




Au vu du contexte sanitaire lié à la propagation du coronavirus, les modalités d'organisation et d'évaluation des unités d'enseignement ont pu, dans différentes situations, être adaptées ; ces éventuelles nouvelles modalités ont été -ou seront- communiquées par les enseignant-es aux étudiant-es.

5 crédits	30.0 h + 30.0 h	Q2
-----------	-----------------	----

Enseignants	Bricteux Laurent (supplée Winckelmans Grégoire) ;Winckelmans Grégoire ;
Langue d'enseignement	Anglais
Lieu du cours	Louvain-la-Neuve
Thèmes abordés	<ul style="list-style-type: none"> • Rappel des différents types d'EDP ainsi que leur classification. Méthodes des caractéristiques en écoulements compressibles simples. • Différences finies centrées, explicites et implicites. Différences finies décentrées. Analyse modale et nombre d'onde modifié pour la discrétisation d'une équation de convection et/ou de diffusion : erreurs de phase et/ou d'amplitude • Schémas d'intégration temporelle, explicites et implicites : rappels, nouveaux schémas, analyse de stabilité. • Equations de convection et/ou diffusion : cas multi-dimensionnels, cas linéaires et non-linéaires, schémas d'intégration explicites et implicites (méthodes ADI). • Méthodes numériques pour écoulements incompressibles, stationnaires et instationnaires : en formulation vitesse-pression et en formulation tourbillon-vitesse (aussi introduction à la méthode des particules de tourbillon). • Méthodes numériques pour systèmes hyperboliques : équation de Burgers, équations d'Euler pour écoulements compressibles ; intégration temporelle ; capture des discontinuités. Transformation d'un domaine de calcul (bloc) en un domaine physique, et équations dans le domaine de calcul, approche multi-blocs. Forme « Delta » et schémas ADI généralisés. • Introduction à la méthode des volumes finis pour maillages non-structurés.
Acquis d'apprentissage	<p>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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • AA1.1, AA1.2, AA1.3 • AA2.3, AA2.4, AA2.5 • AA3.1, AA3.3 • AA5.1, AA5.2, AA5.6 1 • AA6.2, AA6.4 <p>Plus précisément : Approfondir les connaissances de l'étudiant en méthodes numériques et les initier à la simulation numérique des écoulements en mécanique des fluides (Computational Fluid Dynamics, CFD), la démarche suivie privilégiant la compréhension physique des problèmes rencontrés ainsi que leur discrétisation numérique spatiale et leur intégration temporelle dans un formalisme adéquat. Développer l'aptitude de l'étudiant à réaliser des programmes qui mettent en 'uvre certaines des méthodes numériques présentées au cours pour aboutir à une simulation numérique complète et réaliste d'un problème physique.</p> <p>-----</p> <p><i>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) ».</i></p>
Modes d'évaluation des acquis des étudiants	<p>En raison de la crise du COVID-19, les informations de cette rubrique sont particulièrement susceptibles d'être modifiées. Rapports des travaux pratiques (devoir(s) et projet final), et examen écrit (avec notes de cours et notes personnelles permises).</p> <p>Les travaux pratiques sont essentiels et ils comptent pour 60% de la note finale, l'examen comptant pour les 40% restants. Cependant, une note minimale de 9/20 doit être obtenue à l'examen pour que la note des travaux pratiques soit effectivement comptabilisée dans la note finale. Dans le cas contraire, seule la note de l'examen constitue la note finale; étant entendu que la note des travaux pratiques demeure acquise par l'étudiant, et qu'elle sera prise en compte avec la note de l'examen suivant.</p>
Méthodes d'enseignement	<p>En raison de la crise du COVID-19, les informations de cette rubrique sont particulièrement susceptibles d'être modifiées. Typiquement 13 cours (26 heures), et des travaux pratiques : devoir(s) et projet final.</p>

