



Amélioration d'une méthode de frontières immergées pour la simulation d'écoulements turbulents autour de géométries complexes

Improvement of an Immersed Boundary Method for the simulation of turbulent flows around complex geometries

Soutenance de thèse – Benjamin CONSTANT

Lundi 20 mars 2023 à 14h

En présentiel : **Salle Contensou - ONERA Châtillon**

En distanciel : **Jitsi [https://rdv.onera.fr/20_03_2023_soutenance Benjamin Constant](https://rdv.onera.fr/20_03_2023_soutenance_Benjamin_Constant)**

Devant le jury composé de :

Directrices de thèse :

- Héloïse BEAUGENDRE, Maîtresse de Conférences, Université de Bordeaux
- Stéphanie PÉRON, Ingénieure de Recherche, ONERA, DAAA/DEFI

Rapporteurs :

- Eric LAMBALLAIS, Professeur des Universités, Université de Poitiers
- Julien FAVIER, Professeur des Universités, Université d'Aix-Marseille

Examineurs :

- M. Luc MIEUSSENS, Professeur des Universités, Université de Bordeaux
- M. Michel VISONNEAU, Directeur de Recherche, CNRS
- M. Marc TERRACOL, Ingénieur de Recherche, ONERA, DAAA/MSAT

Résumé/Abstract

Ce sujet de thèse concerne la simulation numérique d'écoulements turbulents compressibles autour de géométries complexes. Au cœur de la chaîne de simulation numérique, l'étape de génération de maillage est aujourd'hui le principal goulet d'étranglement d'un processus de plus en plus automatisé, et constitue un défi d'ampleur pour l'industrie aérospatiale. Pour des configurations réalistes présentant de nombreux détails géométriques complexes, cette étape peut ainsi requérir l'intervention manuelle d'un expert pour plusieurs semaines, contre des temps de calcul de l'ordre de la journée pour des simulations de type RANS. Pour cette raison, l'ONERA développe depuis plusieurs années une méthode de frontières immergées (IBM) pour s'affranchir de la génération d'un maillage conforme aux obstacles. Cette approche s'appuie sur une méthode de génération automatique et rapide de maillages cartésiens multi-blocs, et consiste à forcer explicitement la solution fluide au centre des cellules positionnées à proximité de l'obstacle immergé. Un modèle de paroi est également pris en compte pour les simulations d'écoulements à grand nombre de

Reynolds, afin d'éviter un surcoût trop important lié aux nombres de mailles cartésiennes nécessaires à la résolution de la couche limite turbulente par le maillage seul. Cette méthode s'avère particulièrement efficace pour effectuer des calculs RANS autour de configurations de type avant-projet, où elle offre un bon compromis entre temps de calcul et qualité de la solution. Cependant, la capture des coefficients pariétaux doit encore être améliorée, pour permettre une analyse quantitative fine des phénomènes physiques intervenant au sein de la couche limite turbulente.

Ces travaux de thèse ont pour principal objectif d'améliorer la robustesse et la précision de la méthode de frontières immergées développée par Péron et al., afin de démontrer que celle-ci peut être une alternative viable aux approches structurées classiques. Pour ce faire, nous proposons une méthode innovante, basée sur un positionnement optimal des points à forcer autour de la géométrie immergée selon différents critères géométriques et physiques. Ces développements visent à éliminer les oscillations parasites pouvant intervenir au voisinage de la paroi, et à améliorer l'intégration champ-proche des efforts aérodynamiques. La seconde partie de ces travaux consiste à étendre notre modélisation proche paroi à partir de l'intégration des effets de gradients de pression extérieurs, sans compromettre la stabilité globale de l'approche. Nos développements sont finalement étudiés pour différents cas-tests académiques 2D et deux cas d'applications 3D (un aérostat et un avion en configuration hypersustentée), pour des nombres de Reynolds de l'ordre du million et pour des nombres de Mach caractéristiques des régimes subsoniques et transsoniques.

This thesis concerns the numerical simulation of compressible turbulent flows around complex geometries. At the heart of the CFD workflow, the mesh generation step appears to be the major bottleneck of an increasingly automated process, and represents a significant challenge for the aerospace industry. For realistic configurations featuring multiple complex geometric details, this step may require the manual intervention of an expert for several weeks, compared to one day for a RANS-type simulation. For this reason, ONERA has been developing an immersed boundary method (IBM) for several years, to avoid the generation of a body-fitted mesh. This approach relies on an automatic and fast generation of Cartesian meshes, and consists in explicitly forcing the flow solution at the center of the cells located near the immersed obstacle. The simulation of high Reynolds number flows also requires the use of a wall model in order to restrict the number of points within the Cartesian mesh. This method has been proven to be particularly efficient to perform RANS simulations around preliminary design of complex configurations, offering a good compromise between the computation time and the quality of the solution. However, the capture of the skin coefficients still needs to be improved, to ensure a fine quantitative analysis of the physical phenomena occurring within the turbulent boundary layer.

The main objective of this thesis is to improve the robustness and the accuracy of the immersed boundary method developed by Péron et al. in order to demonstrate that it can provide a viable alternative to classical structured approaches. To that end, we propose an innovative method, based on an optimal positioning of the forcing points around the immersed geometry according to a variety of geometrical and physical criteria. These developments aim at eliminating the spurious oscillations that can occur in the vicinity of the wall, as well as improving the near-field integration of the aerodynamic forces. The latter part of this work consists in extending our near-wall modeling by taking into account external pressure gradient effects, without endangering the global stability of the approach. Our developments are finally investigated for various 2D academic test-cases and two 3D application cases (an aerostat and an aircraft in high-lift configuration), at high Reynolds numbers and for both subsonic and transonic flow regimes.

Communications

- B. CONSTANT, S. PÉRON, H. BEAUGENDRE, and C. BENOIT, *An improved Immersed Boundary Method for turbulent flow simulations on Cartesian grids*, Journal of Computational Physics, 2021
- B. CONSTANT, S. PÉRON, H. BEAUGENDRE, and C. BENOIT, *Towards a better prediction of aerodynamic coefficients in an immersed boundary context*, ECCOMAS Congress, 5-9 June 2022, Oslo

Mots clés/Keywords

Méthode de frontières immergées (Immersed Boundary Methods - IBM) ; Lois de paroi ; Simulations RANS ; Maillages cartésiens

Immersed Boundary Method ; Wall models ; RANS simulations ; Cartesian mesh