

Offre de stage de fin d'étude (6 mois) niveau master à l'Ecole Centrale de Nantes : Machine learning pour la reconstruction d'écoulements turbulents



- **Lieu :** École Centrale de Nantes, GeM – Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique
- **Encadrant :** Lucas Lestandi (Maître de conférences)
- **Contact :** lucas.lestandi@ec-nantes.fr
- **Rémunération :** ~630 €/mois selon le dernier décret du “Journal Officiel”.
- **Durée:** 6 mois
- **Dates:** Démarrage entre janvier et mars 2025

Contexte

La reconstruction précise des écoulements turbulents à partir de données de simulation est un défi majeur en dynamique des fluides numérique (CFD). Les méthodes numériques traditionnelles, bien que robustes, rencontrent souvent des limitations informatiques importantes lorsqu'elles sont appliquées à des simulations à haute résolution et à grande échelle, comme celles des instabilités de Rayleigh-Taylor (RTI) ou des écoulements à surface libre (vagues). Les écoulements turbulents sont intrinsèquement chaotiques et complexes, ils impliquent des interactions multi-échelles difficiles à capturer uniquement avec des simulations numériques directes (DNS). Cependant, l'apprentissage automatique (ML) a émergé comme une alternative prometteuse ou un complément aux méthodes traditionnelles pour modéliser et reconstruire les écoulements turbulents, offrant des améliorations potentielles en termes de précision et d'efficacité computationnelle.

Cette nouvelle opportunité d'amélioration des simulations turbulentes a conduit à une augmentation exponentielle du nombre de publications liées à ce sujet, comme illustré dans la figure 1. Ces dernières années, plusieurs articles de synthèse [1,2] ont tenté de catégoriser les différents travaux et d'explorer leur potentiel et leurs défis. Parmi les techniques d'apprentissage automatique les plus prometteuses, les réseaux de neurones convolutifs (CNN) et les autoencodeurs ont été appliqués avec succès dans divers domaines de la CFD. Des études récentes ont démontré la faisabilité de l'utilisation de techniques ML pour prédire et reconstruire des écoulements turbulents de haute fidélité à partir de données de faible résolution ou incomplètes. Parallèlement, certaines entreprises cherchent également à développer des solutions basées sur le ML [3].

Ce stage explorera l'application de l'apprentissage automatique à deux types spécifiques de simulations de dynamique des fluides : les instabilités de Rayleigh-Taylor (RTI) et les écoulements à surface libre. La RTI, un phénomène qui survient lorsque des fluides de densités différentes interagissent sous l'effet des forces gravitationnelles, entraînent des motifs turbulents complexes et hautement instables. De même, les écoulements à surface libre, tels que les vagues interagissant avec des structures ou d'autres interfaces fluides, sont caractérisés par un comportement turbulent complexe, difficile à modéliser avec précision à l'aide des approches

CFD traditionnelles.

Présentation de l'équipe et de l'environnement de travail

Ce stage s'inscrit dans le cadre d'un projet international plus large, financé par le CEFIPRA (Centre Franco-Indien pour la Promotion de la Recherche Avancée), intitulé *Réduction de données et modélisation surrogate de la transition vers la turbulence des données d'instabilité de Rayleigh-Taylor obtenues par DNS*.

Le projet est dirigé par le Lucas Lestandi, maître de conférence à l'École Centrale de Nantes (ECN) et par la Professeure Assistante Aditi Sengupta (IIT-ISM Dhanbad, département de génie mécanique) qui a fourni les données et le solveur DNS [4]. Le stage aura lieu à l'École Centrale de Nantes (France) en collaboration avec Lucas Lestandi et Yassin Ajanif, actuellement en deuxième année de thèse.

