

UM4MEA10 – Acoustique Générale (Fundamentals of Acoustics)

Régis Marchiano

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Fundamentals of Acoustics
Titre (FR)	Acoustique Générale
Nom du ou de la responsable de l'UE	Régis Marchiano
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	14
Volume h TD / Amount of exercise hours	14
Volume h TP / Amount of practical work hours	20
ECTS	6
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Code de l'UE	UM4MEA10

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Cette unité d'enseignement a pour objectif de donner les bases théoriques de l'acoustique et d'apprendre aux étudiants à mettre en œuvre numériquement des modèles simples de phénomènes acoustiques.

Les chapitres abordés dans ce cours sont :

Propagation des ondes acoustiques dans les fluides parfaits

Caractérisation des ondes sonores

Réflexion et transmission à une interface plane

Rayonnement des sources élémentaires

*Ondes guidées

Content (EN)

-

Mots clés (FR)

son, propagation, fluide parfait, équation des ondes, interfaces, outils numériques, représentations graphiques

Prérequis (FR)

Mécanique des milieux continus (niveau L3)

Analyse vectorielle

Fonction de plusieurs variables

Équations aux dérivées partielles *bases de Python, C, Fortran ou Matlab

Pre-requisites (EN)

Continuous media mechanics (L3 level) Vector analysis *Functions of several variables* Partial differential equations *basics of Python, C, Fortran or Matlab

Modalité d'évaluation

0,5E+0,5TP ; E=écrit ; TP=note de TP

Acquis d'Apprentissage Visés

Maîtriser le vocabulaire de base de l'acoustique dans les fluides. Ecrire et interpréter les solutions de base de l'équation des ondes (ondes progressives et rétrogrades, ondes planes, ondes sphériques)

Modéliser la vitesse du son dans les gaz et les liquides

Manipuler les grandeurs énergétiques en acoustique (densité acoustique d'énergie, intensité acoustique, puissance acoustique)

Caractériser un champ acoustique avec des indicateurs appropriés (Représentations temporelles et fréquentielles, décibel, bande d'octave ou tiers d'octave)

Modéliser la présence d'interface et la propagation dans des fluides différents (phénomène de réfraction et amplitudes des ondes réfléchies et transmises)

Savoir expliciter le comportement des sources élémentaires (monopôle et dipôle)

Modéliser la propagation en guide d'ondes: mode de propagation, dispersion et notion de fréquence de coupure

Identifier les phénomènes acoustique dans un problème donné (propagation libre, propagation guidée, réflexion, transmission, réfraction, dispersion, diffraction, absorption) Mettre en œuvre numériquement avec un langage de haut niveau (Python ou Matlab) des solutions de problèmes

d'acoustique dans les fluides afin obtenir des valeurs numériques et des représentations graphiques des grandeurs acoustiques

Learning outcomes

*Master the basic vocabulary of acoustics. Write and interpret the basic solutions of the wave equation (progressive and retrograde waves, plane waves, spherical waves). Model the speed of sound in fluids. Manipulate energy quantities in acoustics (acoustic energy density, acoustic intensity, acoustic power) Characterize an acoustic field with appropriate quantities (temporal and frequency representations, decibel, octave or third octave band). Model the presence of interfaces and propagation in different fluids (refraction phenomena and amplitudes of reflected and transmitted waves). explain the behavior of elementary sources (monopole and dipole) Model acoustic propagation in waveguides: modes, dispersion and cutoff frequencies. *Numerically implement acoustics models using Python or Matla) to obtain numerical values and graphical representations of acoustic quantities.*

Bibliographie

*Blackstock, D. T. (2001). Fundamentals of physical acoustics

*Pierce, A. (2019). An Introduction to Its Physical Principles and Applications

M. Bruneau : Introduction aux théories de l'acoustique, Publication de l'université du Maine, 1983

Version PDF

UM4MEA11 – Mesures Acoustiques 1 (Acoustic Measurement 1)

Benoit FABRE

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Acoustic Measurement 1
Titre (FR)	Mesures Acoustiques 1
Nom du ou de la responsable de l'UE	Benoit FABRE
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	7.5
Volume h TD / Amount of exercise hours	2
Volume h TP / Amount of practical work hours	12
Volume h Projet / Amount of project hours	8
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEA11

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

L'objectif de cet enseignement sur les deux semestres du M1 est de donner les bases théoriques, technologiques et pratiques pour réaliser des mesures dans le domaine de l'acoustique et des vibrations, que ce soit dans le domaine audible ou ultrasonore. Les principaux éléments traités sont : mécanismes physiques de la transduction, instrumentation (ex.: microphones, haut-parleur, transducteurs ultrasonores, électronique de la chaîne de mesure), directivité, prise en compte des incertitudes, conception de protocole de mesure. L'enseignement est largement basé sur la pratique.

L'UE du S1 porte sur l'étude d'un système électro-mécano-acoustique (EMA) formé d'un haut-parleur seul, puis d'un haut-parleur placé dans une enceinte close et enfin dans une enceinte à

événement. Elle se compose de 4 séquences, composées d'APP (Apprentissage Par Problèmes), de TD et TP, intitulées : 1. Concevoir et dimensionner une enceinte : 1 APP + 1 TP + 1 évaluation ; 2. Maîtriser les bases de calcul de circuits simples : Autonomie + 1 TD de renforcement + 1 évaluation ; 3. Analyser un système électro-mécano-acoustique : 2 APP + 1 TP + 1 évaluation; 4. Optimiser et évaluer une enceinte : 1 APP + 1 TP

Chaque séquence présente les objectifs d'apprentissage et se conclut par l'évaluation de ces objectifs à la séance suivante. Une séance d'APP se compose : d'une séance aller (1h), en groupe, présentant une situation problème, et destinée à établir un plan d'action pour y répondre ; - d'un travail personnel (3 à 5h) mettant en œuvre le plan d'action avec un regard critique ; - d'une séance retour (2h), en groupe, dédiée à la mise en commun, à la synthèse et à la présentation des connaissances acquises, permettant de dresser un bilan des notions comprises et des points restant à approfondir ; - d'une restructuration (30min), au cours de laquelle l'enseignant organise les questions des étudiants et y répond.

La note finale se compose d'une note de TP évaluant les 4 compte-rendu de TP, et d'une note d'écrit incluant 3 courtes évaluations (30 min) sur les 3 premières séquences, puis un écrit final (2h) à l'issue de la dernière séquence sur l'ensemble du programme.

Content (EN)

The objective of this course, spanning both semesters of the first year of the Master's program, is to provide the theoretical, technological, and practical foundations necessary to carry out measurements in the field of acoustics and vibrations, whether in the audible or ultrasonic domain. The main topics covered include: the physical mechanisms of transduction, instrumentation (e.g., microphones, loudspeakers, ultrasonic transducers, measurement chain electronics), directivity, consideration of uncertainties, and the design of measurement protocols. The course places strong emphasis on hands-on practical work.

The Teaching of Autumn semester focuses on the study of an electro-mechano-acoustic (EMA) system, beginning with a standalone loudspeaker, followed by the loudspeaker in a sealed enclosure, and finally in a vented (bass reflex) enclosure. It consists of 4 sequences, which include Problem-Based Learning (PBL) sessions, a tutorial (TD), and lab sessions (TP): 1. Designing and sizing an enclosure: 1 PBL + 1 lab session + 1 assessment 2. Mastering basic electrical circuit calculations: Independent work + 1 tutorial session + 1 assessment 3. Analyzing an electro-mechano-acoustic system: 2 PBL sessions + 1 lab session + 1 assessment 4. Optimizing and evaluating an enclosure: 1 PBL + 1 lab session Each sequence states the learning objectives and concludes with an assessment of these objectives in the following session. A PBL session consists of: - An initial session (1h), in groups, where a problem situation is presented and an action plan is established to address it; - Individual work (3 to 5 hours), during which students carry out the action plan while engaging in critical thinking; - A follow-up session (2h), in groups, aimed at sharing, synthesizing, and presenting the knowledge acquired, allowing for a review of what has been understood and what still needs further exploration; - A restructuring phase (30 min), during which the instructor organizes and answers students' questions.

The final grade is composed of a laboratory report grade, based on evaluation of the 4 laboratory session reports; and a written grade, comprising three short assessments (30 minutes each) on the first three sequences, followed by a final written exam (2 hours) covering the entire program.

Mots clés (FR)

système électro-mécano-acoustique, haut-parleur, enceinte, évent, transducteur, capteur, conditionneur.

Keywords (EN)

electro-mechano-acoustic system, loudspeaker, enclosure, vent, transducer, sensor, conditioner

Prérequis (FR)

outils mathématiques niveau L3

Pre-requisites (EN)

mathematical tools of Licence

Modalité d'évaluation

40% écrit final + 36% évaluations courtes + 24% TP

Assessment

40% final written grade + 36% assessment grade + 24% Lab grade

Acquis d'Apprentissage Visés

- Maîtriser les bases du calcul de circuits électroniques simples, en utilisant la notation complexe;
- Identifier les éléments constitutifs d'un haut-parleur et les grandeurs pertinentes qui permettent de décrire son fonctionnement;
- Donner une évaluation globale d'un système à haut-parleurs;
- Concevoir et mettre en œuvre une chaîne de mesure utilisant un capteur et un conditionneur.

Learning outcomes

- Master the fundamentals of calculating simple electronic circuits using complex notation;
- Identify the components of a loudspeaker and the relevant parameters that describe its operation;
- Provide an overall assessment of a loudspeaker system;
- Design and implement a measurement chain using a sensor and a signal conditioner.

Bibliographie

•Ballou, Glen. Handbook for sound engineers., chap.16&17, Taylor & Francis, 2013.
<https://nvhrbiblio.nl/biblio/boek/Ballou%20-%20Handbook%20for%20sound%20engineers-4e.pdf>

•Leach, Marshall, Jr. Introduction to Electroacoustics and Audio Amplifier Design, chap.7&8, Dubuque, IA, USA: Kendall/Hunt Publishing Company.

•Rossi, Mario. Electroacoustique, chap.7. Presses Polytechniques Romandes / Ecole polytechnique fédérale de Lausanne.

Version PDF



Publicité Focal

Figure 1: Figure

UM4MEA20 – Elastic waves (Ondes élastiques dans les solides)

Quentin Grimal

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Ondes élastiques dans les solides
Titre (FR)	Elastic waves
Nom du ou de la responsable de l'UE	Quentin Grimal
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	8
Volume h TD / Amount of exercise hours	8
Volume h TP / Amount of practical work hours	8
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Code de l'UE	UM4MEA20

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

##Thématique Ce cours porte sur l'étude de la propagation des ondes élastiques dans les solides isotropes. Le découplage de l'équation des ondes montre l'existence de deux ondes susceptibles de se propager dans un solide isotrope : une onde longitudinale et une onde transverse. Le cours traite d'abord de la propagation dans un solide illimité, où ces deux ondes se propagent de manière indépendante. Le cours détaille ensuite le couplage de ces ondes en présence d'une interface et les phénomènes de réflexion et de transmission. La dernière partie du cours porte sur les ondes guidées se propageant dans les solides, qui l'on connaît sous les noms de physiciens et géophysiciens célèbres (Rayleigh, Lamb, Scholte, etc.). Pour chaque type d'onde, la polarisation et l'équation caractéristique donnant la vitesse de phase sont explicitées.

##Objectifs d'apprentissage

##Modalités d'enseignement En plus des cours et des travaux dirigés, l'enseignement comporte des travaux pratiques numériques pendant lesquels les étudiants utilisent notamment un code de calcul de la propagation des ondes élastiques basé sur la méthode des différences finies.

Content (EN)

##Topic

This course focuses on the study of elastic wave propagation in isotropic solids. By decoupling the wave equation, it is shown that two types of waves can propagate in an isotropic solid: longitudinal and transverse waves. The course first addresses wave propagation in an unbounded solid, where these two wave types propagate independently. It then examines their coupling at an interface, along with the associated reflection and transmission phenomena. The final part of the course deals with guided waves propagating in solids, known by the names of prominent physicists and geophysicists (Rayleigh, Lamb, Scholte, etc.). For each wave type, the polarization and the characteristic equation determining the phase velocity are detailed.

##Teaching Methods

In addition to lectures and tutorial sessions, the course includes hands-on numerical practicals, during which students use a wave propagation simulation code based on the finite-difference method.

Mots clés (FR)

Ondes longitudinales et transverse ; onde de Rayleigh ; ondes de Lamb

Keywords (EN)

Longitudinal and transverse waves ; Rayleigh waves ; Lamb waves

Prérequis (FR)

Cours d'acoustique générale M1 ; cours de mécanique des milieux continus M1

Pre-requisites (EN)

Course of fundamentals acoustics (M1 level) and continuum mechanics course (M1)

Modalité d'évaluation

0,75E1+0,25TP1 (E1 = examen écrit terminal) ; TP = note de travaux pratiques

Assessment

0,75E1+0,25TP1

Acquis d'Apprentissage Visés

Énoncer et expliquer les équations fondamentales de l'élasticité linéaire dans les milieux isotropes. Formuler les équations de propagation des ondes longitudinales et transverses dans les solides isotropes à partir des lois de conservation et du comportement élastique. Démontrer les équations de dispersion pour les différents types d'ondes élastiques (longitudinales, transversales, de surface, guidées) et caractériser leurs propriétés (vitesse, polarisation, dispersion). Énoncer et expliquer l'influence des paramètres matériaux (coefficients élastiques, masse volumique) sur les vitesses de propagation. Appliquer les conditions de continuité aux interfaces pour déduire les coefficients de réflexion et de transmission des ondes. Analyser les phénomènes de propagation d'ondes guidées (ondes de Rayleigh, ondes de Lamb) dans des géométries simples. Résoudre analytiquement des cas-typés de propagation (milieux infinis, semi-infinis, interfaces planes) et interpréter les résultats obtenus. Interpréter des résultats expérimentaux ou numériques pour identifier les types d'ondes présents et en déduire des caractéristiques du milieu traversé.

Learning outcomes

State and explain the fundamental equations of linear elasticity in isotropic media. Formulate the propagation equations for longitudinal and transverse waves in isotropic solids based on conservation laws and elastic behavior. Derive dispersion relations for different types of elastic waves (longitudinal, transverse, surface, guided) and characterize their properties (velocity, polarization, dispersion). Explain the influence of material parameters (elastic constants, mass density) on wave propagation speeds. Apply continuity conditions at interfaces to derive reflection and transmission coefficients of elastic waves. Analyze the propagation of guided waves (Rayleigh waves, Lamb waves) in simple geometries. Solve analytically standard wave propagation problems (infinite and semi-infinite media, planar interfaces) and interpret the resulting solutions. Interpret experimental or numerical results to identify wave types and infer physical properties of the medium through which they propagate.

Bibliographie

*Ondes élastiques dans les solides, Daniel Royer, et Tony Valier-Brasier, ISTE

Version PDF

UM4MEA21 – Building Acoustics (Acoustique du bâtiment)

Augustin Ernoult

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Acoustique du bâtiment
Titre (FR)	Building Acoustics
Nom du ou de la responsable de l'UE	Augustin Ernoult
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	8
Volume h TD / Amount of exercise hours	8
Volume h TP / Amount of practical work hours	8
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MEA21

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Ce cours a pour objet l'étude des fondamentaux de l'acoustique des salles et du bâtiment. Dans l'optique d'une mise en pratique concrète, l'accent sera mis sur des calculs d'ordres de grandeurs et des modèles simplifiés permettant d'identifier les phénomènes mis en jeu et leur importance relative. Pour ce faire ce cours est organisé en trois parties: 1. des rappels d'acoustiques linéaires en se focalisant sur les grandeurs d'intérêt en acoustique des salles: puissances et densité d'énergie acoustique, niveaux sonores en décibels, etc. 2. acoustique des salles: répartition de l'énergie en fonction de la fréquence (approche modale), définition du temps de réverbération (approche statistique), expressions liant ces grandeurs à la géométrie de la salle, etc. 3. acoustique du bâtiment avec un focus sur les parois: isolation d'une parois, fréquences critiques des parois simples et doubles.

L'enseignement est organisé par une succession de phases de cours permettant de définir les notions et de travaux dirigés permettant de faire les démonstrations des formules de cours et leurs mise en application. Lors des séances de travaux pratiques, les étudiants et étudiantes appliqueront ces connaissances à la caractérisation de salles réelles.

Content (EN)

The aim of this course is to study the fundamentals of room and building acoustics. With a view to practical application, the emphasis will be on order-of-magnitude calculations and simplified models to identify the phenomena involved and their relative importance. To achieve this, the course is divided into three parts: 1. reminders of linear acoustics, focusing on the quantities of interest in room acoustics: power and acoustic energy density, sound levels in decibels, etc. 2. room acoustics: energy distribution as a function of frequency (modal approach), definition of reverberation time (statistical approach), expressions linking these quantities to room geometry, etc. 3. building acoustics, with a focus on walls: wall insulation, critical frequencies of single and double walls. The teaching is organised in a succession of lecture phases to define the concepts and tutorials to demonstrate the formulas and their application. During the practical sessions, the students will apply this knowledge to the characterisation of real rooms.

Mots clés (FR)

modes de salle, temps de réverbération, isolation acoustique

Keywords (EN)

modal approach, reverberation time, acoustic insulation

Prérequis (FR)

Cours d'acoustique générale

Pre-requisites (EN)

Course of fundamentals acoustics

Modalité d'évaluation

$0,75E1+0,25TP1$ (E1 = examen écrit terminal) ; TP = note de travaux pratiques

Assessment

$0,75E1+0,25TP1$

Acquis d'Apprentissage Visés

- Calculer en ordre de grandeur des niveaux sonores: par bandes d'octave ou de tiers d'octave, avec ou sans pondération
- Calculer les fréquences des modes d'une salle rectangulaire et savoir les représenter
- Manipuler la notion de densité de modes et la définition de la fréquence de Schröder
- connaître les hypothèses de Sabine et la formule de Sabine
- définir et mesurer un temps de réverbération de salle
- définir et mesurer l'indice d'affaiblissement d'une paroi
- connaître l'origine physique des fréquences caractéristiques de l'isolation d'une paroi simple ou double
- mettre en place une mesure acoustique à partir d'une norme

Learning outcomes

Estimate sound levels by order of magnitude: in octave bands or third-octave bands, with or without weighting Calculate the modal frequencies of a rectangular room and know how to represent them
Handle the concept of modal density and the definition of the Schröder frequency Understand Sabine's assumptions and Sabine's formula
Define and measure the reverberation time of a room Define and measure the sound reduction index of a partition
Understand the physical origin of the characteristic frequencies of the sound insulation of single or double walls Set up an acoustic measurement based on a standard

Version PDF

UM4MEA22 – Signal processing 2 (Traitement du signal 2 : Signal et systèmes linéaires en acoustique)

François Ollivier

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Traitement du signal 2 : Signal et systèmes linéaires en acoustique
Titre (FR)	Signal processing 2
Nom du ou de la responsable de l'UE	François Ollivier
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	8
Volume h TD / Amount of exercise hours	0
Volume h TP / Amount of practical work hours	20
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Localisation	Campus MPC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEA22

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Rappels d' Analyse spectrale des signaux numériques Caractéristiques statistiques des signaux aléatoires *Estimation des Fonctions de corrélation* Estimation des Densités spectrales de puissance *Identification des Fonctions de transfert et Réponses impulsionnelles* Applications aux systèmes linéaires en acoustique et vibrations

Content (EN)

Reminder of Spectral Analysis of Digital Signals Statistical Characteristics of Random Signals *Estimation of Correlation Functions* Estimation of Power Spectral Densities *Identification of Transfer functions and impulse responses* Applications to linear systems in acoustics and vibration

Mots clés (FR)

Analyse spectrale, signaux aléatoires, fonctions de Correlation , Densités spectrales de puissance, fonctions de Transfert et réponse impulsionnelle des systèmes linéaires

Keywords (EN)

Spectral analysis, Random signals, Correlation functions, Power Spectral densities, Transfer functions and Impulse responses of linear systems

Modalité d'évaluation

100 % exam numérique

Assessment

100 % numerical exam

Acquis d'Apprentissage Visés

Caractériser statistiquement des signaux aléatoires Estimer des fonctions de corrélation *Estimer les densités spectrales de puissance* Identifier les fonctions de transfert de systèmes linéaires et en déduire les réponses impulsionnelles *Appliquer ces outils d'analyse fréquentielle et temporelle à l'étude de systèmes linéaires en acoustique et en vibrations

Learning outcomes

Characterize random signals Estimate correlation functions *Estimate power spectral densities* Identify the transfer functions of linear systems and derive their impulse responses *Apply these frequency- and time-domain analysis tools to the study of linear systems in acoustics and vibrations

Bibliographie

Statistical digital signal processing and modelling - Monson Hayes – Ed. Wiley

Version PDF

UM4MEA23 – Projets Intégratifs (Integrative projects)

Benoît Tallon

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Integrative projects
Titre (FR)	Projets Intégratifs
Nom du ou de la responsable de l'UE	Benoît Tallon
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	4
Volume h TD / Amount of exercise hours	0
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	54
ECTS	6
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Localisation	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEA23

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

##Thématique

Les projets, menés en groupes de cinq à six étudiants, offrent l'opportunité d'appliquer la théorie, la modélisation, ainsi que les méthodes expérimentales et numériques abordées dans d'autres cours pour résoudre un problème d'ingénierie acoustique ou explorer un aspect fondamental de la physique acoustique. Les étudiants seront également initiés à la recherche bibliographique. Cette UE sera aussi l'occasion pour les étudiants d'approfondir leurs techniques pour la présentation écrite et orale de résultats scientifiques.

##Modalités d'enseignement Des cours seront dispensés pour initier à la recherche bibliographique et aux méthodes numériques. Chaque groupe aura accès à un document introduisant les règles de rédaction d'un document scientifique. L'enseignement des techniques de présentation orale sera assuré par l'encadrement de chaque groupe.

Content (EN)

##Theme

The projects, carried out in groups of five to six students, offer the opportunity to apply the theory, modeling, as well as the experimental and numerical methods covered in other courses to solve an acoustic engineering problem or explore a fundamental aspect of acoustic physics.

##Teaching Methods

Two lectures will be given to introduce bibliographic research and numerical methods. Each group will have access to a document introducing the rules for writing a scientific document. The teaching of oral presentation techniques will be provided by the supervision of each group.

Mots clés (FR)

Projets intégratifs, acoustique physique, acoustique musicale, acoustique architecturale

Keywords (EN)

Integrative projects, physical acoustics, musical acoustics, architectural acoustics

Prérequis (FR)

Cours d'acoustique générale M1 ; traitement du signal M1 ; vibrations et ondes M1 ; calcul scientifique M1

Pre-requisites (EN)

Course of fundamentals acoustics (M1 level) ; signal processing M1; vibrations and waves M1; scientific computing M1

Modalité d'évaluation

Rapport de mi-parcours (10%) ; Rapport final (40%) ; soutenance orale (30%) ; examen écrit (20%)

Assessment

Mid-term report (10%); final report (40%); oral presentation (30%); written exam (20%)

Acquis d'Apprentissage Visés

Conduire une étude bibliographique Mettre en place un protocole expérimental ou un plan de simulations *Confronter les prédictions d'un modèle à des résultats expérimentaux* Faire une analyse critique des résultats *Faire une restitution écrite et orale d'un travail scientifique* Organiser son travail au sein d'un groupe

Learning outcomes

Conduct a literature review Design an experimental protocol or a simulation plan *Compare model predictions with experimental results* Perform a critical analysis of the results *Deliver a written and oral presentation of a scientific work* Organize one's work within a team

Bibliographie

La bibliographie varie en fonction du projet sélectionné

Version PDF

UM4MEA24 – Mesures Acoustiques 2 (Acoustic Measurement 2)

Antoine Hajczak

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Acoustic Measurement 2
Titre (FR)	Mesures Acoustiques 2
Nom du ou de la responsable de l'UE	Antoine Hajczak
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	2
Volume h TD / Amount of exercise hours	4
Volume h TP / Amount of practical work hours	18
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Localisation	PMC et St-Cyr
Code de l'UE	UM4MEA24

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

L'objectif de cet enseignement sur les deux semestres du M1 est de donner les bases théoriques, technologiques et pratiques pour réaliser des mesures dans le domaine de l'acoustique et des vibrations, que ce soit dans le domaine audible ou ultrasonore. Les principaux éléments traités sont : mécanismes physiques de la transduction, instrumentation (ex.: microphones, haut-parleur, transducteurs ultrasonores, électronique de la chaîne de mesure), directivité, prise en compte des incertitudes, conception de protocole de mesure. L'enseignement est largement basé sur la pratique.

Au deuxième semestre, après des séances introductives (cours et TD), les étudiants réalisent six travaux pratiques de 3h parmi les thématiques suivantes (liste non exhaustive) : *Caractérisation d'une source aéroacoustique* Etude acoustique d'un instrument de musique *Mesures d'isolation dans le contexte de l'acoustique du bâtiment* Caractérisation du rayonnement d'une antenne de transducteurs ultrasonores pour l'imagerie *Utilisation des ondes élastiques pour la caractérisation des propriétés élastiques de solides et la localisation de défauts* Mesures dans une tube de Kundt *Caractérisation du comportement vibratoire d'une structure

Content (EN)

The objective of this course, spanning both semesters of the first year of the Master's program, is to provide the theoretical, technological, and practical foundations necessary to carry out measurements in the field of acoustics and vibrations, whether in the audible or ultrasonic domain. The main topics covered include: the physical mechanisms of transduction, instrumentation (e.g., microphones, loudspeakers, ultrasonic transducers, measurement chain electronics), directivity, consideration of uncertainties, and the design of measurement protocols. The course places strong emphasis on hands-on practical work.

In the second semester, following introductory lectures and tutorials, students carry out six 3-hour lab sessions selected from the following topics (non-exhaustive list): *Characterization of an aeroacoustic source* Acoustic study of a musical instrument *Sound insulation measurements in the context of building acoustics* Characterization of the radiation of an ultrasonic transducer array for imaging applications *Use of elastic waves to characterize the elastic properties of solids and to locate defects* Measurements in a Kundt's tube *Characterization of the vibrational behavior of a structure

Mots clés (FR)

Chaîne de mesure acoustique ; capteurs ; transduction ; calibrage ; mesures physiques ; grandeurs acoustiques

Keywords (EN)

Measurement chain ; transducers ; acoustic sources ; calibration ; measurement of physical quantities

Prérequis (FR)

cours d'acoustique générale de M1

Pre-requisites (EN)

courses of fundamentals of acoustics (M1 level)

Modalité d'évaluation

$0,8E1+0,2CR$. E1=Examen écrit ; CR=compte-rendu de TP

Assessment

$0,8E1+0,2CR$. E1=Examen écrit ; CR=compte-rendu de TP

Acquis d'Apprentissage Visés

*Expliquer les principes physiques fondamentaux de la transduction acoustique et ultrasonore. Identifier et sélectionner les capteurs et instruments adaptés à différents types de mesures acoustiques et vibratoires (ex. microphones, haut-parleurs, transducteurs ultrasonores, chaînes d'acquisition). Concevoir un protocole expérimental de mesure en acoustique, en prenant en compte les objectifs scientifiques et les contraintes techniques. Analyser les caractéristiques des sources et capteurs en termes de fréquence, de sensibilité, de polarisation et de directivité. Apprécier et estimer les biais et incertitudes de mesure, et les intégrer dans l'analyse des résultats expérimentaux. Développer un esprit critique vis-à-vis des résultats obtenus. Appliquer les connaissances théoriques à des situations expérimentales concrètes. Travailler en autonomie et en groupe en mobilisant une démarche scientifique. *Communiquer par écrit les résultats expérimentaux, en utilisant un vocabulaire technique approprié et en argumentant les choix méthodologiques.*

Learning outcomes

*Explain the fundamental physical principles of acoustic and ultrasonic transduction. Identify and select appropriate sensors and instruments for various types of acoustic and vibratory measurements (e.g., microphones, loudspeakers, ultrasonic transducers, data acquisition systems). Design an experimental measurement protocol in acoustics, taking into account scientific objectives and technical constraints. Analyze the characteristics of sources and sensors in terms of frequency, sensitivity, polarization, and directivity. Assess and estimate measurement biases and uncertainties, and incorporate them into the analysis of experimental results. Develop a critical perspective on the results obtained. Apply theoretical knowledge to concrete experimental situations. Work independently and in a team while employing a scientific approach. *Communicate experimental results in writing, using appropriate technical vocabulary and providing justification for methodological choices.*

Version PDF

UM4MEA25 – Traitement du signal audio (Audio signal processing)

Henri Boutin

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Audio signal processing
Titre (FR)	Traitement du signal audio
Nom du ou de la responsable de l'UE	Henri Boutin
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	12
Volume h TD / Amount of exercise hours	0
Volume h TP / Amount of practical work hours	16
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEA25

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Cette UE vise à former les étudiants à l'analyse et au traitement en temps et en fréquence d'un signal audio. L'enseignement se focalise sur l'analyse temps-fréquence, la modélisation et le codage des signaux de parole et de musique.

*La première partie présente l'ensemble de la chaîne d'acquisition et restitution du signal audio: conversion analogique-numérique (échantillonnage idéal et naturel, quantification) et numérique-analogique (bloqueur d'ordre N).

*Après quelques rappels sur les outils d'analyse fréquentielle des signaux discrets, la seconde partie présente la Transformée de Fourier à Court Terme (TFCT) pour l'analyse temps-fréquence.

Cette partie insiste notamment sur la précision et la résolution de ces outils, et sur le principe d'incertitude.

*La troisième partie propose une introduction à la perception auditive et à la psychoacoustique chez l'humain, avant de présenter les principes fondamentaux de codage et compression des signaux audio : modèle source-filtre, Linear Predictive Coding (LPC), Cepstre, MPEG.

L'UE propose d'appliquer les concepts théoriques présentés en cours à travers 4 séances de TP portant sur l'acquisition, l'analyse temps-fréquence et la synthèse d'un signal audio (algorithme Overlap Add) et sur la compression audio.

Content (EN)

This course unit aims to train students in the time and frequency analysis and processing of audio signals. The teaching focuses on time-frequency analysis, modeling, and coding of speech and music signals.

The first part introduces the entire audio signal acquisition and synthesis chain: analog-to-

After a brief review of frequency analysis tools for discrete signals, the second part prese

The third part offers an introduction to human auditory perception and psychoacoustics, foll

The course includes four lab sessions designed to apply the theoretical concepts covered in lectures. These practical sessions address audio signal acquisition, time-frequency analysis, signal synthesis (Overlap-Add algorithm), and audio compression.

Mots clés (FR)

Traitement des signaux audio, musicaux et de parole, analyse temps-fréquence, Transformée de Fourier à Court Terme (TFCT), Overlap Add (OLA), résolution, précision, perception, psychoacoustique, Linear Predictive Coding (LPC), Cepstre, compression MPEG.

Keywords (EN)

Audio, music and speech signal processing, time-frequency analysis, Short-term Fourier Transform (STFT), Overlap Add (OLA), resolution, precision, perception, psychoacoustics, Linear Predictive Coding (LPC), Cepstre, MPEG compression.

Prérequis (FR)

Bases du traitement du signal analogique et numérique : échantillonnage, transformées de Fourier, convolution, séries de Fourier, transformée de Laplace, transformée en Z. Programmation Python.

Pre-requisites (EN)

Fundamentals of analog and digital signal processing: sampling, Fourier transforms, convolutions, Fourier series, Laplace transform, Z-transform. Python programming.

Modalité d'évaluation

$0,2CC+0,4ER+0,4*TP$ (CC = Contrôle connaissance, ER = examen écrit terminal, TP = note de travaux pratiques)

Assessment

$0,2CC+0,4ER+0,4*TP$ (CC = Knowledge test, ER = final written exam, TP = practical work grade)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Identifier les caractéristiques d'un signal audio dans le domaine temporel : périodicité / attaques / transitoires;
- Identifier les caractéristiques d'un signal audio dans le domaine fréquentiel : timbre, centroïde spectral etc.;
- Maîtriser les outils théoriques d'analyse temps-fréquence pour faire le lien entre ces 2 types de caractéristiques : TF, TFSD, TFD et TFCT;
- Savoir analyser et synthétiser un signal de parole avec un modèle Source-filtre;
- Savoir distinguer les descripteurs et les paramètres dans les modèles de signaux de parole;
- Connaître et comprendre le fonctionnement d'un système de codage d'un signal audio;
- Savoir optimiser le codage et la compression, sans perte ou avec perte, d'un signal audio;
- Savoir traiter un signal audio humain, les dispositifs de production et perception chez l'humain.

