CERFACS

OFFRE D'EMPLOI – STAGE

Simulation Aérothermique Haute-Fidélité pour les Turbomachines : Développement d'une loi de paroi en LBM

INFORMATIONS DE L'OFFRE

Référence : AAM-2026-PW-01
Lieu : 42 Avenue Gaspard Coriolis – 31057 Toulouse
Equipe : AAM

Encadrants :

- Paul Werner, werner@cerfacs.fr
- Jean-François Boussuge, boussuge@cerfacs.fr

Gratification : 800€ net par mois - niveau M2 ou dernière année école d'ingénieur

Période : 6 mois - à partir du : 09/02/2026

Mots-clés : LBM, Turbomachines, Aérothermique, Modélisation de paroi

LE CERFACS

Le Cerfacs est un centre privé de recherche, de développement, de transfert et de formation en modélisation, simulation et calcul haute performance. Le Cerfacs conçoit, développe et propose des méthodes et solutions logicielles innovantes répondant aux besoins de ses associés dans les domaines de l'aéronautique, du spatial, du climat, de l'environnement et de l'énergie. Le Cerfacs forme des étudiants, des chercheurs et des ingénieurs dans le domaine de la simulation et du calcul haute performance.
Le Cerfacs travaille en forte interaction avec ses sept associés : Airbus, Cnes, EDF, Météo France, Onera, Safran et TotalEnergies.

L'EQUIPE D'ACCUEIL - AAM

L'équipe Aérodynamique Avancée et Multiphysique (AAM) se consacre au développement de méthodes numériques innovantes, à la modélisation physique et aux techniques de calcul haute performance (HPC) pour les nouveaux solveurs CFD. En étroite collaboration avec les partenaires du CERFACS, le travail se focalise sur les simulations de dynamique des fluides pour les avions, les fusées et les turbomachines. Parmi les approches numériques innovantes développées par l'équipe figure la méthode des différences spectrales (SDM), une méthode discontinue d'ordre élevé particulièrement adaptée aux simulations instationnaires haute-fidélité. Cette technique permet une résolution fine des structures turbulentes, tout en étant optimisée pour les architectures parallèles modernes. En parallèle, l'équipe contribue au développement de solveurs basés sur la **méthode de Boltzmann sur réseau (LBM)**, une alternative prometteuse aux méthodes traditionnelles, reconnue pour sa simplicité algorithmique, sa capacité naturelle à traiter les géométries complexes et ses performances en calcul haute performance. Ces deux approches offrent des solutions complémentaires pour modéliser efficacement les écoulements réalistes dans des environnements industriels complexes.

CONTEXTE

Au cœur de la transition énergétique du secteur aéronautique, le CERFACS se positionne comme un acteur clé de la recherche et de l'innovation. Ce stage vous offre une opportunité de participer à une collaboration stratégique entre SAFRAN (côté industriel) et le CERFACS (côté recherche) visant à développer la prochaine

génération d'outils de simulation haute-fidélité pour la mécanique des fluides (CFD). Intégrer ce projet vous place à l'interface entre la recherche et les applications industrielles de pointe, et vous ouvre des portes privilégiées chez nos partenaires.

La conception des nouvelles motorisations (UHBR, Open Fan) impose de prédire et maîtriser des phénomènes aérothermiques toujours plus complexes pour garantir la fiabilité et améliorer drastiquement les rendements. Cela inclut des défis majeurs comme le refroidissement des aubes de turbine haute pression, la ventilation sous capot moteur ou encore l'optimisation des échangeurs de chaleur. Face à ces problématiques, les approches traditionnelles basées sur des outils commerciaux (Fluent, StarCCM+, PowerFLOW) montrent leurs limites en termes de précision physique, de performance.

Pour répondre à ce besoin, nous aidons au développement du solveur **ProLB** [1], un code de calcul basé sur la méthode de Boltzmann sur Réseaux (LBM) [2]. À la différence des approches traditionnelles qui résolvent les équations de Navier-Stokes (NS) à l'échelle *macroscopique*, la LBM opère à une échelle dite "*mésoscopique*". Elle modélise le comportement d'un fluide en simulant le déplacement et les collisions de populations de particules sur un maillage. Cette approche, qui décrit la même physique que les équations classiques, se distingue par des atouts stratégiques pour l'industrie: massivement parallélisable, rapide, et nativement instationnaire.

En contrepartie, la LBM reporte la complexité sur la physique du traitement pariétal. C'est précisément pour cette raison que la modélisation fine des couches limites, et en particulier des transferts thermiques qui s'y opèrent, représente un axe de recherche majeur pour libérer tout le potentiel de la méthode.

Ce stage de 6 mois au CERFACS se situe précisément à cette frontière : le développemment d'une loi de paroi thermique (modélisation de la turbulence pariétale) afin d'améliorer la précision et l'efficacité de ProLB pour les calculs aérothermiques industriels.

[1] ProLB site internet : https://www.prolb-cfd.com/products/.
[2] Krüger, T., Kusumaatmaja, H., Kuzmin, A., Shardt, O., Silva, G., Viggen, E.M., The Lattice Boltzmann Method: Principles and Practice, 2017, https://doi.org/10.1007/978-3-319-44649-3.

MISSION

Au sein de l'équipe de recherche AAM du CERFACS, votre rôle sera d'implémenter une loi de paroi thermique dans le solveur ProLB afin d'**optimiser la prédiction des transferts thermiques**. Ce travail se décomposera en plusieurs étapes :

1. **Appropriation et étude bibliographique :** Prise en main des premiers travaux réalisés sur les lois de paroi thermiques en LBM [3, 4, 5, 6].

