

Proposition de Postdoctorat

Simulations numériques fines des transferts radiatifs entre particules dans les lits fluidisés Application aux centrales solaires à concentration

Contexte

Les **lits fluidisés circulants** possèdent des caractéristiques exceptionnelles en termes de transport et de mélange, de mise en contact entre la phase dispersée et le milieu gazeux, d'inertie thermique et de transfert en parois. Ces caractéristiques les rendent très présents dans le domaine de l'énergie notamment pour le développement de procédés innovants qui répondent aux enjeux de la transition énergétique. Les lits fluidisés circulants gaz-solide sont étudiés par le PROMES comme une alternative aux **fluides caloporteurs** qui sont utilisés pour transporter la chaleur obtenue à partir du rayonnement solaire dans les **centrales solaires à concentration** notamment dans le cadre des projets européens CSP2 et Next-CSP [1 - 4]. Dans ce procédé, le rayonnement solaire est concentré sur des tubes verticaux au sein desquels circule un mélange gaz-particules. La compréhension et la maîtrise des régimes d'écoulements en jeu, et des transferts thermiques associés, restent actuellement des verrous scientifiques pour le développement de cette technologie. Les couplages entre la dynamique, la thermique, le caractère diphasique de l'écoulement, les effets de parois et les transferts radiatifs rendent la physique particulièrement complexe. Pour mieux comprendre ces couplages, le laboratoire PROMES développe des méthodes numériques fines où les interactions fluide-particules sont explicitement simulées. Le code de **calcul haute performance** (HPC) TrioCFD basé sur une méthode Front-Tracking a été modifié pour permettre la simulation de particules solides [5]. Il a été utilisé avec succès pour simuler des écoulements de lits fluidisés avec plusieurs milliers de particules (voir figure 1). Cependant, la méthode actuelle ne prend pas en compte les **transferts radiatifs**.

L'analyse des verrous technologiques liés à l'application solaire identifie comme priorité le développement de la simulation couplée du transport et des transferts de chaleur par conduction et par rayonnement dans les lits fluidisés gaz-solide à haute température. L'enjeu scientifique majeur concerne l'identification du rôle des transferts radiatifs particule-particule et particule-paroi grâce à l'étude de son couplage avec l'**hydrodynamique**. Ce développement, indispensable pour l'application aux centrales solaires à concentration, n'a encore jamais été réalisé dans le cadre de simulations fines d'écoulement fluide-particule et constitue une ouverture majeure vers le **couplage multi-physique**.

Travail à réaliser

Trois étapes de travail à réaliser ont été identifiées. La première étape consiste à implémenter les transferts radiatifs entre les parois et les particules ou entre les particules au sein de TrioCFD en utilisant la méthode de Front-Tracking. Cette méthode a l'avantage d'utiliser un maillage surfacique mobile pour suivre l'interface fluide/solide. Ce maillage mobile sera utilisé pour le calcul des transferts radiatifs (voir figure 2). Le milieu gazeux étant considéré comme transparent, les particules comme faiblement réfléchissantes et la diffraction pouvant être négligée, **la méthode des radiosités et la méthode de Monte-Carlo** seront évaluées pour calculer les flux radiatifs nets échangés par chaque surface élémentaire d'une particule et à chaque pas de temps en suivant leur déplacement [6]. Deux possibilités sont envisagées : implémenter une méthode de résolution des transferts radiatifs (radiosités ou Monte-Carlo) au sein de TrioCFD (couplage online) ou coupler TrioCFD avec un autre logiciel existant pour les calculs des transferts radiatifs (couplage offline). Pour cette deuxième possibilité, le maillage surfacique des particules et la température aux interfaces devront être communiqués au logiciel externe. Sur cette partie du travail, l'encadrement sera renforcé par Cyril Caliot (CNRS, LMAP, UPPA) qui possède une expertise sur les modèles et méthodes de résolution des transferts radiatifs.

La seconde étape du projet consistera à valider les développements réalisés sur des configurations simples. Par exemple en ne considérant que les transferts radiatifs dans des géométries ou les facteurs de forme sont connus. La troisième étape du projet consiste dans la mise en œuvre des outils de simulation fine sur des configurations simplifiées mais représentatives de l'application aux **centrales solaires à concentration** pour analyser et quantifier les phénomènes physiques mis en jeu. Les configurations d'écoulements anisothermes prévues sont :

- L'écoulement d'un gaz à travers un réseau fixe de particules ;
- Un écoulement de type lit-fluidisé gaz-solide à petite échelle.

Les simulations fines seront réalisées avec prise en compte du couplage entre le transport et les transferts thermiques par conduction et par rayonnement entre les particules et les parois.

