slip length at wall are determined with various parameters.

The main goal of this PhD is to improve and develop the initiated methodology by taking into account of the local fluid and geometrical parameters and non-linearity in various 2D and 3D configurations. A database will be produced and sensitivity and Uncertainty Quantification analyses will be generated to extract and confirm the parameters dependency. For 3D simulations the Fenics-X code will be used on non-academic configurations.

Depending of the accomplishments, extensions two are planned. The first one is to extend at higher order the existent theories to improve accuracy from micro to nano wall patterns flows. The second extension is to investigate the turbulence near the wall with its influence on the laminar slip velocity model.

Beyond the researches with theoretical and numerical investigations, the improvement of wall flow modelling over rough wall, at different scales, will lead to possible new implementations in industrial codes or to solve industrial configurations with potential applications in transportation, lubrication and finally to save some energy.

5. Airiau, C. & Bottaro A., "Flow of shear-thinning fluids through porous media", *Adv. Water Res.*, 2020.
6. Lasseux, D. & Valdés-Parada, F.J. & Bottaro, A., "Upscaled model for unsteady slip flow in porous media", *J. Fluid Mech.*, Vol. 923, 2021.
7. Ahmed, E.N. & Bottaro, A. & Tanda, G. , "A homogenization approach for buoyancy-induced flows over micro-textured surfaces", *J. Fluid Mech.*, Vol. 941, 2022.
8. Ahmed, E.N. & Naqvi, S.B. & Buda, L. & Bottaro, A. , "A homogenization approach for turbulent channel flows over porous substrates: formulation and implementation of effective boundary conditions", *Fluids*, 2022.

The candidate must have a good level of understanding in fluid mechanics and variational approaches (FEM, optimization), and a good ability in Python and POO.