

Conditions limites spécifiques pour les schémas numériques d'ordres élevés appliqués aux équations de la mécanique des fluides et extension aux frontières immergées

Jérôme Jansen, Mathieu Coquerelle, Stéphane Glockner

Objectifs

L'objectif principal du stage est de développer, implémenter et vérifier/valider des conditions limites spécifiques pour des schémas numériques d'ordre élevé pour les équations de la mécanique des fluides (advection-diffusion, Navier–Stokes). La validation de ces nouvelles stratégies numériques seront effectuées sur des cas classiques de la littérature, puis éventuellement appliqués à des cas plus complexes. En fonction de l'avancement du stage, l'adaptation de ces schémas dans le cadre des frontières immergées, permettant de prendre en comptes des obstacles à géométrie quelconque dans le maillage cartésien, pourra être réalisée. Les développements seront réalisés dans le code Notus CFD ([site web](#)), massivement parallèle, développé à l'I2M.

Les différentes étapes identifiées sont :

- Étudier la bibliographie des schémas numériques d'ordre élevé et des stratégies d'application des conditions limites conservant l'ordre ;
- S'initier au développement dans le code Notus (Fortran) ;
- Développer et implémenter de nouveaux schémas permettant d'intégrer des conditions de type Dirichlet et Neumann, à pas variables ;
- Vérifier et valider la méthode, analyser l'ordre de convergence et la stabilité ;
- Rédiger la documentation associée ;
- Participer à la rédaction d'un article scientifique ;
- (bonus) Étendre la méthodologie aux frontières immergées (déjà intégrées dans le code).

Contexte scientifique

Notus [2] est un code de mécanique des fluides et transferts développé au sein de l'équipe SiMFI du département TREFLE à l'I2M de Bordeaux. Il traite des écoulements subsoniques (incompressibles et compressibles), mono-phasiques ou diphasiques, turbulents, avec transferts thermiques. Ce code a fait l'objet de nombreux développements ces dernières années et est utilisé dans des projets académiques et industriels.

Les schémas numériques d'ordre élevé, discrétisant de façon implicite ou explicite les équations d'advection et/ou de diffusion, sont largement utilisés dans les codes CFD. La taille des *stencils* — le nombre de points voisins utilisés pour calculer les dérivées spatiales dans une EDP — est proportionnelle à l'ordre du schéma. Ainsi, à la proximité des bords du domaine et des conditions limites, ces schémas *débordent*. Il est communément convenu d'utiliser des extrapolations de l'intérieur vers des noeuds fantômes, consistantes avec les conditions limites (de type Dirichlet ou Neumann). Une autre stratégie consiste à décaler le stencil vers l'intérieur, comme les schémas ENO [4], toutefois sans garantie de la bonne stabilité. Nous souhaitons utiliser une approche différente basée sur la réécriture des larges schémas incorporant explicitement la condition limite. La précision et la stabilité de tels nouveaux schémas restent à établir, ce qui fait le sujet de ce stage.

Les frontières immergées [3, 1] sont une méthode permettant d'intégrer des obstacles de géométrie quelconque à l'intérieur d'un domaine cartésien, en interaction avec le fluide environnant. Dans ce cas, les bords du domaine de calcul ne sont pas placés sur les faces des hexaèdres de discrétisation des volumes finis mais

coupent ceux-ci à une position connue. Les schémas précédemment développés pourront être adaptés afin de correspondre aux bords de ces obstacles immergés.

Cadre

Le stage est financé par le projet BEST 4.0 ([site web](#)), dans le cadre du workpackage Simulations Multiphysiques et sera co-encadré par Jérôme Jansen, Mathieu Coquerelle et Stéphane Glockner, chercheurs au département TREFLE, laboratoire I2M, et développeurs du code Notus.

Moyens

Une station de calcul de bureau sera mise à disposition de la stagiaire. L'équipe de développement de Notus sera en support pour les difficultés techniques éventuelles. L'accès au supercalculateur du MCIA permettra de faciliter les campagnes de vérification et validation du code.

Lieu

Le stage se déroulera au laboratoire I2M, bâtiment A11, à Talence, Nouvelle-Aquitaine.

Contact et candidature

Pour plus d'informations et pour faire acte de candidature, merci de nous transmettre votre CV et lettre de motivation à jerome.jansen@bordeaux-inp.fr, mathieu.coquerelle@bordeaux-inp.fr et stephane.glockner@u-bordeaux.fr.

Références

- [1] Antoine Michael Diego JOST et Stéphane GLOCKNER. “Direct forcing immersed boundary methods : Improvements to the ghost-cell method”. In : *Journal of Computational Physics* 438 (2021), p. 110371.
- [2] *Notus CFD*. URL : <https://www.notus-cfd.org>.
- [3] Joris PICOT et Stéphane GLOCKNER. “Reduction of the discretization stencil of direct forcing immersed boundary methods on rectangular cells : The ghost node shifting method”. In : *Journal of Computational Physics* 364 (2018), p. 18-48.
- [4] Chi-Wang SHU. “Essentially non-oscillatory and weighted essentially non-oscillatory schemes”. In : *Acta Numerica* 29 (2020), p. 701762.