Objectifs du stage

Pour ce projet, l'équipe indienne a fourni un outil de simulation de haute précision (DNS) et produit 4Po de données. Un tel volume de données est difficile à manipuler et Yassin a développé des algorithmes de décomposition de données (SVD) adaptés pour le traitement hors-core. Cependant, aussi puissante que soit cette technique, elle repose sur l'algèbre linéaire, qui ne peut pas capturer toutes les propriétés turbulentes de l'écoulement (non linéaires). Votre rôle consistera à explorer la littérature et à appliquer les techniques les plus prometteuses pour la reconstruction des données d'écoulement turbulent. Ce travail se fera sous la supervision directe du Professeur Lestandi, qui a coécrit trois articles dans le domaine du ML appliqué à la simulation mécanique et souhaite appliquer des stratégies similaires pour ce projet.

Les tâches principales sont les suivantes :

- Explorer la littérature et rédiger une revue de littérature
- Appliquer des techniques aux données RTI en utilisant les installations de calcul intensif de l'ECN
- Lancer des simulations de vagues en utilisant des méthodes conventionnelles et appliquer des techniques de ML au même problème

Durant ce stage, vous allez

- Découvrir les projets de recherche internationaux de l'intérieur
- Développer des compétences solides en visualisation de données et en calcul intensif (HPC), en mettant l'accent sur la recherche appliquée
- Contribuer de manière significative au projet en proposant des solutions pratiques pour la gestion des données de dynamique des fluides à grande échelle
- Collaborer avec des experts du domaine, en vous initier aux outils et des méthodes de simulation de pointe

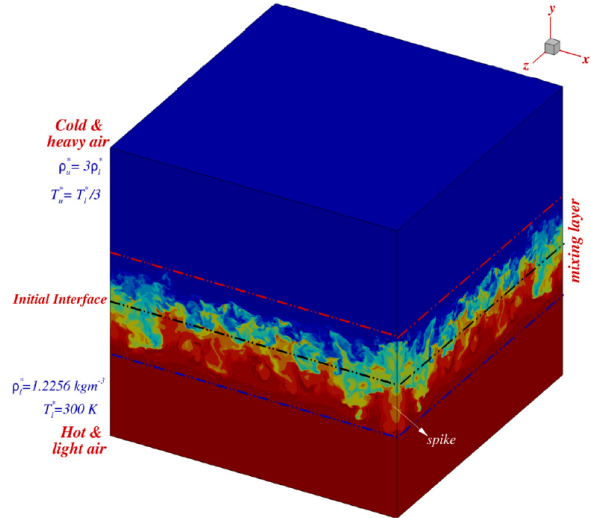


Figure 1: Visualisation de la simulation RTI. Reproduit de [1]

Profil du stagiaire

Le candidat idéal recherche un stage de 5 ou 6 mois dans un laboratoire de recherche pour compléter son master ou son diplôme d'ingénieur dans l'une des spécialités suivantes : apprentissage automatique (ML), calcul scientifique, mathématiques appliquées, génie mécanique.

Compétences requises

- **Langue** : Maîtrise de l'anglais écrit nécessaire. Français ou anglais pour la communication quotidienne
- Au moins l'une des compétences suivantes : **mécanique des fluides numérique ou apprentissage automatique**
- Bonne connaissance de la programmation / programmation scientifique en **python** ou **C++**

Références:

[1] Y. Zhang, D. Zhang, and H. Jiang, "Review of Challenges and Opportunities in Turbulence Modeling: A Comparative Analysis of Data-Driven Machine Learning Approaches," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 11, no. 7, Art. no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/jmse11071440.

[2] S. L. Brunton, B. R. Noack, and P. Koumoutsakos, "Machine Learning for Fluid Mechanics," *Annu. Rev. Fluid Mech.*, vol. 52, no. 1, pp. 477–508, Jan. 2020, doi: 10.1146/annurev-fluid-010719-060214.

[3] <https://www.monolithai.com/blog/machine-learning-for-turbulence-modeling>

[4] A. Sengupta, P. Sundaram, V. K. Suman, and T. K. Sengupta, "Three-dimensional direct numerical simulation of Rayleigh-Taylor instability triggered by acoustic excitation," *Physics of Fluids*, vol. 34, no. 5, May 2022, doi: 10.1063/5.0091109.