Contenu	<p>Rappel des différents types d'équations aux dérivées partielles (EDP) : hyperbolique, parabolique, elliptique. Systèmes d'EDPs. Méthode des caractéristiques pour les systèmes hyperboliques et applications en écoulements compressibles simples.</p> <p>Discretisation par différences finies explicites, centrées et décentrées : obtention par séries de Taylor, erreur de troncature et ordre. Définition d'opérateurs fondamentaux et obtention de différences finies par opérateurs. Différences finies implicites et schémas compacts.</p> <p>Equation modèle de convection 1-D: discrétisation du terme de convection par différences finies centrées, explicites et implicites, analyse modale et nombre d'onde modifié : erreur de phase (= dispersion numérique) ; différences finies décentrées et erreur d'amplitude (= diffusion numérique).</p> <p>Equation modèle de diffusion 1-D: discrétisation du terme de diffusion par différences finies centrées, explicites et implicites, analyse modale et nombre d'onde modifié : erreur d'amplitude.</p> <p>Schémas d'intégration temporelle pour les problèmes discrétisés : integration numérique d'EDO et de systèmes d'EDOs; rappels sur les schémas de base et nouveaux schémas, analyse de stabilité : Euler explicite, Euler implicite, Crank-Nicolson (= règle du trapèze), schémas multi sous-pas (Runge-Kutta), schémas multi pas (saute-Mouton, Adams-Bashforth, Adams-Moulton), schémas prédicteur-correcteur, schéma de Hyman, schéma 3BDF.</p> <p>Equations de convection-diffusion : nombre de Reynolds de maille, nombre de Fourier, nombre CFL (Courant-Friedrichs-Lewy), cas linéaires et non-linéaires, schémas d'intégration explicites et implicites, stabilité, différences finies décentrées pour la convection (upwinding), schémas ADI pour les problèmes multi-dimensionnels.</p> <p>Méthodes numériques pour les écoulements incompressibles : formulation en vitesse-pression : discrétisation (y compris maillage MAC), imposition des conditions limites, méthode d'évolution artificielle pour écoulements stationnaires, méthodes pour écoulements instationnaires, stabilité, méthode de pénalisation de Brinkman pour cas avec corps immergé. Formulation en tourbillon-vitesse: discrétisation, obtention du champ de vitesse à partir du champ de tourbillon, obtention d'une condition limite approximative sur le tourbillon, méthode pour écoulements stationnaires, méthodes pour écoulements instationnaires (y compris introduction à la méthode des particules de tourbillon).</p> <p>Systèmes hyperboliques en forme conservative : équation modèle de convection non-linéaire (Burgers), équations d'Euler pour les écoulements compressibles et conditions aux limites (basées sur les caractéristiques); schémas d'intégration explicites (Lax, Lax-Wendroff, Richtmeyer, MacCormack), schémas d'intégration implicites; capture numérique des discontinuités. Transformation d'un domaine de calcul structuré (un bloc) en un domaine physique, et obtention d'équations sous forme conservative dans le domaine de calcul; approche multi-blocs. Forme "Delta" des équations discrétisées pour problèmes multi-dimensionnels et schémas ADI généralisés (Beam-Warming).</p> <p>Introduction à la méthode des volumes finis pour maillages non-structurés : traitement des flux de convection et de diffusion.</p>
Ressources en ligne	http://moodleucl.uclouvain.be/enrol/index.php?id=5623
Bibliographie	<ul style="list-style-type: none"> • Notes du titulaire • Transparents, documentation et notes du titulaire. • R.W. Hamming, « Numerical Methods for Scientists and Engineers », second ed., Dover, 1986. • J.H. Ferziger, « Numerical Methods for Engineering Applications », Wiley, 1981. • J. H. Ferziger and M. Peric, « Computational Methods for Fluid Dynamics », Springer, 1996. • R. Peyret and T.D. Taylor, « Computational Methods for Fluid Flow », Springer, 1986. • C.A. J. Fletcher, « Computational Techniques for Fluid Dynamics 1, Fundamental and General Techniques », second ed., Springer 1991. • C.A. J. Fletcher, « Computational Techniques for Fluid Dynamics 2, Specific Techniques for Different Flow Categories » second ed., Springer, 1991. • K. Srinivas and C.A.J Fletcher, « Computational Techniques for Fluid Dynamics, A Solutions Manual », Springer, 1991. • D.A. Anderson, J.C. Tannehill, R.H. Pletcher, « Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer », Hemisphere Publishing, 1984. • D. Drikakis and W. Rider, « High-Resolution Methods for Incompressible and Low-Speed Flows », Springer, 2005. • G. Winckelmans, « Vortex Methods » : Chapter 5 in « Encyclopedia of Computational Mechanics, Volume 3 Fluids », Editors E. Stein, R. de Borst, T. J.R. Hughes, Wiley, 2004.
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 biomédical	GBIO2M	5		
Master [120] : ingénieur civil mécanicien	MECA2M	5		
Master [120] : ingénieur civil en mathématiques appliquées	MAP2M	5		
Master [120] : ingénieur civil électromécanicien	ELME2M	5		