Learning outcomes

- Identify the characteristics of an audio signal in the time domain: periodicity, attacks, transients;
- Identify the characteristics of an audio signal in the frequency domain: timbre, spectral centroid, etc.;
- Master the theoretical tools of time-frequency analysis to bridge the gap between these two types of characteristics: FT (Fourier Transform), STFT (Short-Time Fourier Transform), DFT (Discrete Fourier Transform), and CQT (Constant-Q Transform);
- Be able to analyze and synthesize a speech signal using a source-filter model;
- Be able to distinguish between descriptors and parameters in speech signal models;
- Know and understand how an audio signal coding system works;
- Be able to optimize audio signal encoding and compression, either lossless or lossy;

- Be able to process human audio signals, including the mechanisms of human sound production and perception.

Bibliographie

Blanchet & Charbit 2001, «Signaux et Images sous Matlab». Hermes Sciences.

Hayes 96, «Statistical Digital Signal Processing», John Wiley

Kahrs1998, «applications of digital signal processing to audio and acoustics», Kluwer Academic Publishers.

Hartmann96, «signal, sound and sensation», Springer-Verlag



Figure 1: Figure

Version PDF

UM4MEAIP – Orientation et Insertion Professionnelle (Acoustique) (Orientation and Professional Integration (Acoustics))

Quentin Grimal

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Orientation and Professional Integration (Acoustics)
Titre (FR)	Orientation et Insertion Professionnelle (Acoustique)
Nom du ou de la responsable de l'UE	Quentin Grimal
Volume h TD / Amount of exercise hours	24
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEAIP

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Présentation pédagogique. Cette unité d'enseignement a pour objectif d'accompagner les étudiants dans la construction de leur projet professionnel et de favoriser à terme leur insertion. Elle est organisée autour de différentes interventions : * des rencontres avec des acteurs du monde industriel et socio-économique qui contribuent à la connaissance des secteurs d'activités et des

métiers de l'acoustique ; * des ateliers pour apprendre à décrypter des annonces d'emploi ou de stages, se préparer à un entretien de recrutement, faire un bilan de compétences, construire un CV, rédiger une lettre de motivation.

Content (EN)

This teaching unit aims to support students in the development of their career plans and to ultimately facilitate their professional integration. It is structured around several activities: *Meetings with professionals from the industrial and socio-economic sectors, helping students gain insight into the various fields and careers related to acoustics*; Workshops designed to teach students how to analyze job and internship offers, prepare for job interviews, assess their skills, build a CV, and write a cover letter.

Mots clés (FR)

Métiers d'acousticien ; domaines d'application de l'acoustique ; connaissance de l'entreprise ; secteurs d'activités ;

Prérequis (FR)

aucun

Pre-requisites (EN)

none

Modalité d'évaluation

écrit

Acquis d'Apprentissage Visés

*Savoir trouver de l'information sur les entreprises et les métiers de l'acoustique. Analyser une offre de stage ou d'emploi en acoustique en s'appuyant sur une connaissance des métiers et des domaines d'application. Faire son bilan de compétences. Concevoir et faire évoluer son projet de formation et son projet professionnel en s'appuyant sur une connaissance des métiers de l'acousticien. *Etre autonome pour la recherche de stage et d'emploi.*

Learning outcomes

*Know how to find information about companies and careers in acoustics. Analyze an internship or job offer in acoustics by drawing on knowledge of relevant professions and fields of application. Carry out a self-assessment of skills and competencies. Design and develop one's academic and career plans based on an understanding of the roles and career paths in acoustics. *Demonstrate autonomy in the search for internships and employment.*

Version PDF

UM4MEE10 – Thermodynamique : approches de l'efficacité énergétique et applications (Thermodynamics: approaches of energetic efficiency and applications)

Guillaume Legros

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Thermodynamics: approaches of energetic efficiency and applications
Titre (FR)	Thermodynamique : approches de l'efficacité énergétique et applications
Nom du ou de la responsable de l'UE	Guillaume Legros
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	22
Volume h TD / Amount of exercise hours	24
Volume h TP / Amount of practical work hours	6
Volume h Projet / Amount of project hours	4
ECTS	6
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC, St Cyr
Code de l'UE	UM4MEE10

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le module s'attache à introduire les différentes approches (locales, globales, normatives) sous-tendant les notions d'efficacité énergétique dans le contexte du défi énergie/climat. Ces notions seront en pratique développées dans le cadre de: > cycles thermodynamiques 'traditionnels' > évaluations quantitatives et qualitatives > approches multi-échelles > modélisation mêlant approches systémique et locale Dans le contexte de ce module, l'étudiant(e) développera en groupe de 3 ou 4 une curiosité méthodique à travers: > la recherche bibliographique > le sens critique à y apporter > la synthèse à y appliquer

Content (EN)

This course aims at introducing the different approaches (local, global, standard) that yield the concepts of energetic efficiency within the context of energy/climate challenges. These concepts will be developed in practice within the framework of: > 'regular' thermodynamic cycles > quantitative and qualitative evaluations > multi-scale approaches > modelling mixing systemic and local approaches Within the context of this course, the student will develop in a group of 3 to 4 students his/her methodic curiosity through: > bibliographic search > criticism to have > synthetic effort to apply

Mots clés (FR)

thermodynamique, efficacité énergétique, cycles, rendement, exergie

Keywords (EN)

thermodynamics, energetic efficiency, cycles, exergy

Prérequis (FR)

bases de thermodynamique

Pre-requisites (EN)

basics of thermodynamics

Modalité d'évaluation

note session 1 = $0,2 \times \text{écrit 1} + 0,4 \times \text{écrit 2} + 0,25 \times \text{rapport de projet} + 0,15 \times \text{synthèse bibliographique}$
note session 2 = $\max(\text{note de session 1}, 0,6 \times \text{écrit de session 2} + 0,25 \times \text{rapport de projet} + 0,15 \times \text{synthèse bibliographique})$

Assessment

evaluation for session #1 = $0,2 \times \text{written exam \#1} + 0,4 \times \text{written exam \#2} + 0,25 \times \text{project report} + 0,15 \times \text{bibliographic synthesis}$
evaluation for session #2 = $\max(\text{evaluation for session \#1}, 0,6 \times \text{written exam \#3} + 0,25 \times \text{project report} + 0,15 \times \text{bibliographic synthesis})$

Acquis d'Apprentissage Visés

analyse thermodynamique quantitative (rendement énergétique) et qualitative (rendement exergetique)

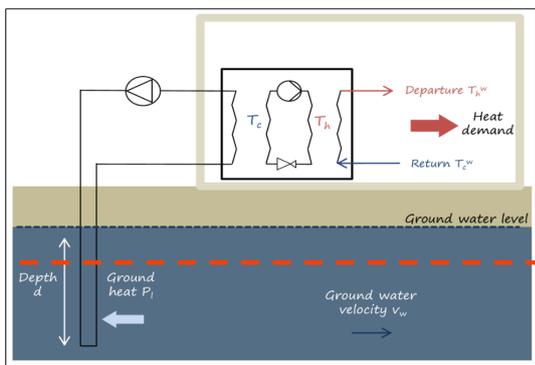
Learning outcomes

thermodynamic analysis: quantitative (energetic efficiency) and qualitative (exergetic efficiency)

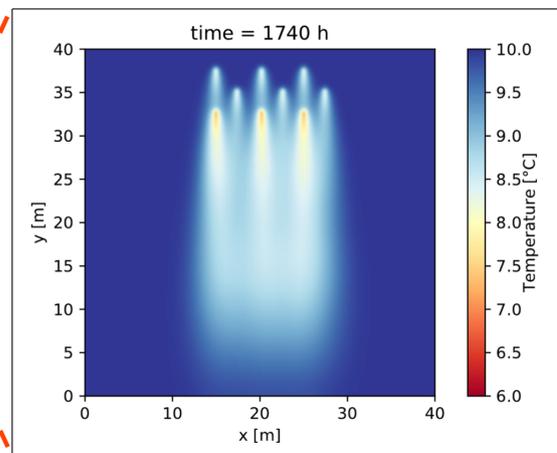
Bibliographie

note session 2 = $\max(\text{note de session 1}, 0,6 \times \text{écrit de session 2} + 0,25 \times \text{rapport de projet} + 0,15 \times \text{synthèse bibliographique})$

Version PDF



Schematic of a geothermal heat pump



Numerical simulation of the horizontal temperature field within the groundwater around the peaks of the pump

Figure 1: Figure

UM4MEE11 – Energétique par la pratique (Energetics by practice)

Paola Cinnella

2025-06-12 17:29:24 +0200

Informations générales

Title (EN)	Energetics by practice
Titre (FR)	Energétique par la pratique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Paola Cinnella
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	8
Volume h TD / Amount of exercise hours	0
Volume h TP / Amount of practical work hours	22
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	St Cyr
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEE11

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le cours propose une introduction aux énergies alternatives, dont les renouvelables, suivant une approche par projet. Plus précisément, après avoir rappelé quelques notions et définitions générales sur les différentes sources d'énergie et sur l'efficacité énergétique, nous nous intéressons à quatre sources d'énergie renouvelables ou alternatives : hydraulique, éolienne, solaire photovoltaïque, piles à combustibles, dont nous présentons les principes de fonctionnement et des modélisations simples permettant d'en estimer les performances. Des expériences en laboratoire sur des installations représentatives des quatre types d'énergie et un travail d'approfondissement individuel (mini-projet et restitution orale) viennent compléter la formation.

Content (EN)

The course provides an introduction to alternative energies, including renewables, using a project-based approach. More specifically, after reviewing a few general concepts and definitions of the various energy sources and energy efficiency, we focus on four renewable or alternative energy sources: hydroelectric, wind, solar photovoltaic and fuel cells, presenting their operating principles and simple models allowing to estimate their performance. Laboratory experiments on installations representative of the four types of energy and individual work (mini-project and oral presentation) complete the course.

Mots clés (FR)

Energies alternatives, renouvelables; Energie hydraulique; Energie éolienne; Solaire photovoltaïque; Piles à combustible; expériences en laboratoire

Keywords (EN)

Alternative and renewable energies; Hydropower; wind energy; solar energy; fuel cells; laboratory experiments

Modalité d'évaluation

session1=50% QCM (écrit) + 50% (TP: rapport+oral); session 2=sup(session1, DS1(50%)+TP(50%))

Assessment

session1=50% QCM (écrit) + 50% (TP: rapport+oral); session 2=sup(session1, DS1(50%)+TP(50%))

Acquis d'Apprentissage Visés

Les étudiants savent nommer et distingues les différentes sources d'énergie. Ils savent reconnaître les sources renouvelables ou non Ils connaissent les principes de fonctionnement des centrales hydrauliques et leurs composantes (notamment la turbine) et ils savent effectuer des calculs simples de prédimensionnement. Ils connaissent le principe de fonctionnement des centrales éoliennes et ils savent estimer la puissance utile obtenable. Ils connaissent le principe de fonctionnement des centrales solaires photovoltaïques et ils sont capables d'effectuer des calculs simples de prédimensionnement Ils connaissent le principe de fonctionnement des piles à combustible et ils savent évaluer par des calculs simples les quantités de combustible et oxydant nécessaires pour produire une puissance donnée.

Learning outcomes

Students can name and distinguish between different energy sources. They recognize renewable and non-renewable energy sources. They are familiar with the operating principles of hydroelectric power stations and their components (in particular the turbine) and will be able to carry out simple pre-sizing calculations. They know how wind power plants work and can estimate the net power that can be obtained. They know the operating principle of photovoltaic solar power plants and can carry out simple pre-sizing calculations. They know how fuel cells work and can use simple calculations to estimate the quantities of fuel and oxidant needed to produce a given power output.

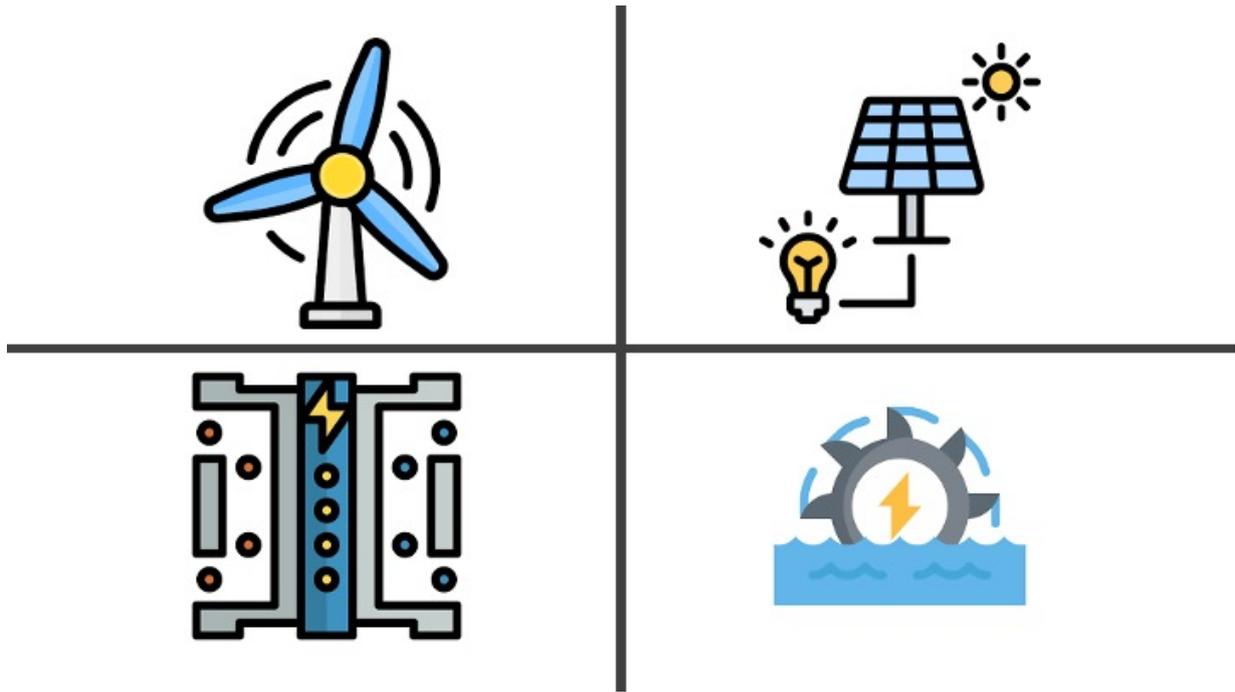


Figure 1: Figure

Version PDF

UM4MEE20 – Ingénierie des énergies renouvelables (Renewable Energies Engineering)

Isabelle Vallet

2025-06-18 14:56:46 +0200

Informations générales

Title (EN)	Renewable Energies Engineering
Titre (FR)	Ingénierie des énergies renouvelables
Nom du ou de la responsable de l'UE	Isabelle Vallet
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	24
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	22
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	6
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC et St Cyr
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEE20

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

L'UE se divise en deux parties égales correspondant chacune à 50% de la note finale de l'UE. Partie 1. Turbine, éolienne et hydrolienne. Présentation des différentes filières de production des énergies renouvelables, et répartition et systèmes associés. Mise en équation de l'aéro-hydrodynamique des profils (caractéristiques géométriques, cinématique, efforts aéro-hydrodynamique, traînée, portance). Description des écoulements dans les turbomachines à fluide incompressible Classification des turbomachines, Cinématique et dynamique des Écoulements internes, Différents types de turbines Fonctionnement des turbines hydrauliques (Pelton, Francis, Kaplan, performances et éléments dimensionnant). Fonctionnement des éoliennes

et des hydroliennes. Efficacité énergétique des systèmes de production. Pertes, cavitation, performances. Cette partie sera évaluée par un examen écrit de 2h comptant pour 30% de la note et par 2 séances de TP de 4h, effectuées sur le campus de St Cyr, comptant pour 30% de la note.

Partie 2. Ressource solaire, photovoltaïque et thermique. Connaissance du rayonnement solaire et méthodes d'évaluation de la ressource solaire. Le solaire photovoltaïque. Principe de base, les différentes technologies, caractéristiques des cellules et des modules. Compréhension du fonctionnement de la jonction PN et des caractéristiques physiques impliquées dans le choix des matériaux. Comportement des différentes technologies de module PV (cristallins et couches minces) en fonction du rayonnement solaire et calcul du productible en fonction de la ressource solaire. Présentation des différentes étapes de réalisation d'un projet de centrale photovoltaïque, des institutions et des plateformes dédiées. Inclus l'aspect administratif, légal et économique. Cette approche est aussi étudiée pour une installation simple en toiture d'habitation. Les principales applications du solaire photovoltaïque. Prise en main des principaux outils de dimensionnement et de simulation PV: introduction et première étude de cas d'une installation existante. Objectifs: parvenir au pré-dimensionnement d'une installation PV. Prise en main du logiciel professionnel PVSyst avec étude de cas complète : projet d'installation d'un système PV sur un bâtiment d'habitation dans la ville de Chamonix avec prise en compte des masques lointains (horizon) et des masques rapprochés (immeuble voisin), réalisation d'une scène 3D pour les masques rapprochés, préparation du plan de calepinage. Étude et conception d'une centrale solaire PV posée au sol avec travail d'optimisation sur l'orientation, l'inclinaison et l'espacement des rangées de modules PV. L'objectif est de mettre en évidence le compromis à établir entre inclinaison optimum des modules et espacement des rangées. Ce travail fera suite d'un rapport à rendre qui sera noté, appliqué à une étude de cas sur Grenoble.

Le solaire thermique. Principe de fonctionnement Présentation des différentes technologies, calcul du rendement d'un capteur solaire thermique. Les principales applications du solaire thermique et choix du type de capteur. Règle de dimensionnement des capteurs et présentation de quelques logiciels de dimensionnement et de simulation pour le solaire thermique. Principes physiques d'un capteur solaire thermodynamique et principe de concentration du rayonnement solaire. Prise en compte des pertes radiatives des capteurs solaires.

Content (EN)

Module 1, Turbine, wind turbine and tidal turbine. Presentation of the different renewable energy production sectors, and distribution and associated systems. Equation of the aerohydrodynamics of the profiles (geometrical characteristics, kinematics, aero-hydrodynamic forces, drag, lift). Description of flows in incompressible fluid turbomachines Classification of turbomachinery, Kinematics and dynamics of internal flows, Different types of turbines Operation of hydraulic turbines (Pelton, Francis, Kaplan, performance and dimensioning elements). Operation of wind and tidal turbines. Energy efficiency of production systems. Losses, cavitation, performance. Module 2. Solar, photovoltaic and thermal resources. Knowledge of solar radiation and methods for evaluating the solar resource Photovoltaic and solar. Basic principle, the different technologies, characteristics of cells and modules. Understanding of the PN junction operating and of the physical characteristics involved in the material choices. Behavior of the different PV module technologies (crystalline and thin layers) according to solar radiation and calculation of the producible according to the solar resource. Introduction

of the different stages in a solar farm project realization, of the institutes and platforms involved. Including the administrative, legal and economic aspects. This approach is also studied for a simple residential roof installation. The main applications of solar photovoltaic. Getting started with the main PV sizing and simulation tools: introduction and first case study of an existing installation. Objectives: to achieve the pre-design of a PV installation. Getting started with the professional software PVSyst with complete case study: project to install a PV system on a residential building in the town of Chamonix taking into account distant masks (horizon) and close masks (neighboring building), creation of a 3D scene for close-up masks, preparation of the layout plan. Study and design of a ground-mounted PV solar power plant with optimization work on the orientation, inclination and spacing of the rows of PV modules. The objective is to highlight the compromise to be established between the optimum inclination of the modules and the spacing of the rows. This work will introduce a case-study in Grenoble, with a report to be submitted which will be graded. Solar thermal. Operating principle Presentation of the different technologies, calculation of the efficiency of a thermal solar collector. The main applications of solar thermal and choice of the type of collector. Sizing rule for collectors and presentation of some sizing and simulation software for solar thermal. Physical principles of a thermodynamic solar collector and principle of concentration of solar radiation. Consideration of radiative losses from solar collectors.

Prérequis (FR)

Mécanique des fluides; Bases en thermique, thermodynamique et en radiatif

Pre-requisites (EN)

Fluid mechanics; Basics in thermal, thermodynamic and radiative

Modalité d'évaluation

session 1 = partie 1(DS1 (2h: 70%) + TP (30%))x0.5+ partie 2(QCM(10%)+TP(90%))x0.5

Assessment

session 1 = module 1(DS1 (2h: 70%) + TP (30%))x0.5+ module 2(QCM(10%)+TP(90%))x0.5

Acquis d'Apprentissage Visés

Connaissances des différentes technologies de production d'énergies renouvelables (hydraulique, éolienne, marine, solaire) et de l'instrumentation et mesure et des différentes technologies de capteurs. Evaluation du gisement solaire et conversion d'énergie solaire. Dimensionnement et optimisation.

Learning outcomes

Knowledge of the different renewable energy production technologies (hydraulic, wind, marine, solar) Modeling and resolution of external and internal flow issues Different technologies of hydraulic turbines Aero-hydro generation of energy Instrumentation and measurement (in-depth knowledge) Assessment of the solar field Solar energy conversion Different sensor technologies (photo, thermal, etc.) Design and optimization

Bibliographie

Solar Engineering of Thermal Processes, de John A. Duffie (Auteur), William A. Beckman (Auteur)

Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation, Second Edition, 2nd Edition, Mukund R. Patel

Ressources mises à disposition des étudiants

Version PDF

UM4MEE21 – Combustion et impact environnemental (Combustion and environmental impact)

Matynia Alexis

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Combustion and environmental impact
Titre (FR)	Combustion et impact environnemental
Nom du ou de la responsable de l'UE	Matynia Alexis
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	18
Volume h TP / Amount of practical work hours	18
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	6
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEE21

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Présentation pédagogique

L'objectif de cette UE est l'introduction à la modélisation de la combustion. Cette dernière est définie comme une réaction chimique globalement exothermique, permettant la conversion d'une énergie chimique en énergie thermique. Largement exploitée à l'échelle industrielle, la combustion s'accompagne cependant généralement d'émissions polluantes, qu'il convient de maîtriser et d'appréhender dans le contexte plus général de la problématique climat/énergie. Le cours a pour ambition de décrire les écoulements de type déflagratif permettant l'établissement des flammes laminaires prémélangées et non-prémélangées. Il s'attache ainsi à introduire

les modèles courants décrivant les phénomènes de transport, les transferts thermiques et les réactions chimiques qui permettent l'entretien de telles flammes.

Contenu de l'Unité d'Enseignement

Cours

- cinétique chimique: avancement de réaction, lois de vitesses de réactions globales / élémentaires, mécanismes réactionnels
- thermochimie: conversion énergie chimique / énergie thermique, équilibre chimique, teneur énergétique de combustibles conventionnels et alternatifs
- équations de conservation de l'aérothermochimie: phénomènes de transport, transferts thermiques, structures de flamme, vitesse de flamme
- chimie de la combustion: introduction aux principaux mécanismes de décomposition des hydrocarbures, processus de formation des polluants ##### TD
- cinétique chimique: application aux réactions élémentaires et aux réactions globales
- cinétique chimique: application aux mécanismes réactionnels
- thermochimie: enthalpie de combustion, température adiabatique de flamme
- thermochimie: équilibre chimique au sein des produits de combustion
- équations de conservation de l'aérothermochimie: résolution analytique de l'enveloppe d'une flamme laminaire non-prémélangée
- chimie de la combustion: voies réactionnelles de décomposition des hydrocarbures et influence de la cinétique chimique
- chimie de la combustion: voies de formation des polluants et procédés de réduction

Travaux pratiques expérimentaux

- étude expérimentale de la propagation d'une flamme sur lit de combustible
- analyse des émissions polluantes d'une chambre de combustion de chaudière

Travaux pratiques numériques Un travail pratique numérique sous environnement Matlab permet d'aborder la modélisation numérique de la combustion en proposant la résolution de la structure de flamme laminaire prémélangée mono-dimensionnelle et stationnaire.

Content (EN)

Objectives of the unit

The target of this course is the introduction to combustion modeling. Combustion is defined as a chemical reaction that is globally exothermic and allows chemical energy to be converted into thermal one. Widely deployed at industrial scales, combustion however leads to pollutant emission, what is to be understood and controlled within the larger context of the climate/energy issue. The ambition of the course is to outline the flows of deflagrative kind allowing laminar premixed and non-premixed flames to be established. Thus, the course intends to introduce the regular models describing the heat and mass transfer phenomena together with the chemical ones that enable to sustain such flames.

Detailed content of the unit

Lectures

- chemical kinetics: reaction progress, laws for global/elementary reaction rates, chemical mechanisms
- thermochemistry: chemical energy / thermal energy conversion, chemical equilibrium, energetic content of conventional and alternative fuels
- conservation equations of aerothermochemistry: transport phenomena, heat transfer, flame structure, flame speed
- combustion chemistry: introduction to main pathways of hydrocarbons degradation, processes of pollutant formation

Tutorials

- chemical kinetics: application to elementary and global reactions
- chemical kinetics: application to chemical mechanisms
- thermochemistry: chemical equilibrium among combustion products
- thermochemistry: heat of combustion, adiabatic flame temperature
- aerothermochemical conservation equations: analytical resolution of the envelope of an unpremixed laminar flame
- combustion chemistry: chemical pathways of hydrocarbons degradation and influence of chemical kinetics
- combustion chemistry: chemical pathways of pollutant formation and reduction processes

Experimental lab work

- experimental study of a laminar non-premixed flame established over an academic burner
- study of IC engine design: disassembling and re-assembling of a spark-ignition engine and a compression-ignition one

Computer-based lab work A project under the Matlab environment is conducted as an initiation to the numerical simulation of combustion. It consists in the resolution of the steady 1D laminar premixed H₂/air flame.

Mots clés (FR)

Combustion ; Cinétique chimique ; Thermochimie ; Aérothermochimie ; Formation des polluants

Keywords (EN)

Combustion; Chemical kinetics; Thermochemistry; Aerothermochemistry; Pollutant formation

Prérequis (FR)

Thermodynamique avancée / notions de thermochimie Cours de mécanique des milieux continus de Licence Cours d'aérodynamique et de mécanique des fluides de Licence Outils mathématiques pour la physique Notions de programmation (Matlab)

Pre-requisites (EN)

Advanced thermodynamics (B.Sc. in Mech. Eng.) Introduction to continuum mechanics (B.Sc. in Mech. Eng.) Introduction to fluid mechanics (B.Sc. in Mech. Eng.) Mathematical tools for physics (B.Sc. in Mech. Eng.) Introduction to numerical methods (B.Sc. in Mech. Eng.)

Modalité d'évaluation

20% examen écrit 1 + 15% examen écrit 2 + 10% TP exp + 20% TP num + 30% examen écrit 3

Assessment

20% written exam1 + 15% written exam2 + 10% experimental lab work + 20% computer-based lab work + 30% written exam3

Acquis d'Apprentissage Visés

- Comprendre les principes fondamentaux de la combustion
- Modéliser des phénomènes physiques et chimiques de la combustion avec des approches analytiques et numériques
- Appliquer les lois de la cinétique chimique et de la thermochimie pour identifier les voies de formation des polluants et calculer des températures de flammes
- Expliquer/anticiper les mécanismes dominants de formation des polluants dans une combustion

Learning outcomes

- Understand the fundamental principles of combustion
- Model the physical and chemical phenomena of combustion using analytical and numerical approaches
- Apply the laws of chemical kinetics and thermochemistry to identify pollutant formation pathways and compute flame temperatures
- Explain and anticipate the dominant mechanisms of pollutant formation in combustion

Bibliographie

Glassman I, Yetter RA. Combustion. Amsterdam; Boston: Academic Press; 2008.

Law CK. Combustion Physics. Cambridge University Press. 2006.

Poinsot T, Veynante D. Theoretical and Numerical Combustion. CNRS. 2011.

Version PDF

UM4MEE22 – Turbulence et transfert : Applications Energétique et Environnementales (Turbulence and transferts: energy and environmental applications)

Georges Gerolymos

2025-06-20 10:30:35 +0200

Informations générales

Title (EN)	Turbulence and transferts: energy and environmental applications
Titre (FR)	Turbulence et transfert : Applications Energétique et Environnementales
Nom du ou de la responsable de l'UE	Georges Gerolymos
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	28
Volume h TD / Amount of exercise hours	28
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	6
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEE22

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le cours est divisé en deux parties. La première partie est une introduction à l'analyse des écoulements turbulents incompressibles. Le développement théorique des équations de Navier-Stokes

moyennées et des équations de transport de quantités turbulentes exactes avant fermeture permettront d'acquérir des bases pour effectuer une analyse physique des écoulements turbulents du point de vue numérique et expérimental. Quelques exemples de fermetures statistiques de la turbulence en insistant sur leurs bases théoriques et une critique systématique des fermetures de la turbulence existante sur plusieurs configurations (du canal 1-D aux cas tests industriels) donneront les outils pour pouvoir appréhender l'utilisation de codes de simulation numérique d'écoulements turbulents.

La deuxième partie a pour vocation d'apporter les bases nécessaires à la compréhension des mécanismes fondamentaux mis en jeu dans les trois modes de transferts de chaleur classiques (conduction, convection et rayonnement) qui interviennent généralement de manière couplée dans les milieux naturels et dans les applications industrielles. Cette partie se propose de faire acquérir les outils nécessaires à la résolution de problèmes simples faisant intervenir des couplages conduction-convection-rayonnement.

Content (EN)

The course is divided in two parts : The first part introduces the students to the analysis of incompressible turbulent flows. The theoretical development of the averaged Navier-Stokes equations and of the exact transport equations for the turbulent quantities constitute the necessary background for the physical analysis of turbulent flows. Selected examples of statistical turbulence closures widely used in R&D are presented with particular focus on the underlying assumptions. The limitations and pathologies of turbulence closures are discussed with respect to comparisons with measurements for a wide range of flows (from simple channel flow to complex 3-D industrial applications). This background is necessary for the critical analysis of CFD results of turbulent flows.

The second part aims to provide the necessary bases for understanding the fundamental mechanisms involved in the three classic modes of heat transfer (conduction, convection and radiation) which generally occur in a coupled manner in natural environments and in industrial applications. This part gives the necessary tools for the resolution of simple problems involving couplings conduction-convection-radiation.

Mots clés (FR)

Description des écoulements turbulents; Tensions de Reynolds; Couche limite turbulente; (DNS, LES, RANS); Couche limite thermique; Convection; Rayonnement

Keywords (EN)

Turbulent flows description; Reynolds-stress tensor; Turbulent boundary-layer; Thermal boundary layer; Convection ; Radiation.

Prérequis (FR)

Equations de Navier-Stokes incompressibles. Notations indicielles et calculs tensoriels. Equation de l'énergie. Transferts de chaleur par conduction.

Pre-requisites (EN)

Navier-Stokes equations for incompressible flows. Indicical notation and tensor calculus. Dynamic boundary layer. Energy equation. Conduction heat transfer.

Modalité d'évaluation

note session1=1 écrit partie turbulence (2h: 50 %)+ 1 écrit partie thermique (2h: 50 %) note session2=sup(session 1, 0.5xDS3(2h: turbulence)+0.5xDS4(2h: thermique))

Assessment

note session1=1 écrit partie turbulence (2h: 50 %)+ 1 écrit partie thermique (2h: 50 %) note session2=sup(session 1, 0.5xDS3(2h: turbulence)+0.5xDS4(2h: thermique))

Acquis d'Apprentissage Visés

- Notations indicielles et calculs tensoriels
- Equation de conservation de l'énergie, transferts de chaleur
- Compréhension des mécanismes fondamentaux mis en jeux dans les transferts convectifs et ra
- Analyse et description d'un écoulement turbulent.
- Détermination des équations de transport de la turbulence exactes.
- Analyse et modélisation des équations de la turbulence.
- Compréhension et critique des modèles de turbulence.
- Analyse phénoménologique des écoulements de convection forcée.
- Compréhension des mécanismes fondamentaux mis en jeux dans les transferts convectifs et ra

Learning outcomes

- Indicical notation and tensor calculus.
- Energy equation and heat transfer.
- Fundamental mechanisms in convective and radiative heat transfer.
- Analysis and description of turbulent flows.
- Exact transport equations of turbulent quantities (moments).
- Analysis and modeling (closure) of turbulence transport equations.
- Critical analysis of turbulence models.
- Phenomenological analysis of forced convection flows.
- Analytical determination of a convective heat transfer coefficient in academic configurati

- Use of heat transfer correlations for turbulent flows.
- Establishment of a complete energy balance with convection/radiation coupling.
- Analysis of radiative transfers between non-black bodies through a transparent medium.

Bibliographie

A first course in Turbulence Tennekes H Lumley JL, The MIT Press 1972

Methodes de Modélisation et de Simulation des Ecoulements Turbulent Roland Schiestel, Hermes, 2006

Turbulent flow, Stephen Pope, Cambridge University Press 2012

Transferts thermiques : initiation et approfondissement/coordonateur J.F. SACCADURA /Tech. & Doc., Lavoisier, 2015

Convection Heat Transfer, A. Bejan, Ed. Wiley, 2004.

