

Offre de thèse / PhD Position – 2021

Simulations numériques de canal turbulent avec prise en compte de revêtements acoustiques par la méthode des frontières immergées

Numerical simulation of turbulent channel flows with acoustic liners using the immersed boundary method

!!! Candidature avant le 26 avril 2021 / Application before April 26th !!!

Version Française

Mots-clés : simulation numérique, turbulence, aéro-acoustique, méthodes de frontières immergées (IBM), revêtements acoustiques (liners), assimilation des données (DA).

Cette thèse concerne la simulation numérique en turbulence et aéroacoustique. Dans cette dernière discipline, les écoulements turbulents sont une source de bruit et/ou constituent un milieu dans lequel le son se propage. On peut distinguer l'aéroacoustique externe où un obstacle (train d'atterrissage, rétroviseur automobile) se situe dans un écoulement libre par ailleurs, et l'aéroacoustique interne où l'écoulement ainsi que le son sont guidés par une conduite. C'est le cas pour un réacteur d'avion par exemple, ou encore un diaphragme dans une conduite. Dans tous les cas, la simulation numérique de l'écoulement doit prendre en considération des parois de géométries plus ou moins complexes. Plusieurs méthodes sont alors disponibles, et on pense en premier lieu aux éléments finis ou volumes finis sur des grilles non structurées. Dans cette thèse un code fonctionnant avec des différences finies sera de préférence utilisé. La prise en compte des parois n'y est pas immédiate du fait du maillage Cartésien, lequel ne peut pas aisément se conformer à l'objet étudié. Toutefois, l'utilisation d'une **méthode des frontières immergées (IBM)** permet de résoudre ce problème. Dès lors un premier objectif, de nature méthodologique, de la thèse sera d'implémenter d'une telle méthode dans le code. Différentes versions ont déjà été testées au laboratoire [3] et de nombreuses variantes sont apparues dans la littérature ces dernières années qu'il conviendra de sélectionner. On étudiera la possibilité d'optimiser la méthode avec des outils d'assimilation des données (DA). Ces outils permettent de déterminer la description paramétrique optimale d'un modèle (dans ce cas l'IBM) avec l'utilisation de données de référence, normalement indiquées *observation*. Plus précisément, le filtre de Kalman [4] et version ensembliste sera utilisé pour obtenir une représentation haute-fidélité de l'écoulement proche paroi (on collaborera avec M. Meldi pour ce dernier aspect).

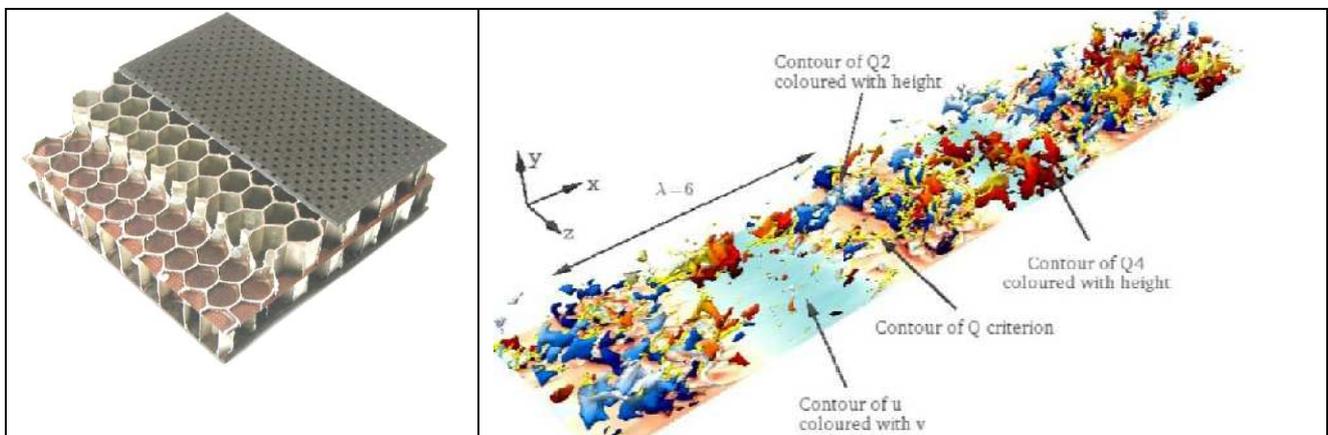


Figure 1 : à gauche, exemple de matériau acoustique utilisé en aéronautique dans les réacteurs d'avion. A droite, résultat de simulation numérique au-dessus d'un matériau acoustique modélisé par une impédance de paroi.

