

Modélisation multi-échelles des écoulements diphasiques. Applications à la lubrification et à l'injection carburant

Thématique Scientifique : Ecoulement Diphasique, Simulation aux Grandes Echelles, Maillages non-structurés, Méthodes Euler-Lagrange.

Encadrants : V. Moureau, CORIA
M. Cailler, Safran Tech
Type d'allocation : Bourse CIFRE SAFRAN TECH
Début de thèse : 1er semestre 2022

Description du sujet :

Les écoulements diphasiques jouent un rôle prépondérant dans de multiples composants des moteurs et équipements aéronautiques. La maîtrise et la compréhension fine de ces écoulements complexes et fortement non linéaires est un enjeu crucial pour assurer les niveaux de rendement ainsi que l'opérabilité des différents modules. Par exemple, lors de la conception du système de lubrification d'une boîte de transmission ou de réduction, il est primordial de caractériser i) la qualité de la lubrification de la zone de contact entre les pignons afin de maîtriser les pertes mécaniques et ii) la circulation globale de l'huile afin d'optimiser les pertes visqueuses liées à la présence de l'huile. De même, dans les chambres de combustion, la qualité de l'atomisation du spray carburant influence au premier ordre l'homogénéité du mélange entre l'air et le carburant et par conséquent l'opérabilité du moteur : ré-allumage et extinction.

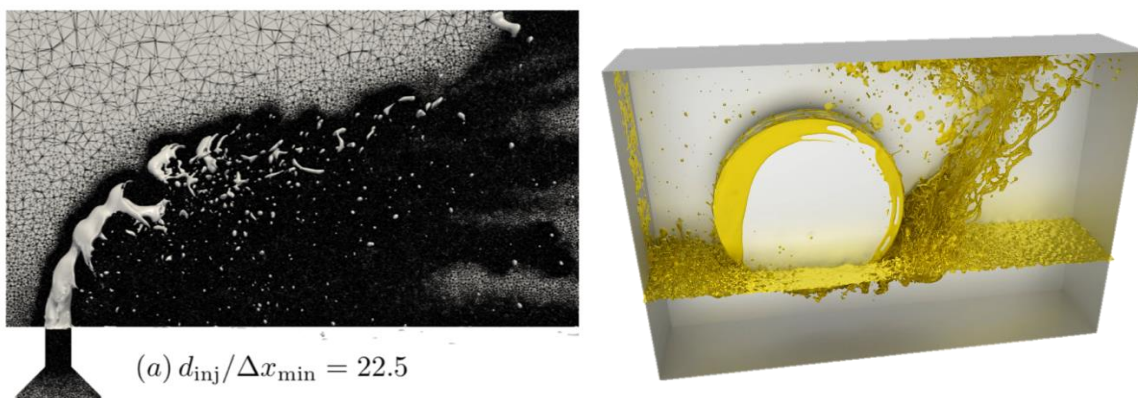


Figure 1 : (gauche) Simulation d'un jet carburant dans un écoulement d'air transverse avec adaptation de maillage dynamique [Janodet et al. 2021]. (droite) Simulation du barbotage d'un disque lisse en rotation dans un bain d'huile [Cailler et al. 2019].

Depuis plusieurs années, le CORIA et Safran Tech travaillent au développement d'une méthodologie Haute-Fidélité LES basée sur une approche de capture d'interface et d'Adaptation de Maillage Dynamique [1,2,3,4] dans la plateforme YALES2 [5]. Cette approche permet de décrire de façon fiable les instabilités interfaciales à l'origine de l'éventuelle déformation de l'interface et de son atomisation (voir Figure 1).

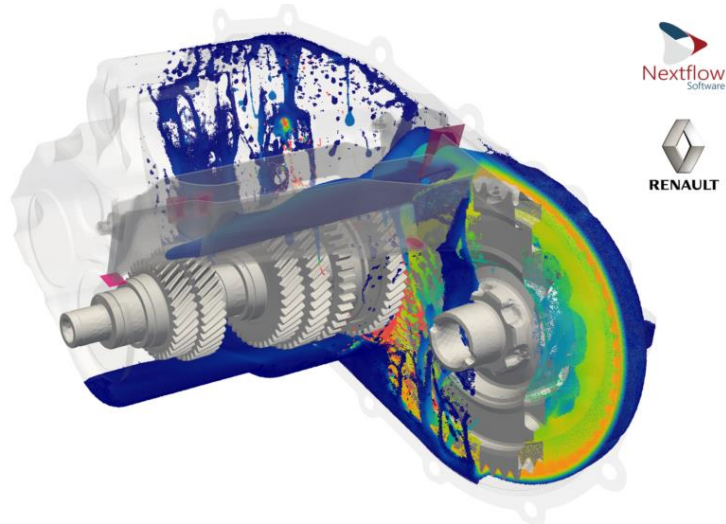


Figure 2 : Modélisation de la lubrification dans une boîte de vitesse par une méthode SPH (copyright Nextflow/Renault)

