

Proposition de Sujet de Thèse pour Contrat Doctoral UCA

Adresse e-mail à utiliser pour toute correspondance :

jeremie.bec@oca.eu

Titre de la thèse

Apprentissage profond pour la modélisation de la turbulence

Thesis Title

Deep learning for turbulence modeling

Directeur de Thèse (HDR ou assimilé)

Nom : Bec

Prénom : Jérémie

Téléphone : 04 92 00 31 19

Courriel : jeremie.bec@oca.eu

Laboratoire d'accueil

LAGRANGE

Co-directeur

Nom : Hachem

Prénom : Elie

HDR : Oui

Unité de recherche : CEMEF

Téléphone : 04 93 95 74 58

Courriel : elie.hachem@mines-paristech.fr

Domaine Scientifique

DS8 - Sciences pour l'Ingénieur

Description du sujet

Les écoulements turbulents impliquent une large gamme d'échelles spatiales et temporelles liées entre elles par des structures fortement intermittentes. Le développement d'outils prédictifs performants nécessite de modéliser ces interactions complexes entre un grand nombre de degrés de liberté. Jusqu'à présent, les approches classiques se sont essentiellement basées sur des arguments phénoménologiques et sur des données empiriques limitées issues d'expériences et de simulations surannées. Vu la disponibilité croissante de jeux de données de grande taille et de haute fidélité, il est aujourd'hui possible d'utiliser l'intelligence artificielle pour améliorer de manière significative la précision et l'efficacité de cette modélisation.

Les approches basées sur la moyenne de Reynolds des équations de Navier-Stokes (RANS) sont très largement utilisées en raison d'un traitement numérique aisé. La récente explosion des réseaux de neurones convolutifs (CNN) a inspiré de nouvelles fermetures. Toutefois, de tels modèles sont intrinsèquement limités à des quantités moyennes à un point et ne peuvent pas reproduire les fluctuations ou les corrélations multi-points. Les simulations des grandes échelles (LES) sont une alternative prometteuse. Elles suscitent un intérêt croissant de la part des industriels, du fait de fermetures de plus en plus sophistiquées et de la croissance constante des ressources de calcul. L'application des idées d'apprentissage profond à de tels modèles sous-maille reste aujourd'hui un véritable défi avec de forts impacts dans de nombreuses applications, telles que la biomécanique, la combustion, les sciences du climat et l'astrophysique.

Le but de cette thèse de doctorat est de développer, tester et valider de nouvelles approches de modélisation où la dynamique est sujette à un apprentissage automatique à partir de données massive provenant de simulations numériques directes. Les objectifs sont de (i) concevoir de nouvelles représentations des petites échelles pour améliorer la modélisation du tenseur de Reynolds, (ii) élaborer des récompenses et des stratégies d'apprentissage efficaces et les valider dans des situations complexes, (iii) appliquer cette approche à des écoulements turbulents réalistes pour obtenir des prédictions de haute qualité. La combinaison originale d'études fondamentales de la turbulence, d'analyses poussées de données massives et de techniques de pointe en mécanique des fluides numérique conduira sans aucun doute à des résultats innovants.

Ce projet est fortement transdisciplinaire (mathématiques, physique, statistiques, calcul haute performance appliqués à l'ingénierie) et à la frontière entre recherche fondamentale et appliquée. Le travail de recherche sera réalisé en collaboration avec deux équipes: le groupe Turbulence Fluide et Plasma du Laboratoire Lagrange à l'Observatoire de la Côte d'Azur à Nice et l'équipe de recherche Computing & Fluids du CEMEF de Mines ParisTech à Sophia-Antipolis. Le-la doctorant-e bénéficiera grandement de cet environnement et diversifiera son expertise grâce à de fortes interactions scientifiques avec les membres des deux équipes. Cette thèse est opportune, particulièrement pertinente pour les applications, et conduira à des publications dans des revues internationales du plus haut niveau.

Description of the thesis

Turbulent flows involve a broad range of excited spatial and temporal scales tied-up in strongly intermittent structures. Valuable prediction tools require modeling these complex interactions between very many degrees of freedom. Up to now, classical approaches are essentially based on phenomenological arguments and scarce empirical data stemming from outdated experiments and simulations. With the increasing availability of large-size, high-fidelity datasets, it is today possible to use artificial intelligence to significantly improve the accuracy and efficiency of modeling.

Approaches based on the Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation (RANS) are widely used because of their high computational tractability. The recent spread of Convolutional Neural Networks (CNN) has inspired new closures. Still, such models are inherently limited to average, one-point quantities, and cannot reproduce fluctuations or multi-point correlations. Large-Eddy Simulations (LES) are a promising alternative receiving a rising interest from industrial applications, thanks to increasingly sophisticated closures and the growth of computational resources. Applying ideas from DNN to such sub-grid scale models remains today a real challenge with high foreseeable impacts in various applications, such as biomechanics, combustion, climate sciences and astrophysics.

The aim of this PhD thesis is to develop, test and validate novel modeling approaches where the dynamics is trained against large datasets from direct numerical simulations. The objectives are to: (i) Design new representations of the small scales to improve models for the coarse-grained Reynolds stress; (ii) Elaborate efficient rewards and learning strategies and validate them in complex settings; (iii) Apply this approach to realistic turbulent flows and obtain a high-quality monitoring. The original combination of fundamental studies of turbulence, advanced big-data analysis and state-of-the-art computational fluid dynamics will undoubtedly lead to groundbreaking results.

This project is strongly transdisciplinary (maths, physics, statistics, high-performance computing applied to engineering), at the edge between basic and applied research. The research work will be carried out in two teams: The Fluid and Plasma Turbulence group of Laboratoire Lagrange at Observatoire de la Côte d'Azur in Nice, and the Computing & Fluids research team at the CEMEF Center of Mines ParisTech in Sophia-Antipolis. The doctoral student will benefit much from this environment and will diversify his/her expertise through strong scientific interactions with members of the two teams. This thesis is timely, particularly relevant to applications, and will lead to publications in international journals of the highest level.

Informations complémentaires