

Proposition de stage de M2

Recepteur solaire à lits fluidisés circulants : Simulations Monte-Carlo des transferts radiatifs

⚠ English version below

Mots-clés

Transferts thermiques, Rayonnement, Approche Monte-Carlo, Ecoulement diphasique fluide - particules, Simulation numérique, Mécanique des fluides

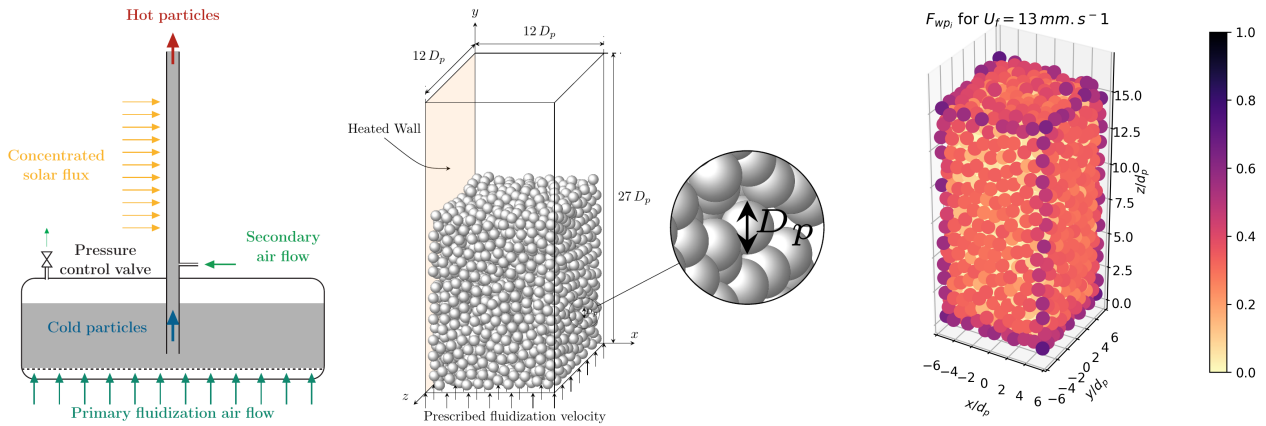


FIGURE 1 – Gauche : schéma de principe d'un récepteur solaire monotube à lit fluidisé circulant. Centre : configuration de calcul simulée avec l'approche PRS de TrioCFD. Droite : résultat de la simulation Stardis pour cette configuration, montrant le facteur de forme de chaque particule avec les parois.

Contexte & Objectifs

Les lits fluidisés circulants présentent des caractéristiques remarquables 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 aux parois. Ils peuvent, de plus, fonctionner aisément à haute température. Ces propriétés les rendent particulièrement attractifs dans le domaine de l'énergie, notamment pour le développement de procédés innovants répondant aux enjeux de la transition énergétique. Au laboratoire PROMES, les lits fluidisés circulants gaz-solides sont étudiés comme une alternative aux fluides caloporteurs conventionnels utilisés pour transporter la chaleur issue du rayonnement solaire dans les centrales solaires à concentration, notamment dans le cadre du projet européen P2P.

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'écoulement en jeu, ainsi que des transferts thermiques associés, constituent encore des verrous scientifiques majeurs pour le développement de cette technologie. Les couplages entre la dynamique, la thermique, le caractère diphasique de l'écoulement, les effets de paroi et les transferts radiatifs rendent la physique du système

particulièrement complexe. L'analyse des verrous technologiques liés à l'application solaire met en évidence comme priorité la réalisation de simulations impliquant un très grand nombre de particules ($> 10\,000$) et le développement de modèles capables de décrire le transport et les transferts de chaleur par conduction et par rayonnement dans les lits fluidisés gaz-solides à haute température. L'enjeu scientifique majeur réside dans l'étude des phénomènes collectifs liés à la dynamique particulaire et dans l'identification du rôle des transferts radiatifs particule-paroi, couplés à l'hydrodynamique. Ces développements, indispensables pour l'application aux centrales solaires à concentration, n'ont encore jamais été réalisés dans le cadre de simulations fines d'écoulements fluide-particule, et constituent une avancée majeure vers le couplage multiphysique.

