

**Titre en français :** Amélioration de la prédiction des forces aérodynamiques et du transfert de chaleur dans des écoulements industriels à grande échelle et fortement compressibles à l'aide des méthodes Lattice-Boltzmann.

**Titre en anglais :** Improved prediction of aerodynamic forces and heat transfer in highly compressible full-scale industrial flows using Lattice-Boltzmann.

**Nom du directeur/co-directeur de thèse :** Eric Serre CNRS / Pierre Boivin CNRS

**Tel :**

**E-Mail :** [eric.serre@univ-amu.fr](mailto:eric.serre@univ-amu.fr); [pierre.boivin@univ-amu.fr](mailto:pierre.boivin@univ-amu.fr)

**Laboratoire :** M2P2 UMR7340, Aix-Marseille Université, CNRS, École Centrale Méditerranée

**Financement :** acquis

**Type de financement :** Chaire industrielle LIBERTY

### **Résumé en français :**

Les simulations de dynamique des fluides jouent désormais un rôle crucial dans l'industrie de l'énergie et des transports, avec comme ambition de prédire avec précision des quantités d'intérêt technique pour les écoulements turbulents se développant à l'intérieur ou au-dessus d'objets réels à l'échelle réelle.

Les propriétés intrinsèques de la méthode de Boltzman sur réseau couplée à la méthode des frontières immergées présentent un grand potentiel pour prédire des écoulements complexes dans des conditions réalistes. Ceci est déjà évalué par les simulations réussies effectuées au laboratoire M2P2 pour des configurations industrielles à grande échelle. Cependant, certains problèmes clés ont été clairement identifiés pour améliorer la fiabilité et la précision de ces simulations avec la méthode LBM et la méthode des frontières immergées. Ceci est vrai en particulier pour des écoulements compressibles qui peuvent être induits à la fois par de grandes variations de température ou de pression.

La turbulence, les écoulements de proche paroi le long de géométries complexes (non alignées sur la grille), ainsi que la présence de fort gradients, voir même de discontinuités ou même de chocs soulèvent plusieurs questions de modélisation numérique et physique qui seront abordées dans ce projet de thèse.

Le sujet de cette thèse sera focalisé sur la modélisation de la paroi solide et de la couche limite turbulente, qui reste une question clé pour prédire avec précision les forces aérodynamiques et le transfert de chaleur. L'objectif est de développer des conditions aux limites améliorées sur les parois solides avec une précision physique et une stabilité numérique accrues. Si un schéma efficace de conservation de la masse a été récemment proposé par l'équipe pour les écoulements isothermes (Xu et al. PoF 2022), davantage de travail est nécessaire pour les écoulements compressibles, en particulier lorsque des discontinuités sont présentes près de la paroi (par exemple, un choc ou une flamme attachée). Une partie du travail sera également consacrée à la prédiction du flux de chaleur et à une estimation précise de la distribution du nombre de Nusselt, en traitant à la fois de la modélisation du flux de chaleur turbulent et des améliorations numériques pour atténuer les oscillations parasites sur les quantités de fluide le long de géométries complexes non alignées avec le maillage. Le cadre de modélisation sera basé sur la simulation des grandes turbulences (WMLES) et une stratégie RANS/LES basée sur une approche simplifiée de la contrainte de Reynolds avec des fonctions de paroi sera étendue aux écoulements compressibles avec une contrainte de flux de chaleur turbulent.

Cette thèse fait partie de la chaire industrielle LIBERTY (Lattice-Boltzmann Extended Research on Turbomachinery and hydrogen) récemment accordée par l'ANR et trois grands groupes du secteur AIRBUS, SAFRAN et Fives-Pillard.

### Résumé en anglais :

Fluid dynamics simulations play now a crucial role in the energy and transport industry with the ambition to predict accurately quantities of engineering interest for turbulent flows developing inside or over full scale real-world objects.

The intrinsic properties of the Lattice Boltzmann method coupled with the immersed boundary method presents a great potential to predict complex flows in realistic conditions. This is already assessed by successful simulations carried out by the M2P2 team for full-scale industrial configurations. However, some key issues have been clearly identified to push forward the reliability and the accuracy of such simulations with LBM and immersed boundary method, particularly for flows with compressibility effects that can be induced by both large temperature or pressure variations. The turbulence, the near-wall flows along complex geometries (not aligned on the grid), as well as the presence of steep gradients, flow discontinuities or even shocks raise several numerical and physical modelling issues which will be addressed in this PhD project.

In this context, a three-years PhD position is opened to focus on the modelling of solid wall and turbulent boundary layer, which is a key issue to accurately predict aerodynamic forces and heat transfer. The PhD will aim at developing improved boundary conditions at solid walls with an increased physical accuracy and numerical stability. If an efficient mass conservation scheme was recently proposed by the team for isothermal flows (Xu et al. PoF 2022), more work is required for compressible flows, especially when discontinuities are present close to the wall (e.g. attached shock or flame). A part of the work will be also devoted to heat flux prediction and an accurate estimation of the Nusselt number distribution, dealing both with the modelling of turbulent heat flux and the numerical improvements to damp the spurious wiggles on the fluid quantities along complex geometries non-aligned with the mesh.

Due to the strong unsteadiness expected in the target applications of the project, the turbulence modelling framework will be based on Large Eddy Simulation (WMLES) and the blending RANS/LES strategy based on a simplified constrained Reynolds stress approach with wall functions will be extended to compressible flows with turbulent heat flux constraint.

This PhD is part of the LIBERTY chair (Lattice-Boltzmann Extended Research on Turbomachinery and hydrogen) recently granted by the ANR and three worldwide industrial companies AIRBUS, SAFRAN and Fives-Pillard.

### Publications sur le sujet :

- 1) G. Farag, S. Zhao, T. Coratger, P. Boivin, G. Chiavassa, and P. Sagaut, "A pressure-based regularized lattice-boltzmann method for the simulation of compressible flows," *Physics of Fluids* 32, 066106 (2020).
- 2) G. Wang, L. Xu, E. Serre, and P. Sagaut, "Large temperature difference heat dominated flow simulations using a pressure-based lattice boltzmann method with mass correction," *Physics of Fluids* 33, 116107 (2021).
- 3) L. Xu, E. Serre, and P. Sagaut, "A theoretical analysis of mass leakage at boundaries within the lattice boltzmann method," *Physics of Fluids* 34, 065113 (2022).
- 4) J. Ma, L. Xu, J. Jacob, E. Serre, and P. Sagaut, High subsonic turbulent internal flow simulations

using a lattice Boltzmann algorithm with mass correction, Physics of Fluids (in print, 2024)

**Profil du candidat recherché** : master ou diplôme d'ingénieur en physique, mathématiques appliquées ou mécanique des fluides.

**Candidate profile**: Master's degree or engineering diploma in physics, applied mathematics or fluid mechanics,

**Date limite de dépôt des candidatures / Application deadline** : 15 avril 2024 / April 15th, 2024

**Date de démarrage / starting date**: as soon as possible

**Localisation des travaux de thèse (Location of thesis work)**: Marseille, France, laboratory M2P2.

**Professional integration**: industrial or academic research, R&D in industry