

Syllabus Coursus Master Ingénierie, Mécanique.

Sorbonne Université CMI4 S7

Liste of Teaching Units

Core Units

- Mécanique des milieux continus solides et fluides
- Ondes et vibrations
- Calcul scientifique, traitement du signal et données
- Orientation professionnelle
- Gestion de projet
- Entreprenariat

Parcours Mécanique des Solides : Matériaux et Structures (MS2)

- Comportement des matériaux solides
- Analyse des structures par éléments finis

Parcours Mécanique des Fluides : Fondements et Applications (MF2A)

- Méthodes numériques en évolution linéaire
- Hydrodynamique à petits et grands nombres de Reynolds

Parcours Acoustique (Acou)

- Capteurs pour l'acoustique
- Acoustique générale

Parcours Énergétique et Environnement (EE)

- Ingénierie mécanique énergétique
- Fondements de l'efficacité énergétique

Parcours Computational Mechanics (Comp Mech)

- Hydrodynamique à petits et grands nombres de Reynolds
- Analyse des structures par éléments finis

Parcours Systèmes Avancés et Robotique (SAR)

- Automatique linéaire
- Introduction à la robotique et Intelligence Artificielle
- Programmation orientée Objet en Python

Intitulé Unité d'Enseignement – Cycle Master CMI4 – Semestre S7		Code	CM	TD	TP	AMS	Heures Présen ce	Travai l Perso	ECT S	
CMI 4 S7	Mécanique des milieux continus solides et fluides	MU4ME001	28	28			56	70-90	6	
	Ondes et vibrations	MU4ME003	8	24	20		52	70-90	6	
	Calcul scientifique, traitement du signal et données	MU4MEN01	20	28		40	48	80-100	6	
	Orientation professionnelle	MU4MEOI2		30		30	30	30-40	3	
	Gestion de projet	MU4RBZ13		16		16	32	50-60	3 *	
	Entrepreneuriat	MU4RBZ10		24		4	28	30-40	3 *	
	Parcours Mécanique des Solides : Matériaux et Structures (MS2)									
		Comportement des matériaux solides	MU4MES02	12	14			26	30-40	3
		Analyse des structures par éléments finis	MU4MES01	20	14	20		54	60-80	6
	Parcours Mécanique des Fluides : Fondements et Applications (MF2A)									
		Méthodes numériques en évolution linéaire	MU4MEF01			24		24	30-40	3
		Hydrodynamique, petits et grands nombres Re	MU4MEF02	28	28			56	60-80	6
	Parcours Acoustique (Acou)									
		Capteurs pour l'acoustique	MU4MEA02	12	10	8		30	30-40	3
		Acoustique générale	MU4MEA01	14	14	14		42	50-80	6
	Parcours Énergétique et Environnement (EE)									
		Ingénierie mécanique énergétique	MU4MEE03			48		48	40-50	3
		Fondements de l'efficacité énergétique	MU4MEE01	22	24	4		60	60-80	6
	Parcours Computational Mechanics (Comp Mech)									
		Analyse des structures par éléments finis	MU4MES01	20	14	20		54	60-80	6
	Hydrodynamique, petits et grands nombres Re	MU4MEF02	28	28			56	60-80	6	
Parcours Systèmes Avancés et Robotique (SAR) ÷										
	Automatique linéaire	MO1RBR03	24	16	8		48	60-80	6	
	Introduction à la robotique et Intelligence Artificielle	MO1RBR05	28	12	12		52	60-80	6	
	Programmation orientée objet en Python	MU4RBIO1	8	6	16		30	30 -50	3	
Total Tronc commun 21 ECTS + 6* ECTS - Total Parcours 9-12 ECTS - Total CMI4 S7 = 60 ECTS + 6*										

*
Unités

hors contrat (ne rentrant pas dans le calcul de la moyenne du semestre (figurent au supplément au diplôme)

≠ Parcours SMAR, Tronc Commun aménagé : MU4ME001 (réduit à 3 ECTS partie solides), MU4ME003 (réduit à 3 ECTS partie Vibrations)

Mécanique des milieux continus solides et fluides

Niveau CMI 4 - Semestre S7 - Crédits 6 ECTS - Code MU4ME01 - Mention Master mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité est un enseignement d'approfondissement des bases de Mécanique des milieux continus acquises en licence en solides et fluides. Une partie est consacrée à la modélisation et méthodes de résolutions de problèmes avancés de structures élastiques et milieux curvilignes. En particulier, des comportements de structures anisotropes, thermo-élastiques sont étudiés, ainsi que des arcs élastiques. La partie fluide a pour objectif de présenter des outils de résolution de problèmes complexes de mécanique des fluides incompressibles, en mettant en évidence l'existence des couches limites visqueuses, étudiant leurs propriétés et leurs conséquences sur les écoulements à nombre de Reynolds élevé.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Solides

- Bases de l'élasticité infinitésimale. Lois de comportement en thermoélasticité anisotrope.
- Principe des puissances virtuelles.
- Application de la méthode des puissances virtuelles à la construction de modèles de milieux curvilignes.
- Théorèmes de l'énergie en élasticité. Applications à la construction de solutions approchées.
- Introduction aux non linéarités géométriques.