Fundamentals of Heat and Mass Transfer, P. Incropera et al., Ed. Wiley, 2006.

Version PDF

UM4MEE23 – Méthodes Numériques pour la Dynamique (Numerical methods for dynamics)

Georges Gerolymos

2025-06-12 17:29:24 +0200

Informations générales

Title (EN)	Numerical methods for dynamics
Titre (FR)	Méthodes Numériques pour la Dynamique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Georges Gerolymos
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	4
Volume h TD / Amount of exercise hours	0
Volume h TP / Amount of practical work hours	20
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEE23

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le principal objectif est d'apporter les connaissances de base nécessaires à la mise en pratique de ces techniques. Il contient ainsi une synthèse des méthodes numériques classiques les plus utilisées : différences finies, méthode de Newton. Chacune des méthodes est d'abord exposée dans une configuration simplifiée, puis son extension aux problèmes plus complexes est proposée. Le contenu disciplinaire est défini sous forme de projet développés dans un environnement Linux et qui viennent systématiquement illustrer et compléter les développements.
Logiciels : linux, vim, gfortran, latex, maxima, wxmaxima, parview, gnuplot

Content (EN)

The main objective is to provide the basic knowledge necessary onto practice. It contains a synthesis of the most used classical numerical methods: finite differences, Newton. Each of these methods is exposed in a simplified configuration, then its extension to more complex problems is proposed. Projects sing object-oriented programming in a linux environment systematically illustrate and complete the developments. Software: linux, vim, gfortran, latex, maxima, wx-maxima, parview, gnuplot

Préréquis (FR)

Équations de Navier-Stokes compressibles.

Pre-requisites (EN)

Compressible Navier-Stokes equations.

Modalité d'évaluation

projet écrit (50%) +oral (50%)

Assessment

projet écrit (50%) +oral (50%)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Généralités sur les méthodes numériques
- Problème physique et modèle mathématique associé
- Méthode des différences finies et méthode des volumes finis
- Méthode des éléments finis
- Exemples de résolution de problèmes concrets
- Apporter la connaissance des méthodes numériques employées couramment dans le domaine d'ex
- Développer l'autonomie de l'étudiant face à un problème scientifique nécessitant la mise e
- Apprendre à l'étudiant à analyser et à présenter un problème de modélisation numérique
- Apprendre à coder avec un langage de programmation orienté objet
- Apprendre à l'étudiant à présenter des méthodes et des résultats

Learning outcomes

The unit integrates the mathematical and physical concepts with their computer implementation using object-oriented programming in a linux environment.

Bibliographie

Polycopié du cours en pdf et planches présentées en salle de calcul le cas échéant. Nombreux documents complémentaires. Structure initiale de code sur laquelle le projet sera développé.

Version PDF

UM4MEEIP – Orientation et Insertion Professionnelle Energétique (Orientation and Professional Integration Energetics)

Patrick DA COSTA et Olivier BONNEAU

2025-06-18 14:56:46 +0200

Informations générales

Title (EN)	Orientation and Professional Integration Energetics
Titre (FR)	Orientation et Insertion Professionnelle Energétique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Patrick DA COSTA et Olivier BONNEAU
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	56
Volume h TD / Amount of exercise hours	32
Volume h Projet / Amount of project hours	24
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	jussieu
Code de l'UE	UM4MEEIP

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Orientation professionnelle : Cette UE composé d'atelier a pour objectif d'aider les étudiantes et étudiants à se préparer à leur insertion professionnelle. L'objectif de l'UE est donc de préparer les étudiants à des entretiens (stages, premier emploi). Pour ce faire, des ateliers en demi groupe sont organisés. Ils/elles se préparent en analysant le marché, puis en analysant une offre (stage/emploi). Pour cette dernière, il devront préparer un CV, une lettre de motivation. Pour

cela des ateliers sont proposés. Ensuite, une partie d'entretien Oral est réalisée. Ainsi l'UE couvre tous les aspects de la recherche de stage ou d'emploi et permet aux étudiantes et étudiants d'être préparés pour la suite de leur cursus.

Content (EN)

Vocational guidance: The aim of this course is to help students prepare for their professional integration. The aim is to prepare students for interviews (internships, first job). To achieve this, half-group workshops are organized. They prepare by analyzing the market, then by analyzing an offer (internship/job). For the latter, they'll need to prepare a CV and cover letter. Workshops are organized for this purpose. This is followed by an oral interview. In this way, the course covers all aspects of the internship or job search process, enabling students to be well prepared for the rest of their course.

Mots clés (FR)

orientation professionnelle, entretiens, preparation au stage

Keywords (EN)

professional orientation, job interviews, preparation for the intership

Prérequis (FR)

Licence de sciences

Pre-requisites (EN)

Bachelor

Modalité d'évaluation

correction des ecrits 40% oral 60%

Assessment

wrriten tools 40% interviews 60%

Version PDF

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=72iiope2p4l
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**. Écoulements 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

UM4MEF11 – Numerical methods for fluid mechanics 1 (Méthodes numériques en mécanique des fluides 1)

Francesco Picella

2025-06-27 11:38:40 +0200

Informations générales

Title (EN)	Méthodes numériques en mécanique des fluides 1
Titre (FR)	Numerical methods for fluid mechanics 1
Nom du ou de la responsable de l'UE	Francesco Picella
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français/Anglais
Localisation	UPMC
Code de l'UE	UM4MEF11

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Course Objectives This course introduces numerical methods for solving linear partial differential equations (PDEs) encountered in fluid mechanics and related fields.

Emphasis is placed on: - Understanding and analyzing **finite difference methods**. - Developing numerical schemes with a solid theoretical foundation. - Hands-on coding in **Python** to explore the practical behavior of schemes. - Building the ability to **critically assess stability and accuracy**.

The course is balanced between **theoretical analysis** and **numerical implementation**.

Learning Outcomes By the end of this course, students will be able to:

- Discretize linear PDEs using finite-difference methods in multiple dimensions.
 - Implement **explicit** and **implicit time integration schemes**.
 - Analyze the **order of accuracy** and **stability** of numerical methods.
 - Select appropriate numerical techniques based on the PDE type.
 - Develop and validate simulation codes using **Python/Jupyter Notebooks**.
 - Identify, diagnose, and fix coding or modeling errors.
 - Present and interpret numerical results with clarity and rigor.
-

Course Content

- Review of numerical differentiation and the order of schemes.
 - Stability analysis for **ODE solvers**: error propagation, eigenvalue analysis.
 - Introduction to **von Neumann stability analysis** for PDEs.
 - **Diffusion equation**: discretization, error and stability criteria.
 - **Convection equation**: centered vs upwind schemes, stability trade-offs.
 - Generalization to **multidimensional problems** via approximate factorization.
 - Treatment of **boundary conditions** in numerical schemes.
 - Application: **2D convection-diffusion equation** — transport of a passive scalar.
-

Prerequisites

- Basic numerical analysis and programming
 - Background in finite difference methods at undergraduate (L3) level
-

Teaching Breakdown

Week	Lecture	Lab (Jupyter)
W1	2h	2h
W2	2h	2h
W3	2h	2h
W4	2h	2h
W5	2h	2h
W6	2h	2h
W7	2h	2h
W8	Written Exam	2h
W9	Practical Exam	2h

Assessment

Component	Weight
Python Jupyter Notebook (practical exam, 2h)	33%
Written Exam (theoretical understanding, 2h)	33%
Home Work (continuous assessment)	34%

□ **Important:** All submitted documents — including homeworks, notebooks, and reports — must include a **quantitative validation** of the results (e.g., comparison to reference solutions, theoretical benchmarks, or literature). Submissions **without such validation will not be considered valid.**

Pedagogical format Each session is composed of:

- **2 hours of theoretical lecture**, introducing and explaining a new topic or concept.
- **2 hours of hands-on practice** with Python and Jupyter Notebooks. Each lab includes:
 - A notebook containing a subject, tasks, and partial code.
 - Students (working individually) complete the implementation using knowledge gained during the lecture.

The completed Jupyter notebooks must be:

- Submitted via the course's **Moodle platform** before the following session.
 - Evaluated as **homework**, contributing to the **continuous assessment**.
- Homework submissions must also include **quantitative validation** of results in order to be considered complete and eligible for grading.
-

Tools and Languages

- Python
 - Jupyter Notebooks
 - NumPy, Matplotlib
 - Git (recommended for version control)
-

Recommended Reading

- **Randal LeVeque** (2007), *Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations*, SIAM.
- **Parviz Moin** (2010), *Fundamentals of Engineering Numerical Analysis*, Cambridge University Press.

Content (EN)

Objectifs du cours Ce cours introduit les méthodes numériques pour la résolution des équations aux dérivées partielles (EDP) linéaires rencontrées en mécanique des fluides et dans des domaines connexes.

L'accent est mis sur : - La compréhension et l'analyse des **méthodes des différences finies**. - Le développement de schémas numériques fondés sur des bases théoriques solides. - L'implémentation pratique en **Python** pour explorer le comportement des schémas. - Le développement d'un esprit critique pour évaluer la **stabilité et la précision** des méthodes.

Le cours est équilibré entre **analyse théorique** et **mise en œuvre numérique**.

Compétences acquises À l'issue du cours, les étudiants seront capables de :

- Discrétiser des EDP linéaires à l'aide de méthodes de différences finies en dimensions multiples.
 - Implémenter des schémas d'intégration en temps **explicites** et **implicites**.
 - Analyser l'**ordre de précision** et la **stabilité** des méthodes numériques.
 - Choisir les techniques numériques appropriées selon le type d'équation à résoudre.
 - Développer et valider des codes de simulation avec **Python / Jupyter Notebooks**.
 - Identifier, diagnostiquer et corriger les erreurs de modélisation ou de programmation.
 - Présenter et interpréter des résultats numériques de façon rigoureuse et claire.
-

Contenu du cours

- Rappels sur la dérivation numérique et l'ordre des schémas.
 - Analyse de stabilité des solveurs d'**EDO** : propagation d'erreur, analyse spectrale.
 - Introduction à l'**analyse de stabilité de von Neumann** pour les EDP.
 - **Équation de diffusion** : discrétisation, erreurs et critères de stabilité.
 - **Équation de convection** : schémas centrés vs décentrés, compromis stabilité/précision.
 - Généralisation aux **problèmes multidimensionnels** via factorisation approchée.
 - Prise en compte des **conditions aux limites** dans les schémas numériques.
 - Application : **équation de convection-diffusion 2D** — transport d'un scalaire passif.
-

Prérequis

- Analyse numérique de base et programmation
 - Connaissances en différences finies (niveau L3)
-

Répartition pédagogique

Semaine	Cours magistral	TP (Jupyter)
S1	2h	2h
S2	2h	2h
S3	2h	2h
S4	2h	2h
S5	2h	2h
S6	2h	2h
S7	2h	2h
S8	Examen écrit 2h	
S9	Examen pratique 2h	

Modalités d'évaluation

Épreuve	Pondération
Notebook Jupyter (examen pratique)	33%
Examen écrit (aspects théoriques, 2h)	33%
Devoirs maison (contrôle continu, 2h)	34%

□ **Important** : Tous les documents remis — devoirs, notebooks, rapports — doivent inclure une **validation quantitative** des résultats (comparaison à des solutions de référence, résultats théoriques, ou données de la littérature). Toute soumission **sans validation** ne sera pas considérée comme recevable.

Format pédagogique Chaque séance est organisée comme suit :

- **2 heures de cours magistral**, pour introduire et expliquer un nouveau concept.
- **2 heures de mise en pratique**, sous forme de notebooks Jupyter en Python. Chaque TP comprend :
 - Un sujet, des tâches, et une implémentation partielle du code.

- L'étudiant (en monôme) complète le notebook en s'appuyant sur les connaissances acquises en cours.

Les notebooks complétés doivent être :

- **Remis via la plateforme Moodle** avant la séance suivante.
 - Évalués dans le cadre du **contrôle continu**.
 - Les devoirs maison doivent **impérativement contenir une validation quantitative** pour être considérés comme complets et notés.
-

Outils et langages

- Python
 - Jupyter Notebooks
 - NumPy, Matplotlib
 - Git (recommandé pour la gestion de version)
-

Bibliographie

- **Randal LeVeque** (2007), *Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations*, SIAM.
- **Parviz Moin** (2010), *Fundamentals of Engineering Numerical Analysis*, Cambridge University Press.

Mots clés (FR)

methodes numériques, timestepper, differences finies, stabilité, schémas numériques

Keywords (EN)

numerical methods for ODE and PDE, timestepper, finite differences, stability and numerical schemes

Prérequis (FR)

math-info

Pre-requisites (EN)

math-info

Modalité d'évaluation

epreuve theorique ecrite 33% epreuve calculteur 33% devoir maison 34%

Assessment

written exam 33% practical exam 33% homework 34%

Bibliographie

- **Randal LeVeque** (2007), *Finite Difference Methods for Ordinary and Partial Differential Equations*, SIAM.
- **Parviz Moin** (2010), *Fundamentals of Engineering Numerical Analysis*, Cambridge University Press.

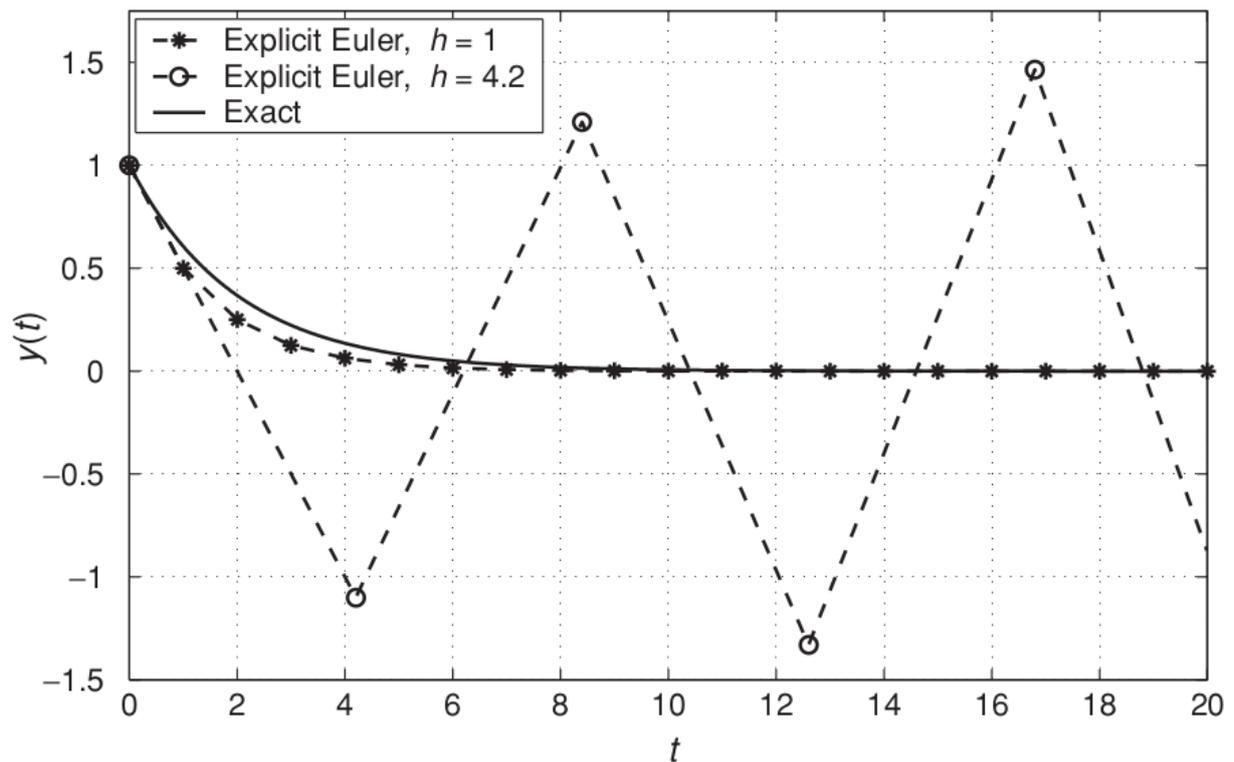


Figure 1: Figure

Version PDF

UM4MEF20 – Aérodynamique incompressible (Incompressible aerodynamics)

Ivan Delbende

2025-06-18 14:56:46 +0200

Informations générales

Title (EN)	Incompressible aerodynamics
Titre (FR)	Aérodynamique incompressible
Nom du ou de la responsable de l'UE	Ivan Delbende
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	12
Volume h TD / Amount of exercise hours	12
Volume h TP / Amount of practical work hours	4
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S4)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEF20

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Objectifs de l'enseignement Cet enseignement a pour but de donner aux étudiants les bases des théories nécessaires à la compréhension et à la prévision des écoulements et efforts aérodynamiques dans le cadre incompressible. A travers de nombreuses illustrations concrètes et d'études pratiques en soufflerie, les étudiants sont sensibilisés au pré-dimensionnement de systèmes aéronautiques à bas nombre de Mach.

Contenu de l'enseignement

1. Efforts sur les corps en mouvement dans un fluide : problème et modélisation, traînée et portance.
2. Profils d'aile (cadre bi-dimensionnel) : géométrie et nomenclature, théorie des profils minces.
3. Du profil à l'aile d'envergure finie : théorie de la ligne portante de Prandtl, traînée induite.
4. Effets visqueux : description locale de la couche limite, traînée visqueuse, décollement.

Content (EN)

Objectives of the unit The aim of this course is to provide students with the basic theories needed to understand and predict aerodynamic flows and forces in the incompressible framework. Through numerous concrete illustrations, practical wind tunnel studies and/or numerical projects, students are introduced to the pre-dimensioning of aeronautical systems at low Mach numbers.

Content

1. Forces on a body moving in a fluid: problem and modeling, drag and lift.
2. Airfoils (two-dimensional framework): geometry and nomenclature, thin airfoil theory.
3. From airfoil to finite-span wing: Prandtl lifting-line theory, induced drag.
4. Viscous effects: local description of the boundary layer, viscous drag, separation.

Mots clés (FR)

aérodynamique, portance, traînée, profil

Keywords (EN)

aerodynamics, lift, drag, airfoil

Prérequis (FR)

Notions de cinématique des écoulements : champ de vitesse, fonction de courant, potentiel. Approximation écoulement parfait incompressible : théorèmes de Bernoulli. Équations de Navier-Stokes.

Pre-requisites (EN)

Notions of flow kinematics: velocity field, streamfunction, potential. Approximation of incompressible inviscid flow: Bernoulli's theorems. Navier-Stokes equations.

Modalité d'évaluation

note de session 1 = 30% examen écrit 1 + 30% examen écrit 2 + 40% compte-rendu de travaux pratiques expérimentaux
note de session 2 = max(note de session 1, 60% examen écrit rattrapage + 40% compte-rendu de travaux pratiques expérimentaux)

Assessment

score of session 1 = 30% written exam 1 + 30% written exam 2 + 40% experimental lab work report
score of session 2 = max(score of session 1, 60% written retake exam + 40% experimental lab work report)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Compréhension des écoulements aérodynamiques
- Prédiction des écoulements et des efforts aérodynamiques, pré-dimensionnement.
- Démarche scientifique du modélisateur : utilisation des différents niveaux de modélisation dans le cadre aérodynamique
- Étude expérimentale en soufflerie ; comparaison de résultats théoriques, numériques et expérimentaux.

Learning outcomes

- Understanding of aerodynamic flows
- Prediction of flows and aerodynamic forces, pre-dimensioning.
- Scientific approach of the modeller: use of the different levels of modelling in the aerodynamic framework
- Experimental study in a wind tunnel; comparison of theoretical, numerical and experimental results.

Bibliographie

1. Anderson, Jr, J.D. (2001). Fundamentals of aerodynamics. 3rd edition, McGraw Hill.
2. Comolet, R. (1976) Mécanique expérimentale des fluides. 2nde édition, Masson.
3. Drela, M. (2014) Flight vehicle aerodynamics. 1st edition, MIT Press.

4. Faure, Th. (2008) Dynamique des fluides appliquée. Applications à l'aérodynamique. Dunod.



Figure 1: Figure

Version PDF

UM4MEF21 – Compressible flows (Ecoulements compressibles)

Jean-Camille Chassaing

2025-06-18 14:56:46 +0200

Informations générales

Title (EN)	Ecoulements compressibles
Titre (FR)	Compressible flows
Nom du ou de la responsable de l'UE	Jean-Camille Chassaing
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	12
Volume h TD / Amount of exercise hours	12
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	4
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MEF21

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Objectifs de l'enseignement Cet enseignement a pour but de donner aux étudiants les bases des théories nécessaires à la compréhension et à la prévision des écoulements et efforts aérodynamiques dans le cadre compressible. A travers de nombreuses illustrations concrètes et de travaux pratiques numériques, les étudiants sont sensibilisés au pré-dimensionnement de systèmes aéronautiques aux nombres de Mach sub-, trans- et super-sonique.

Contenu de l'enseignement

1. Introduction : aéronautique et phénomènes compressibles.
2. Ecoulements isentropiques monodimensionnels, théorie et tuyères de Laval.
3. Ecoulements monodimensionnels avec onde de choc.
4. Faisceaux de détente et ondes de choc obliques.
5. Ecoulement de Fanno.
6. Ecoulements subsoniques autour de voilures.

Content (EN)

Objectives of the unit The aim of this course is to provide students with the basic theories needed to understand and predict aerodynamic flows and forces in the compressible framework. Through numerous concrete illustrations and computer lab works, students are introduced to the pre-dimensioning of aeronautical systems in subsonic, transsonic and supersonic regimes.

Content

1. Introduction: aeronautics and compressible phenomena.
2. One-dimensional isentropic flows: Laval's theory and nozzle
3. One-dimensional flow with shock wave
4. Expansion wave and oblique shock wave
5. Fanno flow
6. Subsonic flow around wings

Mots clés (FR)

écoulement compressible, onde de choc, éventail de détente, tuyère

Keywords (EN)

compressible flow, shock wave, expansion wave, diffuser, nozzle

Prérequis (FR)

Équations de Navier-Stokes. Notions de base de thermodynamique (1er et 2ème principes)

Pre-requisites (EN)

Navier-Stokes equations. Basic notions of thermodynamics (1st and 2nd principles).

Modalité d'évaluation

note de session 1 = 30% examen écrit 1 + 30% examen écrit 2 + 40% compte-rendu de travaux pratiques numériques
note de session 2 = max(note de session 1, 60% examen écrit rattrapage + 40% compte-rendu de travaux pratiques numériques)

Assessment

session 1 mark = 30% written exam 1 + 30% written exam 2 + 40% computer lab work report
Session 2 mark = max(score of session 1, 60% written retake exam + 40% computer lab work report)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Compréhension des écoulements aérodynamiques
- Prédiction des écoulements et des efforts aérodynamiques, pré-dimensionnement.
- Démarche scientifique du modélisateur : utilisation des différents niveaux de modélisation dans le cadre aérodynamique
- Utilisation appropriée des outils numériques disponibles au niveau Master

Learning outcomes

- Understanding of aerodynamic flows
- Prediction of flows and aerodynamic forces, pre-dimensioning.
- Scientific approach of the modeller: use of the different levels of modelling in the aerodynamic framework
- Appropriate use of numerical tools available at Master level

Bibliographie

1. Anderson, Jr, J.D. (2001). Fundamentals of aerodynamics. 3rd edition, McGraw Hill.
2. Bertin, J.J & Cummings, R.M. (2008). Aerodynamics for engineers. 5th edition. Prentice Hall.

Version PDF



Figure 1: Figure

UM4MEF22 – Ondes et Écoulements en milieu naturel (aquifères, fleuves et vagues) (Modeling of Environmental Flows (aquifers, rivers and waves))

Pierre-Yves Lagrée

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Modeling of Environmental Flows (aquifers, rivers and waves)
Titre (FR)	Ondes et Écoulements en milieu naturel (aquifères, fleuves et vagues)
Nom du ou de la responsable de l'UE	Pierre-Yves Lagrée
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	30
Volume h TD / Amount of exercise hours	
Volume h TP / Amount of practical work hours	
Volume h Projet / Amount of project hours	4
ECTS	
Semestre	
Semester	
Periode (pour les cours M2)	
Quarter (for M2 classes)	
Langue	Français
Language	Français
Localisation	PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	
Code de l'UE	UM4MEF22

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Ce module vise à présenter un panorama des phénomènes hydrodynamiques environnementaux : écoulements dans les rivières, propagation des vagues, de la houle, des tsunamis et écoulements souterrains (aquifères). Les outils pour modéliser et comprendre ces phénomènes sont les équations de Saint-Venant, la propagation d'ondes linéaires et la loi de Darcy. Des exemples simplifiés seront codés en Python ou C, des exemples réalistes seront abordés sous le code Basilisk.

Content (EN)

This course aims to present an overview of environmental hydrodynamic phenomena: river flows, wave propagation, and groundwater flows. The tools used to model and understand these phenomena are the Saint-Venant equations, linear wave propagation, and Darcy's law. Simplified examples will be coded in Python or C, while realistic examples will be addressed in Basilisk.

Mots clés (FR)

caractéristiques, Saint-Venant, ressaut, vagues, houle, aquifère, Darcy

Keywords (EN)

characteristics, shallow-water, bore, waves, swell, aquifers, Darcy

Prérequis (FR)

introduction à la mécanique des fluides

Pre-requisites (EN)

introduction to fluid mechanics

Modalité d'évaluation

85% examen écrit +15% projet

Assessment

85%written exam +15% homework

Acquis d'Apprentissage Visés

modélisation des écoulements

Learning outcomes

modelling environmental flows

Bibliographie

Billingham King, "Wave motion"

Hubert Chanson "The hydrolics of open channel flow"

Olivier Thual "Hydrodynamique de l'environnement"

Christophe Ancey "Ondes de crue et de rupture de barrage"

Version PDF

UM4MEF24 – Bifurcations et Instabilités (Bifurcations and Instabilities)

Eric Sultan – Alice Marcotte

2025-06-05 13:51:14 +0200

Informations générales

Title (EN)	Bifurcations and Instabilities
Titre (FR)	Bifurcations et Instabilités
Nom du ou de la responsable de l'UE	Eric Sultan – Alice Marcotte
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	16
Volume h TD / Amount of exercise hours	16
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MEF24

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Les instabilités sont omniprésentes en mécanique des fluides : l'écoulement de l'air dans la couche limite autour d'une aile d'avion se déstabilise par la croissance d'ondes longitudinales et donne naissance à la turbulence. Le jet d'eau qui s'écoule d'un robinet se déstabilise en gouttelettes sous l'effet de la force de tension de surface, le sillage d'un cylindre se déstabilise pour donner naissance à une allée de tourbillons alternés. Cet enseignement introduit les notions théoriques et les outils techniques qui nous permettent de décrire qualitativement et quantitativement ces phénomènes d'instabilités.

Le cours s'appuie sur des séances de travaux pratiques numériques afin de mettre tout de suite en pratique les connaissances de l'étudiant et de se familiariser avec les outils de la recherche en mécanique des fluides.

Version PDF

UM4MEF25 – Méthodes numériques en mécanique des fluides 2 (Numerical methods for fluid mechanics 2)

Anne Sergent

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Numerical methods for fluid mechanics 2
Titre (FR)	Méthodes numériques en mécanique des fluides 2
Nom du ou de la responsable de l'UE	Anne Sergent
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	8
Volume h TD / Amount of exercise hours	20
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MEF25

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

La mécanique des fluides numérique est un outil fréquemment utilisé dans les applications industrielles (transport, énergie, ...) ou environnementales / géophysiques. L'objectif du cours est de présenter les fondements des méthodes numériques mises en œuvre dans les codes de simulation CFD pour les écoulements incompressibles. Il s'agit de donner aux étudiants les éléments permettant de comprendre l'organisation d'un code de simulation numérique et les difficultés rencontrées affectant sa précision ou ses performances.

Ce cours est dédié à la méthode des volumes finis pour les écoulements incompressibles. Les équations de Navier-Stokes seront codées, mettant en évidence la problématique du couplage vitesse-pression. De nombreux TPs sous la forme de notebooks jupyter illustrent les concepts.

Content (EN)

Computational fluid mechanics is a tool frequently used in industrial (transport, energy, etc.) or environmental/geophysical applications. The aim of the course is to present the fundamentals of the numerical methods used in CFD simulation codes for incompressible flows. The aim is to provide students with the elements needed to understand the organisation of a numerical simulation code and the difficulties affecting its accuracy or performance.

This course is dedicated to the finite volume method for incompressible flows. The Navier-Stokes equations will be coded, highlighting the problem of velocity-pressure coupling. Numerous practical exercises in the form of jupyter notebooks will illustrate the concepts.

Mots clés (FR)

Mécanique des fluides numériques, schémas numériques, python

Keywords (EN)

CFD, numerical methods, python

Prérequis (FR)

Mécanique des Fluides (équations de Navier-Stokes), méthodes numériques (différences finies, systèmes linéaires), python

Pre-requisites (EN)

Fluid Mechanics (Navier-Stokes equations), numerical methods (finite differences, linear systems), Python

Modalité d'évaluation

35 % examen théorique écrit + 35 % examen individuel sur machine + 30% TP

Assessment

35 % written exam + 35 % Individual test on machine + 30% TP

Bibliographie

- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (1995). Computational fluid dynamics. The finite volume method. Pearson ed.
- Traoré P. & Amiroudine S. (2022). Simulation numérique en mécanique des fluides. Cepadues ed.

Version PDF

UM4MES03 – Structures élancées (Slender structures)

Corrado Maurini

2025-05-28 15:24:27 +0200

Informations générales

Title (EN)	Slender structures
Titre (FR)	Structures élancées
Code de l'UE	UM4MES03
Nom du ou de la responsable de l'UE	Corrado Maurini
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	12
Volume h TD / Amount of exercise hours	14
Semestre	Printemps (S2)
Langue	Français
Lien vers l'emploi du temps / trad en	https://sciences.sorbonne-universite.fr/formation-sciences/offre-de-formation/masters/master-de-mecanique/parcours-mecanique-des-solides-et

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Chapitre 1 : Poutres en petites perturbations.

Rappels sur la théorie des poutres, Approche variationnelle, Rigidité équivalente de poutres hélicoïdales, Modélisation numérique des portiques.

Chapitre 2 : Câbles (fils).

Problème modèle à 2 ddl,
Représentation paramétrique d'une courbe dans un plan,
Modèle variationnel de câble,
Équilibre d'un câble pesant : chaînette.

Chapitre 3 : Poutres non linéaires et flambement.

Poutres avec non-linéarités géométriques,

Cinématique et déformation,
Équilibre : formulation variationnelle,
Élastique,
Flambement et postflambement.

Content (EN)

Chapter 1: Beams under small perturbations.

Review of beam theory, Variational approach, Equivalent stiffness of helical beams, Numerical modeling of frames.

Chapter 2: Cables (wires).

Model problem with 2 DOF,
Parametric representation of a curve in a plane,
Variational model of a cable,
Equilibrium of a hanging cable: catenary.

Chapter 3: Nonlinear beams and buckling.

Beams with geometric nonlinearities,
Kinematics and deformation,
Equilibrium: variational formulation,
Elastica,
Buckling and post-buckling.

Mots clé (FR)

Théorie des poutres, Approche variationnelle, Câble, Flambement, Non-linéarités géométriques

Keywords (EN)

Beam theory, Variational approach, Cable, Buckling, Geometric nonlinearities

Prérequis (FR)

Bases de la mécanique des matériaux, Analyse des structures, Calcul différentiel, Équations différentielles, Méthodes numériques

Pre-requisites (EN)

Fundamentals of mechanics of materials, Basic structural analysis, Calculus, Differential equations, Numerical methods

Modalité d'évaluation

exam final, avec devoir maison optionnel

Assessment

final written examen, with optional homework

Bibliographie

References

1. A. Fernandes, *LU3ME006 - Structures élastiques : Résistance des matériaux*, Notes de cours, Licence de Mécanique, Sorbonne Université.
2. J.-P. Basset, P. Cartraud, C. Jacquot, A. Leroy, B. Peseux, P. Vaussy, *Introduction à la résistance des matériaux*, [Link](#), 2011.
3. M. Lorrain, *Résistance des matériaux – Poutres droites à une travée*, sur les structures droites à une travée isostatiques et hyperstatiques, *Techniques de l'Ingénieur*, 2009.
4. J.-J. Marigo, *Mécanique des Milieux Continus I (MEC430)*, Éditions École Polytechnique, 2018.
5. P. Ballard, *Structures élancées (MEC553)*, Éditions École Polytechnique, [PDF](#), 2015.

Version PDF

UM4MES10 – Analyse des solides et structures par la méthode des éléments finis dans le cadre linéaire. (Finite element analysis for solids and structures. Basic formulation and linear problems.)

