

UM4MEF10 – Hydrodynamique (Hydrodynamics)

Arnaud Antkowiak

2025-06-23 12:00:31 +0200

Informations générales

Title (EN)	Hydrodynamics
Titre (FR)	Hydrodynamique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Arnaud Antkowiak
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	28
Volume h TD / Amount of exercise hours	28
ECTS	6
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	https://calendar.google.com/calendar/embed?src=72ioope2p4l
Code de l'UE	UM4MEF10

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Présentation pédagogique

Ce module vise à présenter un panorama de la mécanique des fluides depuis les écoulements dominés par la viscosité (eg nage bactéries, synthèse fibre optique) jusqu'à ceux dominés par l'inertie (aérospatial, énergie, dynamique des crues, écoulements astrophysiques). Après avoir revu les concepts fondamentaux (conditions limites, équations de bilans, forces, modes de transport), ce cours s'attachera à donner les clés de la modélisation d'écoulements et les techniques d'approximation, en vue de pouvoir prédire des observables comme la force exercée par un film de lubrification ou la vitesse d'un anneau tourbillonnaire. Ces concepts seront illustrés par des études de travaux historiques, de résolution de problèmes et d'expériences numériques sous Python.

Contenu de l'unité d'enseignement

1. Rappels sur les **lois de conservation** et les **principes fondamentaux de la mécanique des fluides**. TD sur l'analyse dimensionnelle et des problèmes classiques en mécanique des fluides.
2. **Conditions limites** (bilans à une interface et lois phénoménologiques) et changement de phase (évaporation/solidification). TD invariance d'échelle et évaporation.
3. **Interfaces** et tension de surface. TD adhésion capillaire.
4. **Écoulements dominés par la viscosité**. TD nage de bactéries et écoulements à travers des nano-pores.
5. Écoulements de **films minces** visqueux. TD écoulement de lave.
6. **Ondes dans les fluides**. Phénomène de dispersion et de traînée d'onde. TD sillage d'un bateau.
7. **Couches limites thermiques** et convection naturelle. TD panache thermique.
8. **Écoulements planétaires I**. Les gyres océaniques et le Gulf-Stream. TD modèle de Stommel.
9. **Écoulements planétaires II**. Ecoulements à grande échelle dans l'atmosphère. TD cellule de Hadley.

Content (EN)

Overview

This module aims to provide a broad overview of fluid mechanics, ranging from viscosity-dominated flows (e.g., bacterial swimming, optical fiber manufacturing) to inertia-dominated flows (aerospace, energy, flood dynamics, astrophysical flows). After reviewing fundamental concepts (boundary conditions, conservation equations, forces, transport mechanisms), the course will focus on providing the keys to flow modeling and approximation techniques, with the goal of predicting observables such as the force exerted by a lubrication film or the velocity of a vortex ring. These concepts will be illustrated through historical case studies, problem-solving sessions, and numerical experiments in Python.

Course Content

1. Refresher on **conservation laws** and the **fundamental principles of fluid mechanics**. Tutorial on dimensional analysis and classical fluid mechanics problems.
2. **Boundary conditions** (interface balance and phenomenological laws) and phase change (evaporation/solidification). Tutorial on scale invariance and evaporation.
3. **Interfaces** and surface tension. Tutorial on capillary adhesion.
4. **Viscosity-dominated flows**. Tutorial on bacterial swimming and flow through nanopores.
5. Viscous **thin film flows**. Tutorial on lava flow.
6. **Waves in fluids**. Phenomena of dispersion and wave drag. Tutorial on boat wakes.
7. **Thermal boundary layers** and natural convection. Tutorial on thermal plumes.
8. **Planetary flows I**. Oceanic gyres and the Gulf Stream. Tutorial on the Stommel model.
9. **Planetary flows II**. Large-scale atmospheric flows. Tutorial on the Hadley cell.

Mots clés (FR)

Mécanique des fluides ; Modélisation des écoulements ; Approximations en mécanique des fluides ; Écoulements visqueux ; Écoulements inertiels ; Couches limites ; Convection naturelle ; Ondes dans les fluides ; Films minces ; Écoulements océaniques et atmosphériques

Keywords (EN)

Fluid mechanics; Flow modeling; Approximations in fluid mechanics; Viscous flows; Inertial flows; Boundary layers; Natural convection; Waves in fluids; Thin films; Oceanic and atmospheric flows

Prérequis (FR)

Descriptions d'écoulement : outils cinématiques (point de vue eulérien), champ de vitesse, ligne de courant, incompressibilité. Bilans de matière / de quantité de mouvement sur des volumes / localement. Contraintes : description tensorielle, calcul de forces. Transport diffusif / convectif (flux). Approximation écoulement parfait. Solutions exactes de Navier- Stokes (plan parallèle).

Pre-requisites (EN)

Flow descriptions: kinematic tools (Eulerian perspective), velocity field, streamline, incompressibility. Mass and momentum balances over control volumes and locally. Stresses: tensor description, force calculation. Diffusive and convective transport (fluxes). Perfect flow approximation. Exact solutions of the Navier-Stokes equations (parallel flow).

Modalité d'évaluation

sup(100% final exam, 40% intermediary exam + 60% final exam)

Assessment

sup(100% final exam, 40% intermediary exam + 60% final exam)

Acquis d'Apprentissage Visés

Compétences développées dans l'unité.

- Analyse phénoménologique d'écoulements.
- Modélisation d'écoulements non triviaux.
- Approximation d'écoulements par analyse asymptotique (perturbations régulières et singulières).

Compétences méthodologiques et transversales

- Démarche scientifique du modélisateur et mise en œuvre d'une stratégie de résolution : identification des phénomènes dominants, simplification du problème (eg géométrie), résolution asymptotique ou numérique et analyse critique des résultats.
- Utilisation appropriée des outils numériques disponibles au niveau Master

Learning outcomes

Skills Developed in the Course

- Phenomenological analysis of fluid flows.
- Modeling of non-trivial flows.
- Flow approximation using asymptotic analysis (regular and singular perturbations).

Methodological and Transversal Skills

- Scientific approach to modeling and implementation of a resolution strategy: identification of dominant phenomena, simplification of the problem (e.g., geometry), asymptotic or numerical resolution, and critical analysis of results.
- Appropriate use of digital tools available at the Master's level.

Bibliographie

- Germain, P. (1986). *Mécanique*. Ellipses.
- Guyon, E., Petit, L., & Hulin, J. P. (1991). *Hydrodynamique physique*. CNRS Interéditions.
- Batchelor, G. K. (1967). *An introduction to fluid dynamics*. Cambridge University Press.
- Lighthill, J. (1986). *An informal introduction to theoretical fluid mechanics*.
- Prandtl, L. & Tietjens, O. K. G. (1957). *Fundamentals of hydro- and aeromechanics*. Dover.

Version PDF