**Intitulé de l’Unité d’Enseignement / Entité Constitutive (UE/EC) :** **Simulation numérique haute fidélité pour les écoulements turbulents**

**Code UE :** MU5MEF13

**Volumes horaires / étu :** 18h Cours 6h TD 4h TP

**Nombre de crédits de l’UE/EC :** 3 ECTS

**Mention(s) de Master de l’UE :**  Mécanique  AR  E3A

**Parcours-type :** E3A : CIMES  Syscom  IPS

AR :  SAR  ISI

MECA :  MS2  MF2A  EE  CompMech  ACOU  EE APP

**Semestre où l’enseignement est proposé :**  S1  S2  S3  S4

**Langue d’enseignement :**  Français  Anglais

**Public concerné :**  Sorbonne Université  Autre (préciser) : ENSAM

**Localisation :**  Campus PMC  Autre (préciser) : Arts et Métiers Campus de Paris

**Objectifs de l’enseignement :**

Ce module vise à fournir une introduction à la simulation numérique haute fidélité des écoulements turbulents, avec un focus sur les équations de Navier-Stokes compressibles. La large gamme d’échelles spatiales et temporelles actives dans cette typologie d’écoulement implique des fortes contraintes en termes de modélisation physique et de résolution numérique, ce qui comporte des coûts de calcul importants. Dans la première partie on s’intéressera à la modélisation physique par simulation numérique directe (DNS), méthode de Boltzmann sur réseau (LBM) et simulation aux grandes échelles (LES), avec des notions de calcul massivement parallèle (HPC). Le cours fournira également une présentation des méthodes de discrétisation spatiale et intégration temporelle à haute précision nécessaires à bien mener ces calculs, en soulignant les effets de l’interaction entre modèle physique et méthode numérique. Les concepts seront illustrés par des applications numériques à l’aide d’un logiciel de calcul parallèle pour l’étude de configurations turbulentes à nombres de Reynolds et Mach élevés.

**Connaissances et compétences acquises par l’étudiant à l’issue de l’enseignement :**

A l’issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de :

* Evaluer avantages et inconvénients des techniques LES, RANS/LES et LBM pour la modelisation d’écoulements turbulents
* Utiliser méthodes d’ordre élevé en temps et en espace pour la simulation d’écoulements multi échelles
* Estimer l’interaction entre modèle de turbulence et schéma de discrétisation

afin de mettre en œuvre ces compétences au sein de projets industriels et/ou de recherche

**Contenu de l’enseignement :**

* Introduction au calcul haute performance (HPC)
* Rappels généraux sur les écoulements turbulents. Notions de moyenne et filtrage, stratégies et niveaux de modélisation de la turbulence
* Simulation aux grandes échelles (LES) : équations de Navier-Stokes filtrées, approche explicite et implicite, modélisation fonctionnelle et structurelle du tenseur de sous-maille, approche wall-modeled et wall-resolved, aspects numériques (interaction avec les erreurs numériques, choix du maillage, conditions aux limites).
* Méthodes Hybrides RANS/LES : classification générale, approches statistique, zonale et globale, avantages et limitations de quelques modèles célèbres (hybrid viscosity, SAS, VLES, PITM, PANS, DES, DDES)
* Méthode de Boltzmann sur réseau (LBM) : équation de Boltzmann, développement de Chapman-Enskog, opérateur BGK, discrétisation en espace et en temps, applications.
* Méthodes numériques pour l’intégration temporelle : méthodes à un pas, multi-pas, Runge-Kutta et implicites. Analyse de stabilité et exemples d’applications.
* Schémas spatiaux d’ordre élevé : schémas compactes, DRP, TVD, WENO. Formulation hybride et skew-symmetric. Stratégies de capture de choc.
* Application à configurations canoniques : turbulence homogène isotrope, canal plan, interaction choc / tourbillon.

**Prérequis :**

Mécanique des Fluides, bases de la simulation numérique des écoulements, dynamique de la turbulence.

**Modalités de contrôle des connaissances (indicatives) :**

1 écrit terminal (50%), 2 TP (50%)

**Références bibliographiques :**

* E. Garnier, N. Adams, P. Sagaut, « Large Eddy Simulation for Compressible Flows », Springer (2009)
* C. Bailly, G. Comte-Bellot, « Turbulence », Springer (2015)
* P. Sagaut, S. Deck, M. Terracol, « Multiscale and multiresolution approaches in turbulence », Imperial College Press, 2nd Edition (2013)

**Séquencement de l’enseignement (indicatif) :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| semaine | C | TD | TP | Projet | Contrôle |
| S1 | C1 (2h) |  |  |  |  |
| S2 | C2 (2h) |  |  |  |  |
| S3 | C3 (2h) |  |  |  |  |
| S4 | C4 (2h) |  |  |  |  |
| S5 |  | TD1 (2h) |  |  |  |
| S6 |  |  | TP1 (2h) |  | Rapport TP |
| S7 | C5 (2h) |  |  |  |  |
| S8 | C6 (2h) |  |  |  |  |
| S9 |  | TD2 (2h) |  |  |  |
| S10 | C7 (2h) |  |  |  |  |
| S11 | C8 (2h) |  |  |  |  |
| S12 | C9 (2h) |  |  |  |  |
| S13 |  |  | TP2 (2h) |  | Rapport TP |
| S14 |  | TD3 (2h) |  |  | Ecrit |

**Date de la rédaction de la fiche d’UE :** 07/06/2022

**Rédacteur :** L. Sciacovelli