



Faculté de sciences appliquées

MECA2853 Turbulence

[30h+15h exercices] 4 crédits

Cette activité se déroule pendant le 1er semestre

Enseignant(s): Guy Schayes, Grégoire Winckelmans

Langue d'enseignement : français

Niveau : Second cycle

Objectifs (en termes de compétences)

- Développer une théorie détaillée de la turbulence.
- Faire le point sur les modèles existants et leurs limites.
- Appliquer la théorie ainsi développée à la modélisation de divers phénomènes de mécanique des fluides, tant en ingénierie qu'en géophysique.
- Présenter une introduction à la simulation numérique des écoulements turbulents.

Objet de l'activité (principaux thèmes à aborder)

Partant de rappels généraux sur la théorie de la turbulence (problématique, turbulence isotrope, turbulence de paroi, modèles de base), le cours présentera une analyse détaillée la physique de ce phénomène pour diverses classes d'applications (écoulements industriels, aérodynamiques, atmosphériques, océaniques). Les principales méthodes de simulation numérique (RANS et LES) seront abordées.

Résumé : Contenu et Méthodes

1. Généralités

Écoulements turbulents, nature physique et caractéristiques de la turbulence, aspects instationnaires de la turbulence.

Moyennes de Reynolds (moyennes temporelles, d'ensemble, etc.), équations de conservation pour les moyennes, tensions et flux de Reynolds: transferts turbulents de quantité de mouvement et de chaleur.

Equations de conservation de l'énergie et de l'énergie cinétique de turbulence.

Approximation de Boussinesq; modèle linéaire de viscosité de turbulence et de conductibilité thermique de turbulence, nombre de Prandtl turbulent, analogie de Reynolds.

2. Turbulence de paroi

Description de l'écoulement, couche limite turbulente, échelles de longueur et de vitesse, longueur de mélange, viscosité de turbulence.

Zone interne (de paroi) et zone externe, sous-couche visqueuse, sous-couche inertielle, loi logarithmique, coefficient de frottement.

Écoulements en conduites, coefficient de pertes de charge, effet de la rugosité de la paroi.

Effets du gradient de vitesse externe et de la courbure de la paroi.

3. Turbulence isotrope

Échelles de la turbulence, cascade d'énergie, théorie de Kolmogorov, analyse de Fourier et spectre d'énergie, effets de la production et de la dissipation, corrélations de vitesses, comparaison avec l'expérience.

4. Couches de cisaillement, structures cohérentes en turbulence

Description phénoménologique, visualisation, résultats expérimentaux et de simulations numériques (taux de croissance, viscosité de turbulence, espacement des structures).

5. Effet de la stratification

Turbulence mécanique en présence de forces de volume (stratification, MHD...).

Equations géohydrodynamiques, couches d'Ekman, énergétique de la turbulence en milieu stratifié stable ou instable, expérience de Kato-Phillips, couches limites atmosphériques et océaniques.

Problèmes d'environnement.

6. Convection naturelle

Effets non-isothermes en turbulence.

Échelles en présence de convection naturelle, approximation de Boussinesq, lois de conservation de l'énergie et de l'énergie cinétique turbulente.

Convection atmosphérique et océanique.

7. Approche de Reynolds

Approche RANS ("Reynolds Averaged Navier-Stokes" models), fermeture du système.

Modèles linéaires classiques de viscosité de turbulence (longueur de mélange, k-e, etc.).

Effet de la stratification, modèle de Mellor-Yamada.

Écoulements secondaires, modèles k-e non-linéaires, modèles des tensions de Reynolds ("Reynolds Stress Models").

Conditions aux frontières, problèmes de résolution numérique.

8. Approche LES ("Large Eddy Simulations")

Filtres, échelles résolues et échelles de sous-maille, spectre.

Lois de conservation filtrées, contraintes effectives dues au filtre.

Modèle de Smagorinsky.

Développements récents.

Problèmes de résolution numérique.

9. Initiation à la turbulence bidimensionnelle

Variabilité atmosphérique et océanique, circulation générale et tourbillons à la méso-échelle, instabilité barocline, courants océaniques de bord-ouest, Gulf Stream.

Turbulence dans les métaux fondus en présence de champs magnétiques.

Autres informations (Pré-requis, Evaluation, Support, ...)

Pré-requis :

- Mécanique des milieux continus

- Mécanique des fluides

- Théorie de base de la turbulence

- Éléments de simulation numérique en mécanique des fluides.

NB: les références appropriées seront fournies aux étudiants n'ayant pas reçu une formation suffisante dans ces deux derniers domaines

Programmes proposant cette activité

MAP2 Ingénieur civil en mathématiques appliquées

Autres crédits de l'activité dans les programmes

MAP23 Troisième année du programme conduisant au grade d'ingénieur civil en mathématiques appliquées (4 crédits)

MECA23 Troisième année du programme conduisant au grade d'ingénieur civil mécanicien (4 crédits)

PHYS22/G Deuxième licence en sciences physiques (4 crédits)

PHYS22/T Deuxième licence en sciences physiques (Physique de la terre, de l'espace et du climat) (4 crédits)

Obligatoire