

Proposition d'un sujet de thèse au LHEEA, Ecole Centrale Nantes

Développement d'un schéma Smoothed Particle Hydrodynamics incompressible (ISPH) en présence de géométries complexes et de raffinement local

Contacts : GUILLAUME OGER – guillaume.oger@ec-nantes.fr

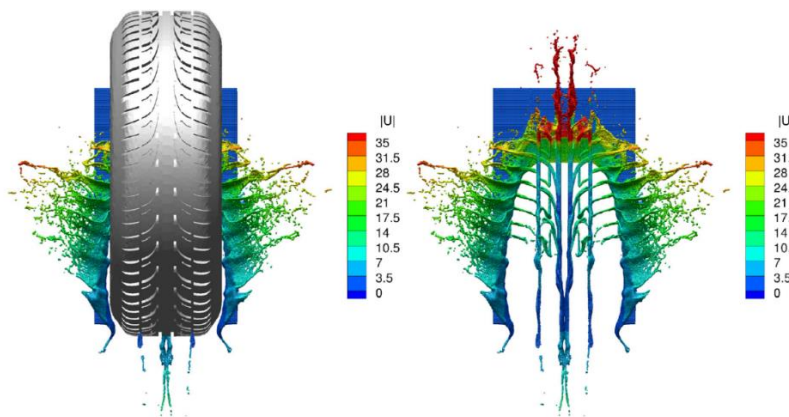
Contexte

L'Ecole Centrale de Nantes compte différents laboratoires s'adressant, entre autres, aux sciences pour l'ingénieur. Parmi ces laboratoires, le LHEEA (Laboratoire de recherche en Hydrodynamique Energétique et Environnement Atmosphérique) spécialisé en mécanique des fluides numérique et expérimentale s'investit depuis de nombreuses années dans l'étude des écoulements complexes à surface libre. Parmi les différents outils numériques abordés, la méthode SPH [1][2][3] forme un sujet de recherche pour lequel le LHEEA a acquis une notoriété internationale très bien établie.

Ce sujet de recherche s'inscrit dans la continuité de la collaboration entre Centrale Nantes et Siemens Digital Industries Software dans le domaine de la simulation numérique appliquée à la mécanique des fluides, en lançant conjointement une nouvelle chaire de recherche.

Proposée en 1977 pour l'astrophysique et adaptée pour la première fois à la simulation d'écoulements à surface libre en 1994 [4], la méthode SPH a pour particularité d'être sans maillage, particulaire et Lagrangienne, appuyant ses interpolations spatiales sur l'utilisation de noyaux de convolutions.

Initialement fondée sur une approche faiblement compressible explicite, elle permet d'envisager des calculs massivement parallèles et de résoudre des problèmes complexes en tirant parti des architectures de calcul actuelles [5]. En particulier, l'absence de grille sous-jacente permet des simulations faisant intervenir de fortes déformations d'interfaces fluides, possiblement avec déconnexions/reconnexions d'interfaces, et en interactions couplées avec des géométries complexes déformables, simulations difficilement réalisables avec des méthodes maillées.



Exemple d'écoulement à surface libre complexe simulé par la méthode SPH : roulage d'un pneumatique à travers une flaque d'eau initialement au repos.

Cependant, le caractère explicite faiblement compressible du schéma impose, via une condition CFL basée sur l'acoustique (artificielle ou physique) au sein du fluide, des pas de temps très petits et responsables de temps de calculs élevés voire prohibitifs.

Objectifs – Contenu scientifique

Cette thèse s'inscrit dans le développement d'un schéma SPH incompressible (ISPH) semi-implicite voire pleinement implicite, permettant de soulager partiellement ou totalement cette contrainte liée à la condition CFL et d'accélérer drastiquement les simulations, tout en conservant les avantages inhérents à cette méthode particulière.

