

Instabilités des écoulements

Niveau M2 - Semestre S1 - Crédits 3 ECTS - Code MU5MEF12

Présentation pédagogique.

Ce module vise à fournir une description complète de la modélisation des phénomènes d'instabilités responsable de la transition vers la turbulence. Nous nous intéresserons aux pertes de symétrie progressives des écoulements transitionnels, à la stabilité linéaire de points fixes, de cycles limites des équations de Navier-Stokes. D'un point de vue modélisation mathématique des instabilités, la notion d'instabilité convective, se développant spatialement ou absolue, se développant temporellement sera étudiée pour des écoulements localement parallèles ou quasi-parallèles. Enfin la notion d'instabilité globale, temporellement auto-entretenu, pour des écoulements possédant spatialement inhomogènes dans 2 ou 3 directions. La résolution numérique de ces différentes méthodes sera abordée et illustré pour des écoulements types comme l'écoulement cisailé, la couche limite, l'écoulement autour d'un cylindre ou d'une sphère.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Rappels généraux sur les systèmes dynamiques, notions de bifurcations, de points fixes, de cycles limites,...
- Définition d'un écoulement de base et son calcul. Définition de la notion de stabilité (linéaire, asymptotique, de Lyapunov,...)
- Analyse de stabilité d'un écoulement cisailé, stabilité convective/absolue, équation de Rayleigh, théorème de Rayleigh, Fjørtoft.
- Analyse de stabilité d'un écoulement de couche limite, théorème Squire, équation d'Orr-Sommerfeld, équation d'Orr-Reynolds. Résolution numérique d'un problème aux valeurs propres.
- Notion de Receptivité, de résolvant,
- Stabilité d'un écoulement autour d'un cylindre, notion de stabilité globale, temporellement auto-entretenu. Notion de sensibilité.
- Stabilité d'un écoulement autour d'une sphère, méthode résolution sans matrice.
- Stabilité d'un écoulement périodique, méthode de Floquet, stabilité secondaire, application à la couche limite.
- Définition de la normalité d'un opérateur, méthode adjointe.
- Perturbation optimale, stabilité non modale, notion de croissance transitoire.
- Application à un écoulement de couche limite.
- Description des la transition vers la turbulence d'une couche limite.
- Et la stabilité d'un écoulement turbulent ?

Pré-requis. Mécanique des Fluides, notions d'algèbre linéaire.

Références bibliographiques.

- Charru, Hydrodynamic Instabilities, Cambridge Univ. Press
- Drazin, Introduction to Hydrodynamic Stability, Cambridge Univ. Press
- Huerre & Rossi, Hydrodynamic Instabilities in Open Flows, Cambridge Univ. Press
- Schmid & Henningson, Stability and Transition in Shear Flows, Springer-Verlag

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports de cours, sujets de TD.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Compréhension des phénomènes d'instabilité
- Description des mécanismes de transition vers la turbulence pour quelques écoulements types.
- Résolution d'un problème aux valeurs propres de grande dimension.

Compétences développées dans l'unité.

- Modélisation et résolution d'un problème de stabilité des écoulements du simple au complexe
- Analyse physique des écoulements, classification des instabilités.

Compétences méthodologiques et transversales

- Projet de groupe sur la stabilité linéaire d'un écoulement en aérodynamique ou hydrodynamique.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 30 h réparties en 24 h de CM, 4 h TD et 2 h contrôle des connaissances. Travail personnel attendu : 40 h.

Évaluation. Contrôle continu (/50) et examen écrit (/50)

Responsables. Jean-Christophe ROBINET