Un deuxième objectif, de nature scientifique, sera d'utiliser ces méthodes pour la simulation d'écoulements pariétaux avec des **cavités de paroi**. Celles-ci sont utilisées comme **revêtement acoustique** (acoustic liner en anglais) dans les réacteurs d'avion où elles permettent de réduire de manière passive le bruit de soufflante. Un exemple de tel matériau est représenté sur figure 1. On y voit des cavités en forme de nid d'abeille, qui sont placées sous une feuille perforée qui les sépare de l'écoulement. Dans un premier temps ces cavités ont été modélisées par une loi d'impédance acoustique de paroi (elles sont alors remplacées par une simple condition limite) et des simulations de canal turbulent ont été faites avec des telles impédances en paroi (figure 1 à droite) [1,2]. L'objectif de la thèse est d'inclure la géométrie des cavités dans la simulation de telle sorte qu'aucune modélisation ne soit plus nécessaire. Au contraire, la prise en compte des cavités permettra d'étudier l'interaction entre l'écoulement et les ondes acoustiques dans les cavités pour permettre une meilleure modélisation de l'impédance acoustique des matériaux absorbants. D'autres questions se posent. De manière fondamentale, on s'intéressera à l'effet d'une transpiration de paroi sur la nature de la turbulence. On pourra par exemple se demander s'il existe une analogie avec des écoulements au-dessus de rugosités. On s'intéressera aussi à l'existence d'ondes instables au-dessus des matériaux. Ces dernières ont été observées dans certaines expériences ou simulations avec des impédances de paroi [1]. On se demandera dans quelles conditions elles peuvent exister en fonction de la topologie de la paroi.

Profil du candidat : Le sujet de thèse suivant s'adresse à un candidat de qualité, titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'Ecole d'ingénieurs, dans l'un des domaines suivants: mécanique, mécanique des fluides, acoustique, simulation numérique. Le candidat doit être motivé par la simulation numérique des écoulements turbulent.

Durée de la thèse et salaire : Le travail de thèse débutera en octobre 2021 pour une durée de trois ans. Le salaire net mensuel réglementaire est d'environ 1660 € brut sur financement ministère.

Références :

- [1] Sebastian R, Marx D, Fortuné V, Numerical simulation of a turbulent channel flow with an acoustic liner, J. Sound Vib. **456**, 306-330 (2019).
- [2] Marx D, Sebastian R, Fortuné V, Spatial Numerical Simulation of a Turbulent Plane Channel Flow with an ImpedanceWall, Paper AIAA2019-2543, 25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Deft, May 2019.
- [3] Riahi H, Meldi M, Favier J, Serre E and Goncalves E, A pressure-corrected Immersed Boundary Method for the numerical simulation of compressible flows. Journal of Computational Physics, 374:361-383 (2018).
- [4] Meldi M and Poux A. A reduced order model based on Kalman Filtering for sequential Data Assimilation of turbulent flows. Journal of Computational Physics, 347:207-234, (2017).

Encadrants à contacter:

D. Marx (CNRS, Université de Poitiers, Institut P') : david.marx@univ-poitiers.fr
P. Jordan (CNRS, Université de Poitiers, Institut P') : peter.jordan@univ-poitiers.fr

English Version

Numerical simulation of turbulent channel flows with acoustic liners using the immersed boundary method

Keywords : Direct Numerical Simulation, Turbulence, Immersed Boundary Methods, Aero-acoustics, Acoustic liners, Data assimilation

This thesis concerns numerical simulation in turbulence and aeroacoustics. In the latter discipline, turbulent flows are a source of noise and / or constitute an environment in which sound propagates. We can distinguish the external aeroacoustics where an obstacle (landing gear, car mirror) is located in an otherwise free flow, and the internal aeroacoustics where the flow as well as the sound are guided by a pipe. This is the case for an airplane engine, for example, or a diaphragm in a pipe. In all cases, the numerical simulation of the flow must take into account walls of more or less complex geometries. Several methods are then available, and we first think of finite elements or finite volumes on unstructured grids. In this thesis, a code operating with

finite differences will preferably be used. The walls are not taken into account immediately because of the Cartesian grid, which cannot easily conform to the object studied. However, the use of an immersed boundary method (IBM) can solve this problem. Therefore, a first objective, of a methodological nature, of the thesis will be to implement such a method in the code. Different versions have already been tested in the laboratory [3] and many variants have appeared in the literature in recent years, which should be selected. We will explore the possibility of optimizing the method with data assimilation (DA) tools. These tools allow the optimal parametric description of a model (in this case IBM) to be determined with the use of benchmarks, normally referred to as observation. More precisely, the Kalman filter [4] and set version will be used to obtain a high-fidelity representation of the near-wall flow (we will collaborate with M. Meldi for this last aspect).

A second objective, of a scientific nature, will be to use these methods for the simulation of parietal flows with wall cavities. These are used as acoustic liner in aircraft engines where they passively reduce fan noise. An example of such a material is shown in Figure 1. It shows honeycomb-shaped cavities, which are placed under a perforated sheet that separates them from the flow. Initially these cavities were modeled by an acoustic wall impedance law (they are then replaced by a simple limiting condition) and turbulent channel simulations were made with such wall impedances (figure 1 on the right) [1,2]. The objective of the thesis is to include the geometry of the cavities in the simulation so that no modeling is necessary. On the contrary, taking into account the cavities will allow to study the interaction between the flow and the acoustic waves in the cavities to allow a better modeling of the acoustic impedance of the absorbent materials. Other questions arise. Fundamentally, we will be interested in the effect of wall transpiration on the nature of the turbulence. One might for example ask if there is an analogy with flows above roughness. We will also be interested in the existence of unstable waves above materials. The latter have been observed in some experiments or simulations with wall impedances [1]. We will ask ourselves under what conditions they can exist depending on the topology of the wall.