Sophie DARTOIS

2025-06-30 17:36:37 +0200

Informations générales

Title (EN)	Finite element analysis for solids and structures. Basic formulation and linear problems.
Titre (FR)	Analyse des solides et structures par la méthode des éléments finis dans le cadre linéaire.
Nom du ou de la responsable de l'UE	Sophie DARTOIS
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	12
Volume h TP / Amount of practical work hours	20
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	6
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Periode (pour les cours M2)	
Quarter (for M2 classes)	
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MES10

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

- Formulations forte (locale), faible et variationnelle des problèmes d'élasto-statique linéaire et de thermique stationnaire.
- Principe de recherche de solutions approchées (Méthodes de Galerkin, Ritz,...).
- Grandes étapes de la discrétisation par éléments finis (fonctions de forme, interpolation, matrices et second-membres élémentaires, intégration numérique -réduite ou non-, conditions aux limites, assemblage, résolution, post-traitement, interprétation des résultats, qualité de l'approximation).
- Travaux pratiques numériques : utilisation et enrichissement d'un code 2D en élasticité linéaire, analyse des résultats (langage python).

Content (EN)

- Strong (local), weak, and variational formulations of linear elastostatic and steady-state heat transfer problems.
- Approximation of integral formulations (Galerkin method, Ritz method, etc.).
- Major steps in finite element discretization (shape functions, interpolation, element matrices and right-hand sides, numerical integration -reduced or not-, boundary conditions, assembly, problem solving, post-processing, results analysis, quality of approximation).
- Numerical practical work: use and enhancement of a 2D code in linear elasticity, analysis of results (python language).

Mots clés (FR)

Modélisation par éléments finis, élasticité linéaire, thermique stationnaire, théorie, simulation numérique, analyse de résultats

Keywords (EN)

Finite element method, linear elasticity, steady-state heat transfer, theory, numerical simulation, results analysis.

Prérequis (FR)

Bases de mécanique des milieux continus et de thermique stationnaire. Équations aux dérivées partielles. Algèbre linéaire et méthodes numériques.

Pre-requisites (EN)

Basics of continuum mechanics and stationary heat transfer. Partial differential equations. Linear algebra and numerical methods.

Modalité d'évaluation

note de session 1 = $0,4 \times TP + 0,6 \times \text{exam écrit (DS1)}$ / note de session 2 = $\max(\text{note de session 1}, 0,4 \times TP + 0,6 \times \text{oral (DS2)})$

Assessment

first round grade = $0,4 \times TP + 0,6 \times \text{written exam (DS1)}$ / second round grade = $\max(\text{first round grade}, 0,4 \times TP + 0,6 \times \text{oral exam (DS2)})$

Acquis d'Apprentissage Visés

- Savoir établir des formulations faibles de problèmes mécanique linéaires (thermique, élasticité).
- Mettre en œuvre des étapes de résolution par éléments finis.
- Utiliser la programmation scientifique (python).
- Étudier la convergence de solutions, stabilité, qualité,...
- Interpréter mécaniquement les résultats et en proposer une analyse critique.
- Rendre compte par écrit d'un travail numérique

Learning outcomes

- Establish weak formulations of linear mechanical problems (linear elasticity, steady-state heat transfer,).
- Implement finite element analysis steps.
- Use scientific programming (Python).
- Study convergence of solutions, stability, quality, etc.
- Interpret results mechanically speaking and provide a critical analysis.
- Reporting on numerical work.

Bibliographie

- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Éditions de l'École Polytechnique, 2006.
- – O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor and J.Z. Zhu, the Finite Element Method its basis & fundamentals, 6th edition, Elsevier, 2005

- O.C. Zienkiewicz and R.L. Taylor, the Finite Element Method for solid and structural mechanics, 6th edition, Elsevier, 2005
- J.L. Batoz, G. Dhatt, Modélisation des structures par éléments finis, Hermès, 1992.

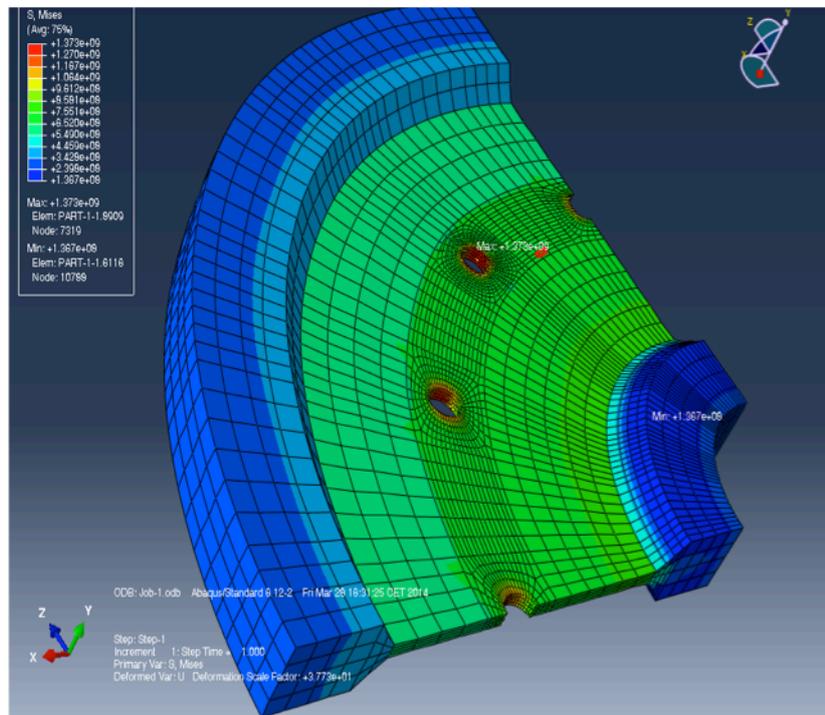


Figure 1: Figure

Version PDF

UM4MES11 – Introduction au Comportement Mécanique des Matériaux (Introduction to Mechanical Behaviour of Materials)

Renald Brenner

2025-06-18 14:56:46 +0200

Informations générales

Title (EN)	Introduction to Mechanical Behaviour of Materials
Titre (FR)	Introduction au Comportement Mécanique des Matériaux
Nom du ou de la responsable de l'UE	Renald Brenner
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	14
Volume h TD / Amount of exercise hours	12
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MES11

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

- Structure de la matière, forces de cohésion et classes de matériaux□- Caractérisation expérimentale et lois de comportement. Thermodynamique□- Élasticité et anisotropie□- Plasticité

cristalline□- Viscoélasticité

Content (EN)

- Structure of matter, cohesive forces and material classes□- Experimental characterisation and constitutive law. Thermodynamics□- Elasticity and anisotropy□- Crystalline plasticity□- Viscoelasticity

Mots clés (FR)

loi de comportement, classes de matériaux

Keywords (EN)

constitutive law, material classes

Prérequis (FR)

Mécanique des Milieux Continus et de Physique du solide

Pre-requisites (EN)

Continuum Mechanics and Solid State Physics

Modalité d'évaluation

note de session 1 = $\max(DS1 \times 0.4 + DS2 \times 0.6, DS2)$ □ note de session 2 = $\max(\text{note de session 1}, DS3)$

Assessment

first round grade 1 = $\max(DS1 \times 0.4 + DS2 \times 0.6, DS2)$ □ first round grade 2 = $\max(\text{note de session 1}, DS3)$

Acquis d'Apprentissage Visés

- Identifier les classes de comportement mécanique□- Faire le lien entre les cours de Mécanique des Milieux Continus et de Physique du Solide□□

Learning outcomes

□□- Identify classes of mechanical behavior□- Link Continuum Mechanics and Solid State Physics courses□□

Bibliographie

- M. F. Ashby, D. R. Jones, Engineering Materials (Vol. 1 & 2), 2005, Butterworth-Heinemann.□- D. Francois, A. Pineau, A. Zaoui, Mechanical Behaviour of Materials (Vol. 1 & 2), 2012, Springer□- J. Lemaître, J.-L. Chaboche, Mechanics of Solid Materials, 1990, Cambridge University Press. - J.-P. Mercier, G. Zambelli, W. Kurz, Introduction to Materials Science, 2002, Elsevier.□- R. Philips, Crystals, defects and microstructures, 2001, Cambridge University Press□- H. F. Brinson, C. Brinson, Polymer Engineering Science and Viscoelasticity, 2008, Springer.

Version PDF

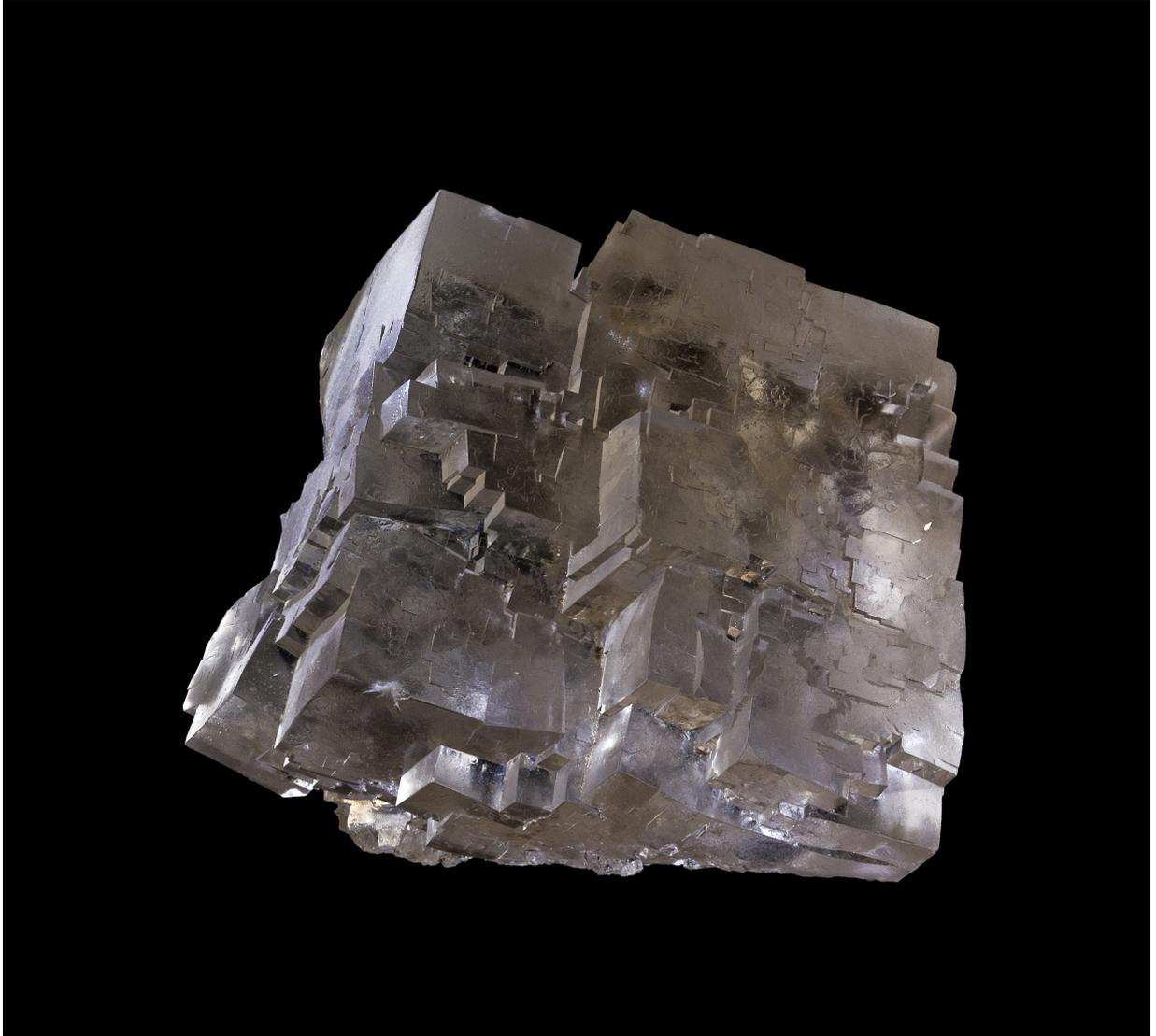


Figure 1: Figure

UM4MES21 – Structures élancées : plaques (Slender structures : plates)

Amâncio FERNANDES

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Slender structures : plates
Titre (FR)	Structures élancées : plaques
Nom du ou de la responsable de l'UE	Amâncio FERNANDES
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	12
Volume h TD / Amount of exercise hours	14
Volume h TP / Amount of practical work hours	3
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MES21

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

- Formulation variationnelle pour le problème de plaques linéaires : modèles de Love-Kirchhoff et de Mindlin pour le cas statique et dynamique. Solutions exactes, solutions par séries et solutions approchées.
- Plaques faiblement non-linéaires : modèle de Von-Karman. Flambement des plaques, modèles réduits.
- Etude du flambement de coques minces cylindriques

Content (EN)

- Variational formulation for the linear plate problem: Love-Kirchhoff and Mindlin models for the static and dynamic cases. Exact solutions, series solutions and approximate solutions.
- Weakly non-linear plates: Von-Karman model. Plate buckling, scale models.
- Study of the buckling of thin cylindrical shells.

Mots clés (FR)

Théorie linéaire et non linéaire des plaques, flambement des plaques et des coques

Keywords (EN)

Linear and non-linear plate theory, plate and shell buckling

Prérequis (FR)

Bases de mécanique des milieux continus et résistance des matériaux développées dans les enseignements de 3e année. Calcul différentiel, équations aux dérivées partielles et formulations faibles.

Pre-requisites (EN)

Fundamentals of continuum mechanics and strength of materials developed in 3rd year courses. Differential calculus, partial differential equations and weak formulations.

Modalité d'évaluation

Session 1 = 20%DS1(écrit 30min) + 80%DS2(écrit 2h) Session 2 = Sup (Session1, DS3(écrit 2h))

Assessment

1st Round Exam= 20%DS1(30min written exam)+ 80%DS2(2h written exam) 2nd Round Exam = Sup (1st Round Exam, DS3(2h written exam))

Acquis d'Apprentissage Visés

-Savoir établir, manipuler des approches variationnelles dans différents cas pratiques et les comprendre -Savoir mettre en œuvre les concepts, savoir formuler résoudre des problèmes classiques de plaques linéaires et non linéaires

Learning outcomes

- Be able to establish, manipulate and understand variational approaches in different practical cases
- Be able to apply the concepts, formulate and solve classical linear and non-linear plate problems

Bibliographie

-J.N. Reddy, Theory and analysis of elastic plates and shells, Edition Taylor & Francis, 2006

- F. Volvoire et Y. Bamberger, Mécanique des Structures : Initiation, approfondissements, applications, Presses de l'ENPC, 2008

-B. Audoly and Y. Pomeau, Elasticity and geometry : from hair curls to the nonlinear response of shells, Oxford University press, 2010

- E. Ventsel and T. Krauthammer, Thin plates and shells : theory, analysis and applications, Marcel Dekker Inc., 2001
- R. Szilard, Theories and applications of plate analysis : classical, numerical and engineering methods, John Wiley & Sons, 2004

Version PDF

UM4MES23 – Pratique de codes de calcul de structures et applications 1 - Abaqus (Practice of computation of structures and applications 1 - Abaqus)

Amâncio FERNANDES

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Practice of computation of structures and applications 1 - Abaqus
Titre (FR)	Pratique de codes de calcul de structures et applications 1 - Abaqus
Nom du ou de la responsable de l'UE	Amâncio FERNANDES
Volume h TP / Amount of practical work hours	28
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MES23

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

- Apprentissage de l'interface graphique (Abaqus CAE) et du langage de commande.
- Techniques de maillage en 2D et 3D
- Création, manipulation des objets liés à la technique des EF, exploitation des résultats
- Applications à des exemples d'élasticité statique en 2D et 3D (modèles continus et structures élancées)

Content (EN)

- Learning the graphical interface (Abaqus CAE) and command language.
- 2D and 3D meshing techniques
- Creating and manipulating objects linked to the FE technique and exploitation of results
- Applications to examples of static elasticity in 2D and 3D (continuous models and slender structures)

Mots clés (FR)

Méthode des éléments finis, logiciel Abaqus

Keywords (EN)

Finite element method, Abaqus software

Prérequis (FR)

Analyse des structures par éléments finis de 4e année. Bases de la mécanique des milieux continus et des structures de 3e et 4e année et de 4e. Analyse, Algèbre linéaire et méthodes numériques de 3e et 4e année.

Pre-requisites (EN)

Finite element analysis of structures, 4th year. Fundamentals of mechanics of continuous media and structures in 3rd and 4th year. Analysis, Linear Algebra and Numerical Methods in 3rd and 4th year.

Modalité d'évaluation

Session 1 = 20%*NoteRenduTP*+80%DS1(examen sur ordinateur 3h) Session 2 = Sup (Session1, DS2(examen sur ordinateur 2h))

Assessment

1st Round Exam= 20%*TPReport*+80%DS1(3h computer-based exam) 2nd Round Exam = Sup (1st Round Exam, DS2(2h computer-based exam))

Acquis d'Apprentissage Visés

Mise en œuvre pratique de la théorie des éléments finis, (maillage 2D et 3D, manipulation d'objets)... Pratique opérationnelle d'un code de calcul industriel sur des problèmes simples
Mise en oeuvre de techniques numériques adaptées Analyse modale Analyse critique des résultats Rédaction de rapport de projet (examen final)

Learning outcomes

Practical application of finite element theory (2D and 3D meshing, object manipulation)... Operational use of an industrial calculation code on simple problems Implementing appropriate digital techniques Modal analysis Critical analysis of results Writing a project report (final exam)

Bibliographie

- O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor and J.Z. Zhu, The Finite Element Method its basis & fundamentals, 6th edition, Elsevier, 2005
- O.C. Zienkiewicz and R.L. Taylor, The Finite Element Method for solid and structural mechanics, 6th edition, Elsevier, 2005
- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Editions de l'Ecole Polytechnique, 2006

Version PDF

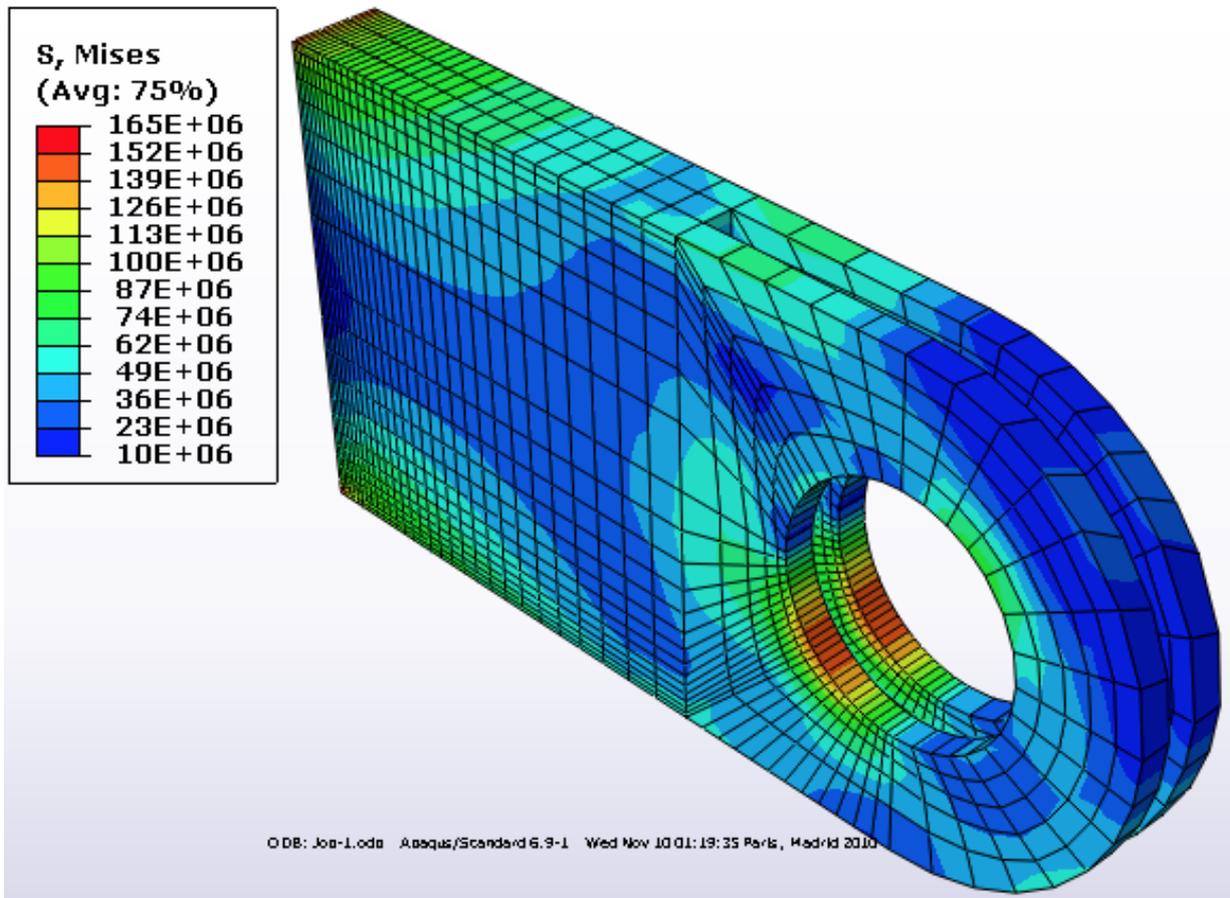


Figure 1: Figure

UM4MES25 – Méthodes numériques en mécanique des solides (Numerical methods for solid mechanics)

Rémi CORNAGGIA

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Numerical methods for solid mechanics
Titre (FR)	Méthodes numériques en mécanique des solides
Nom du ou de la responsable de l'UE	Rémi CORNAGGIA
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	8
Volume h TP / Amount of practical work hours	20
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MES25

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le but de cette UE est de savoir traiter numériquement des problèmes de dynamique des solides et structures.

1. Introduction : problèmes de dynamique des structures semi-discrétisés en espace par la méthode des éléments finis.
2. Méthodes modales : décomposition modale, résolution du problème découplé, rôle de l'amortissement.
3. Schémas d'intégration en temps :
 - Schémas aux différences finies explicites. Exemple à 1 ddl, Euler explicite.

- Stabilité, cohérence et convergence d'un schéma: définitions et exemple d'Euler explicite scalaire.
 - Application aux systèmes d'ordre 2 : analyse par réduction à un système d'ordre 1
 - Extension aux schémas implicites et à d'autres familles.
4. Application à la dynamique des structures (système d'ordres 2 possiblement amortis)
- Méthodes de la famille de Newmark. Présentation et implémentation.
 - Conditions de stabilité et ordre des schémas.
 - Cas particuliers : Méthode de l'accélération moyenne, accélération linéaire et différence finies centrée.
 - Extensions possibles et lien avec l'existant dans des logiciels industriels.

Content (EN)

The goal of this class is to be able to numerically solve problems involving dynamics of solids and structures.

1. Introduction: structural dynamics problems, already semi-discretized in space using the finite element method.
2. Modal Methods: Modal decomposition, solving the decoupled problem, the role of damping.
3. Time Integration Schemes:
 - Explicit finite difference schemes. Example with 1 degree of freedom, explicit Euler.
 - Stability, consistency, and convergence of a scheme: definitions and example of scalar explicit Euler.
 - Application to second-order systems: analysis by reduction to a first-order system.
 - Extension to implicit schemes and other families.
4. Application to structural dynamics (second-order systems possibly with damping): - Methods in the Newmark family. Presentation and implementation. - Stability conditions and order of the schemes. - Special cases: Average acceleration method, linear acceleration, and centered finite differences. - Possible extensions and links with existing industrial software.

Mots clés (FR)

Dynamique des structures, méthodes modales, méthodes incrémentales, famille de Newmark

Keywords (EN)

Structural dynamics, modal methods, incremental methods, Newmark family

Prérequis (FR)

Cours d'éléments finis, Ondes et vibrations, Calcul scientifique et méthodes numériques de licence et du premier semestre.

Pre-requisites (EN)

Finite element method, Waves and vibrations, Scientific computing and Numerical methods classes from bachelor and 1st semester.

Modalité d'évaluation

60 % examen écrit final, 40 % travaux pratiques

Assessment

60 % final written exam, 40 % practical work

Acquis d'Apprentissage Visés

- Choisir une méthode de simulation numérique pour aborder un problème dynamique.
- Évaluer un schéma numérique en termes de stabilité et précision.
- Implémenter ces méthodes numériques.
- Utiliser la documentation d'un module ou logiciel existant.
- Présenter des méthodes et résultats numériques.

Learning outcomes

- Select a numerical method to address a structural dynamics problem.
- Evaluate a numerical scheme in terms of stability and accuracy.
- Implement these schemes.
- Use the documentation of an existing module or software.
- Present numerical methods and results.

Bibliographie

1. M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Ellipses, 2007.
2. M. Géradin, D. J. Rixen, Théorie des vibrations: application à la dynamique des structures, Masson, 1996.
3. C. Besse, Résolution numérique des Équations Différentielles Ordinaires, Cours de L3, 2016.

4. Documentations des logiciels Abaqus et LS-DYNA (module de Ansys).

Version PDF

UM4MES26 – Calcul et dimensionnement de structures (Computation and design of structures)

Badreddine EL HADDAJI

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Computation and design of structures
Titre (FR)	Calcul et dimensionnement de structures
Nom du ou de la responsable de l'UE	Badreddine EL HADDAJI
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	14
Volume h TD / Amount of exercise hours	12
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MES26

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

- Introduction. Principes du calcul. Calcul réglementaire. Actions et sollicitations. Calcul du moment fléchissant pour l'ELS et l'ELU.
- Principes généraux du béton armé. Aciers d'armature. Loi de Hooke et contraintes induites.
- Matériaux : béton, acier, bois. Calculs des propriétés et association béton-armature.
- Caractéristiques géométriques et calculs d'inertie homogénéisée.
- Dimensionnement vis-à-vis des sollicitations normales (traction-compression) et flexion.
- Exercices d'application et de révision.

Content (EN)

- Introduction to structural design principles: regulatory calculations, load and stress analysis, serviceability and ultimate limit states.
- Basics of reinforced concrete: materials, steel reinforcements, and Hooke's law applications.
- Design of composite and heterogeneous materials: concrete, steel, wood.
- Geometrical properties and homogenized inertia calculations.
- Design under axial load: reinforced concrete ties and columns.
- Design under bending: complete example of reinforced concrete beams.
- Review exercises and remedial sessions.

Mots clés (FR)

Béton armé, dimensionnement, Eurocodes, flexion, effort normal, matériaux composites

Keywords (EN)

Reinforced concrete, structural design, Eurocodes, bending, axial load, composite materials

Prérequis (FR)

Mécanique des milieux continus (LU3ME004, LU3ME006), comportement des matériaux solides (MU4MES02), plasticité et analyse limite (MU4MES04), structures élastiques (MU4MES03).

Pre-requisites (EN)

Solid mechanics and continuum mechanics (LU3ME004, LU3ME006), advanced material behavior (MU4MES02), plasticity and limit analysis (MU4MES04), and elastic structures (MU4MES03).

Modalité d'évaluation

Examen écrit final (2 heures, noté sur 20).

Assessment

Final written exam (2 hours, graded on 20).

Acquis d'Apprentissage Visés

- Compréhension du comportement des matériaux de structure.
- Réalisation de calculs réglementaires.
- Maîtrise de l'utilisation des Eurocodes en ingénierie.

Learning outcomes

- Understand the behavior of structural materials.
- Perform structural analysis and regulatory design.
- Use Eurocodes in civil engineering calculations.

Bibliographie

- C. Chèze, Résistance des matériaux – Dimensionnement des structures, Ellipses, 2012.
- F. Frey, Analyse des structures et milieux continus, EPFL, 2013.
- P. Guillemont, Aide-mémoire béton armé, Dunod, 2018.

Version PDF

UM4MESFI – Orientation et Insertion Professionnelle Solides et Fluides (Professional integration)

J-M Fullana

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Professional integration
Titre (FR)	Orientation et Insertion Professionnelle Solides et Fluides
Nom du ou de la responsable de l'UE	J-M Fullana
Volume h TD / Amount of exercise hours	24
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S3)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MESFI

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Présentation pédagogique

Cette unité d'enseignement a pour objectif développer l'orientation professionnelle des étudiant(e)s de M1

Contenu de l'Unité d'Enseignement

- 4 conférences de 3H obligatoires
- Dépôt de CV et lettre de motivation pour stage M1

- Recherche d'Information sur l'insertion professionnelle en mécanique (conférences métiers, Atrium des Métiers, sites) —

Pré-requis

NR

Références bibliographiques NR

Ressources mises à disposition des étudiants Site Moodle avec des ressources

Mots clés (FR)

Insertion professionnelle

Modalité d'évaluation

50 % examen final sur les conférences + 50 % CV/lettre candidature

Version PDF

UM4MET10 – Traitement du signal (Signal Processing)

Benoît Tallon

2025-06-18 17:30:11 +0200

Informations générales

Title (EN)	Signal Processing
Titre (FR)	Traitement du signal
Nom du ou de la responsable de l'UE	Benoît Tallon
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	12
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	6
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM4MET10

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Thème 1 :

- Rappel sur les séries et transformées de Fourier
- Analyse en fréquence
- Fenêtrage, convolution et systèmes linéaires

Thème 2 :

- Échantillonnage et TFD

- Transformée en Z
- Synthèse de filtres"

Content (EN)

Part 1 :

- Fourier series and transforms
- Frequency analysis
- Windowing, convolution and linear systems

Part 2 :

- Sampling and DFT
- Z-transform
- Filter synthesis

Mots clés (FR)

Traitement du signal, analyse et transformée de Fourier, fenêtrage, filtrage, échantillonnage, convolution, systèmes linéaires.

Keywords (EN)

Signal processing, Fourier analysis and transform, windowing, filtering, sampling, convolution, linear systems.

Prérequis (FR)

- Modélisation de phénomènes mécaniques : analyse et résolution d'équations aux dérivées partielles, réponse en temps/fréquence. - Analyse de Fourier : phénomènes périodiques, séries de Fourier, orthogonalité.

Pre-requisites (EN)

- Modelization of mechanical phenomena: analysis and resolution of partial differential equations, time/frequency response. - Fourier analysis: periodic phenomena, Fourier series, orthogonality.

Modalité d'évaluation

Session 1 : 55 % examen écrit, 25 % TP, 20 % Quiz ; session 2 : $\max(\text{session 1}, 0,4 \times \text{TP} + 0,6 \times \text{DS2})$

Assessment

55 % written exam, 25 % TP, 20 % Quiz ; session 2 : $\max(\text{session 1}, 0,4 \times \text{TP} + 0,6 \times \text{DS2})$

Acquis d'Apprentissage Visés

- Comprendre la signification de la décomposition d'un signal sur une base orthogonale.
- Définir la transformée de Fourier d'un signal 1D.
- Comprendre le sens physique de l'amplitude et de la phase d'un signal et de sa transformée de Fourier.
- Evaluer l'effet du fenêtrage (en espace et en temps) de signaux continus.
- Calculer le produit de convolution de deux fonctions.
- Comprendre les notions de réponse impulsionnelle et de fonction de transfert
- Calculer la relation entrée/sortie d'un système linéaire et invariant, dans le domaine temporel et fréquentiel.
- Connaitre la définition et les propriétés de la transformée de Fourier d'un signal discret, et les effets de ses différents paramètres (nombre de points, fenêtrage, etc.) sur la résolution/précision de l'analyse en fréquence.
- Expliquer les effets de l'échantillonnage d'un signal analogique (théorème de Shannon).
- Écrire un programme Python permettant l'affichage et l'analyse du spectre d'un signal.
- Synthétiser un filtre numérique
- Généraliser l'analyse aux transformées de Fourier 2D et de Hilbert.

Learning outcomes

- Understand the meaning of decomposing a signal on an orthogonal basis. - Define the Fourier transform of a 1D signal. - Understand the physical meaning of the amplitude and phase of a signal and its Fourier transform. - Evaluate the effect of windowing (in space and time) of continuous signals. - Calculate the convolution product of two functions. - Understand the concepts of impulse response and transfer function. - Calculate the input/output relationship of a linear and time-invariant system, in the time and frequency domains. - Know the definition and properties of the Fourier transform of a discrete signal, and the effects of its various parameters (number of points, windowing, etc.) on the resolution/accuracy of the frequency analysis. - Explain the effects of sampling an analog signal (Shannon's theorem). - Write a Python program for displaying and analyzing the spectrum of a signal. - Synthesize a digital filter. - Generalize the analysis to 2D Fourier transforms and Hilbert transforms.

