

Sujet de stage : Développement d'une nouvelle méthode pour la gestion de la périodicité dans les simulations CFD

Durée : 6 mois

Démarrage : mars 2022

Lieu : CEA-Saclay, site de Saclay

Laboratoire d'accueil : DES/ISAS/DM2S/STMF/LGLS

Futurs encadrants ou contacts :

Anida KHIZAR (anida.khizar@cea.fr)

Adrien BRUNETON (adrien.bruneton@cea.fr)

Guillaume BOIS (guillaume.bois@cea.fr)

Diplôme préparé : Bac+5 – Master 2 / Diplôme École d'ingénieurs

Possibilité de poursuite en thèse : non

Mots-clés : TrioIJK, front-tracking, C++, MPI.

Contexte

Pour évaluer la sûreté des installations nucléaires, le CEA développe, valide et utilise des outils de simulation en thermohydraulique. Il s'intéresse en particulier à la modélisation des écoulements diphasiques eau-vapeur par différentes approches de la plus fine à la plus intégrale. La simulation fine (DNS, Simulation Numérique Directe diphasique) joue un rôle particulier en produisant des données de référence, ensuite comparées aux modèles à plus grande échelle. Cette démarche est appliquée à des écoulements de plus en plus complexes, dans le but, à terme, de mieux prédire le déclenchement de la crise d'ébullition.

Pour produire ces données, le service a développé une méthode de simulation fine diphasique (Front-Tracking). Cette méthode est implémentée dans notre code Open-Source de thermo-hydraulique: TRUST/TrioCFD (code orienté objet, C++) [1]. Elle permet de réaliser des simulations massivement parallèles pour décrire finement les interfaces et les structures turbulentes sans recourir à des modèles. Le code a été employé avec succès sur plusieurs applications d'écoulements à bulles pour améliorer la compréhension de la turbulence et des transferts qui doivent être modélisés [2] [3] [4] [5]. De nouvelles opportunités pour appliquer notre outil DNS à des régimes d'écoulements à phases séparées (écoulements annulaires ou stratifiés) apparaissent et créent donc le besoin de développements informatiques importants pour les rendre réalisables.

D'un point de vue informatique, le code est intégralement écrit en C++ et se base sur un parallélisme de type SPMD (Single Process Multiple Data) mis en œuvre grâce au standard MPI. Le domaine de calcul est découpé en sous-parties traitées chacune par un processeur. L'échange d'information entre les processeurs se fait par l'adjonction aux bords de chaque sous-domaine d'éléments fantômes (ghost cells) servant de vecteur d'échange avec les processeurs voisins.

D'un point de vue physique, la méthode Front-Tracking offre une grande précision des résultats mais elle est associée au suivi d'un maillage surfacique mobile et déformable (le Front), immergé dans une grille volumique fixe (maillage dit Eulérien). La qualité de ce maillage est importante. Les interactions entre les deux grilles sont complexes, surtout au niveau de la gestion des conditions aux limites. En particulier, afin de simuler des écoulements turbulents sur un petit domaine représentatif, il est nécessaire d'appliquer des conditions aux

limites périodiques sur certains bords du domaine. Ainsi dans ces directions, les grandeurs physiques se raccordent continûment d'un bord à l'autre du domaine. Cependant, il est alors difficile de maintenir la connectivité nécessaire sur le Front pour évaluer la courbure par exemple.

Actuellement, l'implémentation informatique sous-jacente de la périodicité est présente uniquement dans une application très spécifique de TrioCFD (nommée TrioIJK), et elle fait appel à un domaine étendu dans lequel le front d'interface est dupliqué artificiellement de part et d'autre des bords du domaine. Cette approche est lourde, complexe et limitée à la simulation de petites bulles. Elle ne permet donc pas de simuler une interface plane (infinie) séparant deux phases continues, comme dans les écoulements annulaires ou stratifiés.

Une nouvelle méthode a donc été développée pour remplacer ce mécanisme par l'utilisation de cellules fantômes de part et d'autre des bords périodiques, ce qui rend le code plus flexible et allège son empreinte mémoire.

Objectifs

L'objectif du stage est de passer en revue la nouvelle méthode de traitement des conditions limites de périodicité, de la consolider et d'appliquer un traitement similaire aux conditions limites périodiques dans TRUST/TrioCFD. Un challenge particulier concerne la bonne marche de ce mécanisme lorsque l'interface est plane et couvre tout le domaine de calcul, configuration qu'on retrouve pour les écoulements annulaires par exemple.

Environnement de travail

Le stage s'effectuera au sein du Laboratoire de Génie Logiciel (ISAS/DES/DM2S/STMF/LGLS) sur le site du CEA à Saclay.

Compétences requises ou souhaitées

- maîtrise de la programmation objet et du C++
- solides notions de parallélisme à mémoire distribuée (MPI)
- des connaissances de base en mécanique des fluides sont souhaitables

Profil recherché

Formation Master 2 ou équivalent en informatique, maths applis, ou génie logiciel.

Références

[1] TRUST/TrioCFD website - <http://www-trio-u.cea.fr>

[2] G. Bois, Direct Numerical Simulation of a turbulent bubbly flow in a vertical channel: Towards an improved Second-Order Reynolds Stress Model, Nuclear Engineering and Design, 2017 <http://dx.doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.01.023>

[3] A. du Cluzeau, G. Bois, A. Toutant. Analysis and modeling of Reynolds stresses in turbulent bubbly up-flows from Direct Numerical Simulations, Journal of Fluid Mechanics, Vol 866, May 2019, pp 132-168, <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.100>

[4] A. du Cluzeau, G. Bois, A. Toutant, J-M. Martinez. On bubble forces in turbulent channel flows from direct numerical simulations, Journal of Fluid Mechanics, vol 882, Jan 2020, A27, <https://doi.org/10.1017/jfm.2019.807>

[5] A. du Cluzeau, G. Bois, A. Toutant, Modelling of the laminar dispersion force in bubbly flows from direct numerical simulations, Physics of Fluids, vol 32, Jan 2020, <https://doi.org/10.1063/1.5132607>