

OFFRE D'EMPLOI – STAGE

Simulation Numérique d'Éoliennes : Développement d'un modèle réduit « Actuator Line » en LBM

INFORMATIONS DE L'OFFRE

Référence : AAM-2026-PW-02

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, Rotors, Eolienne, Actuator Line Model

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 mondiale, les énergies renouvelables jouent un rôle important dans la décarbonation et la mixité énergétique de notre production électrique. L'énergie éolienne, en particulier, connaît

un développement sans précédent avec l'émergence de nouvelles technologies (éoliennes offshore, rotors de grande dimension, parcs éoliens haute densité). Ce stage vous offre une opportunité de participer à une collaboration stratégique entre plusieurs partenaires industriels et le CERFACS visant à développer la prochaine génération d'outils de simulation haute-fidélité pour la mécanique des fluides (CFD).

L'optimisation des performances des éoliennes et la conception de parcs éoliens efficaces nécessitent de prédire avec précision les interactions complexes entre les pales et l'écoulement atmosphérique ainsi que les interactions entre éoliennes. Ces simulations doivent capturer les phénomènes aérodynamiques essentiels (sillages, tourbillons marginaux, interactions entre éoliennes) tout en permettant des études paramétriques pour explorer différentes configurations. Face à ces problématiques, les approches traditionnelles basées sur des simulations avec maillage résolu autour des pales atteignent leurs limites en termes de temps de calcul, notamment pour les études d'optimisation ou la simulation de parcs éoliens complets.

Pour répondre à ce besoin, nous développons des méthodes innovantes couplant des solveurs basés sur la méthode de Boltzmann sur réseaux (LBM) [1] avec des modèles d'ordre réduit [2]. Cette méthode opère à une échelle mésoscopique et se distingue par des atouts stratégiques pour l'industrie : massivement parallélisable, rapide, et nativement instationnaire. Ces caractéristiques en font un candidat idéal pour permettre d'accélérer drastiquement les simulations. Parmi les modèles d'ordre réduit, l'Actuator Line Model (ALM) [2] s'impose comme une approche particulièrement efficace pour modéliser entièrement les pales de rotor sans avoir à mailler finement leur géométrie. Cette méthode consiste à représenter chaque pale par une ligne d'action le long de son axe, sur laquelle sont appliquées des forces distribuées modélisant les effets aérodynamiques de portance et de traînée. L'ALM permet ainsi de capturer les phénomènes essentiels (sillage, tourbillons marginaux, interactions pale-écoulement) tout en réduisant considérablement le coût de calcul par rapport aux approches avec maillage résolu des géométries de pales.

Ce stage de 6 mois au CERFACS se situe précisément à cette frontière : le développement et l'implémentation d'une méthode ALM dans un code de recherche LBM et écrit en Julia, afin d'évaluer le potentiel de cette approche pour les simulations d'éolienne.

[1] Krüger, T., Kusumaatmaja, H., Kuzmin, A., Shardt, O., Silva, G., Viggien, E.M., The Lattice Boltzmann Method: Principles and Practice, 2017, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44649-3>.

[2] Sørensen, J.N., Shen, W.Z., Numerical modelling of Wind Turbine Wakes. Journal of Fluids Engineering, Vol. 124, Issue 2, pp. 393-399, 2002 <https://doi.org/10.1115/1.1471361>

MISSION

Au sein de l'équipe de recherche AAM du CERFACS, votre rôle sera d'implémenter et de valider une méthode d'Actuator Line Model (ALM) dans notre solveur LBM développé en Julia. Ce travail vise à évaluer le potentiel de la combinaison de ces deux approches (LBM+ALM) pour les simulations d'éoliennes, en alliant précision physique et efficacité de calcul. Le travail se décomposera en plusieurs étapes :

1. **Etude bibliographique et appropriation du solveur** : Prise en main de la théorie du modèle "Actuator Line" et des travaux existants combinant ALM et LBM [4, 5, 6] notamment pour les éoliennes. Familiarisation avec la méthode LBM et le code développé en Julia et ses spécificités (méthode athermale et faiblement compressible).
2. **Développement et implémentation 2D** : Vous développerez et implémenterez en Julia une première version 2D de l'ALM couplée au solveur LBM. Cette étape inclut :
 - La modélisation des forces de portance et de traînée le long de la ligne d'action
 - La distribution spatiale des forces dans le champ d'écoulement (fonction noyau)
 - L'intégration du modèle d'Actuator Line dans l'algorithme LBM via des termes sources
3. **Validation 2D** : Validation de l'implémentation 2D sur des cas académiques de référence [5], permettant de vérifier la cohérence des résultats avec la littérature et d'évaluer la sensibilité aux paramètres numériques (taille du noyau, résolution de maillage).