Ces travaux de recherches s'articulent autour de trois axes :

Axe 1: Développement du cœur de schéma incompressible ISPH

Cet axe de recherche est dédié à l'analyse et à la compréhension des différents schémas ISPH disponibles dans la littérature, puis à l'élaboration d'un schéma présentant le meilleur compromis coût/précision. Les questions relatives à la résolution d'une équation de Poisson (PPE) adéquate en termes de compromis précision/coût, ainsi que la gestion des impositions des conditions de surface libre (condition dynamique notamment) seront au centre de ces recherches. Dans ce but, les deux approches "Divergence Free" (DF) [6] et "Density Invariant" (DI) [7] pourront être considérées, sans exclure les possibilités de les cumuler/hybrider. Une attention spéciale sera portée autour de la stabilité et de la régularité des champs solutions, obtenus sur différents benchmarks académiques.

Axe 2: Conditions aux limites compatibles avec le schéma ISPH retenu

Cet axe concerne l'adaptation et l'amélioration de la technique des particules fantômes au schéma ISPH retenu dans l'Axe 1. Le caractère bien posé des équations discrètes incluant les variables imposées aux particules fantômes sera étudié, afin d'imposer correctement les conditions cinématiques et dynamiques sur les parois solides tout en aidant à résoudre la PPE. La deuxième action est l'adaptation à ISPH de la méthode BIM (Boundary Integral Method) [8] utilisée dans le solveur SPH faiblement compressible, afin de prendre en compte toute géométrie complexe.

Axe 3: Méthode de résolution spatiale variable au sein du schéma ISPH

Un schéma à résolution spatiale variable nommé "Adaptive Particle Refinement" (APR) [9] est déjà implémenté au sein du solveur SPH faiblement compressible. Cet axe vise à l'adaptation de cette technique au schéma ISPH, tout en demeurant compatible avec la technique d'imposition des conditions aux limites étudiées dans l'Axe 2.

Environnement de la thèse

La thèse se déroulera dans les locaux du LHEEA (Centrale Nantes). Ce travail sera conduit au sein d'une équipe de développement sur la méthode SPH, réunissant plusieurs chercheurs, post-doctorants et doctorants. Il pourra débuter dès septembre 2023.

Bibliographie

- [1] G. Oger, M. Doring, B. Alessandrini and P. Ferrant, Two-Dimensional SPH Simulations of Wedge Water Entries. *Journal of Computational Physics*, vol. 213, pp. 803-822, 2007.
- [2] G. Oger, S. Marrone, D. Le Touzé, M. de Leffe, SPH accuracy improvement through the combination of a quasi-Lagrangian shifting transport velocity and consistent ALE formalisms, *Journal of Computational Physics*, vol. 313, pp.76-98, 2016.

- [3] G. Fourey, C. Hermange, D. Le Touzé, G. Oger, An efficient FSI coupling strategy between Smoothed Particle Hydrodynamics and Finite Element methods, *Computer Physics Communications*, vol. 217, pp. 66-81, 2017.
- [4] J.J. Monaghan, Simulating free surface flows with SPH, *Journal of Computational Physics*, 110, 399-406, 1994.
- [5] G. Oger, D. Le Touzé, D. Guibert, M. de Leffe, J. Biddiscombe, J. Soumagne, J.-G. Piccinali, On Distributed Memory MPI-based Parallelization of SPH Codes in Massive HPC Context, *Computer Physics Communications*, vol. 200, pp.1-14, 2016.
- [6] S. Cummins, M. Rudman, An SPH projection method, *Journal of Computational Physics*, 152, 584–607, 1999.
- [7] S. Shao, E.Y.M. Lo, Incompressible SPH method for simulating newtonian and non-newtonian flows with a free surface, *Advances in Water Resources*, 26, 787–800, 2003.
- [8] L. Chiron, M. De Leffe, G. Oger, D. Le Touzé, Fast and accurate SPH modelling of 3D complex wall boundaries in viscous and non viscous flows, *Computer Physics Communications*, vol. 234, pp. 93-111, 2019.
- [9] L. Chiron, G. Oger, M. De Leffe, D. Le Touzé, Analysis and improvements of Adaptive Particle Refinement (APR) through CPU time, accuracy and robustness considerations, *Journal of Computational Physics*, vol. 354, pp. 552-575, 2018.