Dans ce sens, le laboratoire PROMES développe des méthodes numériques fines dans lesquelles les interactions fluide-particules sont explicitement simulées. Le code de calcul haute performance (HPC) TRIOCFD, basé sur une méthode *Front-Tracking*, a été modifié afin de permettre la simulation de particules solides [Hamidi *et al.* – *IJMF*, 2023 [↗](#)]. Il a été utilisé avec succès pour simuler des écoulements de lits fluidisés comportant plusieurs milliers de particules (voir Fig. 2). Parallèlement, dans le cadre d'une collaboration avec le LMAP, un outil de simulation Monte Carlo, basé sur le logiciel STARDIS de Méso-Star [↗](#), a été mis en place pour évaluer les facteurs de forme entre une distribution de particules donnée et les parois du récepteur. Ce calcul est pour l'instant statique, et la faisabilité d'un couplage dynamique entre les deux codes reste à étudier.

Programme du stage

- Étude bibliographique et prise en main des outils numériques.
- Réalisation de simulations pour différentes vitesses de fluidisation et post-traitement pour analyse statistique des F_{wp_i} en fonction de la vitesse de fluidisation et de la distance à la paroi.
- Amélioration de la description radiative du problème et prise en compte de la discretisation spatiale des parois dans STARDIS.
- Étude de faisabilité d'un couplage dynamique entre les codes.

Profil du candidat : Niveau BAC+5 (Master ou Ingénieur). Le candidat devra avoir une solide formation en énergétique et/ou mécanique des fluides et/ou en informatique. Un attrait pour le travail numérique est indispensable. Une maîtrise de Linux et d'un langage de programmation (C/C++, Python) sera appréciée.

Lieu de stage : Laboratoire PROMES – Site de Perpignan.

Début de stage : Février/Mars 2026.

Rémunération : Gratification forfaitaire en vigueur (≈ 625 €/mois).

Candidature : Pour candidater, merci d'envoyer votre CV, une lettre de motivation, ainsi que vos relevés de notes de licence et de master (et, de manière optionnelle, une lettre de recommandation) à l'ensemble de l'équipe d'encadrement.

Une poursuite en thèse de ce sujet est envisagée pour la rentrée 2026

Encadrement

Samuel MER – samuel.mer@univ-perp.fr

Adrien TOUTANT – adrien.toutant@univ-perp.fr

Cyril CALIOT – cyril.caliot@univ-pau.fr

M2 internship offer

Circulating Fluidized Bed Solar Receiver : Monte Carlo Simulations of Radiative Heat Transfer

Key-words

Heat Transfer, Radiation, Monte Carlo Approach, Two-Phase Fluid-Particle Flow, Numerical Simulation, Fluid Mechanics

