LMECA2323

2015-2016

Aerodyamics of external flows

5.0 crédits	30.0 h + 30.0 h	2q

Enseignants:	Winckelmans Grégoire ; Chatelain Philippe ;
Langue d'enseignement:	Anglais
Lieu du cours	Louvain-la-Neuve
Ressources en ligne:	> http://moodleucl.uclouvain.be/enrol/index.php?id=8509
Thèmes abordés :	Rappel des équations de conservation pour écoulements incompressibles et compressibles, analyse dimensionnelle (théorème de Vaschy-Buckingham) et applications. Formulation en tourbillon-vitesse des équations et résultats généraux : entropie, tube tourbillon (théorèmes de Kelvin et de Helmholtz), vitesse induite par le tourbillon (Biot-Savart) en 3-D et en 2-D, production (parois, terme baroclinique) et diffusion du tourbillon, reformulation de l'équation de Bernoulli. Ecoulement incompressible irrotationnel par région : feuilles tourbillons de paroi et de sillage, démarrage brusque d'un écoulement, aile d'envergure finie en régime permanent (modèle de Prandtl, aile optimale). Ecoulements compressibles : écoulements 2-D supersoniques permanents : petites perturbations et ondes acoustiques, méthode des caractéristiques, ondes de détente et ondes de choc, applications; écoulements 1-D non permanents : méthode des caractéristiques. Couche limite laminaire pour le cas avec vitesse variable (Falkner-Skan, Polhausen, Thwaites). Stabilité des écoulements (Orr-Sommerfeld), transition vers la turbulence. Couche limite turbulente : loi du "mur" et "loi logarithmique" (Prandtl, von Karman, Millikan), "loi du sillage" pour le cas avec vitesse variable et concept de couche limite turbulente "à l'équilibre" (Clauser, Coles). Modélisation de la turbulence : approche statistique (Reynolds) et équations moyennées, modèle de fermeture (algébriques, à une ou deux équations de conservation), exemples d'application.
Acquis d'apprentissage	Eu égard au référentiel AA du programme « Master ingénieur civil mécaniciens », ce cours contribue au développement, à l'acquisition et à l'évaluation des acquis d'apprentissage suivants : -- AA1.1, AA1.2, AA1.3 -- AA2.1, AA2.4, AA2.5 -- AA3.1, AA3.2 -- AA5.2, AA5.4, AA5.5 -- AA6.3, AA6.4 Au terme du cours, l'étudiant aura approfondi ses connaissances et son savoir-faire en mécanique des fluides orientée vers l'aérodynamique (ou hydrodynamique) des écoulements externes. La démarche suivie privilégie la compréhension physique des problèmes et phénomènes rencontrés ainsi que leur modélisation dans un formalisme physique et mathématique adéquat. Il s'agit de développer l'aptitude de l'étudiant à utiliser les concepts et outils propres à l'aérodynamique (hydrodynamique) des écoulements externes pour comprendre des situations réelles relativement complexes, et pour les modéliser de façon simplifiée mais suffisante, en utilisant un formalisme mathématique et/ou numérique adéquat, afin d'obtenir une solution physique acceptable. Il s'agit aussi de développer l'aptitude de l'étudiant à effectuer des travaux en dehors des séances dirigées, via des exercices de type projet court (homework), et des laboratoires, et à produire des rapports écrits de qualité. *La contribution de cette UE au développement et à la maîtrise des compétences et acquis du (des) programme(s) est accessible à la fin de cette fiche, dans la partie « Programmes/formations proposant cette unité d'enseignement (UE) ».*
Modes d'évaluation des acquis des étudiants :	Ewamen écrit
Méthodes d'enseignement :	Cours : Il y a typiquement 13 cours de 2 heures en salle (26 heures). Travaux pratiques en salle : ils sont constitués de séances d'exercices permettant de développer les applications abordées au cours. Les étudiants doivent aussi effectuer des travaux de type projet court (homework), et produire, pour chaque travail, un rapport qui est aussi évalué. Selon l'importance du travail attendu, ces travaux se font par deux ou se font seul. Enfin, les étudiants doivent participer aux laboratoires organisés par petits groupes et produire, pour chaque laboratoire, un rapport de groupe qui est aussi évalué.
Contenu :	1. Théorie générale (5 hrs) -- Rappels généraux pour la formulation classique des équations de Navier-Stokes.

