



Faculté de sciences appliquées

## MECA2321 Mécanique des fluides et transferts I

[30h+30h exercices] 5 crédits

Cette activité se déroule pendant le 2<sup>ème</sup> semestre

**Enseignant(s):** Vincent Legat, Grégoire Winckelmans

Langue d'enseignement : français

Niveau : Second cycle

### Objectifs (en termes de compétences)

Le cahier des charges se justifie par la volonté d'intégrer la mécanique des fluides et les transferts; par la nécessité d'assurer à ces disciplines des fondements rigoureux tout en développant un certain nombre de solutions simplifiées dont l'usage est fréquent; par la volonté de cultiver des approches phénoménologiques tout autant que de développer des modèles différentiels rigoureux, les deux approches étant nécessaires, complémentaires et s'éclairant mutuellement; par la nécessité enfin de réserver une place plus importante au traitement de la turbulence.

La globalité des matières forme un ensemble cohérent dans le cadre de la mécanique des fluides et des transferts de chaleur et de masse. Tandis que les cours de mécanique des fluides et transferts I et II reprennent, ensemble, la matière de base dans ces disciplines, le premier cours (I) est essentiellement consacré aux notions fondamentales : lois physiques, modèles principaux, solutions classiques, méthodologie (analyse dimensionnelle, solutions simplifiées asymptotiques, couches limites).

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

Similitude dynamique et bases de l'analyse dimensionnelle. Rappels de mécanique des milieux continus (cinématique et lois de conservation). Equations de constitution du fluide visqueux newtonien. Notion de fluide non-newtonien. Conduction de la chaleur et coefficient global de transfert. Diffusion d'espèces. Loi de Fick. Ecoulements de fluides incompressibles visqueux (solutions de Poiseuille et Couette). Transferts thermiques en écoulements établis. Ecoulements non établis. Lubrification hydrodynamique. Ecoulements irrotationnels de fluide parfait incompressible. Portance. Introduction à la couche limite. Modèle de Prandtl. Solution de Blasius pour la plaque plane. Couche limite thermique. Equation intégrale de von Karman. Couche limite laminaire en transferts de masse.

## Résumé : Contenu et Méthodes

### 1. Similitude (3 hrs)

- Cas simples (phénoménologie) : e.g., pertes de charge en conduite (diagramme de Moody), portance et traînée d'un corps (1 hr).

- Analyse dimensionnelle : théorème de Vaschy-Buckingham pour le cas général (2 hrs).

### 2. Equations de conservation et de constitution (formulation locale et bilans) (4 hrs)

- Rappels de mécanique des milieux continus : équations de conservation; équations de constitution : fluide newtonien et viscosité, loi de Fourier et conductibilité thermique; équations de Navier-Stokes; écoulements incompressibles; écoulements compressibles y compris le cas du gaz idéal; similitude sur les équations de conservation et nombres adimensionnels.

- Fluides visqueux non-newtoniens

### 3. Conduction (2 hrs)

Equation de la chaleur et conduction 1-D, parois planes et cylindriques, notions de résistance thermique et coefficient global de transfert.

### 4. Transfert de masse (2 hrs)

- Equations de conservation, loi de Fick et flux massique des espèces.

- Similitude sur les équations de conservation et nombres adimensionnels.

- Diffusion en milieu stagnant.

### 5. Solutions pour écoulements incompressibles avec hypothèses simplificatrices (11 hrs)

- Découplage des équations dans le cas à viscosité constante; écoulements visqueux établis bi-dimensionnels et axisymétriques : écoulement de Poiseuille (y compris les pertes de charge), écoulement de Couette, écoulement de Stokes autour d'un cylindre et d'une sphère (traînée) (2 hrs).

- Transfert thermique établi en écoulement établi; entrée thermique en écoulement établi : cas simple de l'écoulement piston ("slug flow") (2 hrs).

- Ecoulements non établis : zone d'entrée et concept de longueur d'établissement; écoulements instationnaires : transitoire de démarrage en conduite, écoulement cyclique en conduite avec gradient de pression oscillant (e.g., génie biomédical), plaque oscillante (2 hrs).

- Ecoulements lents et lubrification : cas du palier plat (1 hr).

- Ecoulements irrotationnels non-visqueux : équation de Bernoulli, écoulements potentiels, portance d'un profil (4 hrs).

### 6. Couches limites (8 hrs)

- Equations pour la couche limite laminaire; solution de similitude pour le champ de vitesse dans le cas incompressible avec vitesse externe,  $U_e$  constante (Blasius) (2 hrs).

- Epaisseur de déplacement et de quantité de mouvement; coefficient de frottement (1 hr).

- Relation entre l'enthalpie totale et la vitesse pour le cas  $Pr=1$  sans négliger la dissipation visqueuse (Crocco) : paroi à température constante, paroi adiabatique; solution de similitude pour le champ de température pour  $Pr$  quelconque, avec température de paroi constante, mais en négligeant la dissipation visqueuse (y compris les cas limites  $Pr \rightarrow 0$  et  $Pr \rightarrow \infty$ ); analogie de Reynolds (2 hrs).

- Cas avec  $U_e$  général : approche intégrale de von Karman, introduction au concept de décollement (2 hrs).

- Couche limite laminaire en transfert de masse (1 hr).

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

Prérequis :

Mécanique des milieux continus (MECA 2901).

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 donnés pour 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 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 lui-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.
- H. Schlichting, "Boundary-layer theory", Mc Graw-Hill, NY, 1986.
- L.D. Landau and E.M. Lifschitz, "Fluid mechanics", Course of Theoretical Physics vol. 6, Pergamon Press, London, 1959.
- 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>ELME21/E</b>	Première année du programme conduisant au grade d'ingénieur (5 crédits) civil électro-mécanicien (énergie)	Obligatoire
<b>ELME21/M</b>	Première année du programme conduisant au grade d'ingénieur (5 crédits) civil électro-mécanicien (mécatronique)	Obligatoire
<b>ELME22/M</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade (5 crédits) d'ingénieur civil électro-mécanicien (mécatronique)	
<b>INCH21</b>	Première année du programme conduisant au grade d'ingénieur (5 crédits) civil chimiste	Obligatoire
<b>INCH22</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade (5 crédits) d'ingénieur civil chimiste	
<b>MAP21</b>	Première année du programme conduisant au grade d'ingénieur (5 crédits) civil en mathématiques appliquées	
<b>MAP22</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade (5 crédits) d'ingénieur civil en mathématiques appliquées	
<b>MAP23</b>	Troisième année du programme conduisant au grade (5 crédits) d'ingénieur civil en mathématiques appliquées	
<b>MATR22</b>	Deuxième année du programme conduisant au grade (5 crédits) d'ingénieur civil en science des matériaux	
<b>MECA21</b>	Première année du programme conduisant au grade d'ingénieur (5 crédits) civil mécanicien	Obligatoire