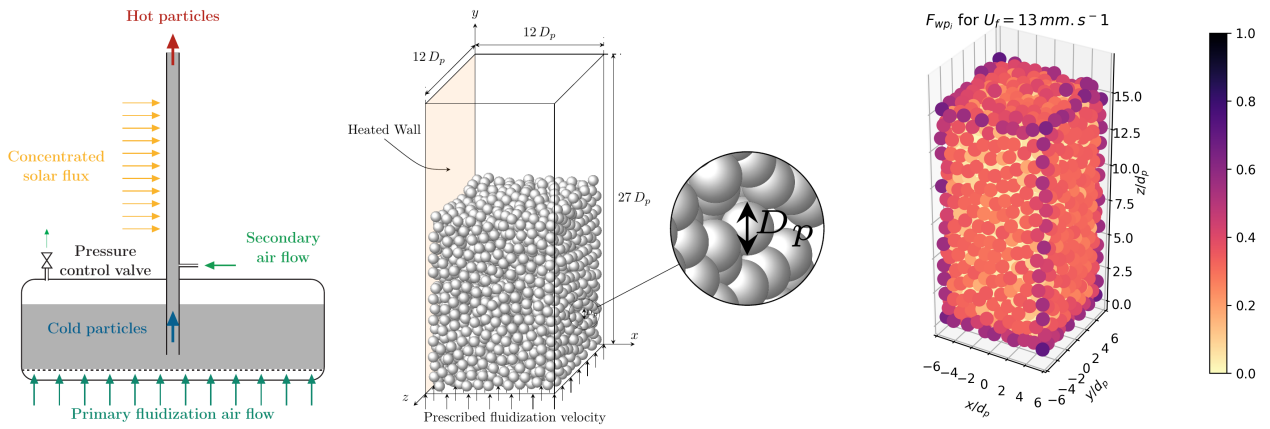


FIGURE 2 – Left : Schematic of a single-tube circulating fluidized bed solar receiver. Center : Computed configuration simulated using the PRS approach of TrioCFD. Right : Stardis simulation result for this configuration, showing the shape factor of each particle with the walls.

Context & Objectives

Circulating fluidized beds exhibit remarkable characteristics in terms of transport and mixing, contact between the dispersed phase and the gas medium, thermal inertia, and heat transfer to the walls. In addition, they can operate easily at high temperatures. These properties make them particularly attractive in the energy sector, especially for the development of innovative processes addressing the challenges of the energy transition. At the PROMES laboratory, gas-solid circulating fluidized beds are studied as an alternative to conventional heat transfer fluids used to transport heat from solar radiation in concentrated solar power plants, notably within the framework of the European P2P project.

In this process, solar radiation is concentrated onto vertical tubes through which a gas-particle mixture flows. Understanding and controlling the flow regimes involved, as well as the associated heat transfer, remain major scientific challenges for the development of this technology. The coupling between dynamics, thermal effects, the two-phase nature of the flow, wall effects, and radiative heat transfer makes the system's physics particularly complex. Analysis of the technological challenges specific to solar applications highlights the priority of performing simulations involving a very large number of particles ($>10,000$) and developing models capable of describing heat transport and transfer by conduction and radiation in high-temperature gas-solid fluidized beds. The main scientific challenge lies in studying the collective phenomena related to particle dynamics and in identifying the role of particle-wall radiative heat transfer coupled with hydrodynamics. These developments, essential for

application in concentrated solar power plants, have never yet been achieved in fine-scale fluid–particle simulations and represent a major step toward multiphysics coupling.

In this context, the PROMES laboratory develops fine numerical methods in which fluid–particle interactions are explicitly simulated. The high-performance computing (HPC) code TRIOCFD, based on a *Front-Tracking* method, has been modified to allow the simulation of solid particles [Hamidi *et al.* – IJMF, 2023 [↗](#)]. It has been successfully used to simulate fluidized bed flows containing several thousand particles (see Fig. 2). In parallel, within the framework of a collaboration with LMAP, a Monte Carlo simulation tool, based on the software STARDIS from Méso-Star [↗](#), has been set up to evaluate shape factors between a given particle distribution and the receiver walls. This calculation is currently static, and the feasibility of a dynamic coupling between the two codes remains to be studied.

Internship Program

- Literature review and familiarization with numerical tools.
- Performing simulations for different fluidization velocities and post-processing for statistical analysis of F_{wpi} as a function of fluidization velocity and distance to the wall.
- Improving the radiative description of the problem and accounting for the spatial discretization of the walls in STARDIS.
- Feasibility study of a dynamic coupling between the codes.

Candidate Profile : Master’s degree (MSc or Engineering). The candidate should have a solid background in energy engineering and/or fluid mechanics and/or computer science. A strong interest in numerical work is essential. Proficiency in Linux and a programming language (C/C++, Python) is appreciated.

Internship Location : PROMES Laboratory – Perpignan site.

Start Date : February/March 2026.

Remuneration : Standard internship allowance (≈ 625 €/month).

Application : To apply, please send your CV, a motivation letter, and your Bachelor’s and Master’s transcripts (optionally, a letter of recommendation) to all members of the supervision team.

A continuation as a PhD on this topic is envisaged for the 2026 academic year

Supervision

Samuel MER – samuel.mer@univ-perp.fr

Adrien TOUTANT – adrien.toutant@univ-perp.fr

Cyril CALIOT – cyril.caliot@univ-pau.fr