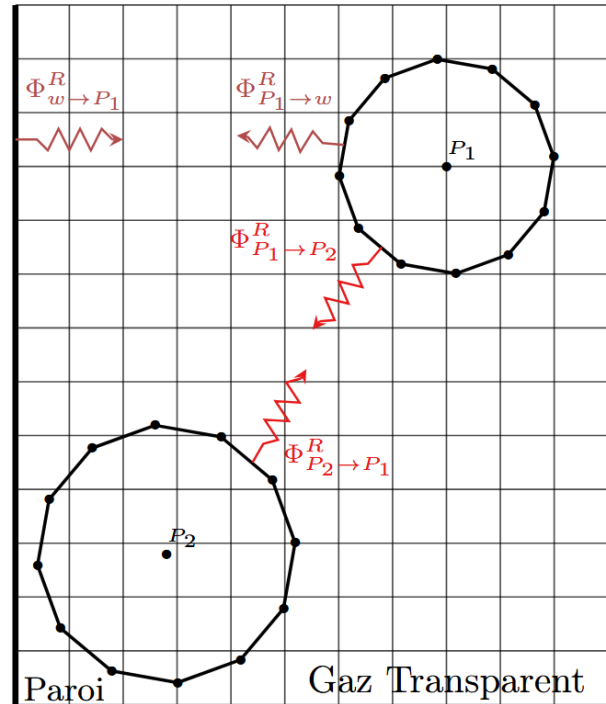
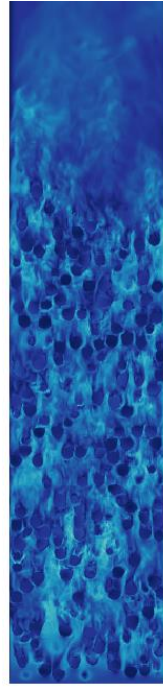
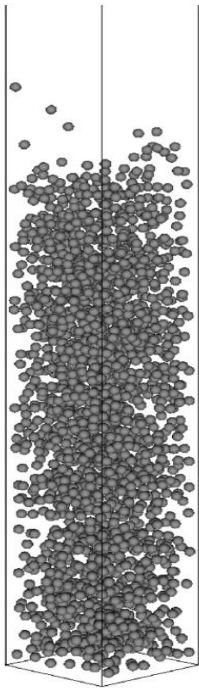


Figure 1 : Calcul HPC 3D (550 cœurs) d'un lit fluidisé de 2000 particules (16 mailles par diamètre). Gauche : positions des particules. Droite : champ de vitesse.

Figure 2 : Représentation schématique 2D des échanges radiatifs avec deux particules et une paroi.

Sujet de recherche du LABEX SOLSTICE : Simulation et modélisation

Modélisation et simulation numérique en mécanique des fluides et transferts de chaleur dans les récepteurs solaires en utilisant du calcul haute performance (HPC). *Modeling and numerical simulations of fluid dynamics and heat transfer in solar receivers using high performance computing (HPC).*

Durée et lieu : 1 an, laboratoire PROMES-CNRS, site de Perpignan

Candidature : Envoyer lettre de motivation et CV à

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

Samuel MER – 04 68 68 22 38 – samuel.mer@univ-perp.fr

Bibliographie

- [1] Next-CSP (2020). High Temperature Concentrated Solar Thermal Power Plant with Particle Receiver and Direct Thermal Storage. Available online: <http://next-csp.eu/> (accessed on October 2022).
- [2] Gueguen R., Sahuquet G., **Mer S., Toutant A., Bataille F., Flamant G.**, Gas-Solid Flow in a Fluidized-Particle Tubular Solar Receiver: Off-Sun Experimental Flow Regimes Characterization, *Energies*, vol. 14(21), 7392, 2021.
- [3] Sahuquet G., Gueguen R., Fontalvo L., **Mer S., Toutant A., Bataille F., Flamant G.**, Particle Flow Heterogeneity in Fluidized-Particles Multitube Solar Receiver, *SolarPACES*, Albuquerque, USA, 27-30 September, 2022.
- [4] GUEGUEN R., GRANGE B., **BATAILLE F., MER S., FLAMANT, G.**, 2020, "Shaping High Efficiency, High Temperature Cavity Tubular Solar Central Receivers", *Energies*, 13, 4803. DOI: 10.3390/en13184803
- [5] HAMIDI S., **TOUTANT A., MER S., BATAILLE F.**, "Assessment of a coupled VOF-Front-Tracking/DEM method for simulating fluid-particles flows", *Submitted to International Journal of Multiphase Flows*, 2022.
- [6] DELATORRE, J., BAUD, G., BEZIAN, J.J., BLANCO, S., CALIOT, C., et al., 2014, "Monte-Carlo advances and concentrated solar applications", *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, Vol. 11, Issue 8, pp. 653-681. [hal-01625034](https://doi.org/10.1029/2014MS002534)