	-- Analyse dimensionnelle : démonstration du théorème de Vaschy-Buckingham; applications. -- Thermodynamique des écoulements compressibles. 2. Dynamique du tourbillon (8 hrs) -- Equations de conservation en formulation "tourbillon-vitesse" pour les écoulements incompressible et compressible. -- Résultats sur les équations de conservation et sur les bilans avec volume de contrôle. -- Tube tourbillon 3-D : théorèmes de Kelvin et de Helmholtz, applications. -- Vitesse induite par le tourbillon : loi de Biot-Savart; application au tube tourbillon 3-D et au tourbillon gaussien 2-D. -- Production du tourbillon : parois, terme baroclinique; diffusion du tourbillon; reformulation de l'équation de Bernoulli (incompressible et compressible). -- Ecoulements 2-D irrotationnels : feuille tourbillon de démarrage; Kutta-Joukowski; théorème de Blasius pour la portance et le moment. -- Modèle de Prandtl pour l'aile d'envergure finie : traînée induite et portance, applications (aile optimale elliptique et aile rectangulaire) et efficacité d'Oswald. 3. Ecoulements compressibles de fluide parfait (5 hrs) -- Ecoulements 2-D supersoniques permanents : concept de caractéristiques; petites perturbations et ondes acoustiques; méthode des caractéristiques; onde de détente isentropique (détente de Prandtl-Meyer); onde de compression non isentropique (onde de choc: choc droit et choc oblique); applications (par ex., au profil en "diamant"); calcul de la traînée d'onde. -- Ecoulement 1-D non-permanent (subsonique ou supersonique) : méthode des caractéristiques et invariants de Riemann pour le cas isentropique; application à la propagation d'un système : onde de choc et onde de détente. 4. Couche limite laminaire (4 hrs) -- Similitude pour le cas Ue " xm : problème de Falkner-Skan. - Méthode de Polhausen (basée sur l'équation intégrale de von Karman) pour le cas où Ue est général, et amélioration de Thwaites. 5. Stabilité hydrodynamique et transition (1 hr) -- Linéarisation en petites perturbations des équations de Navier-Stokes et stabilité des écoulements visqueux; simplification pour écoulements parallèles (équation de Orr-Sommerfeld): application à la couche limite et comparaison avec des résultats expérimentaux. -- "Route" vers le chaos et la turbulence : approche descriptive pour le cas de la transition de la couche limite. 6. Couche limite turbulente (5 hrs) -- Rappels, approche classique et résultats globaux obtenus à partir de l'équation intégrale de von Karman dans le cas Ue constant. -- Approche de von Karman et de Prandtl pour la viscosité de turbulence : "loi logarithmique" au sein de la "loi du mur"; argument unificateur de Millikan. -- Couche limite avec Ue général: données expérimentales et unification de Coles : "loi du mur" et "loi du sillage", profils de vitesse, méthode de calcul pour le développement de la couche limite. -- Similitude et concept de couche limite turbulente à l'équilibre avec Ue non constant : approche de Clauser et évidence expérimentale; unification de Coles et paramètres de similitude. 7. Modélisation de la turbulence (2 hrs) -- Approche statistique de Reynolds et équations moyennées. -- Modèles de fermeture basés sur l'analyse dimensionnelle : algébriques, à une équation de transport, à deux équations de transport (e.g., k-e, k-w) calibration et conditions aux limites requises; applications et comparaisons avec des résultats expérimentaux.
Bibliographie :	Notes et/ou transparents des titulaires. 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. L. Rosenhead, "Laminar boundary layers", Oxford University Press 1963, Dover Publications. 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. H. Schlichting, "Boundary-layer theory", Mc Graw-Hill, NY, 1968. H.W. Liepmann and A. Roshko, « Elements of gasdynamics », Dover Publications, 2001. D. J. Tritton, « Physical Fluid Dynamics », Clarendon Press, 1988.
Faculté ou entité en charge:	MECA

Programmes / formations proposant cette unité d'enseignement (UE)				
Intitulé du programme	Sigle	Crédits	Prérequis	Acquis d'apprentissage
Master [120] : ingénieur civil mécanicien	MECA2M	5	-	
Master [120] : ingénieur civil électromécanicien	ELME2M	5	-	