



Faculté de sciences appliquées

## MECA2322 Mécanique des fluides et transferts II

[30h+30h exercices] 5 crédits

Cette activité se déroule pendant le 1er semestre

**Enseignant(s):** François Dupret, Grégoire Winckelmans

Langue d'enseignement : français

Niveau : Deuxième cycle

### Objectifs (en termes de compétences)

Ce cours fait suite au cours "Mécanique des Fluides et Transferts I", avec lequel il couvre la matière de base dans ces deux disciplines. Les cours I et II forment ainsi un tout et leurs objectifs sont communs : intégration de la mécanique des fluides et des transferts; prise en compte de l'observation physique et approche phénoménologique; développements mathématiques rigoureux; place accrue pour le traitement de la turbulence.

L'organisation des cours I et II est faite de telle façon que les fondements soient vus dans le cours I et les matières plus spécifiques dans le cours II (turbulence, rayonnement et applications pratiques).

### Objet de l'activité (principaux thèmes à aborder)

Écoulements compressibles. Onde de choc. Instabilités hydrodynamiques. Équation d'Orr-Sommerfeld. Turbulence (générale et en conduite). Turbulence homogène isotrope. Modèles de fermeture. Calculs pratiques des pertes de charge et coefficients de transfert. Convection naturelle. Approximation de Boussinesq. Changements de phase (condensation, ébullition, solidification, fusion). Échangeurs de chaleur. Rayonnement thermique (principes physiques; rayonnement de surface; rayonnement dans les gaz).

## Résumé : Contenu et Méthodes

### 1. Solutions pour écoulements compressibles avec hypothèses simplificatrices (5 hrs)

- Ecoulements compressibles avec hypothèse énergétique : cas isentropique, cas isotherme; équation de Bernoulli; relation entre écoulement incompressible et écoulement compressible à faible nombre de Mach (1,5 hrs).
- Ecoulement isentropique en conduite à section variable, subsonique et supersonique (convergent, divergent, col); débit maximum (1,5 hrs).
- Ecoulement adiabatique en conduite à section constante mais avec frottement (Fanno) (1 hr).
- Onde normale faible et isentropique: onde acoustique; onde forte non isentropique: choc normal et relations d'Hugoniot (1 hr).

### 2. Stabilité hydrodynamique (1 hr)

Exemples de phénomènes d'instabilité; perturbation par rapport à un écoulement de base et linéarisation : équation de Orr-Sommerfeld; courbe de stabilité marginale pour la couche limite de Blasius.

### 3. Turbulence (5 hrs)

- Transition laminaire-turbulent: description; couche limite turbulente et écoulement turbulent en conduite : profil de vitesse en loi de puissance; concept de longueur de mélange et profil de vitesse logarithmique; analogie de Reynolds; coefficients de frottement, de transfert de chaleur et de transfert de masse (3 hrs).
- Turbulence "en général": spectre d'énergie pour la turbulence homogène isotrope; équations moyennées et modèles de fermeture simples (2 hrs).

### 4. Calcul pratique des transferts pour l'ingénieur (3 hrs)

- Pertes de charge en conduite lisse et rugueuse, pertes de charge singulières (vanne, élargissement brusque, coude, etc.), circuit.
- Diamètre hydraulique et corrélations.
- Calcul des coefficients de transfert de chaleur.
- Calcul des coefficients de transfert de masse.

### 5. Convection naturelle (3 hrs)

- Hypothèse de Boussinesq.
- Plaque verticale: phénoménologie, analyse dimensionnelle, approche intégrale (paroi isotherme, écoulement laminaire), corrélations.
- Espaces confinés, gradient thermique horizontal : tube court, tube long, enceinte.
- Espaces confinés, gradient thermique vertical : cellules de Bénard.

### 6. Changements de phase (4 hrs)

- Condensation: condensation en film : théorie de Nusselt; configurations complexes (phénoménologie, corrélations), mélanges binaires (2 hrs).
- Ebullition : les différents modes d'ébullition, nucléation, courbe de Nukiyama; ébullition en convection forcée, mélanges binaires (1 hr).
- Solidification, fusion (1 hr).

### 7. Echangeurs de chaleur (5 hrs)

- Principales configurations des échangeurs, incidence du sens de circulation des fluides; calcul de l'aire d'échange; efficacité d'un échangeur, solutions adimensionnelles (nombre d'unités de transfert) (2 hrs).
- Echangeurs liquide-liquide (tubulaires, à plaques) (1 hr).
- Ailettes de refroidissement, efficacité de l'ailette; échangeurs gaz-liquide (2 hrs).
- Autres types d'échangeurs (gaz-gaz), caloducs.

