

Titre :

**ANALYSE NUMERIQUE CFD DE L'ÉCOULEMENT TURBULENT
AUTOUR D'UN CORPS ÉPAIS**

Application au refroidissement du cluster CASSIOPEE
Et optimisation paramétrique avec filtre de Kalman

CFD NUMERICAL ANALYSIS OF A TURBULENT FLOW AROUND A THICK BODY

Application to CASSIOPEE cluster cooling and parametric optimization with Kalman filter

Directeur de Projet : Marcello MELDI - Sophie SIMONET

Co-encadrants :

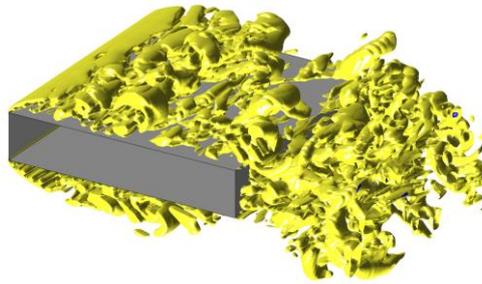
Contexte : Cluster CASSIOPEE

Contacts : ¹ sophie.simonet@ensam.eu marcello.meldi@ensam.eu

Lieu du stage : LMFL, ENSAM, 8 Bd Louis XIV, 59000 Lille

Date du stage : A partir de Février-Mars 2024 pour une durée de 5 mois

Niveau attendu : M2



French Version

Descriptif du projet :

Dans ce stage, nous proposons d'étudier le refroidissement des lames de calcul du cluster CASSIOPEE de l'ENSAM. Cette étude se base sur une analyse numérique CFD de l'échange de chaleur par convection turbulente en utilisant une géométrie simplifiée, afin de réduire les coûts de calcul. Parmi les cas tests les plus répandus de la littérature de la mécanique des fluides, le *Benchmark on the Aerodynamics of a Rectangular 5:1 Cylinder* (BARC) permet d'étudier certaines caractéristiques essentielles des applications d'écoulements instationnaires externes qui sont observés dans les applications d'ingénierie des transports. Cette

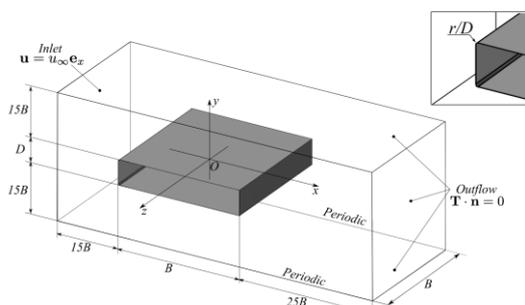


Figure 1: cas test BARC

configuration en apparence simple, présente pourtant des mécanismes physiques complexes comme le décollement de couche limite, le ré-attachement de l'écoulement, les zones de recirculation et les allées de Von Karman. Ces mécanismes et leurs interactions qui affectent la propagation des ondes acoustiques et l'organisation structurelle de l'écoulement, doivent être parfaitement compris et maîtrisés pour prévoir le comportement des systèmes pratiques. Une des difficultés majeures pour étudier ces écoulements est leur sensibilité aux caractéristiques géométriques ou aux conditions aux limites des installations. Certains détails de forme des parois ou les propriétés du fluide en entrée, qui ne peuvent pas être parfaitement contrôlés dans des applications pratiques, gouvernent pourtant l'évolution globale de l'écoulement.

L'objectif du projet est d'étudier cette configuration à l'aide d'outils numériques, plus précisément les codes *OpenFOAM* et *StarCCM+*. En particulier, la thermique à paroi et les phénomènes de convection forcée seront analysés. Le cas test sera étudiée en imposant des variations de :

1. Maillage (nombre d'éléments, résolution...)
2. Modélisation de la turbulence (RANS, hybrides RANS-LES, ...)
3. Géométrie (avec / sans arrondis)

Les simulations seront effectuées sur des ordinateurs locaux et en utilisant le cluster CASSIOPEE. Les comparaisons des résultats seront effectuées avec l'analyse des quantités physiques instantanées de l'écoulement ainsi que ses moments statistiques (moyenne, écart type, ...). Les paramètres libres de la simulation numérique seront après optimisées grâce à l'utilisation du Filtre de Kalman, un outil d'assimilation des données. Grâce à l'observation des informations obtenues sur le cluster de calcul physique, le modèle numérique sera amélioré dans le cadre d'un jumeau numérique.

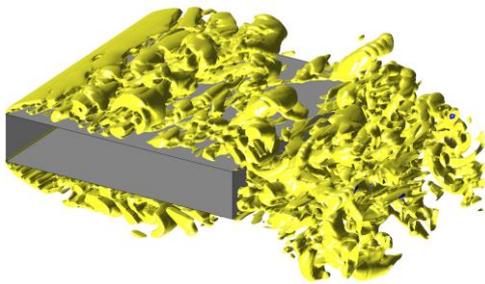


Figure 2 : vorticité instantanée

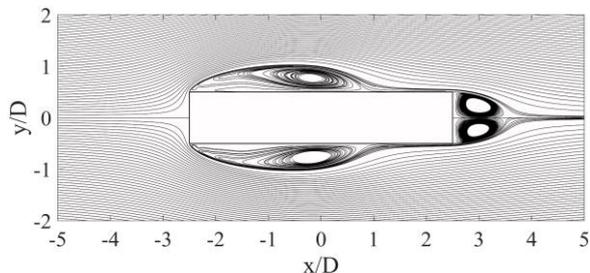


Figure 3 : vitesse moyenne

English Version :

In this internship, we propose to study the cooling of the computing slides of the CASSIOPEE cluster of ENSAM. This study is based on a CFD numerical analysis of heat exchange by turbulent convection using simplified geometry, in order to reduce design costs. Among the most widespread test cases in the fluid mechanics literature, *the Benchmark on the Aerodynamics of a Rectangular 5:1 Cylinder (BARC)* allows us to study some essential characteristics of external unsteady flow applications that are observed in transportation engineering applications. This seemingly simple configuration nevertheless presents complex physical mechanisms such as boundary layer detachment, flow re-attachment, recirculation zones and Von Karman alleys. These mechanisms and their interactions, which affect the propagation of acoustic waves and the structural organization of the flow, must be fully understood and mastered in order to predict the behavior of practical systems. One of the major difficulties in studying these flows is their sensitivity to geometric characteristics or to boundary conditions of the installations. Certain details of the shape of the walls or the properties of the inlet fluid, which cannot be perfectly controlled in practical applications, nevertheless govern the overall evolution of the flow.

The objective of the project is to study this configuration using numerical tools, more specifically the *OpenFOAM* and *StarCCM+* codes. In particular, wall thermal and forced convection phenomena will be analyzed. The test case will be studied by imposing variations of:

1. Mesh (number of elements, resolution, etc.)

2. Turbulence modeling (RANS, RANS-LES hybrids, ...)
3. Geometry (with/without rounding)

The simulations will be carried out on local computers and using the CASSIOPEE cluster. Comparisons of the results will be made with the analysis of the instantaneous physical quantities of the flow as well as its statistical moments (mean, standard deviation, ...). The free parameters of the numerical simulation will then be optimized thanks to the use of the Kalman Filter, a data assimilation tool. Through the observation of the information obtained on the physical computing cluster, the numerical model will be improved as part of a digital twin.