4. **Extension 3D** : Extension de l'implémentation vers une version 3D complète [4], capable de simuler des configurations d'éoliennes plus réalistes avec prise en compte des effets tridimensionnels (tourbillons marginaux, pertes en bout de pale, interactions sillage-pale).
5. **Validation académique** : Application de votre développement au cas de référence de l'éolienne DTU 10MW [7], une configuration largement documentée dans la littérature. Vous comparerez vos résultats avec les données disponibles (distributions de charges, champs de vitesse dans le sillage, coefficient de puissance) afin de valider la capacité prédictive du modèle.

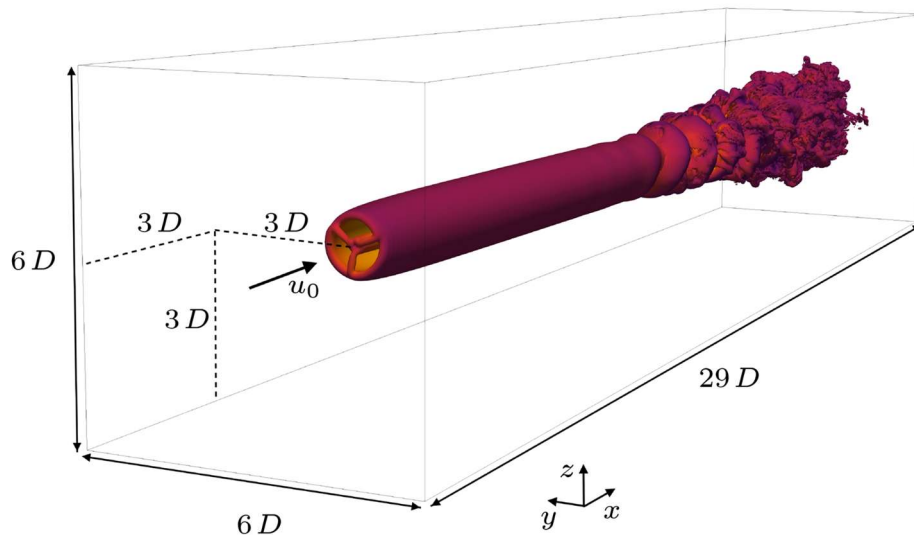


Figure : Schéma du cas 3D avec dimensions, domaine de calcul position de la turbine, et iso-contours de vorticité obtenus avec un solveur LBM [6].

Vous travaillerez en étroite collaboration avec les chercheurs et ingénieurs de l'équipe, et contribuerez directement à l'évolution d'un outil de simulation stratégique pour nos partenaires industriels. **Ce stage de fin d'études pourra déboucher sur une proposition de thèse CIFRE avec nos partenaires (SAFRAN, AIRBUS).**

- [4] Cacciali, L., Hansen, M.O.L., Rogowski, K., Highly Stable Lattice Boltzmann Method with a 2-D Actuator Line Model for Vertical Axis Wind Turbines, *Energies*, 2024, 17, 4847.
- [5] Rulla d, S., Blondel, F., Cathelain, M., Actuator-Line Model in a Lattice Boltzmann Framework for Wind Turbine Simulations, *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, 1037, 022023.
- [6] Asmuth, H., Olivares-Espinosa, H., Ivanell, S., Actuator Line Simulations of Wind Turbine Wakes Using the Lattice Boltzmann Method, *Wind Energy Science*, 2020, 5, 623–645.
- [7] Christian Bak et al., The DTU 10-MW Reference Wind Turbine, <https://orbit.dtu.dk/en/publications/the-dtu-10-mw-reference-wind-turbine>

PROFIL SOUHAITE

Nous recherchons un(e)  tudiant(e) en dernière année d' cole d'ingénieur ou de Master 2, avec une spécialisation en **mécanique des fluides, aérodynamique, calcul scientifique ou méthodes numériques** 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) sont indispensables. Une bonne compréhension des méthodes numériques pour les équations aux dérivées partielles (EDP) et de la dynamique des fluides est essentielle. Toute connaissance préalable en méthode de Boltzmann sur Réseaux (LBM) ou du modèle Actuator Line (ALM) constitue un atout majeur.

- **Compétences en programmation** : Une expérience confirmée en programmation est requise. La connaissance du langage Julia est un atout considérable, mais une expérience solide en Python, C++, ou Fortran avec une capacité d'adaptation rapide est également très acceptable. Une sensibilité au calcul haute performance (HPC) et au « GPU computing » est très appréciée.
- **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. Le goût pour le développement logiciel et l'expérimentation numérique est indispensable.
- **Atouts supplémentaires** : Une expérience en développement de codes de calcul scientifique constitue un atout pour une prise en main rapide du sujet. Toute expérience en aérodynamique des hélices sera valorisée.
- **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 !