

Modélisation des transferts thermiques au sein d'écoulements turbulents et diphasiques à bulles.

Labo d'accueil : DEN/DM2S/STMF/LMSF

Encadrant : Guillaume BOIS

Directeur : Adrien TOUTANT, Université de Perpignan, laboratoire PROMES (UPR 8521)

Ecole doctorale : ENERGIE ET ENVIRONNEMENT (E2), numéro 305

Résumé pour l'étudiant

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. Entre les deux, les modèles moyennés à deux fluides permettent de décrire précisément le comportement de certains composants. Ces modèles s'appuient sur des corrélations locales très difficiles à établir expérimentalement. L'objectif de la thèse proposée est de poursuivre le développement et l'application d'une démarche multi-échelles où la simulation fine est utilisée comme « expérience numérique » pour produire des données de référence. Ces données sont ensuite moyennées pour être comparées aux modèles moyennés utilisés à plus grande échelle.

Le laboratoire d'accueil travaille depuis plusieurs années au développement de méthodes de simulation fine diphasique (Front-Tracking). Ces méthodes sont implémentées dans le code de thermo-hydraulique TrioCFD. Des simulations massivement parallèles permettent de décrire finement les interfaces et les structures turbulentes sans recourir à des modèles. Une première thèse (se terminant en octobre 2019) s'est intéressée à la modélisation RANS (modèles à 2 fluides) des transferts de quantité de mouvement (échange entre phases et turbulence) [1]. Pour cela, les travaux se sont appuyés sur des simulations numériques directes (DNS) diphasiques réalisées dans des conditions simplifiées, sans coalescence, sans transferts thermique et sans changement de phase.

A présent, le travail proposé consiste à étendre la méthode numérique à la résolution des transferts thermiques à l'aide de la méthode Ghost Fluid [2]. Ensuite, le candidat s'intéressera à la simulation d'écoulements turbulents, anisothermes et diphasiques en régime à bulles dans un canal plan. A partir de celles-ci, les moyennes nécessaires à la modélisation seront extraites et comparées aux modèles existants. Selon les principes développés au cours de la première thèse, de nouveaux modèles seront développés pour améliorer les prédictions des phénomènes identifiés comme prépondérants. Ainsi, les conditions étudiées se rapprochent de conditions réelles d'ébullition mais s'affranchissent néanmoins des mécanismes de coalescence, de nucléation et de croissance de bulles pour se concentrer sur les transferts thermiques comme c'est souvent le cas dans une approche par effets séparés. L'intérêt de l'étude porte sur le phénomène de recondensation des bulles de vapeur au cœur de l'écoulement en condition sous-refroidie.

La thèse inclura des aspects numériques (implémentation et validation de la méthode Ghost Fluid, résolution de l'équation de conservation d'énergie avec température interfaciale imposée), la réalisation de simulations massivement parallèles sur cluster et enfin des aspects modélisation des flux thermiques turbulents et du taux de recondensation des bulles au cœur de l'écoulement.

[1] A. du Cluzeau, *Caractérisation et modélisation par remontée d'échelle des efforts interfaciaux et de la pseudoturbulence dans les écoulements diphasiques à bulles*, Thèse de doctorat Oct. 2016-2019.

[2] T. Ménard, S. Tanguy, A. Berlemont, *Coupling level set/VOF/ghost fluid methods: Validation and application to 3D simulation of the primary break-up of a liquid jet*, IJMF Vol. 33, pp 510-524, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2006.11.001>.

Summary

CEA is deeply involved into the improvement of Nuclear Reactor Safety. To reach this objective, it develops, validates and uses simulation tools in thermal-hydraulics at different scales, from the finest scale to the largest one where the full power plant is simulated. In between, the use of Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) two-fluid models is the most reliable and common tool encountered. However, the accuracy of the predicted results highly depends on the quality of the constitutive relations used to close the turbulent and interfacial transfers. Those models rely on local correlations very difficult to establish based on experiments because they require the measurement of high-order statistics in difficult pressurized conditions (*e.g.*, correlations between velocity/temperature fluctuations in high pressure saturated conditions). Hence, the main objective of this PhD proposal is to continue to develop and extend an up-scaling methodology relying on local-scale simulations to produce reference data. These simulations viewed as “numerical experiments” are then averaged and compared to averaged models used at the larger scales.

Our laboratory has been working on the development of Front-Tracking methods for a long time. An implementation is available in our open-source code TrioCFD. Heavy parallel computations enable the Direct Numerical Simulation (DNS) of the interaction between turbulence and interfaces with minimal modelling hypotheses. A first PhD (ending oct. 2019) was focused on two-fluid RANS modelling of interfacial and turbulent transfers in adiabatic bubbly flows [1]. The work relied on DNS performed on up-ward turbulent bubbly flows. Coalescence, contact line and heat transfer were eliminated in this first step.

The proposed work will extend the numerical method to the heat transfer resolution involving the implementation of a Ghost Fluid Method [2]. Then, the candidate will perform simulations of turbulent bubbly flows with heat transfer in a periodic channel. From these DNS, averaged quantities will be extracted and compared to existing models. According to the principle developed in the first PhD, new models will be searched for to tackle mechanisms identified as predominant. Hence, simulations will take a step further towards actual operating conditions in boiling flows; for instance, this work should provide relevant information for the study of bubble condensation rate in sub-cooled core-flow conditions. Coalescence and nucleation will be put aside to focus on heat transfer in a classical step-by-step approach.

The PhD will include several numerical aspects (development and validation of the Ghost Fluid Method, resolution of the energy equation with a prescribed saturated temperature at the interface), the realization of HPC simulations on clusters and their post-processing and finally concentrate on modelling aspects to develop closures to the turbulent heat transfer and condensation rate in sub-cooled flow conditions.

- [1] A. du Cluzeau, *Caractérisation et modélisation par remontée d'échelle des efforts interfaciaux et de la pseudoturbulence dans les écoulements diphasiques à bulles*, Thèse de doctorat Oct. 2016-2019.
- [2] T. Ménard, S. Tanguy, A. Berlemont, *Coupling level set/VOF/ghost fluid methods: Validation and application to 3D simulation of the primary break-up of a liquid jet*, IJMF Vol. 33, pp 510-524, 2007, <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2006.11.001>.