Fluides

- Analyse dimensionnelle & Invariance d'échelle
- Analyse en ordre de grandeur et analyse physique
- Perturbations singulières & La couche limite visqueuse

Pré-requis. Connaissances solides en mécanique des milieux continus développées dans les unités de CMI3, LU3ME004, LU3ME006, LU3ME007.

Références bibliographiques.

Solides

- G. Duvaut, Mécanique des Milieux Continus, Edition Masson, Paris 1990.
- H. Dumontet, G. Duvaut, F. Léné, P. Muller et N. Turbé, Exercices de mécanique des milieux continus, Masson, 1994.
- Jean Salençon, Mécanique des Milieux Continus, Tomes 1 et 2, éd. de l'École Polytechnique, 2005.

Fluides

- E. Guyon, J.P. Hulin, L. Petit, Hydrodynamique physique, EDP Sciences, 2012
- J. S. Darrozes et C. François, Mécanique des fluides incompressibles, Lecture Notes in Physics, Springer-Verlag 1970.
- G. I. Barenblatt, Scaling, self-similarity, and intermediate asymptotics, Cambridge University Press, 1996.
- E. J. Hinch, Perturbation methods, Cambridge University Press, 1991.

Ressources mises à disposition des étudiants. Polycopiés de cours et supports de présentation, sujets de travaux dirigés, Annales corrigées.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Connaissances avancées en mécanique des milieux continus, modélisation et méthodes de résolution.

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir analyser les phénomènes mis en jeu, faire des hypothèses appropriées.
- Savoir formuler les équations et conditions aux limites d'un problème avancé de mécanique des milieux continus.
- Savoir résoudre le problème dans des configurations particulières.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 56 heures réparties pour chaque partie (solides, fluides) en 14 h de cours et 14 h de travaux dirigés. Travail personnel attendu : 70 – 90 h

Évaluation. L'évaluation se fait pour chaque partie (solide, fluide) sur la base de deux écrits avec un écrit 1 (non pénalisant / 30) un écrit 2 / 100. La note finale est calculée selon la formule SUP (écrit 1/3 + écrit final *2/3 , écrit final)

Responsables. Mme. H. Dumontet (Solides) et R. Wunenburger (Fluides)

Ondes et vibrations

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 6 ECTS - Code MU4ME003 – Mention Master de Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité a pour objectif de présenter la théorie fondamentale : (i) de la vibration linéaire des structures élastiques et (ii) des ondes mécaniques.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Vibrations (5 séances)

- Systèmes vibrants linéaires à n degrés de liberté (ddl) : systèmes conservatifs à n ddl, réponse modale du système libre, réponse sous excitations harmonique, périodique, transitoire, quelconque; résonances; systèmes dissipatifs, réponse à une excitation quelconque, résonance amortie. Analyse et identif. modale.
- Milieux continus : Ondes stationnaires, Influence des conditions aux limites.
 - Milieux unidimensionnels dans les cordes, de traction-compression dans les barres, de torsion dans les arbres, de flexion dans les poutres droites.
 - Milieux bidimensionnels : Ondes dans les membranes, Vibration de flexion des plaques planes, Réponse impulsionnelle et réponse en fréquence, Déformées modales et opérationnelles.
- Méthodes approchées.
- Réduction à 1 ddl : Méthode de Rayleigh. Réduction à 2-3 ddl: Méthode de Rayleigh-Ritz,
- Introduction aux éléments finis.

Ondes (3 séances)

- Équations de propagation dans les grands systèmes physiques relevant de mécanique,
- Étude de principaux phénomènes physiques associés à la propagation (réflexion-transmission, dispersion, atténuation)
- Plusieurs exemples et applications : exemples de base dans lesquelles les couplages vibration et ondes apparaissent ; exemples de couplage fluide-structure, où l'onde qui se propage dans le fluide est couplée à une vibration d'un solide ; autres applications : interaction houle avec une plate-forme pétrolière ; bruit dans l'habitacle d'une voiture (parois rayonnantes) ; vibrations d'origine sismique.

Pré-requis. Connaissances de base en dynamique du solide rigide acquises en Licence et en milieux continus. Équation différentielle du 2^e ordre linéaire à coefficients constants.

Références bibliographiques.