Bibliographie

- R. Bracewell : The Fourier transform and its applications. McGraw-Hill Science
- B. Osgood : The Fourier Transform and its Applications. Lecture Notes, Stanford University
- C. Gasquet, P. Witomski : Analyse de Fourier et applications. Dunod

Version PDF

UM4MET11 – Calcul Scientifique (Scientific Computing)

Guillaume Michel

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

Informations générales

Title (EN)	Scientific Computing
Titre (FR)	Calcul Scientifique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Guillaume Michel
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	1
Volume h TD / Amount of exercise hours	0
Volume h TP / Amount of practical work hours	20
Volume h Projet / Amount of project hours	16
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MET11

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Objectifs Ce cours introduit l'outil numérique dans le contexte de la mécanique. Dans un premier temps, de nombreux problèmes concrets de mécanique sont mis en équation, résolus puis analysés avec Python. Différentes techniques d'implémentation sont présentées et comparées pour rendre l'étudiant capable de choisir la plus adéquate. Ces acquis sont ensuite exploités au cours d'un projet centré sur la spécialité de l'étudiant

Contenu

Partie 1 : Introduction aux Notebooks Jupyter

- Introduction à Python et aux Notebooks Jupyter
- Présentations des bibliothèques Numpy et Matplotlib

Partie 2 : La méthode d'Euler et ses raffinements

- Résolution d'EDO via la méthode d'Euler et généralisations (explicit midpoint, Runge Kutta)
- Ordre d'une méthode numérique
- Utilisation des spectres de puissance pour déterminer la fréquence d'un phénomène physique

Partie 3 : Algèbre linéaire

- Présentations de la bibliothèques Scipy
- Résolution d'un système d'équations linéaires de grande taille, matrices creuses, méthodes itératives
- Décomposition LU
- Calcul de valeurs propres, vecteurs propres

Partie 4 : Optimisation

- Introduction au calcul symbolique (bibliothèque SymPy)
- Recherche des zéros d'une fonction non linéaire
- Recherche d'un minimum/maximum local et interprétation dans le contexte de l'énergie potentielle

Déroulé

1e bimestre

- semaine 1 : CM de présentation générale, 1h
- semaine 2 : TP1, 4h
- semaine 3 : TP2, 4h
- semaine 4 : TP3 (1ere partie), 4h
- semaine 5 : TP3 (2nd partie), 4h
- semaine 6 : TP4, 4h
- semaine 7 : présentation des projets, 2h
- semaine 8 : suivi des projets, 2h

2e bimestre

- semaine 1 : suivi des projets, 2h
- semaine 2 : suivi des projets, 2h
- semaine 3 : suivi des projets, 2h
- semaine 4 : suivi des projets, 2h
- semaine 5 : suivi des projets, 2h
- semaine 6 : suivi des projets, 2h
- semaine 7 ou ultérieurement : soutenances des projets

Content (EN)

Objectifs

Objectives This course introduces scientific computing in the context of mechanics. A large number of mechanical problems are modeled, solved, and analyzed using Python. Various implementation techniques are presented and compared to enable students to choose the most appropriate one. These skills are then applied in a project focused on the student's area of specialization.

Content

Part 1: Introduction to Jupyter Notebooks

- Introduction to Python and Jupyter Notebooks
- Overview of the NumPy and Matplotlib libraries

Part 2: Euler's Method and Its Refinements

- Solving ODEs using Euler's method and its generalizations (explicit midpoint, Runge-Kutta)
- Order of a numerical method
- Using power spectra to determine the frequency of a physical phenomenon

Part 3: Linear Algebra

- Overview of the Scipy libraries
- Solving large linear systems, sparse matrices, iterative methods
- LU decomposition
- Eigenvalue and eigenvector computation

Part 4: Optimization

- Introduction to symbolic computation (SymPy library)
 - Finding the zeros of a nonlinear function
 - Finding and interpreting a local minimum/maximum in the context of potential energy
-

Schedule

1st Term

- Week 1 : Introductory lecture, 1h
- Week 2 : Lab session 1, 4h
- Week 3 : Lab session 2, 4h
- Week 4 : Lab session 3 (part 1), 4h
- Week 5 : Lab session 3 (part 2), 4h
- Week 6 : Lab session 4, 4h
- Week 7 : Project presentations, 2h
- Week 8 : Project follow-up, 2h

2e Term

- Week 1 : Project follow-up, 2h
- Week 2 : Project follow-up, 2h
- Week 3 : Project follow-up, 2h
- Week 4 : Project follow-up, 2h
- Week 5 : Project follow-up, 2h
- Week 6 : Project follow-up, 2h
- Week 7 or later: Project defenses

Mots clés (FR)

Méthodes numériques, Python, Différence finie, Runge Kutta, Algèbre linéaire, Optimisation

Keywords (EN)

Numerical methods, Python, Finite difference, Runge Kutta, Linear algebra, Optimization

Prérequis (FR)

Notions de base en programmation (boucles, types de variables) et leurs implémentations en Python, mise en équation d'un système linéaire à nombre fini de degrés de liberté, résolution dans les régimes libre et forcé

Pre-requisites (EN)

Basic concepts in programming (loops, variable types) and their implementation in Python, formulation of a linear system with a finite number of degrees of freedom, solution in free and forced regimes.

Modalité d'évaluation

Épreuve	Pondération
Examens individuels	40%
Rendu et présentation du projet	60%

1. Examens individuels (40%)

- **Durée** : 30 minutes par test
 - **Modalité** : présentiel, sur papier, sans accès à internet, sans document
 - **Sujet** :
 - Porte sur le TP de la semaine précédente (méthodes numériques et phénomènes physiques)
 - Questionnaire à choix multiples ou extraits de code à analyser
-

2. Projet (60%)

- **Travail individuel ou en binôme**
- Sujet défini avec l'enseignant (des exemples sont fournis par l'enseignant référent)
- Séances de suivi hebdomadaires

Rendus :

- **Présentation orale** : présentation courte et séance de questions
- **Rapport écrit** : notebook Jupyter fonctionnel, comportant la présentation du sujet ainsi que son analyse numérique

Assessment

Evaluation Type	Weight
Individual exams	40%
Project report and presentation	60%

1. Individual exams (40%)

- **Duration** : 30 minutes per test
 - **Format** : In-person, on paper, no internet or documents allowed
 - **Content** :
 - Based on the previous week's practical work (numerical methods and physical phenomena)
 - Multiple-choice questions or code excerpts to analyze
-

2. Project report and presentation (60%)

- **Individual or pair work**
- Topic defined with the instructor (examples are provided by the supervising instructor)
- Weekly follow-up sessions

Deliverables :

- **Oral presentation** : Short presentation followed by a Q&A session
- **Written report** : Functional Jupyter notebook including a presentation of the topic and its numerical analysis

Acquis d'Apprentissage Visés

À l'issue du cours, l'étudiant sera capable de :

1. Modéliser un problème mécanique pour expliciter l'objet de la résolution numérique.
2. Connaître différentes méthodes numériques (d'optimisation, de résolution d'EDO, de problèmes d'algèbre linéaire) et choisir la plus adaptée.
3. Être autonome dans sa programmation en Python, savoir exploiter la documentation pour utiliser de nouvelles fonctions et utiliser les messages d'erreur pour corriger son code.
4. Interpréter les résultats obtenus.

Learning outcomes

By the end of the course, students will be able to:

1. Model a mechanical problem and specify what needs to be numerically solved.
2. Understand various numerical methods (optimization, solving ODEs, linear algebra problems) and choose the most suitable one.
3. Work independently with Python programming, make use of documentation to learn new functions, and use error messages to debug code
4. Interpret the obtained results.

Bibliographie

- Supports des cours de L1 et L2 reportés sur Moodle
- Documentation officielle de Scipy, Numpy, Matplotlib
- Course materials from L1 and L2 available on Moodle
- Official documentation of SciPy, NumPy, and Matplotlib

Version PDF

UM4MET12 – Mécanique des Milieux Continus Solides (Continuum Mechanics: Solids)

Corrado Maurini

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

Informations générales

Title (EN)	Continuum Mechanics: Solids
Titre (FR)	Mécanique des Milieux Continus Solides
Nom du ou de la responsable de l'UE	Corrado Maurini
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	14
Volume h TD / Amount of exercise hours	14
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	https://calendar.google.com/calendar/embed?src=lllar7rc1lnsc
Code de l'UE	UM4MET12

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

I – Thermoélasticité linéaire

1. Milieux continus : concepts, description géométrique et cinématique du mouvement

2. Déformations
3. Représentation des efforts
4. Loi de comportement des solides élastiques
 - Élasticité linéaire, potentiel élastique et potentiel élastique dual
 - Précontraintes et déformations inélastiques (ex. : effets thermiques)
 - Thermoélasticité linéaire isotrope, coefficients d'élasticité
5. Conditions aux limites
6. Calcul des structures en H.P.P. — Exemples de problèmes aux limites
7. Problème d'élastostatique sous forme forte
 - Déplacements admissibles
 - Contraintes admissibles
 - Loi de comportement

II – Approches variationnelles en élasticité linéaire

1. Déplacements et contraintes admissibles
2. Formulation variationnelle de l'équilibre
3. Formulation variationnelle du problème élastostatique
4. Théorème de l'énergie potentielle
5. Existence et unicité de la solution du problème
6. Formule de Clapeyron
7. Théorème de l'énergie complémentaire
8. Encadrement de la solution

Content (EN)

I – Linear Thermoelasticity

1. Continuous media: concepts, geometric and kinematic description of motion

2. Strain and deformation
3. Representation of internal forces: stress
4. Constitutive laws for elastic solids
 - Linear elasticity, elastic potential, and dual elastic potential
 - Pre-stresses and inelastic strains (e.g., thermal effects)
 - Linear isotropic thermoelasticity, elasticity coefficients
5. Boundary conditions
6. Structural analysis in the small deformation regime — Example boundary value problems
7. Elastostatic problem in strong form
 - Admissible displacements
 - Admissible stresses
 - Constitutive law

II – Variational Approaches in Linear Elasticity

1. Admissible displacements and stresses
2. Variational formulation of equilibrium
3. Variational formulation of the elastostatic problem
4. The theorem of the minimum of the potential energy
5. Existence and uniqueness of the solution
6. Clapeyron's formula
7. The theorem of the minimum of the complementary energy
8. Energetic bounds of the solution of the linear elastic problem

Mots clés (FR)

Élasticité linéaire, Thermoélasticité, Élastostatique, Formulation variationnelle, Méthodes énergétiques.

Keywords (EN)

Linear elasticity, Thermoelasticity, Elastostatics, Variational formulation, Energy methods.

Prérequis (FR)

Equations aux dérivées partielles, algèbre linéaire, résistance de matériaux

Pre-requisites (EN)

Partial differential equation, linear algebra, strength of materials

Modalité d'évaluation

note de session 1 = $\max(0.2 \text{ note CC } 1\text{h} + 0.8 \text{ Examen final } 3\text{h}, \text{ Examen final } 3)$ note de session
2 = $\max(\text{Examen } 3\text{h de session } 2, \text{ note session } 1)$

Assessment

Session1 = $\max(0.2 \text{ midterm exam } 1\text{hour} + 0.8 \text{ final exam } 3\text{h}, \text{ final exam } 3)$ Session2 = $\max(\text{Exam } 3\text{h session } 2, \text{ Session } 1)$

Acquis d'Apprentissage Visés

- Formuler un problème d'élasticité linéaire isotrope :
 - Cinématique
 - Statique
 - Loi de comportement
 - Conditions aux limites associées
- Formuler un problème en présence :
 - D'interfaces parfaites
 - De contraintes ou de déformations résiduelles
- Maîtriser les solutions classiques en élasticité linéaire :
 - Traction d'une barre
 - Flexion uniforme d'une poutre
 - Torsion d'un arbre cylindrique
 - Cylindre creux sous pression externe en déformations planes
- Formuler variationnellement un problème d'élasticité linéaire à l'aide :

- Du principe des puissances virtuelles
- Du principe du minimum de l'énergie potentielle
- Montrer l'équivalence entre les formulations forte, faible et énergétique
- Utiliser le théorème d'encadrement de la solution d'un problème élastique
- Évaluer l'existence et l'unicité d'une solution en fonction du chargement et des conditions cinématiques imposées au bord

Learning outcomes

- Formulate a linear isotropic elasticity problem including:
 - Kinematics
 - Statics
 - Constitutive law
 - Associated boundary conditions
- Formulate problems involving:
 - Perfect interfaces
 - Residual stresses or inelastic strains
- Understand classical solutions in linear elasticity:
 - Tension in a bar
 - Uniform bending of a beam
 - Torsion of a cylindrical shaft
 - Hollow cylinder under external pressure in plane strain
- Derive the variational formulation of a linear elasticity problem using:
 - The principle of virtual power
 - The principle of minimum potential energy
- Demonstrate equivalence between strong, weak, and energetic formulations

- Apply the bounding theorem to elasticity solutions
- Assess the existence and uniqueness of a solution based on loading and imposed kinematic boundary conditions

Bibliographie

- Class notes
- Class notes from undergraduate continuum mechanics(N.Auffray/D.Kondo)
- Introduction à la résistance des matériaux, J.-P. Basset, P. Cartraud, C. Jacquot, A. Leroy, B. Peseux, P. Vaussy, <https://cel.hal.science/cel-00594957v1/file/RDM.pdf>

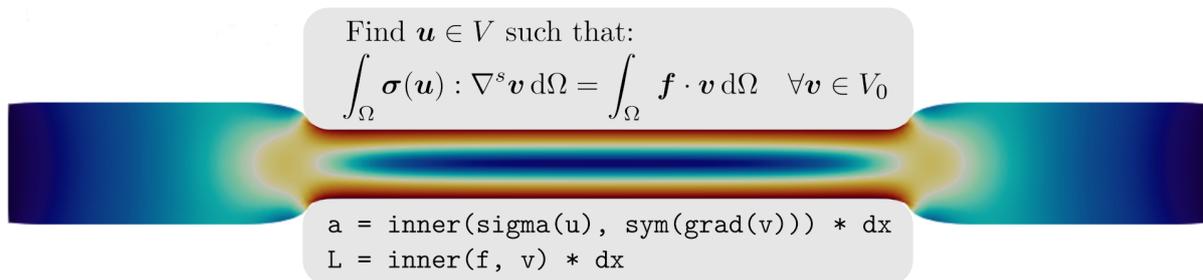


Figure 1: Figure

Version PDF

UM4MET13 – Mécanique des Milieux Continus Fluides (Continuum Mechanics:Fluids)

Régis Wunenburger

2025-06-12 17:29:24 +0200

Informations générales

Title (EN)	Continuum Mechanics:Fluids
Titre (FR)	Mécanique des Milieux Continus Fluides
Nom du ou de la responsable de l'UE	Régis Wunenburger
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	14
Volume h TD / Amount of exercise hours	14
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	automne - fall
Semester	sept-jan
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MET13

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

1. Analyse dimensionnelle

- a. Analyse dimensionnelle - Théorème de Vaschy-Buckingham
- b. Application à la prédiction de grandeurs globales
- c. Application à la détermination de solutions auto-similaires

2. Invariance d'échelle

- a. L'invariance d'échelle comme une généralisation de l'invariance par changement d'unités

- b. Application à la prédiction de grandeurs globales
- c. Application à la détermination de solutions auto-similaires

3. Analyse asymptotique - Problèmes réguliers

- a. Principe
- b. Adimensionnement d'un problème
- c. Analyse physique et analyse en ordre de grandeur

4. Problèmes singuliers - solutions raccordées

sur l'exemple de l'équation de Friedrichs

5. La couche limite visqueuse à grand nombre de Reynolds le long d'une plaque plane

- a. Analyse asymptotique - problème de Blasius
- b. Solution invariante d'échelle, propriétés
- c. Trainée visqueuse

Content (EN)

1. Dimensional analysis

- a. Dimensional analysis - Vaschy-Buckingham theorem
- b. Application to the prediction of global quantities
- c. Application à la détermination of self-similar solutions

2. Scale invariance

- a. Scale invariance as a generalisation of invariance against units change
- b. Application to the prediction of global quantities
- c. Application to the détermination of self-similar solutions

3. Asymptotic analysis - Regular problems

- a. Principle
- b. Writing a problem in a dimensionless form
- c. Physical analysis and analysis in terms of orders of magnitude

4. Singular problems - matched solutions

example of Friedrichs equation

5. The viscous boundary layer at high Reynolds number along a flat plate

- a. Asymptotic analysis - Blasius problem

- b. Scale invariant solution and its properties
- c. Skin friction

Mots clés (FR)

analyse dimensionnelle - solutions invariantes d'échelle - analyse en ordre de grandeur - analyse asymptotique - couche limite

Keywords (EN)

dimensional analysis - scale invariant solutions - order of magnitude analysis - asymptotic analysis - boundary layer

Prérequis (FR)

équation de conservation de la masse - équation de Navier-Stokes - contrainte, tenseur des contraintes

Pre-requisites (EN)

mass conservation equation - Navier-Stokes equation - stress, stress tensor

Modalité d'évaluation

DS1 : 2h

DS2 : 3h

DS3 (session 2) : 3h

note de session 1 = $\max(\text{DS1} \times 0,4 + \text{DS2} \times 0,6, \text{DS2})$

note de session 2 = $\max(\text{note de session 1}, \text{DS3})$

Assessment

DS1 (written exam) : 2h

DS2 (written exam) : 3h

DS3 (written exam) (second session) : 3h

first session mark = $\max(\text{DS1} \times 0,4 + \text{DS2} \times 0,6, \text{DS2})$

second session mark = $\max(\text{first session mark}, \text{DS3})$

Acquis d'Apprentissage Visés

- se doter d'outils pour résoudre des problèmes complexes de mécanique des fluides incompressibles et plus généralement de mécanique et d'énergétique
- mettre en évidence l'existence des couches limites visqueuses à grand nombre de Reynolds et leurs propriétés

Learning outcomes

- acquiring tools to solve complex problems of fluid mechanics and more generally mechanics and energetics
- evidencing viscous boundary layers in high Reynolds number flows and their properties

Bibliographie

- ouvrage généraliste, niveau L3-M1 : E. Guyon, J.P. Hulin, L. Petit, Hydrodynamique Physique (CNRS Editions - EDP Sciences 2001).
- ouvrage de référence sur l'analyse dimensionnelle : G. I. Barenblatt, Scaling, self-similarity, and intermediate asymptotics (Cambridge University Press 1996).
- ouvrage de référence sur l'analyse physique et en ordre de grandeur : Darrozès, J. S., & Monavon, A. (2014). Analyse phénoménologique des écoulements: comment traiter un problème de mécanique des fluides avant de résoudre les équations. EPFL Press.
- méthodes perturbations : E. J. Hinch, Perturbation methods (Cambridge University Press 1991).

Version PDF

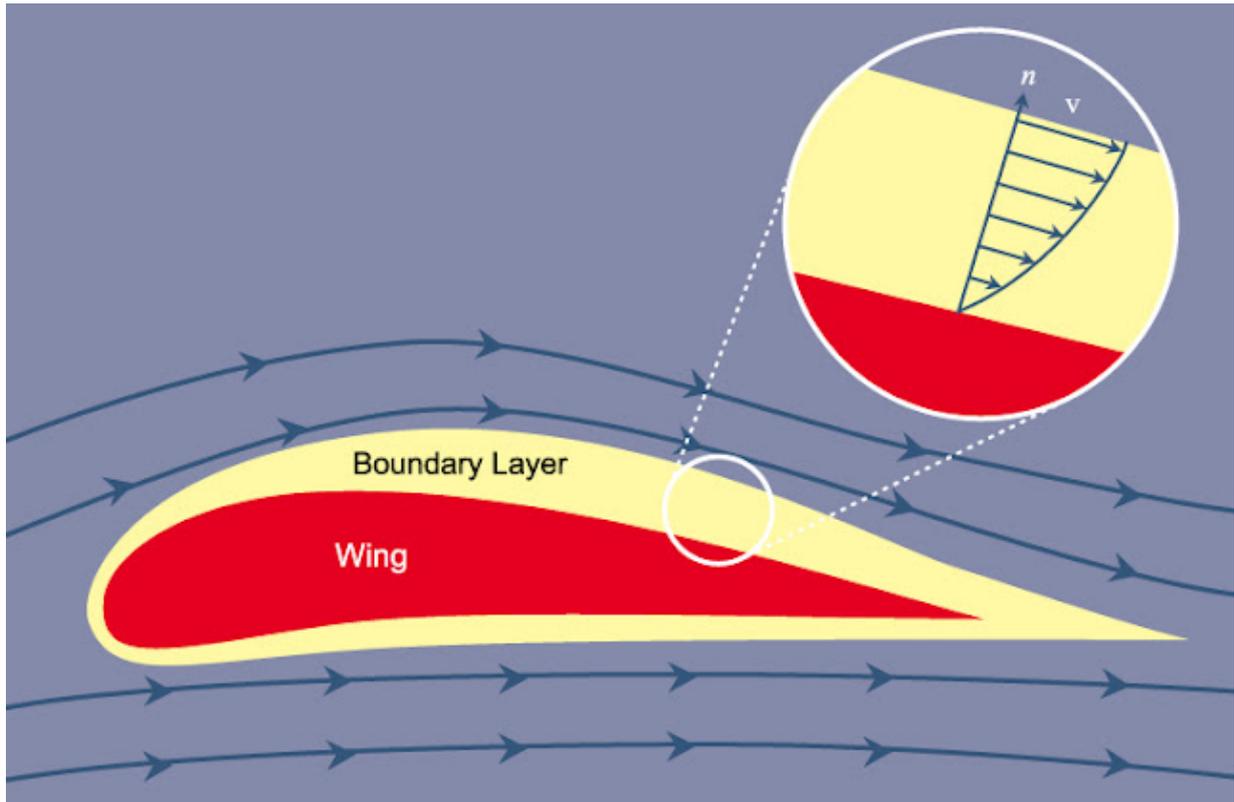


Figure 1: Figure

UM4MET14 – Vibrations et Ondes (Vibrations and Waves)

Lucas Frérot & Antoine Hajczak

2025-06-23 10:02:31 +0200

Informations générales

Title (EN)	Vibrations and Waves
Titre (FR)	Vibrations et Ondes
Nom du ou de la responsable de l'UE	Lucas Frérot & Antoine Hajczak
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	18
Volume h TD / Amount of exercise hours	26
Volume h TP / Amount of practical work hours	12
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	6
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM4MET14

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Vibrations

Systemes à 1DDL

- Approche énergétique du mouvement
- Réponse libre, régimes d'amortissement, temps caractéristiques
- Réponse forcée harmonique, résonance, fonction de transfert

- Réponse forcée quelconque

Exemples: pendule, suspension d'une roue, machine à laver

Systèmes à NDDL

- Approche énergétique du mouvement
- Réponse libre, décomposition du mouvement oscillatoire en modes propres, fréquences propres
- Efforts généralisés, réponse forcée
- Méthodes approchées, quotient de Rayleigh

Exemples: train, pendules couplés, moteur d'hélice

Systèmes continus

- Approche élémentaire différentielle du mouvement, approche énergétique
- Méthode approchée de discrétisation : Rayleigh-Ritz / Ritz-Galerkin
- Méthode exacte de résolution, conditions aux limites, décomposition en modes propres
- Relation de dispersion

Exemples: corne de Narval, rail de train, flèche d'arc

Ondes

Notions transverses

- Vitesse de propagation
- Relation de dispersion
- Vitesse de phase, vitesse de groupe
- Conditions de transmission/reflexion

Systèmes étudiés

- Ondes dans des fluides parfaits
 - Ondes dans des solides élastiques linéaires
 - Ondes de gravité
-

Déroulé des séances (en heures)

Semaine	Cours Magistral	Travaux Dirigés
1	2	2
2	2	2
3	2	2
4	2	2
5	2	2
6	0	2
7	0	2
8	0	2
9	2	2
10	2	2
11	2	2
12	2	2
13	0	2

Content (EN)

Vibrations

Single Degree of Freedom (1DOF) Systems

- Energy-based approach to motion
- Free response, damping regimes, characteristic times
- Harmonic forced response, resonance, transfer function
- General forced response

Examples: pendulum, wheel suspension, washing machine

Multiple Degrees of Freedom (NDOF) Systems

- Energy-based approach to motion
- Free response, decomposition of oscillatory motion into natural modes, natural frequencies
- Generalized forces, forced response
- Approximate methods, Rayleigh quotient

Examples: train, coupled pendulums, propeller engine

Continuous Systems

- Elementary differential approach to motion, energy-based approach
- Approximate discretization method: Rayleigh-Ritz / Ritz-Galerkin
- Exact solution method, boundary conditions, decomposition into natural modes
- Dispersion relation

Examples: narwhal tusk, train rail, arrow

Waves

General Concepts

- Propagation speed
- Dispersion relation
- Phase velocity, group velocity
- Transmission/reflection conditions

Studied Systems

- Waves in ideal fluids
- Waves in linear elastic solids
- Gravity waves

Semester planning (in hours)

Week	Lecture	Exercises / Tutorials
1	2	2
2	2	2
3	2	2
4	2	2
5	2	2
6	0	2

Week	Lecture	Exercices / Tutorials
7	0	2
8	0	2
9	2	2
10	2	2
11	2	2
12	2	2
13	0	2

Mots clés (FR)

vibrations; systèmes discrets; systèmes continus; modes propres; ondes; dispersion; propagation; réflexion; transmission

Prérequis (FR)

Dynamique à 1 degré de liberté, algèbre linéaires, équations aux dérivées partielles

Pre-requisites (EN)

1 degree of freedom harmonic oscillators, linear algebra, partial differential equations

Modalité d'évaluation

Deux contrôles sur la partie vibration, coefficient 1.2 pour chaque controle. Un contrôle pour la partie ondes, coefficient 2. Une note de TP, coefficient 1.2.

Assessment

Two exams on vibrations, each weighted 1.2. One exam on waves, weighted 2. One grade on practical work, weighted 1.2.

Acquis d'Apprentissage Visés

- Savoir établir les énergies cinétiques et potentielles d'un système dynamique
- Savoir dériver l'équation du mouvement d'un système dynamique à partir des énergies
- Savoir décomposer la vibration d'un système linéaire en modes propres, comprendre la relation entre un mode de vibration et sa fréquence propre, et comment ces modes répondent à une sollicitation externe
- Expliquer des phénomènes physiques liés aux ondes par les propriétés de propagation des milieux et interfaces

Bibliographie

Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M. L. & Feynman, R. P. Mainly Mechanics, Radiation, and Heat. (Addison-Wesley, Reading/Mass., 2007). **Chapters 21, 22, 23, 24, 25, 47, 48, 49, 50, 51**



Figure 1: Figure

Version PDF

UM5MEA01 – Acoustique des fluides (Acoustics in fluids)

Valier-Brasier

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Acoustics in fluids
Titre (FR)	Acoustique des fluides
Nom du ou de la responsable de l'UE	Valier-Brasier
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	41
Volume h TD / Amount of exercise hours	19
ECTS	6
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Code de l'UE	UM5MEA01

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de donner les bases théoriques de l'acoustique dans les fluides ### Contenu de l'Unité d'Enseignement. Les notions abordées dans ce cours sont :
- Introduction à l'histoire de l'acoustique. - Equation des ondes acoustiques dans les fluides parfaits ou dissipatifs - Conditions initiales et conditions aux limites, solutions des équations de propagation - Modélisation des sources sonores et champ rayonné : sources élémentaires, fonctions de Green, théorie de la diffraction. - Réflexion et transmission aux interfaces - Guides d'onde - Diffusion

Content (EN)

Educational Overview

This teaching unit aims to provide the theoretical foundations of acoustics in fluids. Course Content

The topics covered in this course include:

- Introduction to the history of acoustics
- Acoustic wave equations in perfect or dissipative fluids
- Initial and boundary conditions, solutions to propagation equations
- Modeling of sound sources and radiated field: elementary sources, Green's functions, diffraction theory
- Reflection and transmission at interfaces
- Waveguides
- Scattering

Prérequis (FR)

Mécanique des milieux continus (niveau L3), Analyse vectorielle, Fonction de plusieurs variables, équation aux dérivées partielles. Il est recommandé d'avoir déjà suivi un cours sur les ondes de niveau L3 ou M1.

Pre-requisites (EN)

Continuum mechanics, vector analysis, functions of several variables, partial differential equation.

Modalité d'évaluation

Examen écrit 100%

Assessment

100 % written exam

Acquis d'Apprentissage Visés

- Connaître le vocabulaire de base en acoustique
- Modélisation de la propagation linéaire des ondes acoustiques
- Modélisation de la dissipation des ondes acoustiques
- Connaître les solutions de base de l'équation des ondes (ondes progressives et rétrograde, ondes planes, cylindriques ou sphériques) et savoir poser formellement un problème d'acoustique
- Modéliser l'effet sur la propagation de la présence d'interfaces ou d'obstacles
- Modéliser le rayonnement de sources (monopôle et dipôle, surface quelconque vibrante)
- Modélisation de la propagation en guide d'ondes : mode de propagation, dispersion et notion de fréquence de coupure

Learning outcomes

- Understanding the fundamental principles of fluid acoustics
- Solving acoustic wave propagation equations
- Modeling acoustic sources and radiated fields
- Applying Green's functions in acoustics
- Studying diffraction, reflection, and transmission phenomena

Bibliographie

- D.T. Blackstock, Fundamentals of physical acoustics, 2001
- A. Pierce, An Introduction to Its Physical Principles and Applications, 2019
- T. Valier-Brasier et D. Royer, Ondes élastiques dans les solides 2 : Rayonnement, diffusion, génération, 2001

Version PDF

UM5MEA02 – Traitement du signal et méthodes numériques (Signal processing and numerical methods)

Catherine Weisman

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Signal processing and numerical methods
Titre (FR)	Traitement du signal et méthodes numériques
Nom du ou de la responsable de l'UE	Catherine Weisman
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	36
Volume h TP / Amount of practical work hours	24
ECTS	6
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Code de l'UE	UM5MEA02

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement s'articule autour de deux thèmes : le traitement du signal et les méthodes numériques pour l'acoustique.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Traitement du signal Cet enseignement a été conçu pour s'adresser à des physiciens et des mécaniciens, et non, comme c'est parfois le cas dans cette discipline, comme un cours de mathématiques pures ou de techniques informatiques. Il est constitué de cours-TD et de séances de travaux pratiques. - Rappels fondamentaux : description spectrale d'un signal à temps continu, à temps discret, échantillonnage temporel et fréquentiel, les diverses transformées de Fourier. La transformée de Hilbert et les relations de Kramers-Kronig : utilisation en physique. - Systèmes numériques linéaires et invariants, synthèse de filtres numériques dans le cadre de l'analyse des signaux en laboratoire. - Analyse des signaux aléatoires : techniques de réduction du bruit, détection, estimation classique, estimation paramétrique. Méthodes numériques pour l'acoustique Les notions introduites en cours seront appréhendées lors de la séance TP par un programme Matlab à développer par l'étudiant. Introduction aux différences finies sur l'équation de transport Notions introduites : ordre des schémas, schéma implicite / explicite, stabilité, dispersion et dissipation numérique, quelques schémas standards. Application des différences finies à l'équation des ondes 2D Initiation à la méthode des éléments finis

Content (EN)

Signal Processing

This course is designed for physicists and mechanical engineers, rather than being a pure mathematics or computer science class, as is sometimes the case in this field. It consists of lectures with tutorials (TD) and practical sessions (labs). - Fundamental concepts: spectral description of continuous-time and discrete-time signals, temporal and frequency sampling, various Fourier transforms. The Hilbert transform and Kramers-Kronig relations: applications in physics. - Linear and time-invariant digital systems, synthesis of digital filters for laboratory signal analysis. - Analysis of random signals: noise reduction techniques, detection, classical estimation, parametric estimation.

Numerical Methods for Acoustics

The concepts introduced in lectures are explored during lab sessions through a Matlab program developed by the student. - Introduction to finite difference methods on the transport equation - Concepts covered: order of schemes, implicit/explicit schemes, stability, numerical dispersion and dissipation, some standard schemes. - Application of finite differences to the 2D wave equation - Introduction to the finite element method

Mots clés (FR)

- Traitement du signal
- Transformée de Fourier
- Systèmes numériques
- Différences finies
- Éléments finis

Keywords (EN)

- Signal processing
- Fourier transform
- Digital systems
- Finite differences
- Finite elements

Prérequis (FR)

Traitement du signal numérique (M1), Méthodes numériques (M1)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Autonomie face à la résolution numérique d'un problème scientifique
- Pratique des principes de la programmation scientifique et du traitement des données.
- Compréhension des contraintes de l'échantillonnage
- Savoir calculer et interpréter un spectre. Savoir choisir un filtre. Savoir synthétiser un filtre
- Savoir implémenter des méthodes numériques et les apprécier en termes de stabilité, précision, convergence, ...
- Savoir présenter des méthodes et résultats numériques.