En complément de cette approche de référence, Safran cherche à se doter d'une méthodologie à coût de calcul réduit afin d'être utilisée dans les Bureaux d'Etude en phase d'optimisation de design. Dans ce contexte, la thèse proposée consiste à développer une nouvelle approche de modélisation permettant de décrire la dynamique globale d'écoulements diphasiques complexes avec un niveau de fidélité et un coût de calcul maîtrisé. Sur les deux périmètres applicatifs visés, la méthode devra rendre compte des caractéristiques macroscopiques principales de l'écoulement diphasique à savoir par exemple : sa trajectoire, sa position, sa forme, sa cohérence.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs modélisations alternatives aux méthodes volumes finis classiques sont envisagées. La première est une approche hybride basée sur une représentation Lagrangienne type SPH [6] (Smoothed Particle Hydrodynamics) de la phase liquide et une description Eulérienne de la phase gazeuse. La nature Lagrangienne des méthodes SPH les rendent bien adaptées aux dynamiques rapides d'écoulement dans des géométries complexes comme illustré sur la Figure 2. Le couplage entre méthode Lagrangienne et Eulérienne permet de transporter à un coût de calcul réduit (sans adaptation de maillage) l'interface liquide/gaz tout en conservant une description fiable de l'écoulement gazeux. La description des effets de tension de surface à l'interface liquide/gaz sera un point d'attention important de la méthode. La seconde stratégie que l'on cherchera à explorer est une approche dite codimensionnelle [7]. Cette approche repose sur une représentation différenciée des multiples topologies d'interface : une goutte est représentée par un point, un ligament par un segment, un film par un ensemble de triangles, et un cœur dense par un assemblage de tétraèdres. Cette représentation particularisée permet de décrire à un coût réduit les différentes structures liquides. Le défi dans cette approche est de résoudre les équations de

Navier-Stokes incompressibles avec tension de surface sur des éléments géométriques de dimension variable. Les deux méthodes profiteront pleinement des structures de données existantes dans YALES2, ce qui devraient permettre d'avoir un cadre commun pour mieux les comparer. Les deux approches seront destinées à réaliser des simulations instationnaires 3D de géométries complexes sur des supercalculateurs massivement parallèles et un travail important d'optimisation de la méthodologie, en particulier via l'implicitation de l'avancement temporel et en assurant la répartition de la charge de travail sur les processeurs, sera indispensable.

Organisation du travail :

Outre la revue bibliographique de début de thèse et la rédaction du manuscrit en fin de doctorat, la thèse se décompose en trois parties :

- i) La dérivation, l'implémentation et le test sur des configurations canoniques des différentes approches de modélisation envisagées.
- ii) L'optimisation des méthodes et l'implicitation de l'avancement temporel, suivis par la mesure des erreurs et des performances.
- iii) La validation des méthodologies sur des cas de complexité graduelle ainsi que l'application sur des cas industriels représentatifs.

Le doctorant partagera son temps de travail entre le centre SAFRAN Tech (Paris Saclay) au sein de la plateforme *Digital Sciences & Technologies* (DST) dans l'équipe *Multiphysics Flows Simulation Methods* (MUST) et le laboratoire CORIA (Rouen).

Moyens utilisés :

- **Logiciels du CORIA** : YALES2 (Plateforme R&T Safran, Développée au CORIA)
- **Moyens de calcul** : moyens internes SAFRAN Tech, TGCC, moyens nationaux via les appels GENCI et européens via PRACE

Références :

- [1] Janodet, R., Vaudor, G., Lartigue, G., Benard, P., Moureau, V. & Mercier, R. (2019) An unstructured conservative level-set algorithm coupled with dynamic mesh adaptation for the computation of liquid-gas flows. 29th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ILASS Europe). Paris, France.
- [2] Janodet, R., Guillamon, C., Moureau, V., Mercier, R., Lartigue, G., Benard, P., Menard & T., Berlemont, A. (2021) A massively parallel accurate conservative level set algorithm for simulating turbulent atomization on adaptive unstructured grids. Under revision for Journal of Computational Physics.
- [3] Leparoux, J., Mercier, R., Moureau, V. & Musaefendic, H. (2018) Primary atomization simulation applied to a jet in crossflow aeronautical injector with dynamic mesh adaptation. Proceedings of ICLASS (July), 22–26.

- [4] Cailler, M., Mercier, R. & Moureau, V. (2019) Oil lubrication simulation using sharp interface capturing method and dynamic mesh adaptation. 10th International Conference on Multiphase Flow. Rio de Janeiro, Brazil.
- [5] YALES2 web site, <http://www.coria-cfd.fr>
- [6] Shadloo, M. S., Oger, G. & Le Touze, D. (2016) Smoothed particle hydrodynamics method for fluid flows, towards industrial applications: Motivations, current state, and challenges. Computers and Fluids
- [7] Zhu, B., Qhuigley, E., Cong, M., Solomon, J. & Fedkiw, R. (2014) Codimensional Surface Tension Flow on Simplicial Complexes. ACM Transactions on Graphics. Volume 33, Issue 4

Candidature :

Ingénieur ou master avec des compétences en mécanique des fluides et un goût prononcé pour les méthodes numériques, le développement, la modélisation et la simulation numérique dans un environnement HPC.

Pour postuler merci d'envoyer lettre de motivation, CV et bulletins de notes à vincent.moureau@coria.fr et melody.cailler@safrangroup.com