



## Proposition de stage de M2

# Simulations d'écoulements anisothermes fluide - particules : calcul précis d'une indicatrice aux faces

### Mots-clés

Mécanique des fluides numérique, Thermique, Ecoulement diphasique fluide - particules, Front-Tracking, Simulation Numérique Directe

### Contexte

La modélisation et la simulation des écoulements solide-gaz à haute température a un impact important sur le développement des technologies solaires à concentration du futur pour plusieurs raisons :

- Les lits fluidisés peuvent être mis en œuvre comme nouveau fluide de transfert dans les récepteurs des centrales solaires de 3<sup>ème</sup> génération (particules inertes, projet européen Next-CSP).
- Les réactions gaz-solide sont majoritaires dans l'industrie minérale, secteur prometteur pour le développement des applications de la chaleur solaire dans l'industrie (décarbonatation, projet européen SOLPART).
- Le craquage du méthane ou du gaz naturel pour produire de l'hydrogène et des noirs de carbone peut se faire dans un réacteur solaire opérant à 1100°C environ. Le gaz naturel est décomposé sur des particules de graphite.

### Objectif

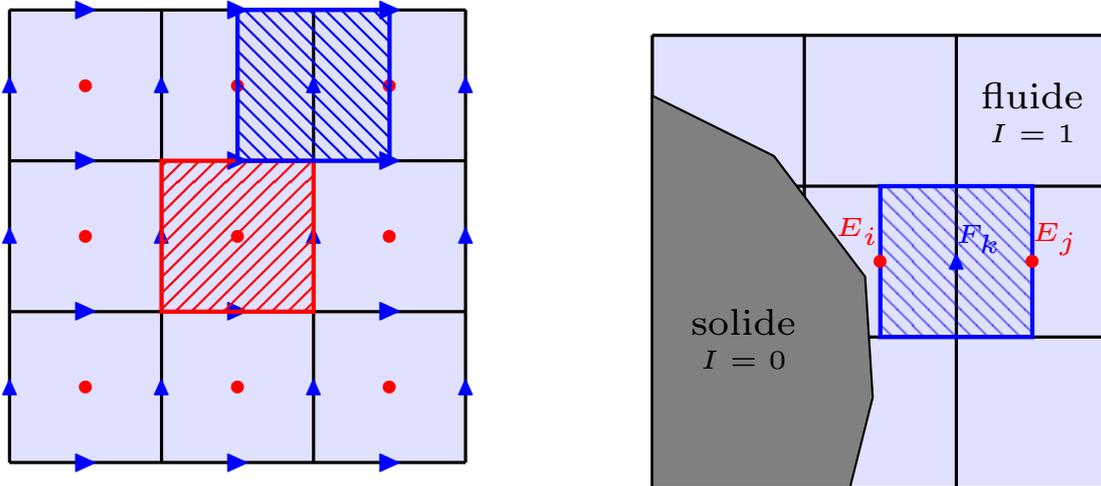
Une méthode de simulation numérique directe d'écoulements fluide - particules solides, utilisant la méthode *Front-Tracking* (FT) du logiciel TrioCFD et une approche *Discrete Element Method* (DEM), a récemment été développée. La fonction indicatrice permet de connaître le taux de présence solide dans chaque maille du domaine. Elle est calculée précisément au centre des mailles cubiques et interpolée aux faces de celles-ci. L'erreur commise lors de l'interpolation influe d'autant plus sur le frottement que le rapport de viscosité entre les deux phases est important. Les particules solides étant définies comme un liquide dont la viscosité est très grande ( $> 10^3$ ) devant la viscosité du fluide, le frottement à l'interface fluide - particule est surestimé. L'objectif du stage est d'implémenter un calcul précis de la fonction indicatrice aux faces des mailles.

### Méthode

La méthode FT du logiciel TrioCFD est une méthode puissante pour la simulation des écoulements diphasiques. Elle utilise un maillage mobile de surface qui représente explicitement les interfaces. Elle permet donc de décrire précisément la géométrie des particules ainsi que les interactions entre le fluide et les particules. Ce maillage est superposé au maillage eulérien, fixe, sur lequel les équations de Navier-Stokes sont résolues. Récemment, cette méthode initialement développée pour les écoulements liquide - gaz a été adaptée pour les écoulements fluide - particules solides. Les interactions particules - particules sont modélisées par des lois de collision (DEM). Le caractère indéformable des particules est obtenu grâce à une pénalisation par la viscosité : une viscosité très importante est utilisée dans les mailles occupées par la phase solide (les particules). Dans les volumes de contrôle traversés par l'interface entre les particules et fluide, on utilise une viscosité moyenne en fonction de la proportion occupée par la phase solide (taux de présence).

La résolution des équations de Navier-Stokes se fait par une méthode *volume of fluid* (VOF). Des bilans volumiques doivent être calculés et cela implique la connaissance de grandeurs à différents endroits d'intérêts. On distingue alors les éléments et les faces. Les éléments sont situés au centre des mailles cubiques et représentent également les nœuds de pression (voir fig. 1a). Le volume de contrôle d'un élément est défini par 6 faces au centre desquelles est calculée la vitesse. Actuellement, le taux de présence est calculé précisément aux éléments et interpolé aux faces. Cependant l'interpolation est

linéaire, l'indicatrice aux faces est donc la moyenne de l'indicatrice des éléments qui se situe de part et d'autre de cette face. Cela pose des problèmes près de l'interface. Des faces dont le volume de contrôle n'est pas traversé par l'interface peuvent tout de même avoir un taux de présence indiquant que la maille est diphasique (voir fig. 1b). Le rapport de viscosité entre le fluide et les particules solides étant très important ( $> 10^3$ ), une mauvaise estimation de ce dernier dans les mailles proches de l'interface peut mener à une surestimation des frottements. Dans le cadre des simulations fluide - particules solides, il est donc très important de calculer précisément le taux de présence solide aux faces du maillage de la même manière que cela est déjà fait aux éléments.



(a) Représentation de la discrétisation du domaine (b) Volume de contrôle d'une face proche de l'interface  
 • : éléments (nœuds de pression), ▲, ► : faces (nœuds de vitesses), : volume de contrôle de l'élément, : volume de contrôle de la face  
 $E_i, E_j$  : éléments,  $F_k$  : face

FIGURE 1 – Schémas 2D du maillage

### Programme de recherche

- Prise en main du code
- Implémentation du calcul de l'indicatrice au face
- Validation des développements par confrontation à des cas de validation classiques (sédimentation, contact sur une paroi...)

**Profil du candidat :** Niveau BAC+5 (Master ou Ingénieur). Le candidat devra avoir une solide formation en mécanique des fluides et/ou en informatique. Un attrait pour le travail numérique est indispensable. Une habileté avec  $\text{\LaTeX}$ , Linux et un langage de programmation (C/C++, Python) sera appréciée.

**Lieu de stage :** Laboratoire PROMES – Site de Perpignan.

**Rémunération :** Gratification forfaitaire en vigueur ( $\approx 590$  euros/mois)

**Candidature :** Les lettres de candidature devront être accompagnées d'un CV et adressées à l'ensemble des encadrants.

### Encadrement

Edouard BUTAYE - edouard.butaye@promes.cnrs.fr

Adrien TOUTANT - 04 68 68 27 09 - adrien.toutant@univ-perp.fr

Samuel MER - 04 68 68 22 25 - samuel.mer@univ-perp.fr