Learning outcomes

- Understand and apply fundamental signal processing principles in acoustics
- Analyze continuous and discrete signals using Fourier and Hilbert transforms
- Design and synthesize digital filters
- Apply numerical methods (finite differences, finite elements) to solve acoustic equations
- Develop Matlab programs to simulate acoustic phenomena

Bibliographie

- Signal Analysis (Papoulis)
- Méthodes et techniques de traitement du signal (Max et Lacoume, 2 tomes)
- Traitement des signaux et acquisition de données (F. Cottet)
- Leveque, Numerical methods for conservation laws, Birkhäuser Verlag, 1992
- Euvrard, Résolution numérique des équations aux dérivées partielles, Masson 1993
- Dhatt et Touzot, Une présentation de la méthode des éléments finis, Maloine 1984
- G. Cohen, Higher-Order Numerical Methods for Transient Wave Equations, Springer, 2002

Version PDF

UM5MEA03 – Acoustique du bâtiment, des salles et environnementale (Room, building and environmental acoustics)

Quentin Grimal

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Room, building and environmental acoustics
Titre (FR)	Acoustique du bâtiment, des salles et environnementale
Nom du ou de la responsable de l'UE	Quentin Grimal
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	22
Volume h TD / Amount of exercise hours	12
ECTS	6
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français
Language	Français
Code de l'UE	UM5MEA03

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

L'UE comprend trois parties -Introduction à l'architecture et au rôle de l'acousticien dans un projet architectural ou de rénovation. -Des visites de chantier et de salles. -Une série de cours sous la forme de conférences et d'études de cas sur des problématiques émergentes en acoustique des salles, du bâtiment et de l'environnement. Par exemple : acoustique dans structures ossature bois ; utilisation des matériaux biosourcés ; transformation des bâtiments ; propagation du bruit longue distance ; vibration des bâtiments ; gêne sonore et vibratoire ; paysages sonores et biodiversité ; outils de simulation acoustique ; nouveaux indicateurs acoustique. Les

enseignements sont pour l'essentiel assurés par des ingénieurs acousticiens de bureaux d'étude et un architecte.

Mots clés (FR)

Architecture ; bâtiment ; bureau d'étude

Prérequis (FR)

Enseignements de l'option ACAR

Assessment

examen écrit

Acquis d'Apprentissage Visés

-Analyser le rôle de l'acousticien dans les projets architecturaux. -Évaluer la qualité acoustique d'un espace bâti ou en construction à partir de visites de chantiers et de salles. -Comprendre et discuter des problématiques en acoustique des salles, du bâtiment et de l'environnement à travers des études de cas concrets, en intégrant les enjeux techniques, environnementaux, réglementaires et sociétaux. -Appréhender les spécificités acoustiques des matériaux innovants (par ex. biosourcés, bois, etc.) et des formes constructives récentes. -Analyser la propagation du bruit et des vibrations dans des contextes complexes en identifiant les phénomènes physiques en jeu et leurs conséquences en terme de gêne sonore.

Version PDF

UM5MEA04 – Projet en acoustique architecturale (Room acoustics project)

Quentin Grimal

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Room acoustics project
Titre (FR)	Projet en acoustique architecturale
Nom du ou de la responsable de l'UE	Quentin Grimal
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	2
Volume h Projet / Amount of project hours	6
ECTS	3
Semestre	Automne (S1)
Semester	Sept-Jan (S1)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Code de l'UE	UM5MEA04

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Dans cette UE les étudiants en groupes de 2 à 4 travaillent sur des projets représentatifs de la pratique de l'ingénieur acousticien en bureau d'étude.

L'objectif est de fournir aux étudiants une capacité à intégrer les contraintes acoustiques et les objectifs architecturaux à l'occasion d'une démarche de projet facilitant le futur dialogue ingénieurs-architectes.

Mots clés (FR)

Architecture ; bâtiment ; bureau d'étude

Prérequis (FR)

Enseignements de l'option ACAR

Modalité d'évaluation

rapport et présentation orale

Acquis d'Apprentissage Visés

-Mobiliser les connaissances fondamentales et appliquées en acoustique pour analyser et résoudre des problématiques d'acoustique architecturale et du bâtiment. -Identifier et intégrer les contraintes réglementaires, techniques et économiques au sein d'un projet global, en cohérence avec les objectifs architecturaux. -Mobiliser des méthodes de modélisation et de simulation. - Collaborer efficacement en équipe en respectant des échéances. -Produire des rapports et des présentations permettant une communication claire des choix techniques et de leurs implications acoustiques. -Faire preuve d'un esprit critique sur les solutions retenues.

Version PDF

UM5MEA05 – Applications en acoustique (Applications in acoustics)

Valier-Brasier

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Applications in acoustics
Titre (FR)	Applications en acoustique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Valier-Brasier
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	40
Volume h TD / Amount of exercise hours	18
ECTS	6
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Code de l'UE	UM5MEA05

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de présenter différentes applications de l'acoustique. Les modules proposés ne sont pas tous suivis par les étudiants qui doivent choisir 4 crédits dans la liste présentée dans le contenu

Contenu de l'unité d'Enseignement.

Les différents modules sont :

Ondes en milieux complexes (2 crédit) : Par « milieu complexe » on entend les milieux hétérogènes dont la densité et l'élasticité peuvent être modélisée par des fonctions aléatoires. Dans ce cours, tout en conservant le souci d'être proches des expériences, nous présentons aux étudiants les concepts fondamentaux permettant de décrire aussi bien la propagation d'un électron dans un métal contenant des impuretés que d'une onde lumineuse dans un milieu turbide ou d'une onde élastique par exemple dans un acier à grains (application au CND) ou dans la croûte terrestre (applications à la géophysique). Nous étudions les statistiques du speckle (optique ou acoustique) en régime de diffusion simple ou multiple et introduisons en particulier les paramètres de transport (libres parcours moyens, constante de diffusion,...) et les différents régimes de propagation (cohérent, incohérent, localisation faible et forte).

Infrasons et géosciences (2 crédits) : Instrumentation et surveillance des systèmes naturels : « Les infrasons : techniques d'acquisition et application aux géosciences ». Cette UE se propose de présenter aux étudiants les méthodes modernes d'étude des infrasons, depuis les méthodes d'acquisition des signaux, de traitement et d'analyse, ainsi que leurs applications à différentes thématiques des géosciences. Les enseignements seront assurés par des ingénieurs et chercheurs du CEA, organisme qui travaille depuis plus de 40 ans sur cette technologie. Elle est divisée en deux parties principales : la première décrit les méthodes de traitement du signal, de simulation de la propagation et d'interprétation des signaux, la seconde concerne une description complète des systèmes de mesure. Des exemples et travaux pratiques viendront illustrer les exposés. Pour mener ces travaux, les enseignants mettront à disposition des étudiants des équipements de mesure,

bases d'enregistrements, logiciels de traitement du signal et de simulation. Compétences visées : donner aux étudiants un aperçu global et une vision transverse sur les techniques de mesures et d'analyse des ondes infrasonores dans les domaines de la surveillance de l'environnement, des sciences de la terre et de l'atmosphère. Evaluation : projets d'études par binômes proposés en fin de formation (traitement et analyse de signaux / simulation / instrumentation). UE enseignée par des membres du CEA (commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives).

Aéroacoustique (1 crédit) : L'aéroacoustique est usuellement définie comme la branche de l'acoustique qui vise à décrire la génération et la propagation des ondes acoustiques dans les écoulements de fluides. À l'intersection entre la mécanique des fluides et l'acoustique, il s'agit d'une discipline relativement récente puisqu'elle a été introduite formellement par James Lighthill dans les années 1950, alors que les nuisances sonores associées à l'essor du transport aérien se faisaient de plus en plus pressantes. L'objectif de ce cours est de présenter les principales théories et idées physiques permettant de modéliser la génération d'ondes acoustique par la turbulence et/ou par l'interaction entre un écoulement et un obstacle. Pour cela, on introduira la notion clef d'analogie acoustique qui permet de réduire le problème à celui du rayonnement de sources acoustiques simples équivalentes. On donnera de plus les principales équations permettant de décrire la propagation des ondes dans un milieu inhomogène, cisailé, ou sur de grandes distances.

Acoustique médicale (1 crédit) : Imagerie et thérapie par des ondes ultrasonores

L'objectif est de donner aux étudiants qui suivent un parcours en acoustique physique une formation approfondie sur les applications médicales diagnostiques et thérapeutiques des ultrasons. Le cours s'appuiera sur les notions théoriques abordées lors d'UE de spécialisation et d'approfondissement en acoustique des fluides et des solides et sur les connaissances de

l'étudiant en traitement du signal. Seront notamment abordés les principes de formation de l'image échographique, le mode « Doppler », les effets biologiques et l'acoustique non linéaire. Thèmes abordés : Principes de formation de l'image échographique : interactions ultrasons/tissus biologiques, modes d'imagerie (B, TM, 3D), capteurs, grandes fonctions de l'échographe, focalisation, bruit de speckle, caractéristiques de l'image (résolution, contraste) Vélométrie et mode « Doppler ». Application de l'acoustique non linéaire à l'imagerie : imagerie harmonique, produits de contraste. Effets biologiques des ultrasons : échauffement, cavitation, applications thérapeutiques (lithotripsie, hyperthermie), normes de sécurité. Quantification et méthodes avancées : densitométrie osseuse ultrasonore, élastographie

Psychoacoustique (2 crédits) : étude de la perception auditive de l'être humain

Connaissances fondamentales de la psychoacoustique : l'anatomie fonctionnelle du système auditif, la perception de l'intensité (sonie), la perception de la hauteur (et dans ces deux cas, les modèles existants), l'organisation auditive, la localisation des sources sonores et le timbre. Pathologies du système auditif. Aspects méthodologiques de la démarche expérimentale en psychoacoustique (méthodes unidimensionnelles et multidimensionnelles),

Isolation (1 crédit) : étude des principales techniques d'isolation acoustique. Thèmes abordés :

- Les sources de bruit et vibrations, Modes de transmission des bruits et vibrations, Réduction des vibrations, Réduction du bruit
- Isolation acoustique vis-à-vis des bruits extérieurs : écrans, isolement de façade, traitement des fenêtres...
- Isolation acoustique vis-à-vis des bruits intérieurs (bruits aériens, bruits d'impact, bruits d'équipements...).
- Intégration de la problématique de l'isolation acoustique dans la conception architecturale et urbaine.
- Comportement vibroacoustique des parois dans le bâtiment

Acquis d'Apprentissage Visés

- Connaître le vocabulaire technique associé à une branche particulière de l'acoustique
- Mettre en œuvre les outils généraux vus dans les unités théoriques

Version PDF

UM5MEA06 – Ondes élastiques dans les solides et méthodes expérimentales (Acoustic waves in solids and experimental methods)

Valier-Brasier

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Acoustic waves in solids and experimental methods
Titre (FR)	Ondes élastiques dans les solides et méthodes expérimentales
Nom du ou de la responsable de l'UE	Valier-Brasier
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	45
Volume h TP / Amount of practical work hours	22
ECTS	6
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Code de l'UE	UM5MEA06

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Propagation dans les solides isotropes.

- Équation de propagation, solutions élémentaires, Ondes de volume longitudinale et transversale, polarisation

- Viscoélasticité et atténuation dans les solides
- Réflexion et réfraction aux interfaces, conversion d'ondes
- Transport de l'énergie (théorème de Poynting acoustique).
- Rayonnement de sources en volume ou en surface
- Élastodynamique, génération laser d'ultrasons

Propagation dans les solides anisotropes.

- Loi de Hooke pour un solide élastique et piézoélectrique, Tenseurs des constantes élastiques et piézoélectriques.
- Réduction du nombre de constantes indépendantes des cristaux, symétries
- Tenseur de Christoffel, Ondes planes, polarisation, vitesse de phase, vitesse d'énergie.
- Surface des lenteurs, surface d'onde,
- Propagation dans un solide piézoélectrique, coefficient de couplage électromécanique.

Ondes guidées.

- Modes propres d'un guide d'ondes linéaire, homogène et invariant dans le temp
- Vitesse d'un groupe d'ondes
- Guide élémentaire
- Ondes élastiques guidées par un ou deux plans parallèles
- Ondes de Rayleigh
- Ondes de Lamb
- Ondes transversales horizontales (TH)
- Milieu non piézoélectrique (onde TH et ondes de Love)
- Demi-espace piézoélectrique (onde de Bleustein-Gulyaev)
- Classification des modes et déplacement mécanique

Modalité d'évaluation

Écrit : 70 %, TP : 30 %

Bibliographie

- J. Achenbach, Wave Propagation in Elastic Solids, North Holland, 2012.
- K. Aki and P. G. Richards, Quantitative Seismology, University Science Books, U.S., 2002.
- B. A. Auld, Acoustic fields and waves in solids, tome 1, R. E. Krieger Publishing Compagny, Malabar, Florida, 1990.
- J.D.N. Cheeke, Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves, CRC Press, 2002.
- D. Royer and T. Valier-Brasier, Ondes élastiques dans les solides 1. Propagation, ISTE Editions, London, 2021.

- T. Valier-Brasier and D. Royer, Ondes élastiques dans les solides 2. Rayonnement, diffusion, génération, ISTE Editions, London, 2021.

Version PDF

UM5MEA08 – Acoustique non linéaire et aéroacoustique (Non linear acoustics and Aeroacoustics)

Hajczak

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Non linear acoustics and Aeroacoustics
Titre (FR)	Acoustique non linéaire et aéroacoustique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Hajczak
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	27
Volume h TD / Amount of exercise hours	3
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Code de l'UE	UM5MEA08

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Aéroacoustique

L'aéroacoustique est usuellement définie comme la branche de l'acoustique qui vise à décrire la génération et la propagation des ondes acoustiques dans les écoulements de fluides. À l'intersection entre la mécanique des fluides et l'acoustique, il s'agit d'une discipline relativement récente puisqu'elle a été introduite formellement par James Lighthill dans les années 1950, alors que les nuisances sonores associées à l'essor du transport aérien se faisaient de plus en plus pressantes. L'objectif de ce cours est de présenter les principales théories et idées

physiques permettant de modéliser la génération d'ondes acoustique par la turbulence et/ou par l'interaction entre un écoulement et un obstacle. Pour cela, on introduira la notion clef d'analogie acoustique qui permet de réduire le problème à celui du rayonnement de sources acoustiques simples équivalentes. On donnera de plus les principales équations permettant de décrire la propagation des ondes dans un milieu inhomogène, cisaillé, ou sur de grandes distances. ### Acoustique non linéaire L'objectif de ce cours est d'étudier la propagation non linéaire des ondes acoustiques dans les fluides, en accentuant ses aspects physiques. A partir des équations constitutives de l'acoustique, nous établissons l'équation de propagation non linéaire dans un fluide thermo-visqueux. Les solutions en ondes planes sont alors étudiées en détail : équation de Burgers, ondes de choc, interaction non linéaire de deux ondes... Les phénomènes de diffraction affectant la propagation non linéaire sont modélisés à l'aide d'une solution en perturbation dans le cadre de l'approximation de faible non linéarité, ou simulés numériquement à partir de l'équation KZ. A la fin du cours, la propagation non linéaire dans les milieux hétérogènes est abordée par le biais d'exemples

Prérequis (FR)

- Acoustique dans les fluides
- Mécanique des milieux continus
- Mécanique des fluides
- Traitement du signal
- Mathématiques pour la mécanique : analyse vectorielle, équations différentielles

Modalité d'évaluation

Examen écrit

Assessment

Written exam

Acquis d'Apprentissage Visés

- Expliquer comment les obstacles affectent la génération et la propagation des ondes acoustiques en écoulement
- Adopter une modélisation appropriée pour un problème de propagation d'onde en milieu fluide complexe
- Identifier et hiérarchiser les phénomènes aérodynamiques générant des ondes acoustiques dans un écoulement
- Réduire la complexité d'un problème aéroacoustique à l'aide de lois d'échelle en fonction du nombre de Mach
- Modéliser les principaux effets non linéaires en acoustique

Bibliographie

- D. G. Crighton. Basic principles of aerodynamic noise generation. *Progress in Aerospace Sciences*, 16(1):31–96, 1975.
- J. E. Ffowcs-Williams. Noise source mechanisms. In *Modern Methods in Analytical Acoustics: Lecture Notes*, pages 313–354. Springer, 1992.
- M. E. Goldstein. *Aeroacoustics*. McGraw-Hill International Book Company, 1976.
- A. Hirschberg and S. W. Rienstra. An introduction to aeroacoustics. *Eindhoven university of technology*, 31, 2004.
- A. Hirschberg and C. Schram. A primitive approach to aeroacoustics. In *Sound-flow interactions*, pages 1–30. Springer, 2002.
- M. J. Lighthill. *Waves in fluids*. Cambridge university press, 2001.
- M.F. Hamilton, D.T. Blackstock, *Nonlinear Acoustics*, Academic Press Inc., 1997
- D.T. Blackstock, *Fundamentals of Physical Acoustics*, John Wiley & Sons, 2000.

Version PDF

UM5MEA09 – Contrôle non destructif par ultrasons (Ultrasonic non destructive testing)

Valier-Brasier

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Ultrasonic non destructive testing
Titre (FR)	Contrôle non destructif par ultrasons
Nom du ou de la responsable de l'UE	Valier-Brasier
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	24
Volume h TP / Amount of practical work hours	24
ECTS	6
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français/Anglais
Language	Français/Anglais
Code de l'UE	UM5MEA09

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le contrôle non-destructif par ultrasons est une méthode d'inspection utilisée pour évaluer l'intégrité d'un matériau ou d'une pièce sans altérer ses propriétés ni compromettre son usage futur. Cette technique est utilisée dans de nombreux secteurs industriels tels que l'aéronautique, les industries des énergies, la métallurgie ou le génie civil. Elle repose sur la propagation d'ondes ultrasonores dans un matériau pour détecter des défauts internes, mesurer l'épaisseur ou contrôler les propriétés mécaniques. Le cours a pour objectif de présenter les différentes techniques d'inspection telles que : - Inspection en réflexion : le transducteur émet les ultrasons et reçoit l'écho des défauts internes ou de la face opposée. C'est la méthode la plus courante. - Inspection en transmission : deux transducteurs sont placés de part et d'autre de la pièce. Une baisse d'intensité du signal transmis peut indiquer un défaut. - Inspection en immersion : la

pièce est immergée dans l'eau qui sert de milieu de couplage entre le transducteur et la pièce, améliorant la qualité du signal. - Phased Array : méthodes avancées permettant une imagerie précise et une meilleure détection de fissures.

Content (EN)

Ultrasonic Non-Destructive Testing (NDT) is an inspection method used to assess the integrity of a material or component without altering its properties or compromising its future use. This technique is employed in many industrial sectors such as aerospace, energy industries, metallurgy, and civil engineering. It is based on the propagation of ultrasonic waves through a material to detect internal defects, measure thickness, or evaluate mechanical properties. The purpose of this course is to present the different inspection techniques, including: - Pulse-echo inspection: the transducer emits ultrasonic waves and receives the echo from internal defects or the opposite surface. This is the most common method. - Through-transmission inspection: two transducers are placed on opposite sides of the component. A drop in the transmitted signal intensity may indicate the presence of a defect. - Immersion inspection: the component is immersed in water, which serves as a coupling medium between the transducer and the part, improving signal quality. - Phased Array: advanced methods that allow for precise imaging and improved detection of cracks.,

Mots clés (FR)

Contrôle non-destructif ; Ultrasons ; Inspection ; Défaut

Keywords (EN)

Non-Destructive Testing ; Ultrasonic ; Inspection ; Defect

Prérequis (FR)

- Ondes élastiques dans les solides
- Mécanique des milieux continus
- Traitement du signal

Modalité d'évaluation

Examen écrit (50%) et TP (50%)

Assessment

Written exam (50%) and lab work (50%)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Comprendre le principe du contrôle non-destructif par ultrasons. Savoir expliquer comment les ondes ultrasonores sont utilisées pour inspecter un matériau sans l'endommager.
- Identifier les domaines d'application du contrôle par ultrasons. Être capable de citer les secteurs industriels utilisant cette technique (aéronautique, énergie, métallurgie, génie civil...).
- Distinguer les différentes méthodes d'inspection par ultrasons. Connaître les différences entre les inspections par réflexion, transmission, immersion et Phased Array.
- Analyser les avantages et limites de la méthode. Savoir évaluer les forces (précision, profondeur, sécurité) et les faiblesses (nécessité de couplage, difficulté d'interprétation) du CND-US.
- Utiliser un vocabulaire technique adapté au contrôle non-destructif. Être capable d'exprimer des notions techniques liées aux ultrasons avec précision.

Learning outcomes

- Understand the principle of ultrasonic non-destructive testing. Be able to explain how ultrasonic waves are used to inspect a material without damaging it.
- Identify the industrial applications of ultrasonic testing. Know which sectors use this technique (aerospace, energy, metallurgy, civil engineering...).
- Distinguish between different ultrasonic inspection methods. Understand the differences between pulse-echo, through-transmission, immersion, and phased array techniques.
- Analyze the advantages and limitations of the method. Be able to evaluate the strengths (accuracy, depth, safety) and weaknesses (need for coupling, signal interpretation challenges) of ultrasonic testing.
- Use appropriate technical vocabulary related to NDT. Demonstrate the ability to describe ultrasonic NDT techniques using accurate and professional terminology.

Bibliographie

- J. Achenbach, Wave Propagation in Elastic Solids, North Holland, 2012.
- K. Aki and P. G. Richards, Quantitative Seismology, University Science Books, U.S., 2002.
- B. A. Auld, Acoustic fields and waves in solids, tome 1, R. E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1990.
- J.D.N. Cheeke, Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves, CRC Press, 2002.
- D. Royer and T. Valier-Brasier, Ondes élastiques dans les solides 1. Propagation, ISTE Editions, London, 2021.
- T. Valier-Brasier and D. Royer, Ondes élastiques dans les solides 2. Rayonnement, diffusion, génération, ISTE Editions, London, 2021.

Version PDF

UM5MEE00 – Thermodynamique avancée (Advanced Thermodynamics)

Matynia Alexis

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Advanced Thermodynamics
Titre (FR)	Thermodynamique avancée
Nom du ou de la responsable de l'UE	Matynia Alexis
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	14
Volume h TD / Amount of exercise hours	14
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE00

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Objectifs de l'enseignement

Le but de ce cours est de présenter les principes de la conversion énergétique pour les ressources énergétiques conventionnelles et renouvelables et d'expliquer les paramètres les plus importants qui définissent l'efficacité de la conversion énergétique des technologies de conversion énergétique. Une attention particulière est portée à l'analyse exergétique, afin d'évaluer la qualité des conversions énergétiques et d'identifier les leviers d'optimisation. Après une introduction aux

principes de modélisation, différents systèmes de conversion d'énergie sont présentés en détail.

Organisation

Cours Le cours commence par un rappel des principes fondamentaux de la thermodynamique. Il introduit ensuite l'analyse exergetique appliquée aux systèmes de conversion d'énergie. Les cycles thermodynamiques classiques (moteurs, pompes à chaleur, cycles frigorifiques) sont étudiés, ainsi que la cogénération. Enfin, les principales technologies thermodynamiques d'énergies renouvelables sont présentées.

TD Les TD ont pour but de mettre en pratique les concepts vus en cours à travers l'étude de cas concrets de systèmes énergétiques, tels que : - Les centrales thermiques pour la production d'électricité - Les véhicules à air comprimé - Les bassins solaires et systèmes solaires à concentration - La conversion de l'énergie thermique des mers - Les Moteurs Stirling et cycles alternatifs

Les approches d'optimisation thermodynamique sont également abordées.

Content (EN)

Objectives of the unit

The aim of this course is to present the principles of energy conversion for both conventional and renewable energy resources, and to explain the key parameters that determine conversion efficiency of energy conversion technologies. Special attention is given to exergy analysis, used to assess the quality of energy conversions and identify opportunities for optimization. After an introduction to basic modeling principles, various energy conversion systems are examined in detail.

Detailed content of the unit

Lectures The course begins with a review of the fundamental principles of thermodynamics. It then introduces exergy analysis applied to energy conversion systems. Classical thermodynamic cycles (heat engines, heat pumps, refrigeration cycles) are studied, along with cogeneration. The main thermal renewable energy technologies are also presented.

Tutorials The tutorials aim to apply the theoretical concepts covered in lectures through case studies of real-world energy systems, including: - Thermal power plants for electricity generation - Compressed-air vehicles - Solar ponds and concentrating solar power systems - Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) - Stirling engines and alternative thermodynamic cycles

Thermodynamic optimization approaches are also addressed.

Mots clés (FR)

Conversion d'énergie ; Analyse exergetique ; Efficacité énergétique ; Optimisation thermodynamique

Keywords (EN)

Energy conversion; Exergy analysis; Energy efficiency; Thermodynamic optimization

Prérequis (FR)

Connaissance des systèmes énergétiques et des fondements de la thermodynamique niveau master.

Pre-requisites (EN)

Knowledge of energy systems and fundamentals of thermodynamics at the master's level.

Modalité d'évaluation

30% examen écrit 1 + 70% examen écrit 2

Assessment

30% written exam 1 + 70% written exam 2

Acquis d'Apprentissage Visés

- Mobiliser des outils d'analyse thermique et exergetique pour diagnostiquer la performance énergétique d'un système
- Intégrer les enjeux environnementaux dans le choix ou la conception d'un système énergétique
- Présenter clairement une analyse technico-énergétique en s'appuyant sur des indicateurs pertinents (rendement, exergie, COP, etc.)

Learning outcomes

- Use thermal and exergy analysis tools to assess the energy performance of a system
- Integrate environmental considerations into the selection or design of an energy system
- Clearly present a techno-energy analysis using relevant indicators (efficiency, exergy, COP, etc.)

Bibliographie

- Moran M. J. and Shapiro, H. N., Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 3rd edition, John Wiley & Sons, 1998.
- Borel L., Thermodynamique Et Énergétique, presses polytechniques et universitaires
- Atkins P.W., The Second Law: Energy, Chaos, and Form, W. H. Freeman; 2nd edition, 1994

Version PDF

UM5MEE01 – Modélisation de la turbulence (Turbulence modelling)

Isabelle Vallet

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Turbulence modelling
Titre (FR)	Modélisation de la turbulence
Nom du ou de la responsable de l'UE	Isabelle Vallet
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	14
Volume h TD / Amount of exercise hours	14
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE01

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

L'objectif de cette UE est de donner aux étudiants les bases nécessaires pour comprendre les phénomènes turbulents qui apparaissent dans de nombreuses applications relevant des secteurs d'activité visés par la spécialité du master, ainsi qu'une initiation à la modélisation des écoulements turbulents compressibles. Contenu de l'enseignement : • Equations de Navier-Stokes compressibles instantanées. Moyenne d'ensemble. Décompositions de Reynolds et de Favre. Écoulements turbulents compressibles. Équations de Naviers-stokes moyennées. • Equations de

transport aux tensions de Reynolds en écoulements incompressible et compressible. Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente. • Modélisation statistique de la turbulence. Classification et description des différentes approches. Ecoulement turbulent établi dans un canal plan. • Modélisation à 2 équations (k - ϵ) en écoulement compressible. Modélisation aux tensions de Reynolds. • Modélisation de la corrélation triple de vitesse. Tenseur d'anisotropie du tenseur de Reynolds. Notion de réalisabilité. Effets bas-Reynolds et de paroi.

Content (EN)

This course introduces the students to the basics theories of compressible turbulent closures necessary to understand turbulent flows occurring in many industrial applications relevant to the master EE. Detailed content of the unit : • Instantaneous compressible Navier-Stokes equations. Ensemble average and properties. Reynolds and Favre decomposition. Compressible turbulent flows. Reynolds and Favre Averaged Navier-Stokes equations. • Tensor-Reynolds equations for incompressible and compressible flows. Turbulent kinetic energy dissipation-rate exact transport equations. • Statistical turbulence modelling. Classification of approaches for the simulation of turbulent flow. Fully developed turbulent channel flow. • Two-equation turbulent closure (k - ϵ) and Reynolds-stress Model for compressible flow • Triple velocity correlation modelling. Anisotropy tensor of the Reynolds tensor. Realizability concept. Low-Reynolds number and wall effect.

Mots clés (FR)

Ecoulements compressibles; Tenseur de Reynolds et tenseur de dissipation; DNS, LES, RANS; triangle de réalisabilité. Modèle aux tensions de Reynolds bas-Reynolds.

Keywords (EN)

Compressible flows; Reynolds and dissipation tensors; DNS, LES, RANS; realizability triangle; low-Reynolds Reynolds Stress Model.

Prérequis (FR)

Mécanique des fluides. Équations de Navier Stokes. Ecoulements incompressibles et compressibles. Formes conservative et non conservative. Notations indicielles.

Pre-requisites (EN)

Fluid mechanic. Navier-Stokes Equations. Incompressible and compressible flows. Conservative and non conservative forms. Indicial notation.

Modalité d'évaluation

session 1= DS1 (2h); session 2=sup(session1, DS2)

Assessment

session 1= DS1 (2h); session 2=sup(session1, DS2)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Analyse d'un écoulement turbulent compressible.
- Compréhension modèles de turbulence compressibles

Learning outcomes

- Analysis of compressible turbulent flows.
- Critical analysis of compressible turbulence models

Bibliographie

- Turbulent Flows 1st Edition, by Stephen B. Pope, Cambridge University Press; 1 edition (
- Turbulence Modelling for CFD, by D. C. Wilcox, DCW Industries (1998)

Version PDF

UM5MEE02 – Lecture series (Séminaires)

Alexis Matynia

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Séminaires
Titre (FR)	Lecture series
Nom du ou de la responsable de l'UE	Alexis Matynia
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	15
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE02

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Ce cycle de séminaires vise à élargir la vision des étudiants sur la problématique climat énergie, ses conséquences sur la société mais également sur le métier d'un ingénieur énergétique. L'exploitation des énergies dans une vision « durable » sera abordée. Une présentation des défis (climat, développement, ressources) et des scénarios pour l'avenir énergétique de la planète sont proposés et analysés. Le cycle encourage la réflexion sur les transitions énergétiques envisageables et sur les efforts nécessaires dans les principaux secteurs couverts par le master Énergétique et Environnement (transport, bâtiment, énergies).

Content (EN)

This lecture series aims to broaden students' understanding of the climate-energy challenge, its societal impacts, and its implications for the role of an energy engineer. The sustainable use of energy resources will be addressed. Key global challenges—climate change, development, and resource management—will be presented and analyzed, along with future energy scenarios for the planet. The series encourages critical thinking on possible energy transitions and the efforts required in the main sectors covered by the Master's program in Energy and Environment (transport, buildings, energies).

Mots clés (FR)

Stratégies de décarbonation ; Développement durable ; Ingénierie soutenable ; Scénarios énergétiques ; Enjeux énergétiques planétaires

Keywords (EN)

Decarbonization strategies; Sustainable development; Engineering for sustainability; Energy scenarios; Global energy challenges

Modalité d'évaluation

30% QCM + 70% examen écrit

Assessment

30% MCQS + 70% written exam

Acquis d'Apprentissage Visés

- Accéder et évaluer les sources d'information appropriées.
- Écrire et présenter un rapport scientifique ou technique.

Learning outcomes

- Access and evaluate appropriate information sources.
- Write and present a scientific or technical report.

Version PDF

UM5MEE04 – Bruit des turbo-réacteur (Turbojet noise)

Georges Gerolymos

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Turbojet noise
Titre (FR)	Bruit des turbo-réacteur
Nom du ou de la responsable de l'UE	Georges Gerolymos
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	16
Volume h TD / Amount of exercise hours	16
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE04

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Rappels d'acoustique générale : équation des ondes, équation de Helmholtz, pression/intensité/énergie acoustique, décibel, monopôles, dipôles, propagation en champ libre et en conduit. Principaux enjeux du bruit aéronautique : les sources de bruit d'un turboréacteur, le processus de certification, les essais, les technologies de réduction de bruit, les méthodes de simulation. Bruit fan/compresseurs/turbines : interactions rotor-stators, théorie de Tyler et Sofrin. Bruit de jet/trains d'atterrissage/hélices : les analogies acoustiques (théories de Lighthill, Curle et Ffowcs-Williams hawkins)

Content (EN)

General acoustics reminder: wave equation, Helmholtz equation, pressure/intensity/acoustic energy, decibel, monopoles, dipoles, free field and duct propagation. Main issues of aeronautical noise: turbojet noise sources, certification process, acoustic tests, noise reduction technologies, simulation methods. Fan/compressor/turbine noise: rotor-stator interactions, Tyler and Sofrin theory. Jet/landing gear/propeller noise: acoustic analogies (Lighthill, Curle and Ffowcs-Williams Hawkins theories)

Mots clés (FR)

Bruit des turboréacteurs, bruit hélices, bruit de jet, interactions rotor-stators, analogies acoustiques

Keywords (EN)

Turbojet noise, propeller noise, jet noise, rotor-stator interactions, acoustic analogies

Prérequis (FR)

Les bases de la mécanique des fluides et de l'analyse harmonique.

