

## Sujet de stage M2

# Implémentation d'une condition limite de traction pour les écoulements subsoniques

**Lieu** : Institut de Mécanique et d'Ingénierie Bordeaux (I2M), département TREFLE, équipe SIMFI

**Encadrement** : Jérôme Jansen, Stéphane Glockner

**Contact** : jerome.jansen@u-bordeaux.fr, glockner@bordeaux-inp.fr

Notus [1] est un code de mécanique des fluides et transferts développé au sein de l'équipe SiMFI du département TREFLE à l'Institut de Mécanique et d'Ingénierie de Bordeaux. Il traite des écoulements subsoniques (incompressibles et compressibles [2]), mono-phasiques ou diphasiques, turbulents (DNS, LES, RANS), avec transferts thermiques. Ce code a fait l'objet de nombreux développements ces dernières années et est utilisé dans des projets académiques et industriels.

L'implémentation de conditions aux limites appropriées est cruciale pour la simulation numérique des écoulements. L'objectif principal de ce stage est d'implémenter dans le code Notus une condition limite de sortie de type traction pour les équations de Navier-Stokes, d'après les résultats de la littérature [3,4]. Ce type de condition permet de traiter efficacement les problèmes classiques de sortie ouverte, en supprimant ou réduisant notamment l'apparition d'instabilités liées aux recirculations en sortie ou les réflexions d'ondes.

La mise en œuvre de cette condition se fera dans le cadre des méthodes de correction de pression pour les écoulements subsonique [2,5,6] déjà implémentées dans le code. Le stagiaire procédera à la vérification et à la validation de la condition limite implémentée par rapport à différents benchmarks proposés dans la littérature pour des écoulements incompressibles : études de convergences spatiale et temporelle, écoulements mono- et di-phasique laminaires et turbulents en géométries simples et complexes.

En fonction des résultats obtenus, le stagiaire pourra explorer des pistes d'amélioration de l'implémentation. L'étude approfondie de la configuration où des sorties sur au moins deux limites adjacentes du domaine pourra être réalisée. L'extension aux écoulements monophasiques compressibles constituerait également une contribution précieuse.

Le stagiaire sera amené à développer en Fortran 90 au sein de Notus. Les simulations numériques seront réalisées sur le cluster MCIA de l'Université de Bordeaux, offrant une infrastructure de calcul haute performance (HPC).

**Compétences recherchées** : mécanique des fluides, équations de Navier-Stokes, conditions aux limites, méthodes numériques, Fortran, Python, Linux

**Durée / rémunération** : 5 à 6 mois – Indemnité légale (~640€ / mois)

**Références** :

[1] Notus CFD : <http://notus-cfd.org>

[2] Jansen, J., Glockner, S., Sharma, D., & Erriguible, A. (2024). Incremental pressure correction method for subsonic compressible flows, Personal communication.

- [3] Bozonnet, C., Desjardins, O., & Balarac, G. (2021). Traction open boundary condition for incompressible, turbulent, single-or multi-phase flows, and surface wave simulations. *Journal of Computational Physics*, 443, 110528.
- [4] Poux, A., Glockner, S., & Azaïez, M. (2011). Improvements on open and traction boundary conditions for Navier–Stokes time-splitting methods. *Journal of Computational Physics*, 230(11), 4011–4027.
- [5] Chorin, A. J. (1967). The numerical solution of the Navier-Stokes equations for an incompressible fluid. *Bull. Am. Math. Soc.*, 73(6), 928–931.
- [6] Goda, K. (1979). A multistep technique with implicit difference schemes for calculating two- or three-dimensional cavity flows. *Journal of Computational Physics*, 30(1), 76-95.