2. **Développement et implémentation :** Vous développerez et implémenterez en **C++** les approches retenues dans le solveur ProLB. L'objectif sera de formuler une loi de paroi thermique améliorée par rapport à ce qui existe déjà dans le solveur afin de garantir une meilleure robustesse et précision.

3. **Validation :** Après une validation sur des cas académiques, vous appliquerez votre développement au cas de référence de la **cascade d'aubes de turbine LS89** [6]. Ce cas, reconnu pour sa complexité (écoulement transsonique, sensibilité à la turbulence) et la richesse de ses données expérimentales, constituera le jalon de validation industrielle de vos travaux.

4. **Analyse critique :** Évaluation fine des résultats obtenus sur le cas LS89. Vous quantifierez la précision sur les flux de chaleur, la robustesse du modèle et le gain en performance (coût de calcul vs précision) par rapport aux approches existantes.

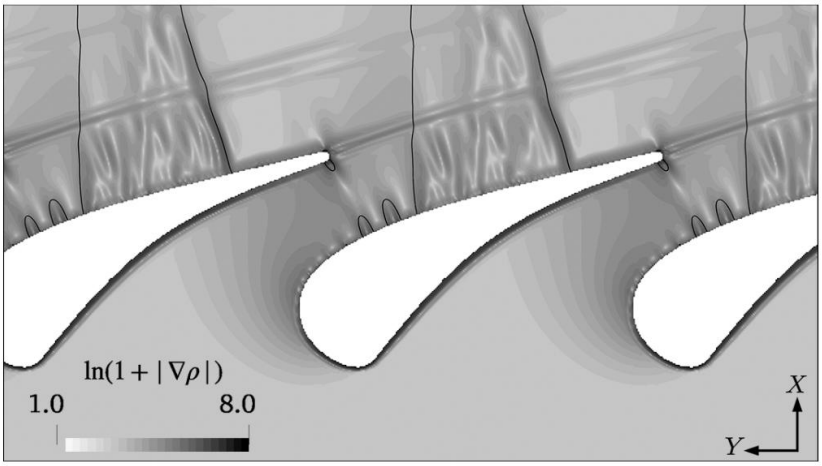

Figure 1 : Champ du nombre de Schlieren pour une aube [6]

Vous travaillerez en étroite collaboration avec les chercheurs et ingénieurs et contribuerez directement à l'évolution d'un outil de simulation stratégique. **Ce stage de fin d'études pourra déboucher sur une proposition de thèse CIFRE avec notre partenaire SAFRAN dans la continuité des travaux menés.**

[3] Kader, B.A. "Temperature and Concentration Profiles in Fully Turbulent Boundary Layers." International Journal of Heat and Mass, 1981, https://doi.org/10.1016/0017-9310(81)90220-9.
[4] P. Werner, Aerothermal Lattice-Boltzmann Modeling of Bore-Cooling Cavities in High-Pressure Compressors, PhD Thesis, Aix-Marseille Université, 2024, researchgate.net/396047128
[5] Y. Tamaki, M. Harada, and T. Imamura, Near-Wall Modification of Spalart–Allmaras Turbulence Model for Immersed Boundary Method, AIAA Journal, 2017, https://doi.org/10.2514/1.J055824.
[6] Tsetoglou, I., Zhao, S., Jacob, J., Boivin, P., Lattice-boltzmann modelling of internal compressible flows: application to the transonic LS89 cascade, ASME Turbo Expo, 2025, https://doi.org/10.1115/GT2024-123051.

PROFIL SOUHAITE

Nous recherchons un(e) étudiant(e) en dernière année d'école d'ingénieur ou de Master 2, avec une spécialisation en **mécanique des fluides, aérothermique, ou calcul scientifique**, et un fort attrait pour la recherche. Un profil **Master Recherche** est particulièrement bienvenu compte tenu de la perspective d'une poursuite en thèse.

Les compétences et qualités suivantes sont attendues :

- **Connaissances fondamentales :** Des connaissances approfondies en mécanique des fluides numérique (CFD) et en transferts thermiques sont indispensables. Une bonne compréhension des approches de modélisation de la turbulence (RANS, LES) et idéalement des lois de paroi est un bon atout.

- **Compétences en programmation :** Une expérience confirmée en programmation est requise (le langage C++ sera utilisé pour le développement au sein du solveur ProLB). La connaissance de Python pour l'analyse des données et la création de scripts est un plus.

- **Qualités personnelles :** Rigueur scientifique, autonomie, curiosité et capacité à être force de proposition sont des qualités essentielles pour s'intégrer à notre équipe et mener à bien cette mission de recherche.

- **Atouts supplémentaires :** Une connaissance et un attrait de la méthode LBM constitue un atout pour une prise en main rapide du sujet.

- **Communication :** Le stage s'inscrivant dans un contexte de recherche international, une bonne maîtrise de l'anglais (lu, écrit, parlé) est nécessaire pour l'étude bibliographique, la rédaction de rapports et la présentation de vos travaux.

CE QUE NOUS PROPOSONS AU CERFACS

- Un large accès aux technologies, un environnement relationnel riche, des compétences internes reconnues au niveau national et international.
- Un environnement de travail inclusif et équitable.
- Une structure accessible aux personnes en situation de handicap.
- Possibilité de bénéficier de 1,83 jours de réduction du temps de travail par mois liée à votre choix d'une semaine de travail de 39 heures au lieu de 35 heures.
- Remboursement à hauteur de 50% des frais de transport en commun.

COMMENT POSTULER ?

Pour postuler, veuillez envoyer votre CV et lettre de motivation à werner@cerfacs.fr , les candidatures sont ouvertes jusqu'au 31 Décembre 2025.

À bientôt au CERFACS !