

**Utilisation de l'apprentissage automatique en mécanique des fluides  
pour la réduction, la reconstruction et la prédiction orientée données  
du champ de vitesse fluctuante d'un écoulement**

Soutenance de thèse – Pierre DUBOIS  
**Judi 21 octobre 2021 à 14h00 en distanciel**

**Devant le jury composé de :**

**Rapporteurs :**

Taraneh Sayadi  
Laurent Cordier

Chargée de recherche – Institut Jean le Rond d'Alembert Paris  
Directeur de Recherche – Institut Pprime, Chasseneuil du Poitou

**Examineurs :**

M. Marcello MEDLI  
M. Laurent KEIRSBULCK  
  
M. Gilmar MOMPEAN

Maître de conférences - ISAE-ENSMA Chasseneuil du Poitou  
Professeur des universités – Uphf Université Polytechnique des  
HdF Valenciennes  
Professeur des universités – Université de Lille

**Directeur de thèse**

M. Thomas GOMEZ

Professeur, Université de Lille – LMFL

**Encadrant**

M. Laurent PERRET

Maître de conférences – Ecole Centrale de Nantes

**Invitée :**

Mme Bérangère PODVIN

Chargée de Recherche – LISN, Orsay

**Résumé :**

La mécanique des fluides est présente dans de nombreuses thématiques industrielles telles que la santé, le transport et l'énergie. Pour modéliser, contrôler et réduire les écoulements d'intérêt, il faut résoudre des problèmes d'optimisation non linéaires et multi-échelles. Face aux difficultés de résolution analytique et dans l'âge du *Big Data*, on cherche à utiliser la disponibilité des données numériques et expérimentales pour faire l'optimisation à partir des données. Dans ce contexte, la thèse s'intéresse aux outils de l'apprentissage automatique pour l'estimation orientée données d'un écoulement. En particulier, on cherche à réduire, reconstruire et prédire le champ de vitesse d'écoulements de complexité croissante: le sillage laminaire d'un cylindre, une couche de mélange spatiale, le sillage turbulent d'un cylindre rectangulaire et l'écoulement autour d'une tour isolée. Pour ce faire, on commence par reformuler les problèmes de réduction, de reconstruction et de prédiction. Pour la réduction, on s'intéresse à l'utilisation d'auto-encodeurs pour déterminer un espace latent de dimension réduite dans lequel on peut réécrire le film de l'écoulement. Concernant la reconstruction, on utilise l'apprentissage supervisé pour estimer l'état latent à un instant donné à partir de mesures du champ de vitesse fluctuante au même instant. Pour la prédiction, on cherche une approximation finie de l'opérateur de Koopman pour avancer linéairement dans le temps des observations choisies de l'état latent. Les résultats mettent en évidence que l'apprentissage automatique est une piste pertinente pour établir des modèles d'estimation d'écoulements. Toutefois, les développements restent académiques et le déploiement de modèles sur des configurations très turbulentes reste peu envisageable, notamment pour des questions de robustesses (à de nouvelles configurations, au bruit, etc....).

**Mots clés :** apprentissage automatique, réduction, reconstruction, prédiction, auto-encodeurs, opérateur de Koopman

## **Use of machine learning tools in fluid mechanics for the data-driven reduction, reconstruction and prediction of a fluid flow fluctuating velocity field**

Fluid mechanics is an important part in industrial questions. The modelisation, reduction and control of fluid flows require to solve a nonlinear and multiscale optimisation problem. In the age of artificial intelligence, there is a craze to solve these optimisation problems using the wealth of experimental and numerical data. In this context, the objective of the manuscript is to present how machine-learning tools can be used for the data-driven estimation of fluid flow velocity fields. In particular, we aim at reducing, reconstructing and predicting four increasing complexity flows: the laminar wake of a cylinder, a spatial mixing layer, the turbulent wake of a square cylinder and the flow around an isolated tower. To do so, we start by reformulating the reduction, the reconstruction and the prediction problems. For the reduction, we use autoencoders to find a latent space and rewrite the flow with with a low rank approximation. For the reconstruction, we use supervised learning tools to estimate the latent state from limited measurements of the fluctuating velocity field. For the prediction, we search for a finite approximation of the Koopman operator to linearly advance in time observations of the latent state. The results show that machine learning is a promising direction to establish fluid flow estimation models. However, the deployment of models for highly turbulent flows remains questionable mainly because of robustness issues.

**Keywords:** machine learning, reduction, reconstruction, prediction, Koopman operator, autoencoders