



## Sujet de stage : Modélisation des transferts thermiques aux interfaces liquide/vapeur par Simulation Numérique Directe (DNS) dans TrioCFD.

**Durée :** 6 mois

**Démarrage :** mars 2025

**Lieu :** CEA-Saclay, site de Saclay

**Laboratoire d'accueil :** DES/ISAS/DM2S/STMF/LMSF

**Encadrant :** BOIS Guillaume, STMF/LMSF (mail : [guillaume.bois@cea.fr](mailto:guillaume.bois@cea.fr))

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

**Possibilité de poursuite en thèse :** oui

**Mots-clés / spécialité :** Mécanique des fluides, thermodynamique, développement (C++ de préférence), simulation numérique.

### 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. Afin de mieux comprendre les écoulements diphasiques, le laboratoire travaille à la mise en place d'une démarche multi-échelles où la simulation fine (DNS, Simulation Numérique Directe diphasique) est utilisée comme « expérience numérique » pour produire des données de référence. Ces données sont ensuite moyennées pour être comparées aux modèles utilisés à plus grande échelle. Cette démarche est appliquée aux écoulements bouillants en intégrant progressivement des niveaux de complexité croissants. Un des objectifs à long terme est de mieux prédire le déclenchement de la crise d'ébullition en condition industrielle. Pour y parvenir, il est essentiel d'étudier les transferts thermiques interfaciaux qui nécessitent des échelles de résolution très fines. Les coûts de calcul associés à l'étude d'effets collectifs en essaims de bulles deviennent prohibitifs et ne permettent pas des études paramétriques. Nous travaillons donc au développement de modèles intermédiaires, similaires aux Simulations des Grandes Echelles (LES) et lois de parois, adaptés au diphasique.

Le laboratoire a développé une méthode de simulation fine diphasique (Front-Tracking) qui est implémentée dans le code Open-Source de thermo-hydraulique du laboratoire : TRUST/TrioCFD **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (code orienté objet, C++). Lors de plusieurs thèses, elle a permis de réaliser des simulations massivement parallèles pour décrire finement les interfaces sans recourir à des modèles, par exemple dans des groupes de bulles (appelés essaims) **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** D'autres travaux ont permis de mettre au point une méthode intelligente de résolution de transferts thermiques interfaciaux sur grilles grossières, appelée LRS [4]. L'objectif du stage sera de poursuivre son évaluation à plus fort nombre de Reynolds et d'évaluer son applicabilité dans des configurations d'essaims.

Les travaux incluent des aspects numériques avec la validation de la méthode numérique ainsi que des aspects physiques avec l'analyse des flux thermiques turbulents obtenus par simulations massivement parallèles.

### Objectifs du stage

Le travail proposé vise à étendre les capacités actuelles du modèle LRS vers des simulations plus complexes et d'évaluer sa convergence vers une solution de référence. Cela implique tout d'abord d'exploiter les capacités du code pour produire des données convergées sur des simulations de référence, puis d'évaluer la convergence du modèle. Déroulement du stage :

1. Prise en main du code de calcul et de la méthode de Front-Tracking.
2. Simulations HPC de référence : (i) bulle isolée et (ii) essaim à nombre de Reynolds modéré.
3. Robustesse et convergence en maillage de la méthode LRS sur bulle isolée.
4. Développements (C++) pour traiter l'approche de deux bulles avec la méthode LRS.
5. Application du modèle LRS à de petits essais de bulles.

Un sujet de thèse dans la continuité est proposé (le processus de sélection pour la thèse est indépendant de celui du stage). Il s'agira notamment de réaliser des simulations LRS de référence d'essai de bulles avec ou sans parois. Les données seront alors analysées pour développer des modèles des transferts thermiques interfaciaux et pariétaux.

- [1] Trio\_CFD webpage : <http://trio CFD.cea.fr/recherche/modelisation-physique/two-phase-flows>
- [2] A. du Cluzeau. *Modélisation physique de la dynamique des écoulements à bulles par remontée d'échelle à partir de simulations fines*. Université de Perpignan, 2019. Français. (NNT : 2019PERP0012). (tel-02336611).
- [3] G. Ramirez. *Dynamique spectrale de l'interaction entre l'agitation induite par les bulles et la turbulence*. Université de Toulouse, 2024. Français. (NNT : 2024TLSEP053). tel-04649383
- [4] M. Grosso, G. Bois, A. Toutant, *Thermal boundary layer modelling for heat flux prediction of bubbles at saturation: A priori analysis based on fully-resolved simulations*, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 222, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124980>.

## Environnement de travail

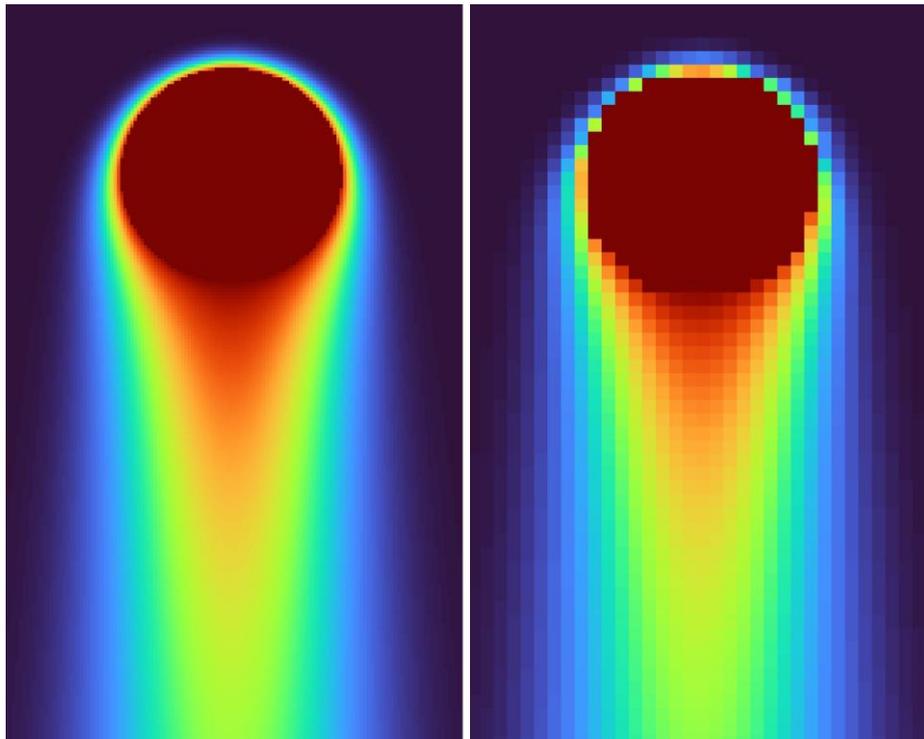
Le stage se déroulera sur Linux, au centre CEA de Saclay au sein du Laboratoire de Modélisation et de Simulation en Mécanique des Fluides (LMSF).

**Compétences** Mécanique des fluides, développement C++, Thermodynamique.

Intérêt pour la simulation numérique et le développement informatique, esprit d'analyse et de synthèse, regard critique.

## Profil recherché

Ecole d'ingénieur ou en master 2 avec composante en Mécanique des fluides. Développement (C++) serait un atout.



Simulation du champ de température autour d'une bulle en Front-Tracking avec TRUST/TrioCFD (maillage convergé à gauche, modèle LRS à droite)