Pre-requisites (EN)

The basics of fluid mechanics and harmonic analysis.

Modalité d'évaluation

session 1 = 40%(DS1:2h)+60%(DS2:2h); session 2 = sup(session1, DS3:2h)

Assessment

session 1 = 40%(DS1:2h)+60%(DS2:2h); session 2 = sup(session1, DS3:2h)

Bibliographie

[1] Catherine Potel and Michel Bruneau. Acoustique Générale. Number ISBN 2-7298-2805-2 in Technosup. Ellipses edition.

[2] J. M. Tyler and T. G. Sofrin. Axial Flow Compressor Noise Studies. SAE Technical Paper 620532, SAE International, Warrendale, PA, January 1962. ISSN : 0148-7191, 2688-3627.

[3] M. J. Lighthill. On sound generated aerodynamically. i. general theory. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 211(1107) :564–587, 1952.

[4] Ffowcs Williams, J.E. and Hawkings, D.L. (1969) Sound Generation by Turbulence and Surfaces in Arbitrary Motion. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 264, 321-342.

Version PDF

UM5MEE05 – Ecoulements supersoniques (Supersonic flows)

Georges Gerolymos

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Supersonic flows
Titre (FR)	Ecoulements supersoniques
Nom du ou de la responsable de l'UE	Georges Gerolymos
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	10
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	9
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français/Anglais
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE05

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

- Position du problème physique (écoulement compressible avec ou sans onde de choc) et utilisation
- Maillage, conditions aux limites, choix de modèle de turbulence, calculs. Comparaison avec
- Equation d'état de l'air. Effet de variation de $c_p(T)$, vitesse du son et nombre de Mach.
- Couche limite compressible, transition et turbulence, profils de vitesse et de température
- Ecoulements supersoniques, ondes de choc.

Content (EN)

-

- Physical flow analysis (compressible flow with or without shock-wave) and use of software
- Grid generation, boundary-conditions, turbulent closure choice, computations. Comparaison
- equation of state for air. $c_p(T)$ variation effect, sound velocity and Mach number.
- Compressible boundary-layer, transition and turbulence, velocity and temperature profiles.
- supersonic flows, shock-waves.

Mots clés (FR)

ondes de choc droites et obliques. Interaction onde de choc/couche-limite turbulente

Keywords (EN)

shock-waves; turbulent boundary-layer/shock-wave interaction

Prérequis (FR)

Mécanique des fluides. Équations de Navier Stokes. Ecoulements incompressibles et compressibles. Formes conservative et non conservative. Notations indicielles.

Pre-requisites (EN)

Fluid mechanic. Navier-Stokes Equations. Incompressible and compressible flows. Conservative and non conservative forms. Indicial notation.

Modalité d'évaluation

session1=DS1(50%)+TP(50%); session 2=sup(DS1,DS2)(50%)+TP(50%)

Assessment

session1=DS1(50%)+TP(50%); session 2=sup(DS1,DS2)(50%)+TP(50%)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Exploiter une base de données.
- Utiliser un logiciel de simulation numérique avancé.
- Analyser, critiquer des résultats obtenus avec les modèles de turbulence et rédiger d'un r
- Travailler en équipe.

Learning outcomes

- Use Database.
- Use advanced numerical simulation softwares.
- Critical analysis of numerical results obtained using various turbulence closures and writ
- Team working

Bibliographie

- Elements of Gasdynamics, by H. W. Liepmann and A. Roshko, John Wiley and Sons (1957)

Version PDF

UM5MEE06 – Plasmas pour l'énergie et l'aéronautique (Plasmas for Energy and Aeronautics)

Jean-Maxime Orlac'h

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Plasmas for Energy and Aeronautics
Titre (FR)	Plasmas pour l'énergie et l'aéronautique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Jean-Maxime Orlac'h
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	8
Volume h TP / Amount of practical work hours	4
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC, St Cyr
Code de l'UE	UM5MEE06

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

L'objectif de ce cours est de donner aux étudiants un aperçu des recherches en cours sur l'application des décharges plasmas [1-4] à l'aéronautique et à l'énergétique. Les plasmas sont en effet actuellement très étudiés de par le monde, aussi bien à travers la magnétohydrodynamique – avec des applications en hypersonique et dans la fusion nucléaire, qu'à travers la combustion assistée par plasma [5], ou les actionneurs plasmas [6] pour l'aéronautique civile. Ces travaux s'inscrivent tous dans la perspective de la décarbonation et d'électrification du secteur aérien et de l'industrie énergétique. Quelques éléments de théorie seront abordés en

cours magistral afin de doter les étudiants de bases scientifiques en physique des plasmas. La suite du cours se focalisera sur le vent ionique, et l'étude du contrôle aérodynamique autour d'un profil d'aile.

Content (EN)

The aim of this course is to provide students with a basic knowledge of plasma physics [1-4] and illustrate it with potential applications to aeronautics and energetics. Indeed, plasmas are currently intensively studied worldwide as a potential solution to a greener energy and carbon-free aviation. This includes magneto-hydrodynamics with applications to hypersonics and controlled nuclear fusion, but also plasma-assisted combustion [5] or plasma flow control for aeronautics [6]. The course will introduce key theoretical concepts, in order to provide students with a basic knowledge of gas discharge and plasma physics. The course will then focus on ionic wind generation and aerodynamic flow control around a wing profile.

Mots clés (FR)

décharges électriques dans les gaz, écoulements ionisés, plasmas, aéro-énergétique

Keywords (EN)

Electric discharges in gases, ionized gas flows, plasmas, aero-energetics

Prérequis (FR)

Équations de Navier-Stokes. Thermodynamique Générale. Chimie Générale. Electromagnétisme. Calcul différentiel et intégral.

Pre-requisites (EN)

Navier-Stokes equations. Thermodynamics. Chemistry. Electromagnetism. Differential and Integral Calculus.

Modalité d'évaluation

70 % examen écrit + 30 % TD/TP

Assessment

70 % written exam + 30 % TD/TP

Acquis d'Apprentissage Visés

- reconnaître différents types de plasmas / décharges dans les gaz, et les caractériser
- comprendre la modélisation des écoulements ionisés basse température
- mettre en équations l'effet d'un actionneur plasma sur un écoulement
- écrire/utiliser un code pour la résolution de ces équations, appréhender la résolution numérique de ces équations pour répondre aux besoins applicatifs
- comparer les résultats des simulations aux expériences
- analyser, critiquer ses résultats et rédiger un rapport scientifique

Learning outcomes

- distinguish different kinds of gas discharges
- understand the modelling of low-temperature ionised gas flows
- derive the equations for plasma flow actuation
- write and/or use a software to solve these equations
- compare results of the simulations with experimental ones
- analyse critically their results and write down a scientific report

Bibliographie

[1] M. A. Lieberman, A. J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, Wiley, 2005

[2] J.-M. Rax, Physique des Plasmas, Dunod, 2005

[3] A. Piel, Plasma Physics, An Introduction to Laboratory, Space and Fusion Plasmas, Springer, 2010

[4] Y. P. Raizer, Gas Discharge Physics, Springer, 1991

[5] J.-B. Perrin-Terrin, Plasma-assisted combustion of hydrogen swirling flames: Extension of lean blowout limit and NO_x emissions, Proceedings of the Combustion Institute 40, 105546, 2024

[6] T. C. Corke et al., Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control, Ann. Rev. Fluid Mech., 24:205—29, 2010

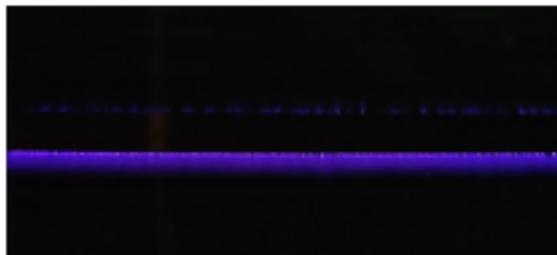


Figure 1: Figure

UM5MEE17 – Energétique des moteurs aéronautiques (Performance of aircraft engines)

Alexis Matynia

2025-06-18 14:56:46 +0200

Informations générales

Title (EN)	Performance of aircraft engines
Titre (FR)	Energétique des moteurs aéronautiques
Nom du ou de la responsable de l'UE	Alexis Matynia
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	18
Volume h TD / Amount of exercise hours	2
Volume h TP / Amount of practical work hours	8
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE17

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Cours magistraux

- Fonctionnement d'un moteur aéronautique d'un point de vue système.
- Enjeux de la conception d'une chambre de combustion aéronautique.
- Éléments théoriques nécessaires à la compréhension et la résolution des problèmes d'aérothermochimie se déroulant dans les moteurs aéronautiques.

Projet

- Réalisation d'un programme permettant de calculer les performances d'un turboréacteur double flux, d'un point de vue système (langage Python 3, associé à un rapport écrit avec LaTeX). Travaux pratiques
- Réalisation de simulations numériques RANS monophasique et diphasique (prise en compte de l'injection de kéro-sène liquide) de chambre de combustion aéronautique munies d'injecteur de dernière génération, à l'aide du code CEDRE développé à l'ONERA.

Content (EN)

Lectures

- Performance study of aircraft engines
- Challenges in combustion chamber design
- Theoretical fundamentals on aerothermochemistry applied to aircraft engines

Project

- Development of a Python program to compute the performance of a turbofan with initiation to LaTeX for the project report Practical Work
- RANS simulations of combustion chamber with CEDRE code from ONERA

Mots clés (FR)

performance moteur, combustion, propulsion, aéronautique

Keywords (EN)

engine performance, combustion, propulsion, aeronautic

Prérequis (FR)

Bases de la mécanique des fluides et de la thermodynamique, mécanique des milieux continus

Pre-requisites (EN)

Fundamentals of Fluid Mechanics and Thermodynamics, Continuum Mechanics

Modalité d'évaluation

$session1=0.5DS1(2h) + 0.25Projet + 0.25TP$; $session 2= sup(DS1,DS2)0.5 + 0.25Projet + 0.25TP$

Assessment

$session1 = 0.5exam1(2h) + 0.25Project + 0.25Practical\ Work$; $session\ 2 = sup(exam1,exam2)0.5 + 0.25Project + 0.25Practical\ Work$

Acquis d'Apprentissage Visés

Fonctionnement d'un moteur aéronautique d'un point de vue système Enjeux de la conception d'une chambre de combustion aéronautique Éléments théoriques nécessaires à la compréhension et la résolution des problèmes d'aérothermochimie Réalisation de simulations numériques RANS de chambre de combustion Culture générale aéronautique Programmation Python Rédaction de rapport avec LaTeX Utilisation du code CEDRE de l'ONERA Apprendre à travailler en équipe Savoir rédiger un rapport technique

Learning outcomes

Performance study of aircraft engines Challenges in combustion chamber design Theoretical fundamentals on aerothermochemistry applied to aircraft engines Performing RANS simulations of combustion chambers Overview of Aviation Culture Programming in Python Report writing with LaTeX Numerical simulations with CEDRE code of ONERA Teamwork skills Technical report writing skills

Version PDF

UM5MEE19 – Propulsion aérospatiale (Aerospace propulsion)

Georges Gerolymos

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Aerospace propulsion
Titre (FR)	Propulsion aérospatiale
Nom du ou de la responsable de l'UE	Georges Gerolymos
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	8
Volume h TD / Amount of exercise hours	0
Volume h TP / Amount of practical work hours	16
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE19

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Ce cours a pour objectifs d'enseigner aux étudiants les bases de la simulation numérique pour les écoulements réactifs appliqués à l'aérospatial. Il est divisé en quatre parties : une première partie qui rappelle les notions générales sur la CFD, suivie d'une partie d'initiation aux méthodes numériques utilisées dans les codes de calcul. Les troisième et quatrième parties concernent la modélisation de la combustion turbulente. Les travaux pratiques sont réalisés avec le code CEDRE de l'ONERA sur des cas académiques.

Content (EN)

This course aims to teach students the fundamentals of numerical simulation for reactive flows. It is divided into four parts: a first part reviewing general concepts on CFD, followed by an introductory section on the numerical methods used in computational codes. The third and fourth parts focus on modeling turbulent combustion. Practical work is carried out using the CEDRE code of ONERA on academic case studies.

Mots clés (FR)

simulation numérique, CFD, combustion

Keywords (EN)

numerical simulation, CFD, combustion

Modalité d'évaluation

session1=0.5DS1(2h) + 0.5TP; session 2= sup(DS1,DS2)0.5+ 0.5TP

Assessment

session1=0.5DS1(2h) + 0.5TP; session 2= sup(DS1,DS2)0.5+ 0.5TP

Acquis d'Apprentissage Visés

Acquérir la méthodologie de simulation des écoulements réactifs

Learning outcomes

Acquire the methodology skills for reactive flow simulations

Version PDF

UM5MEE28 – Stockage électrochimique (Electrochemical storage)

Jesùs SANTOS-PENA

2025-06-16 14:01:57 +0200

Informations générales

Title (EN)	Electrochemical storage
Titre (FR)	Stockage électrochimique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Jesùs SANTOS-PENA
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	18
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM5MEE28

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Cours à fort contenu culturel, qui balaye un large spectre de moyens de stockage de l'énergie et leurs limitations respectives. L'enseignant présentera le cahier des charges retenu dans l'industrie automobile principales en ce qui concerne le stockage de l'énergie (autonomie, coût, sécurité et performances souhaités), avec une étude approfondie de la chimie des batteries Li-ion avancées et post-Li ion (Métal-air, aqueuses...)

Content (EN)

Course with strong cultural content, which covers a wide spectrum of energy storage methods and their respective limitations. The teacher will present the specifications adopted in the main automotive industry with regard to energy storage (autonomy, cost, safety and desired performance), with an in-depth study of the chemistry of advanced Li-ion and post-Li-ion batteries (Metal-air, aqueous, etc.)

Mots clés (FR)

stockage d'énergie, batteries, dispositifs Li-ion, véhicule électrique, matériaux d'électrodes

Keywords (EN)

energy storage, batteries, Li-ion devices, electrical vehicle, electrode materials

Prérequis (FR)

Cours de thermodynamique. Connaissances en électrochimie et en électricité de base.

Pre-requisites (EN)

Thermodynamics course. Knowledge of electrochemistry and basic electricity.

Modalité d'évaluation

70% examen final + 30% contrôle continu

Assessment

70% written exam + 30% continuous assessment

Bibliographie

« Electrochimie – Du concept aux applications ». Sciences Sup. Editions Dunod. « Nouvelles technologies de l'énergie – Tome 2 ». EGEM. Editions Lavoisier. « Energy Storage: Fundamentals, Materials and Applications ». Robert Huggins. Springer, 2015. « Engineering Energy Storage », OdneStokkeBurheim, AcademicPressPublished, 2017. « Energy Storage: Systems and Components », 1st Edition, Alfred Rufer, CRC Press, 2017.

Version PDF

UM5MEF01 – Dynamique et modélisation de la turbulence (Turbulence dynamics and modeling)

Paola Cinnella

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Turbulence dynamics and modeling
Titre (FR)	Dynamique et modélisation de la turbulence
Nom du ou de la responsable de l'UE	Paola Cinnella
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	18
Volume h TD / Amount of exercise hours	8
Volume h TP / Amount of practical work hours	4
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Langue	Anglais
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEF01

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le cours vise à donner les bases de la théorie de la turbulence, ainsi que les éléments utiles pour sa modélisation.

Après avoir introduit la notion d'écoulement turbulent, on présentera les principaux concepts et outils mathématiques et théoriques, on les appliquera à quelques écoulements simples et on fournira des éléments des méthodes utilisés pour la simulation numérique et l'étude expérimentale.

Content (EN)

The aim of the course is to give the basics of turbulence theory, as well as the useful elements for its modelling.

After introducing the notion of turbulent flow, the main mathematical and theoretical concepts and tools will be presented, applied to a few simple flows and elements of the methods used for numerical simulation and experimental study will be provided.

Mots clés (FR)

Turbulence; modélisation; simulation numérique

Keywords (EN)

Turbulence; modelling; numerical simulation

Prérequis (FR)

Mécanique des fluides; équations différentielles et calcul tensoriel; méthodes numériques

Pre-requisites (EN)

Fluid mechanics; differential equations and tensor calculus; numerical methods;

Modalité d'évaluation

note 1ère session = 80% examen écrit + 20% présentation orale mini-projet
Note 2nde session = max(note 1ère session, 80% examen écrit de rattrapage + 20% présentation orale mini-projet)

Assessment

1st session mark = 80% written exam + 20% oral project presentation
2nd session mark = max(1st session mark, 80% written retake exam + 20% oral project presentation)

Bibliographie

Notes du cours/Course notes + textbooks (Pope, "Turbulent flows"; Wilcox "Turbulence modelling for CFD")

Version PDF



Figure 1: Figure

UM5MEF02 – Pratique de la simulation numérique (Numerical simulation practice)

Francesco Picella

2025-06-12 17:29:24 +0200

Informations générales

Title (EN)	Numerical simulation practice
Titre (FR)	Pratique de la simulation numérique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Francesco Picella
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Langue	Français/Anglais
Localisation	Jussieu
Code de l'UE	UM5MEF02

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Pratique de la Simulation Numérique en Mécanique des Fluides

Objectifs de l'UE Ce cours vise à doter les étudiants de compétences pratiques solides en simulation numérique appliquée à la mécanique des fluides, afin de les rendre rapidement opérationnels pour leurs stages et leur future activité professionnelle.

Objectifs pédagogiques :

1. Maîtriser un environnement de simulation avancé (OpenFOAM).
2. Mettre en œuvre une approche rigoureuse de modélisation physique et numérique.
3. Analyser, valider et interpréter des résultats numériques à l'aide d'outils quantitatifs.
4. Développer la capacité à communiquer scientifiquement (oralement et par écrit).

Compétences acquises À l'issue du cours, l'étudiant sera capable de :

- Manipuler des solveurs CFD basés sur la méthode des volumes finis.
 - Implémenter des simulations sur des cas académiques et industriels.
 - Étendre les solveurs pour simuler des scalaires passifs ou modifier les équations physiques.
 - Gérer une chaîne complète de simulation (maillage, résolution, post-traitement).
 - Effectuer une validation rigoureuse des résultats numériques.
-

Contenu pédagogique

Partie 1 : Introduction

- Introduction à OpenFOAM, aux systèmes Unix et au développement C++.
- Bases de la modélisation physique des fluides, transferts de masse et de chaleur.
- Introduction à la simulation numérique en physique.

Partie 2 : Études de cas progressives

1. Méthode des volumes finis

- Advection linéaire et non-linéaire en 1D (équation de Burgers)
- Effet de la discrétisation numérique

2. Programmation & maillage 2D

- Implémentation de Burgers 1D
- Maillage 2D avec générateur intégré
- Résolution de l'équation de Laplace
- Influence du maillage sur les résultats

3. Navier-Stokes incompressible

- Méthodes de Chorin et time-splitting
- Cas tests : cavité entraînée, Poiseuille
- Influence des paramètres numériques

4. Écoulements industriels

- Couche limite laminaire
- Comparaison quantitative avec théorie

5. Introduction à la turbulence

- Couche limite turbulente
- Modélisation RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)

6. Écoulements autour de corps simples

- Cas du cylindre circulaire : Stokes → turbulence
- Bifurcations (stationnaire → périodique → chaotique)

- Maillage non structuré avec snappyHexMesh

7. Écoulements autour de corps complexes

- Simulation d'un écoulement turbulent instationnaire avec portance et traînée
- Modification du solveur pour suivre un scalaire passif

8. (à définir selon avancement)

Note : À chaque étape, une validation quantitative est exigée pour comparer les résultats avec des données de référence (théorie ou littérature).

Modalités d'enseignement

Type d'activité	Volume horaire
Cours magistral	14 h
Travaux pratiques	8 h
Projet encadré	8 h
Total	30 h

Modalités d'évaluation

Épreuve	Pondération
Examen individuel sur machine	33%
Devoirs maison hebdomadaires	33%
Projet personnel	34%

1. Examen individuel sur machine (33%)

- **Durée :** 4 heures
- **Modalité :** présentiel, avec accès à Internet et documents autorisés
- **Sujet :**
 - Accessible via Moodle
 - Thème CFD issu du cours, basé sur un article scientifique fourni
 - Objectif : reproduire certains résultats par simulation avec OpenFOAM
- **Rendu :**

- Mini-rapport PDF expliquant modélisation, méthodes, résultats et validation
 - Code source complet des simulations
-

2. Homeworks hebdomadaires (33%)

- À l'issue de chaque séance, un mini-devoir est donné.
 - Objectif : mise en application des contenus de la séance.
 - Rendu : 3–4 pages, avec validation quantitative obligatoire.
 - À remettre **avant la séance suivante**.
-

3. Projet personnel (34%)

- **Travail individuel** (monôme)
- Sujet défini avec l'enseignant (des exemples sont disponibles)
- Autonomie exigée avec rendez-vous hebdomadaires possibles

Rendus :

- **Présentation orale** : 10 min + 5 min de questions, devant la promotion
- **Rapport écrit** : 20–30 pages avec modélisation, techniques numériques, résultats et validation quantitative

□ *Pour tous les rendus (examens, homeworks, projets), une **comparaison quantitative rigoureuse** est exigée pour que le travail soit considéré comme valide.*

Outils et langages

- OpenFOAM
 - ParaView (post-traitement)
 - snappyHexMesh (maillage non structuré)
 - Bash, C++, Python (scripts & extensions)
-

Références

- **Joel Guerrero**, *Wolf Dynamics Tutorials*, Genova
<https://www.wolfdynamics.com/tutorials.html?layout=edit&id=181>
 - **Moukalled et al.**, *The finite volume method in computational fluid dynamics*[...], Springer, 2016.
 - Documentation officielle **OpenFOAM.org** [<https://openfoam.org/>]
 - Tutoriels communautaires : **Three-weeks series** [https://wiki.openfoam.com/%223_weeks%22_series]
-

Mots clés (FR)

Computational Fluid Mechanics, physical modelling, numerical methods, partial differential equations, finite volume methods.

Keywords (EN)

Computational Fluid Mechanics, physical modelling, numerical methods, partial differential equations, finite volume methods.

Prérequis (FR)

Fluid Mechanics, programming, C++, Unix systems, Python

Modalité d'évaluation

epreuve écrite 4h 33%, controle continu 33%, projet personnel 34%

Assessment

written exam 4h 33%, homework 33%, personal project 34%

Bibliographie

- **Joel Guerrero**, *Wolf Dynamics Tutorials*, Genova
<https://www.wolfdynamics.com/tutorials.html?layout=edit&id=181>
- **Moukalled et al.**, *The finite volume method in computational fluid dynamics*[...], Springer, 2016.

Version PDF

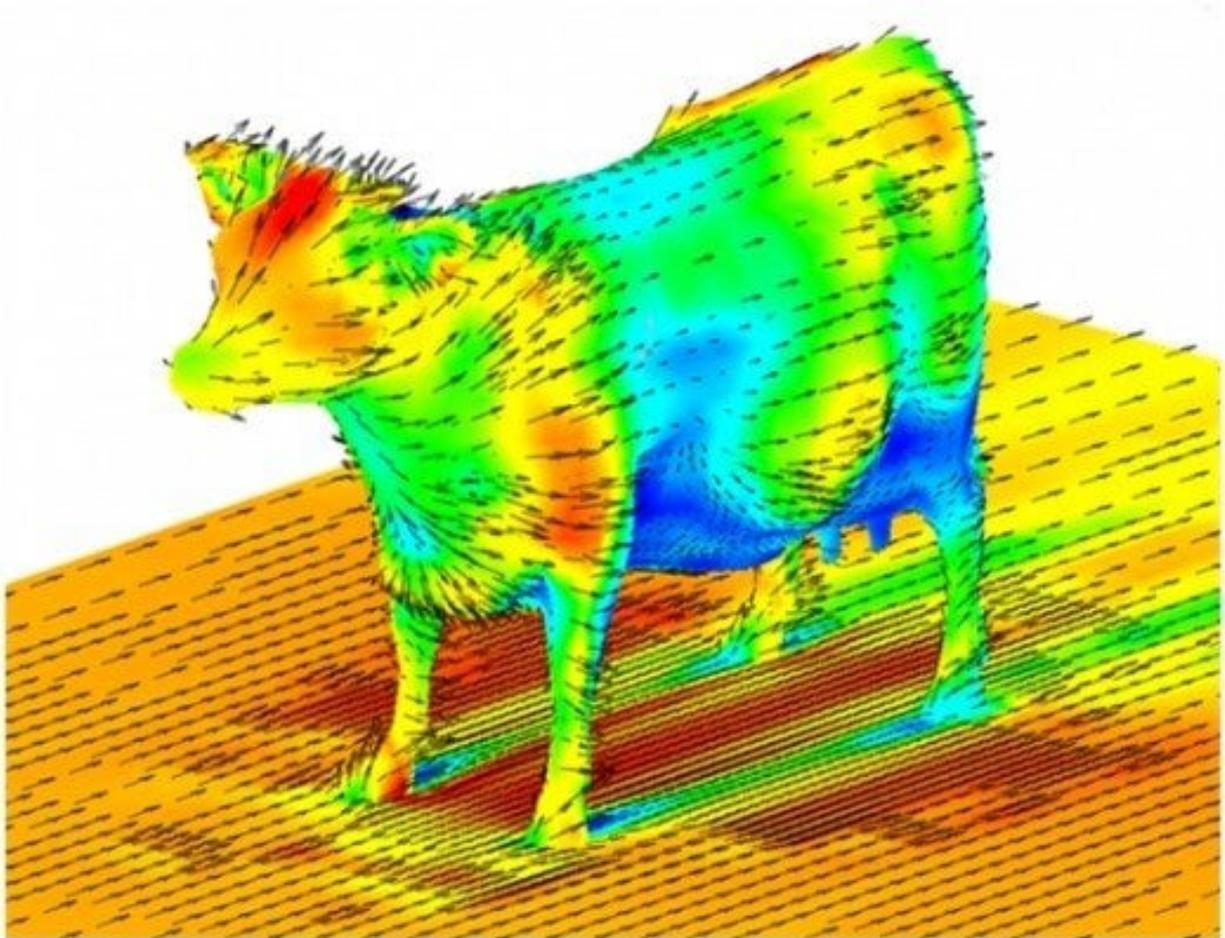


Figure 1: Figure

UM5MEF05 – Bases de la Simulation Numérique des Écoulements Compressibles (Basics of Compressible CFD)

Xavier MERLE

2025-06-12 17:29:24 +0200

Informations générales

Title (EN)	Basics of Compressible CFD
Titre (FR)	Bases de la Simulation Numérique des Écoulements Compressibles
Nom du ou de la responsable de l'UE	Xavier MERLE
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	28
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Langue	Français
Language	Français
Localisation	ENSAM
Code de l'UE	UM5MEF05

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Les équations de conservation (masse, quantité de mouvement et énergie) qui régissent les écoulements compressibles sont de nature hyperbolique. Ainsi, les "informations" se propagent à vitesse finie suivant des directions privilégiées. Cette physique particulière implique un traitement spécifique dans la résolution numérique approchée de tels systèmes. Ce cours a donc

pour objectif de présenter le cadre mathématique dans lequel s'inscrivent les systèmes hyperboliques de lois de conservation, d'analyser les méthodes numériques permettant leur résolution approchée et d'appliquer ces méthodes au système des équations d'Euler pour les fluides parfaits.

Contenu de l'Unité d'Enseignement : - Systèmes hyperboliques de lois de conservation : invariants de Riemann, non unicité des solutions faibles, entropie mathématique. - Le problème de Riemann appliqué aux équations d'Euler 1D. - Notions de discrétisation spatiale et d'intégration temporelle. - Présentation des schémas classiques de résolution numériques : solveurs exacts du problème de Riemann de type Godunov, solveurs approchés (schéma de Roe). - Méthodes d'analyse des schémas : précision, consistance, stabilité au sens de Neumann, convergence, équation équivalente. - Notions de variation totale, limiteurs de pente et limiteurs de flux. - Extension aux cas à plusieurs dimensions spatiales.

Mots clés (FR)

Simulation numérique, Écoulements Compressibles, Méthode de Godunov, Schéma de Roe, Schéma TVD.

Prérequis (FR)

Mécanique des fluides, analyse numérique et programmation.

Modalité d'évaluation

11.5% Projet de Groupe 1 + 11.5% Projet de Groupe 2 + 77% Devoir sur Table

Bibliographie

1. Randall J. LeVeque, Numerical Methods for Conservation Laws.

Version PDF

UM5MEF06 – Dynamique des vortex (Vortex dynamics)

Ivan Delbende

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Vortex dynamics
Titre (FR)	Dynamique des vortex
Nom du ou de la responsable de l'UE	Ivan Delbende
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Anglais
Language	Anglais
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEF06

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Objectifs Le but de l'UE est de familiariser les étudiants avec un des concepts centraux de la mécanique des fluides : la vorticité et les vortex. On montrera par de nombreux exemples la présence de structures cohérentes de type tourbillons dans des écoulements très divers de nature fondamentale (turbulence), géophysique et environnementale, ou appliquée (aéronautique en particulier). Ce cours introduit les outils physiques et analytiques nécessaires à la compréhension de la notion de vortex, de leur dynamique et de leur caractérisation. Ce cours s'adresse également aux doctorants. L'évaluation teste d'une part les connaissances acquises lors des cours

et des travaux dirigés consolidées par les séances pratiques sur machine, et d'autre part la capacité de l'étudiant à comprendre une publication scientifique sur la dynamique des vortex et d'en relier les éléments au cours suivi.

Contenu

- Vorticité : définitions, exemples, modèles de vortex, loi de Biot-Savart, théorème de Kelvin, lois de conservation de Helmholtz.
- Approche bidimensionnelle : circulation, centroïde, rayon de dispersion, vortex ponctuels, vortex étendus, interaction vortex/vortex, fusion, dynamique proche paroi, dipôle.
- Tourbillons tri-dimensionnels : tourbillon de Burgers, anneau tourbillonnaire, filament de vorticité, instabilité, reconnexion.
- Applications en aérodynamique, aspects aéroacoustiques.

Content (EN)

Objectives The aim of the course is to get students familiar with one of the central concepts of fluid mechanics: vorticity and vortices. The presence of coherent vortex-like structures in a wide variety of flows of fundamental (turbulence), geophysical and environmental, or applied (aeronautics in particular) nature will be demonstrated through numerous examples. This course provides the students with physical and analytical tools necessary to understand the notion of vortices, their dynamics and their characterisation. This course is also intended for PhD students. The exams test both the knowledge acquired in lectures and tutorials, consolidated by computer lab sessions, and the student's ability to understand a scientific publication on vortex dynamics and relate its elements to the course.

Content

- Vorticity: definitions, examples, vortex models, Biot-Savart law, Kelvin's theorem, Helmholtz conservation laws.
- Two-dimensional approach: circulation, centroid, dispersion radius, point vortices, extended vortices, vortex/vortex interaction, merging, near-wall dynamics, dipoles.
- Three-dimensional vortices: Burgers vortex, vortex rings, vorticity filaments, instabilities, reconnection.
- Applications to aerodynamics, vortex aeroacoustics.

Modalité d'évaluation

note 1ere session = 40% examen écrit 1 + 40% examen écrit 2 + 20% compte-rendu de TP numérique
note 2nde session = max(note 1ere session, 80% examen de rattrapage écrit ou oral + 20% compte-rendu de TP numérique)

Assessment

1st session mark = 40% written exam1 + 40% written exam2+ 20% computer lab report
2nd session mark = max(1st session mark, 80% oral or written retake exam + 20% computer lab report)

Acquis d'Apprentissage Visés

A l'issue de l'enseignement, l'étudiant est capable de caractériser, d'analyser ou de prévoir la dynamique de systèmes tourbillonnaires, tant du point de vue de la trajectoire et de l'interaction des vortex, que de leur structure interne et de leur déformation.

Learning outcomes

At the end of the course, the student will be able to characterise, analyse or predict the dynamics of vortex systems, from the point of view of their trajectory and interactions, but also of their internal structure and deformation.

Bibliographie

1. Hydrodynamique Physique, Guyon, Hulin et Petit, Editions du CNRS (2012).
2. Elementary fluid dynamics, Acheson, Clarendon Press, Oxford (1990).
3. Saffman : vortex dynamics, Cambridge (1995).

Version PDF



Figure 1: Figure

UM5MEF09 – Instabilités des écoulements (Flows Instabilities)

Jean-Christophe ROBINET

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Flows Instabilities
Titre (FR)	Instabilités des écoulements
Nom du ou de la responsable de l'UE	Jean-Christophe ROBINET
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	5
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	5
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français
Language	Français
Localisation	ENSAM
Code de l'UE	UM5MEF09

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

1. Instabilités du 1D vers le 3D
2. Familles d'instabilités (oscillatrice/amplificatrice)
3. Perturbation optimale
4. Forçage/réponse optimal
5. Exemples : couche de cisaillement, couche limite, cylindre, sphère.

