

Fast neural network predictions for urban flows

Laboratoire d'accueil

COSYS-LISIS, Université Gustave Eiffel

Nom et e-mail du tuteur :

Rachida Chakir (COSYS-LISIS), rachida.chakir@univ-eiffel.fr

Laboratoire partenaires :

- Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant, Ecole des Ponts ParisTech (ENPC)
- Stonehill College, Massachusetts USA

Nom des co-encadrants :

Sébastien Boyaval (ENPC) et Janelle K. Hammond (Stonehill College)

Filière visée : Informatique (Parcours big data et calcul haute performance) ; Data Science et Intelligence

Compétences souhaitées et/ou développées au cours du projet :

Programmation ; Machine learning ; Mécanique des fluides numérique ;

Présentation générale du sujet

Dans ce projet on s'intéresse à la modélisation de phénomènes environnementaux en milieu urbain par la mécanique des fluides numériques (CFD). Le principal intérêt de la CFD est qu'elle permet la prise en compte dans la modélisation des échanges thermiques de conduction, convection, rayonnement. La modélisation CFD peut être utilisée pour le calcul d'écoulement d'air dans les études du confort des piétons et de la sécurité des vents, l'étude de pollution et l'étude des phénomènes d'îlots de chaleurs. Elle est également utilisée pour la modélisation d'écoulement d'eau dans les réseaux de canalisations d'eau potable, l'étude de phénomènes de crue et d'inondation et la modélisation de barrage, ...

Ces modèles sont souvent très coûteux en temps de calcul et sujets à de fortes incertitudes — dans les paramètres d'entrée, leur formulation physique et leurs schémas numériques — qui nécessitent un couplage avec des données d'observation par des techniques d'assimilation de données, souvent des méthodes itératives et coûteuses. Un modèle réduit efficace et précis permettant de simuler rapidement des écoulements d'air en milieu urbain rendrait la quantification d'incertitudes et la calibration des modèles de pollution décrit par les équations de la mécanique des fluides bien moins coûteuses et donc plus abordable pour des problèmes en milieu urbain.

La réduction de modèle fait référence aux méthodes de réduction du coût de calcul d'une simulation par la simplification du problème, par l'émulation statistique et

l'apprentissage automatique ou bien par la réduction de la dimension du problème en utilisant des connaissances a priori sur le système. Les méthodes de substitution ou des méta-modèles, pour lesquelles un modèle plus simple prend la place du modèle coûteux sont faciles à mettre en œuvre mais elles ne permettent pas toujours de maintenir la qualité et la précision de la solution après réduction. Les méthodes d'émulation statistique et celles d'apprentissage automatique, nécessitent quant à elles des données appropriées et suffisamment nombreuses pour décrire correctement les phénomènes physiques en jeu. La dernière famille de méthode comprenant les méthodes des bases réduites, cherche à exploiter le caractère paramétrique du problème, et plus particulièrement la dimension de la variété de toutes les solutions possibles lorsque les paramètres varient. Ces méthodes, dites de réduction d'ordre, permettent quand elles sont bien mises en œuvre de réduire le coût des simulations sans détériorer la qualité des résultats.

Objectifs du projet

Dans ce travail nous explorerons une méthode hybride qui intégrerait des méthodes de réductions de type "bases réduites" et des techniques d'apprentissage automatique [1]. Dans un premier lieu, cette approche sera mise en place sur des problèmes académiques afin d'étudier sa flexibilité et son potentiel, avant de l'appliquer sur des écoulements d'air urbains autour de la mini-ville Sense City[2].



FIGURE 1 – Equipex Sense - City

Sense-City est un Équipement d'excellence situé au cœur du Campus Descartes. Il s'agit d'une chambre climatique sous contrôle et sur rail pouvant recouvrir deux espaces de 400m². Chacun de ces espaces représente une portion de territoire, appelée Mini-ville. Chaque Mini-ville est équipée d'une multitude de capteurs permettant le monitoring urbain et l'analyse de la pollution atmosphérique, de l'eau, de sols mais aussi l'étude de la performance des aménagements et des matériaux urbains.

Dans le cadre du stage, le candidat sera amené à participer à l'étude bibliographique de l'état de l'art portant sur les méthodes d'apprentissage les plus adaptés aux modèles de mécanique des fluides numériques. Il aura également l'opportunité de travailler à la mise en œuvre d'une ou plusieurs méthodes d'apprentissage sur un cas d'étude (simulation d'un écoulement sur une marche descendante).

Ce projet permettra ainsi au candidat de développer ses compétences en programmation, mais aussi d'approfondir ses connaissances en méthodes d'apprentissage automatiques (*machine learning*) et statistiques.

Références

[1] WHITE, Cristina, USHIZIMA Daniela, and FARHAT, Charbel. *Fast Neural Network Predictions from Constrained Aerodynamics Datasets*, AIAA 2020-0364, Session : Machine Learning for Fluid Flows <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2020-0364>.

[2] STREICHENBERGER, Benjamin, CHAKIR Rachida, JOUY Bastien, WAEYTENS Julien, *Simulation and Validation of CFD turbulent air flow at pedestrian level using 3D ultrasonic anemometer in the controlled urban area "Sense-City"*. Journal of Wind Engineering and industrial aerodynamics. En revision.