### 8. Rayonnement thermique (4 hrs)

- Lois physiques de base.
- Propriétés des surfaces.
- Echange entre surfaces noires, aire d'échange direct (facteur de forme, cas particulier 2-D).
- Echange entre surfaces réelles.
- Rayonnement des gaz (en l'absence de dispersion).

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

Prérequis :

Mécanique des fluides et transferts I (MECA 2321).

Travaux pratiques :

- Les travaux pratiques comporteront des exercices et des travaux de laboratoire.
- Les exercices seront tantôt des applications directes de la théorie (l'objectif étant d'initier aux procédures de calcul pratique et de familiariser aux ordres de grandeur), tantôt des exercices faisant appel à la créativité en vue de prolonger les approches vues explicitement au cours (l'objectif étant d'utiliser les concepts vus au cours et de les appliquer à d'autres objets ou dans le cadre d'autres méthodes).
- Des laboratoires de mesure seront destinés à confronter les étudiants, bien concrètement, aux aspects physiques de la mécanique des fluides et des transferts, aux techniques de mesure (méthodes, contraintes, précision) et aux ordres de grandeur des variables mesurées. L'implication personnelle des étudiants dans le déroulement du laboratoire sera aussi prononcée que possible, tout en sachant bien qu'ils ne pourront pas être autonomes vis-à-vis de certains équipements trop sophistiqués ou trop fragiles.
- Enfin, le développement progressif de laboratoires interactifs CD-ROM, CD-V permettra à chaque étudiant de travailler personnellement, à son propre rythme, sur des ensembles de séquences (visualisation de résultats expérimentaux et de résultats de simulations numériques en animation). Ces ensembles de séquences seront construits autour de questions de nature phénoménologique autant que quantitative. L'étudiant aura à gérer même son cheminement dans ces séquences: visualiser, comprendre, analyser, répondre à un certain nombre de questions posées.
- Les quatre types de travaux pratiques (exercices d'application et de calcul, exercices de développement, laboratoires de mesure et laboratoires CD) auront des poids relatifs comparables (20 à 30 % du temps) pour chacun des deux cours, dans la mesure de la disponibilité progressive des applications CD.

Références bibliographiques :

- G.K. Batchelor, "An introduction to fluid dynamics", Cambridge University Press 1967 (reprinted paperback 1994).
- F. M. White, "Viscous fluid flow" second edition, Series in Mechanical Engineering, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- P. A. Thompson, "Compressible-fluid dynamics", advanced engineering series, Maple Press, 1984.
- H. Lamb, "Hydrodynamics", sixth edition, Cambridge University Press 1932, Dover Publications (paperback).
- L. Rosenhead, "Laminar boundary layers", Oxford University Press 1963, Dover Publications (paperback).
- P. G. Drazin and W. H. Reid, "Hydrodynamic stability", Cambridge University Press 1985.
- M. Van Dyke, "An album of fluid motion", The Parabolic Press, 1982.
- A. Bejan, "Heat transfer", John Wiley, Inc., 1993.
- R.B. Bird, W.E. Stewart., E.N. Lighfoot , "Transport phenomena", Wiley int. ed., 1960.
- . Schlichting, "Boundary-layer theory", Mc Graw-Hill, NY, 1986.
- L. Prandtl and O.G. Tietjens, "Fundamentals of hydro- and aero-mechanics", Dover publ., NY, 1957.
- J. Happel and H. Brenner, "Low Reynolds number hydrodynamics", Noordhoff int. publ., Leyden, 1973.
- D.J. Tritton, "Physical fluid dynamics", Van Nostrand Reinhold, UK, 1985.
- R. Siegel and J. Howell, "Thermal radiation heat transfer", 2nd ed., McGraw-Hill, NY, 1981.

**Autres crédits de l'activité dans les programmes**

<b>ELME22/E</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade d'ingénieur civil électro-mécanicien (énergie)	(5 crédits)	Obligatoire
<b>INCH22</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade d'ingénieur civil chimiste	(5 crédits)	Obligatoire
<b>MAP22</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade d'ingénieur civil en mathématiques appliquées	(5 crédits)	
<b>MECA22</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade d'ingénieur civil mécanicien	(5 crédits)	Obligatoire
<b>MECA23</b>	Troisième année du programme conduisant au grade d'ingénieur civil mécanicien	(5 crédits)	