Content (EN)

1. Instability from 1D to 3D
2. instability family (oscillatory/amplifier)
3. Optimal perturbation
4. Optimal forcing/reponse
5. Examples : shear-layer, boundary-layer, cylinder flow, sphere flow

Mots clés (FR)

Instabilités convective/absolue, instabilité globale, croissance transitoire, resolvent, couche de cisaillement, couche limite, cylindre, sphère.

Keywords (EN)

convective instability, absolute instability, global instability, transient growth, resolvent, shear-layer, boundary-layer, cylinder flow, sphere flow

Prérequis (FR)

Algèbre linéaire (L3), mécanique des fluides (M1)

Pre-requisites (EN)

Linear algebra (L3), Fluid Mechanics (M1)

Modalité d'évaluation

Examen écrit

Assessment

Exam on table

Acquis d'Apprentissage Visés

Calcul d'un problème aux valeurs propres, optimisation

Learning outcomes

Eigenvalue problem, optimisation

Bibliographie

Hydrodynamics Instability – F. Charru

Version PDF

UM5MEF10 – Calcul haute fidelité pour les écoulements turbulents (High-fidelity computation for turbulent flows)

Luca SCIACOVELLI

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	High-fidelity computation for turbulent flows
Titre (FR)	Calcul haute fidelité pour les écoulements turbulents
Nom du ou de la responsable de l'UE	Luca SCIACOVELLI
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	6
Volume h TP / Amount of practical work hours	4
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français
Language	Français
Localisation	ENSAM
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Autre (préciser)
Code de l'UE	UM5MEF10

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Ce module vise à fournir une introduction à la simulation numérique haute-fidélité des écoulements turbulents, avec un accent sur les équations de Navier-Stokes compressibles. La large gamme d'échelles spatiales et temporelles actives dans de tels écoulements implique de fortes

contraintes en termes de modélisation physique et de résolution numérique, entraînant des coûts de calcul importants. Dans une première partie, nous nous concentrerons sur la modélisation physique par Simulation Numérique Directe (DNS), méthode de Boltzmann sur réseau (LBM) et Simulation des Grandes Structures (LES), avec des notions de calcul haute performance (HPC). Le cours donnera également un aperçu des méthodes d'ordre élevé pour la discrétisation spatiale et l'intégration temporelle nécessaires à la réalisation de ces calculs, en soulignant les effets de l'interaction entre le modèle physique et la méthode numérique. Les concepts seront illustrés par des applications numériques utilisant des logiciels de calcul parallèle pour l'étude de configurations turbulentes à hauts nombres de Reynolds et de Mach.

Content (EN)

This module aims to provide an introduction to high-fidelity numerical simulation of turbulent flows, with a focus on the compressible Navier-Stokes equations. The wide range of active spatial and temporal scales in such flows implies strong constraints in terms of physical modeling and numerical resolution, entailing significant computational costs. In the first part, we will focus on physical modeling by Direct Numerical Simulation (DNS), Lattice Boltzmann Method (LBM) and Large-Eddy simulation (LES), with notions of high performance computing (HPC). The course will also provide an overview of high-order methods for spatial discretization and time integration needed to carry out these calculations, highlighting the effects of the interaction between the physical model and the numerical method. The concepts will be illustrated by numerical applications using parallel computing software for the study of turbulent configurations at high Reynolds and Mach numbers.

Mots clés (FR)

Modélisation de la turbulence, schémas d'ordre élevé, simulations à résolution d'échelle

Keywords (EN)

Turbulence modeling, high-order schemes, scale-resolving simulations

Prérequis (FR)

Mécanique des fluides, Fondements de simulation numérique, Dynamique de la turbulence

Pre-requisites (EN)

Fluid Mechanics, Fundamentals of numerical simulation for fluid flows, Turbulence dynamics

Modalité d'évaluation

note 1ère session = 50% examen écrit + 50% TP
note 2nde session = max(note 1ère session, 50% examen oral de rattrapage + 50% TP)

Assessment

1st session mark = 50% written exam + 50% TP
2nd session mark = max(1st session mark, 50% oral exam + 50% TP)

Acquis d'Apprentissage Visés

- Évaluer les avantages et les limitations des techniques LES, RANS/LES et LBM pour la modélisation des écoulements turbulents
- Mettre en œuvre des méthodes d'ordre élevé en temps et en espace pour la simulation d'écoulements multi-échelles dans le cadre de projets industriels et/ou de recherche
- Estimer l'interaction entre les modèles de turbulence et les schémas de discrétisation

Learning outcomes

- Evaluate advantages and limitations of LES, RANS/LES and LBM techniques for turbulent flow modeling
- Implement high-order methods in time and space for the simulation of multiscale flows within industrial and/or research projects
- Estimate the interaction between turbulence models and discretization schemes

Bibliographie

1. E. Garnier, N. Adams, P. Sagaut, « Large Eddy Simulation for Compressible Flows », Springer (2009)
2. C. Bailly, G. Comte-Bellot, « Turbulence », Springer (2015)
3. P. Sagaut, S. Deck, M. Terracol, « Multiscale and multiresolution approaches in turbulence », Imperial College Press, 2nd Edition (2013)

Version PDF

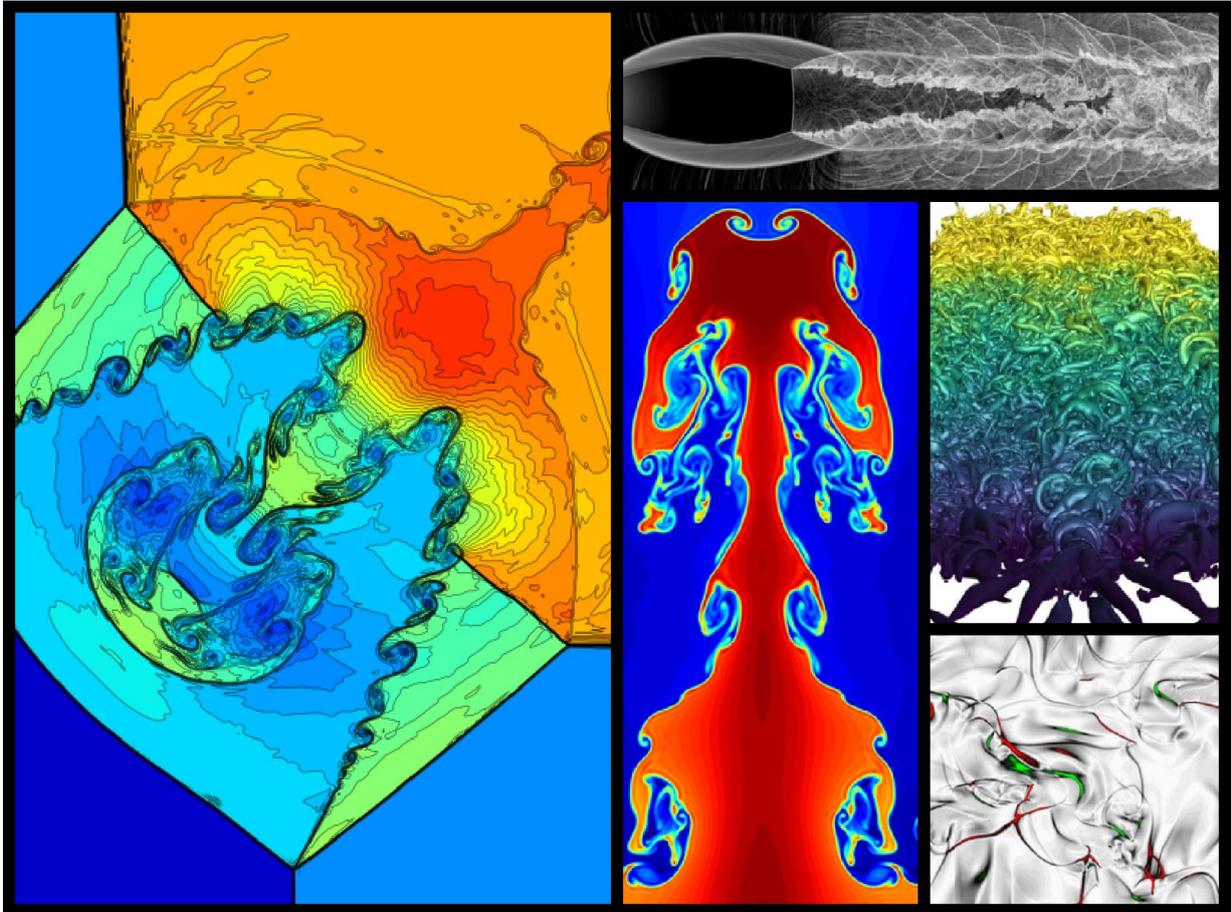


Figure 1: Figure

UM5MEF24 – Bifurcations et Instabilités (Bifurcations and Instabilities)

Eric Sultan – Alice Marcotte

2025-06-05 13:51:14 +0200

Informations générales

Title (EN)	Bifurcations and Instabilities
Titre (FR)	Bifurcations et Instabilités
Nom du ou de la responsable de l'UE	Eric Sultan – Alice Marcotte
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	16
Volume h TD / Amount of exercise hours	16
Semestre	Printemps (S2)
Semester	Jan-May (S2)
Langue	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM5MEF24

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Les instabilités sont omniprésentes en mécanique des fluides : l'écoulement de l'air dans la couche limite autour d'une aile d'avion se déstabilise par la croissance d'ondes longitudinales et donne naissance à la turbulence. Le jet d'eau qui s'écoule d'un robinet se déstabilise en gouttelettes sous l'effet de la force de tension de surface, le sillage d'un cylindre se déstabilise pour donner naissance à une allée de tourbillons alternés. Cet enseignement introduit les notions théoriques et les outils techniques qui nous permettent de décrire qualitativement et quantitativement ces phénomènes d'instabilités.

Le cours s'appuie sur des séances de travaux pratiques numériques afin de mettre tout de suite en pratique les connaissances de l'étudiant et de se familiariser avec les outils de la recherche en mécanique des fluides.

Version PDF

UM5MEF25 – Ecoulements en milieu naturel (glissements de terrains, avalanches granulaires) (Environmental Flows (slumps, landslides...))

Pierre-Yves Lagrée

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Environmental Flows (slumps, landslides...)
Titre (FR)	Ecoulements en milieu naturel (glissements de terrains, avalanches granulaires)
Nom du ou de la responsable de l'UE	Pierre-Yves Lagrée
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	30
Volume h Projet / Amount of project hours	4
Langue	Français
Language	Français
Localisation	PMC
Code de l'UE	UM5MEF25

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Ce cours vise à présenter les écoulements gravitaires de fluides non newtoniens avec des applications aux coulées de boue et aux avalanches rocheuses. Des rappels de rhéologie sont utilisés pour traiter les fluides à seuil (Bingham) et les fluides granulaires (dans une description continue du $\mu(I)$). Des exemples simplifiés d'effondrements seront codés en Python ou en C, et des exemples réalistes seront traités en Basilisk.

Content (EN)

This course aims to present gravity flows of non-Newtonian fluids with applications in mud-flows and rock avalanches. Rheological concepts are used to address yield (Bingham) fluids and granular fluids (in a continuous description of the $\mu(I)$). Simplified examples of collapses will be coded in Python or C, and realistic examples will be addressed in Basilisk.

Mots clés (FR)

Fluide de Bingham, coulée de boue, avalanche, écoulements granulaires

Keywords (EN)

Bingham fluid, mud, avalanches, granular flows

Prérequis (FR)

introduction à la mécanique des fluides+ cours UM4MEF22

Pre-requisites (EN)

introduction to fluid mechanics + UM4MEF22

Modalité d'évaluation

85% examen écrit +15% projet

Assessment

85%written exam +15% homework

Acquis d'Apprentissage Visés

modélisation des écoulements

Learning outcomes

modelling environmental flows

Bibliographie

Andreotti Forterre Pouliquen "les milieux granulaires"

Version PDF

UM5MEF41 – Modélisation des milieux continus fluides (Modeling of Continuous Fluid Media)

Cédric Croizet

2025-06-20 10:30:35 +0200

Informations générales

Title (EN)	Modeling of Continuous Fluid Media
Titre (FR)	Modélisation des milieux continus fluides
Nom du ou de la responsable de l'UE	Cédric Croizet
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Langue	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM5MEF41

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Objectifs de l'Unité d'Enseignement Cet enseignement a pour but de donner aux étudiants de solides bases pour aborder des thèmes de recherche extrêmement variés, fondamentaux ou appliqués, tant au cours de leur stage de Master que dans leur orientation post-Master. Ce cours donne une présentation générale des lois de bilan et des méthodes pour construire des lois de comportement. L'ensemble est illustré par de nombreux exemples et permet aux étudiants d'acquérir des connaissances fondamentales pour la modélisation des milieux continus fluides.

Contenu de l'Unité d'Enseignement Description cinématique des milieux continus, transport convectif, déformations ; Formulation générale des lois de bilan. Milieux continus classiques, mélanges, milieux avec micro-structures ; Inégalité de Clausius-Duhem ; Fermeture des lois de bilan à l'aide des lois de comportement et détermination des équations d'évolution. Méthodes générales pour construire des lois de comportement ; Hypothèse de l'état local associé. Forces et flux généralisés. Thermodynamique des processus irréversibles ; Notion d'objectivité. Exemples : milieux fluides, granulaires, polymères, ...

Mots clés (FR)

Formulation générale des lois de bilan, Inégalité de Clausius-Duhem, Lois de Comportement, Notion d'objectivité.

Keywords (EN)

General formulation of balance laws, Clausius-Duhem inequality, Constitutive laws, Concept of objectivity

Prérequis (FR)

Cours de Mécanique « Fluides et solides » de M1 ou équivalent

Modalité d'évaluation

- note 1ère session = 40% examen écrit 1 + 40% examen écrit 2 + 20% présentation orale
- note 2nde session = max(note 1ère session, présentation orale)

Assessment

- 1st session mark = 40% written exam 1 + 40% written exam 2 + 20% oral presentation
- 2nd session mark = max(1st session mark, oral presentation)

Acquis d'Apprentissage Visés

Learning outcomes

Bibliographie

- P. Germain et P. Muller, Introduction à la mécanique des milieux continus, Masson, Paris, 1994
- J. Coirier, Mécanique des milieux continus – concepts de base, Dunod, Paris, 1997

- S.R. de Groot et P. Mazur, Non equilibrium thermodynamics, Dover Publications, 1984
- R. Gagniol, Thermomécanique des Milieux Continus, Cépaduès, 2023

Version PDF

UM5MEF42 – Écoulements multiphasiques (Multiphase Flows)

Daniel Fuster, Eric Sultan

2025-06-27 11:38:40 +0200

Informations générales

Title (EN)	Multiphase Flows
Titre (FR)	Écoulements multiphasiques
Nom du ou de la responsable de l'UE	Daniel Fuster, Eric Sultan
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	22
Volume h TD / Amount of exercise hours	20
Volume h Projet / Amount of project hours	16
Semestre	Automne (S3)
Localisation	PMC
Code de l'UE	UM5MEF42

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Objectifs de l'enseignement

L'objectif du cours est de présenter les outils théoriques utilisés pour étudier les écoulements multiphasiques dans le cadre d'une description continue de la matière. Dans un premier temps, les lois de bilan permettant de tenir compte de la présence de plusieurs phases seront établies et les approches numériques dédiées seront détaillées. Par la suite, des problèmes classiques, pour lesquels des solutions analytiques ou semi-analytiques ont été obtenues, illustreront les notions présentées et permettront de discuter l'influence de la tension de surface, des différences de densité, des contraintes visqueuses, du changement de phase ou de la compressibilité. Les cours théoriques seront accompagnées par des exercices d'application s'appuyant sur le logiciel open-source Basilisk, qui bénéficie des développements les plus récents dans le domaine de la simulation des écoulements multiphasiques. Les étudiants pourront consolider leurs connaissances à travers un projet numérique portant sur un problème tiré d'une situation réaliste (industrielle ou environnementale).

Connaissances et compétences acquises par l'étudiant à l'issue de l'enseignement :

À l'issue de cet enseignement, les étudiants seront capables de : - identifier les paramètres sans dimensions qui interviennent dans un problème particulier ; - formuler les conditions de saut pour la vitesse, la pression et le flux d'énergie à travers une interface ; - modéliser mathématiquement un problème complexe - maîtriser les notions permettant de décrire l'influence de la présence d'une interface sur un écoulement - décrire les méthodes numériques spécifiques à la résolution de problèmes multiphasiques - réaliser des simulations de problèmes complexes avec basilisk en étant conscient des limitations techniques

Contenu de l'enseignement

Le cours (60h) s'articule autour de trois thèmes principaux et un projet réalisé par les étudiants sur toute la durée de l'enseignement. Chaque séance consacrée au projet (4h) sera décomposée en un cours (2h) suivi d'exercices d'applications (2h).

Modalité d'évaluation

note 1ère session = 30% examen écrit 1 + 30% examen écrit 2, 40% projet
note 2nde session = max(note 1ère session, 60% examen écrit de rattrapage + 40% projet)

Assessment

1st session mark = 30% 1st written exam + 30% 2nd written exam + 40% project
2nd session mark = max(1st session mark, 60% written retake exam + 40% project)

Acquis d'Apprentissage Visés

1. Identifier les paramètres sans dimensions qui pilotent la solution à un problème donné.
2. Décrire l'influence de la présence d'une interface sur un écoulement.
3. Réaliser des simulations numériques avec basilisk; interpréter leurs résultats avec un sens critique.

Bibliographie

1. An Introduction to Fluid Dynamics, G.K. Batchelor, Cambridge University Press
2. Direct Numerical Simulations of Gas-Liquid Multiphase Flows, Grétar Tryggvason, Ruben Scardovelli, Stéphane Zaleski, Cambridge University Press.

Version PDF

UM5MEF43 – Méthodes numériques pour les écoulements incompressibles (Numerical methods for incompressibles flows)

Bérengère Podvin

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Numerical methods for incompressibles flows
Titre (FR)	Méthodes numériques pour les écoulements incompressibles
Nom du ou de la responsable de l'UE	Bérengère Podvin
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEF43

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

L'objectif du cours est d'examiner les fondements théoriques de la résolution numérique des équations de Navier-Stokes incompressibles et d'en aborder les enjeux à travers des problèmes modèles illustrés par des TP numériques sous python. ##### Plan des séances : 1. Le modèle

incompressible 2. Classification des EDP 3. Discrétisation spatiale (TP) 4. Approches spectrales (Fourier) (TP) 5. Autres méthodes spectrales (TP) 6. Discrétisation temporelle - Stabilité (TP) 7. Résolution itérative de systèmes linéaires (TP) 8. Problème de Stokes - Approches couplées (TP) 9. Résolution de la pression - Approches découplées 10. Parallélisation

Content (EN)

Numerical methods for incompressible flows

The aim of the course is to examine the theoretical foundations for the numerical resolution of incompressible Navier-Stokes equations and to address the issues involved through model problems illustrated by numerical exercises in python.

Session plan:

1. The incompressible model 2. Classification of PDEs 3. Spatial discretization (TP) 4. Spectral approaches (Fourier) (lab work) 5. Other spectral methods (lab) 6. Time discretization - Stability (lab) 7. Iterative resolution of linear systems (lab) 8. Stokes' problem - Coupled approaches (lab) 9. Pressure resolution - Decoupled approaches 10. Parallelization

Mots clés (FR)

Ecoulements incompressibles, méthodes de résolution numérique

Keywords (EN)

Incompressible flow, numerical methods

Modalité d'évaluation

note de 1ère session = 60% examen écrit + 40% travaux pratiques note de 2ème session = max(note 1ère session, 80% examen de rattrapage + 20% présentation orale)

Assessment

1st session mark = 60% written exam + 40% computer lab 2nd session mark = max (1st session mark, 80% retake exam + 20% oral presentation)

Version PDF

UM5MEF45 – Milieux poreux et suspensions (Dispersed and porous media)

Anne Mongruel, Diana Baltean-Carlès

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Dispersed and porous media
Titre (FR)	Milieux poreux et suspensions
Nom du ou de la responsable de l'UE	Anne Mongruel, Diana Baltean-Carlès
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	10
Volume h TP / Amount of practical work hours	0
Volume h Projet / Amount of project hours	0
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Dec-Feb
Quarter (for M2 classes)	P2
Langue	Français
Language	Français
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MEF45

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Milieux poreux

- Exemples, caractéristiques géométriques.

- Techniques de modélisation macroscopique : méthodes statistiques de prise de moyenne, méthode de l'homogénéisation avec développements multi-échelles pour des milieux périodiques.
- Ecoulements monophasiques : lois de filtration (Darcy, Brinkman, Forcheimer) ; modèles de perméabilité.
- Ecoulements diphasiques miscibles, application aux polluants (dispersion de Taylor, coefficients de diffusion effective).
- Ecoulement à l'interface d'un poreux (expérience de Beavers & Joseph).

Dynamique des suspensions

- Notions de base en microhydrodynamique (écoulement de Stokes autour d'une sphère, Stokeslet, Rotlet, Stresslet, interactions hydrodynamiques, interactions de doublet de sphères, interactions de lubrification, forces inter-particulaires, mouvement Brownien).
- Modélisation macroscopique des suspensions (techniques statistiques, lois de bilan, tenseur des contraintes).
- Sédimentation des suspensions (vitesse de sédimentation d'une sphère, d'un doublet de sphères, vitesse de sédimentation moyenne d'une suspension diluée, approximation pour les suspensions non-diluées, effet du mouvement Brownien, des forces attractives, fluide porteur non-Newtonien).
- Rhéologie des suspensions (suspension diluée de sphères rigides: viscosité d'Einstein, approximation pour suspensions non-diluées, suspensions de fibres).

Content (EN)

Porous media

- Examples, geometry characteristics.
- Macroscopic modeling techniques: statistical averaging methods, homogenization method with multi-scale developments for periodic media.
- Single-phase flows: filtration laws (Darcy, Brinkman, Forcheimer); permeability models.
- Non-miscible two-phase flows, application to oil-bearing rocks.
- Miscible two-phase flows, application to pollutants (Taylor dispersion, effective diffusion coefficients).
- Flow at a porous interface (Beavers & Joseph experiment).

Dynamics of dispersed media

- Fundamentals of microhydrodynamics (Stokes flow around a sphere, Stokeslet, Rotlet, Stresslet, hydrodynamic interactions, pair interactions, lubrication, interparticle forces, Brownian motion).
- Macroscopic modeling (statistical technics, conservation laws, stress tensor).
- Application to the sedimentation of suspensions, and to the rheology of suspensions.

- Introduction to the dynamics of fiber suspensions.

Mots clés (FR)

Milieux hétérogènes, Hydrodynamique des milieux dispersés, modélisation en terme de milieu effectif.

Keywords (EN)

Hydrodynamics of dispersed media, sedimentation, rheology.

Prérequis (FR)

Mécanique des milieux continus.

Pre-requisites (EN)

Continuum mechanics.

Modalité d'évaluation

note 1ère session = 50% examen écrit + 50% projet/TP note 2ème session = max (note 1ère session, 50% examen écrit de rattrapage + 50% projet/TP)

Assessment

1st session mark = 50 % written exam + 50% lab/project 2nd session mark = max(1st session mark , 50% written retake exam + 50 % lab/project)

Acquis d'Apprentissage Visés

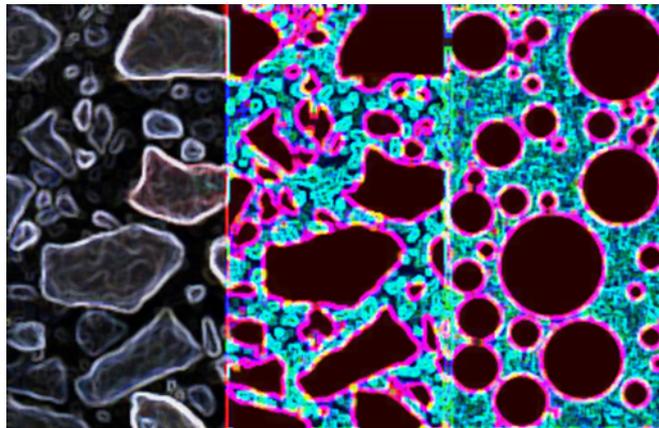
Modélisation multiéchelle des milieux hétérogènes.

Learning outcomes

Multiscale modeling of heterogeneous media.

Bibliographie

1. Guyon E., Hulin, J.-P. & Petit L., Hydrodynamique physique, EDP/CNRS, 2001.
2. D. Barthes-Biesel, Microhydrodynamique et fluides complexes, Ellipses, Ed.Ecole Polytechnique, 2011.
3. E. Guazzelli and J.F.Morris, A Physical Introduction to Suspension Dynamics, Cambridge, University Press, 2011.
4. J.-L. Auriault, C. Boutin, C. Geindreau, Homogenization of Coupled Phenomena in Heterogenous Media, Wiley-ISTE, 2009
5. E. Sanchez-Palencia, Non homogeneous media and vibration theory, Lecture Notes in Physics 127, Springer, Berlin,1980.



Adapted from La Borderie et al. (2007)

Figure 1: Figure

Version PDF

UM5MES06 – Pratique de codes de calcul de structures et applications 2 - Abaqus (Practice of computation of structures and applications 2 - Abaqus)

Amâncio FERNANDES

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Practice of computation of structures and applications 2 - Abaqus
Titre (FR)	Pratique de codes de calcul de structures et applications 2 - Abaqus
Nom du ou de la responsable de l'UE	Amâncio FERNANDES
Volume h Projet / Amount of project hours	32
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Quarter (for M2 classes)	P1
Langue	Français
Language	Français
Localisation	campus PMC
Code de l'UE	UM5MES06

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

- Introduction à ABAQUS : Étude statique et dynamique, flexion de poutres, plaques, statique et dynamique linéaire
- Couplages multiphysiques : structures piézoélectriques, matériaux anisotropes

- Comportement non-linéaires : plasticité avec écrouissage (isotrope et cinématique), algorithmes numériques
- Mécanique linéaire de la rupture : calculs numériques du taux de restitution d'énergie, singularités en pointe de fissure
- Contact non-linéaire : Contact de Hertz avec comparaison formule analytique
- Comportement d'un tube en caoutchouc soumis à un écrasement
- Analyse paramétrique pour l'étude du flambement linéaire de coques cylindriques
- Dynamique explicite

Content (EN)

- Introduction to ABAQUS: Static and dynamic studies, bending of beams, plates, linear statics and dynamics
- Multiphysics couplings: piezoelectric structures, anisotropic materials
- Non-linear behaviour: plasticity with strain hardening (isotropic and kinematic), numerical algorithms
- Linear fracture mechanics: numerical calculations of energy restitution rate, crack tip singularities
- Non-linear contact: Hertz contact with comparison of analytical formula
- Behaviour of a rubber tube subjected to crushing
- Parametric analysis for the study of linear buckling of cylindrical shells
- Explicit dynamics

Mots clés (FR)

Méthode des éléments finis, logiciel Abaqus

Keywords (EN)

Finite element method, Abaqus software

Prérequis (FR)

Mécanique des milieux continus. Élasticité linéaire. Structures élancées. Introduction aux calculs non linéaires de structures en éléments finis.

Pre-requisites (EN)

Continuum mechanics. Linear elasticity. Slender structures. Introduction to nonlinear finite element calculations of structures.

Modalité d'évaluation

Session 1 = DS1(examen sur ordinateur 3h) Session 2 = Sup (DS1, DS2(examen sur ordinateur 2h))

Assessment

1st Round Exam= DS1(3h computer-based exam) 2nd Round Exam = Sup (DS1, DS2(2h computer-based exam))

Acquis d'Apprentissage Visés

- Maîtrise avancée d'un code de calcul industrie
- Solution numérique de problèmes non linéaires de calculs des structures
- Programmation rigoureuse en respectant le cahier des charges
- Analyse critique des résultats
- Rédaction de rapport de projet (examen final)

Learning outcomes

- Advanced control of an industrial calculation code
- Numerical solution of non-linear structural calculation problems
- Rigorous programming in compliance with specifications
- Critical analysis of results
- Project report writing (final exam)

Bibliographie

- O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor and J.Z. Zhu, The Finite Element Method its basis & fundamentals, 6th edition, Elsevier, 2005
- O.C. Zienkiewicz and R.L. Taylor, The Finite Element Method for solid and structural mechanics, 6th edition, Elsevier, 2005
- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Editions de l'Ecole Polytechnique, 2006

Version PDF

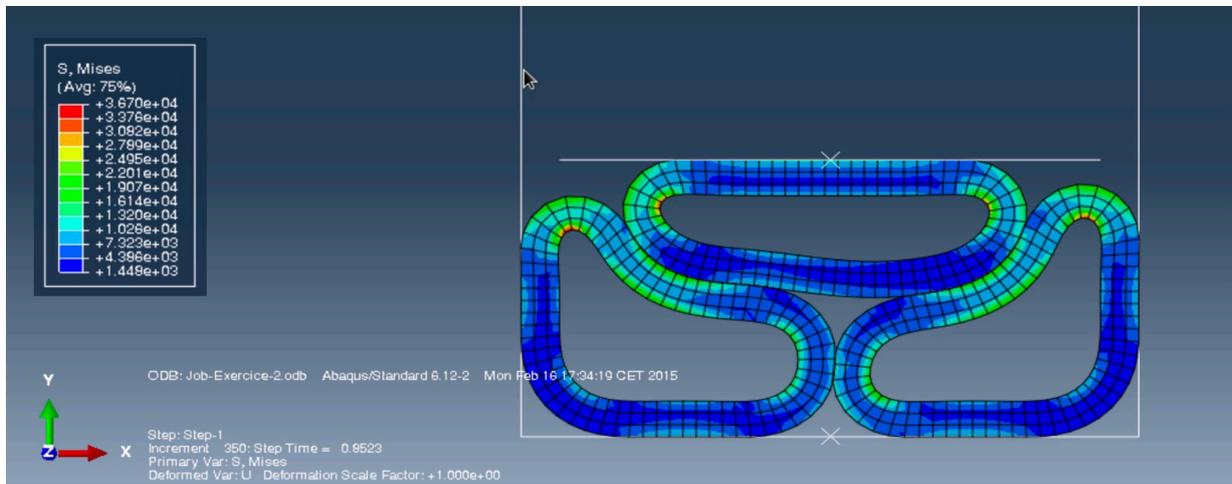


Figure 1: Figure

UM5MET01 – Apprentissage machine pour la mécanique (Machine Learning for mechanics)

Paola Cinnella

2025-07-04 15:29:55 +0200

Informations générales

Title (EN)	Machine Learning for mechanics
Titre (FR)	Apprentissage machine pour la mécanique
Nom du ou de la responsable de l'UE	Paola Cinnella
Nombre d'heures de cours / Amount of class hours	20
Volume h TD / Amount of exercise hours	6
Volume h TP / Amount of practical work hours	4
ECTS	3
Semestre	Automne (S3)
Semester	Sept-Jan (S3)
Periode (pour les cours M2)	Sept-Nov
Langue	Anglais
Localisation	Campus PMC
Lien vers l'emploi du temps / trad en	Campus PMC
Code de l'UE	UM5MET01

Informations pédagogiques

Contenu (FR)

Le cours propose une introduction aux notions de base de l'apprentissage automatique, y compris des éléments de probabilité et de statistique, l'optimisation, et une étude des principales méthodes d'apprentissage automatique et de l'architecture d'intérêt pour la mécanique. Le cours introduira également des méthodes d'apprentissage automatique informées par la physique ainsi que des méthodes de régression symbolique pour la découverte d'équations à partir de données.

Content (EN)

The course proposes an introduction to basic notions in machine learning, including elements of probability and statistics, optimization, and a survey of the main machine learning methods and architecture of interest for mechanics. The course will also introduce physics-informed machine learning methods as well as symbolic regression methods for governing equation discovery from data.

Mots clés (FR)

Apprentissage automatique ; méthodes numériques ; mécanique ; énergie ;

Keywords (EN)

Machine learning; numerical methods; mechanics; energy;

Prérequis (FR)

Mécanique des fluides ou acoustique ou énergie; probabilités statistique; méthodes numériques; programmation en python

Pre-requisites (EN)

Fluid mechanics or acoustics or energy; statistical probability; numerical methods; Python programming

Modalité d'évaluation

note 1ère session = 50% compte-rendu de projet + 50% présentation orale mini-projet
note 2nde session = max(note 1ère session, 50% compte-rendu de projet + 50% présentation orale de rattrapage mini-projet)

Assessment

1st session mark = 50% project report + 50% oral project presentation
2nd session mark = max(1st session mark, 50% project report + 50% retake oral project presentation)

Bibliographie

Notes du cours/Course notes

Version PDF