- Del Pedro M. & Pahud P. - Mécanique vibratoire – PPUR, 1999.
- J.L. Guyader : Vibration de milieux continus, Hermès, 2002.
- C. Lesueur : Rayonnement acoustique des structures, Eyrolles, 1988.
- H.J.-P. Morand, R. Ohayon : Interactions fluide-structure, Lavoisier, 2007.
- M. Bruneau : Introduction aux théories de l'acoustique, Publication de l'université Du Maine, 1983.

Ressources mises à disposition des étudiants. Cours, sujet de TD et corrigés, Annales.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Bases de la théorie des vibrations et celle de la propagation des ondes.

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir mettre en œuvre les connaissances dans l'étude de problèmes de vibrations, propagations d'ondes.
- Respecter des procédures expérimentales.
- Rédiger un rapport de projet et le présenter.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 52 h réparties en 4 séances de cours de 2 h et 12 séances de TD de 2 h et de 20 h de TP.

Travail personnel attendu : 70-90 h.

Évaluation. L'évaluation se fait sur la base de plusieurs contrôles continus (60 %), d'un rapport de TP (40 %).

Responsables. M. R. Marchiano

Calcul scientifique, Traitement du signal et des données

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MEN01 – Mention Master de Mécanique

Présentation pédagogique.

Ce module aborde les aspects fondamentaux nécessaires à l'analyse et la compréhension de méthodes numériques, appliquées aux systèmes. L'objectif est de former les étudiants à la théorie et à la pratique des méthodes d'analyses des signaux et systèmes numériques, ainsi qu'à la synthèse de ces derniers.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Traitement numérique du signal :

- Rappels sur le temps continu : Étude des signaux à temps continu: approche temporelle, approche fréquentielle (série/transformation de Fourier). Étude des systèmes à temps continu : propriétés, relations entrée/sortie, réponses standards, description temporelle (équation différentielle, convolution), description fréquentielle (réponse en fréquence, fonction de transfert).
- Signaux à temps discret : Échantillonnage, théorème de Shannon, conversion Analogique-Numérique. Description et analyse des signaux à temps discret : signaux classiques, TFD, TFR.
- Systèmes à temps discret. Représentations temporelles : réponses standards, systèmes RIF et RII, équation de récurrence, convolution discrète. Représentations fréquentielles : transformée en Z, réponse en fréquence, fonction de transfert. Stabilité des systèmes discrets. Applications à la synthèse de filtres numériques.

Calcul scientifique et traitement des données

- Introduction à Python : Matplotlib, Numpy
- Algèbre linéaire : Vecteurs, matrices, Introduction de différents solveurs. Analyse en composantes principales (SVD).
- Introduction aux méthodes d'optimisation. Architecture machine. Initiation au calcul parallèle.

Pré-requis. Mathématiques de licence (transformées de Fourier), notions de programmation (Matlab, octave, et/ou python).

Références bibliographiques.

- A.W.M. Van Den Enden, N.A.M. Verhoeck, Traitement numérique du signal, Dunod, 2003
- M. Bellanger, P. Aigrain, Traitement numérique du signal : théorie et pratique, Dunod, 2006
- Tutoriaux <https://johansson/scientific-python-lecture> <https://jupyter4edu.github.io/jupyter-edu-book/>
<https://nbgrader.readthedocs.io/en/stable/>

Ressources mises à disposition des étudiants. Cours, sujet de TD et annales corrigés, sujet de travaux pratiques et guides.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Connaissances de la théorie du signal continu ou échantillonné. Représentations temporelles et fréquentielles.
- Introduction aux techniques de programmation avancée (objet, parallèle) et aux outils et algorithmes courants du traitement des données.

Compétences développées dans l'unité.

- 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

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : Partie Calcul scientifique – 22 h réparties 6 h de cours, 16 h de TP, projet en autonomie. Partie Traitement du signal - 26 h réparties en 14 h de cours, 12 h de travaux pratiques.

Travail personnel attendu : 80 h – 100 h.

Évaluation. Partie Calcul scientifique : TP (/50, Résolution d'un problème simple en relation avec le TP et présentation des

résultats dans un notebook python), projet en binôme (/50, compréhension du sujet, modélisation, pertinence des choix de méthodes, de l'analyse, clarté de l'exposé, qualité des graphiques). Partie Traitement du signal : Écrit (/75), TP (/25).

Responsables. Mme F. Ossart, M. R. Marchiano.

Orientation Professionnelle

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MEOI2 - Mention Master mécanique

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 : rencontres avec des acteurs du monde industriel et socio-économique (forums, conférences générales et thématiques) qui contribuent à la connaissance des secteurs d'activités et des métiers des disciplines, divers ateliers pour apprendre à décrypter des annonces d'emploi ou de stages, se préparer à un entretien de recrutement, faire un bilan de compétences. En particulier, des ateliers Soft skills sont organisés et animés par le groupe industriel SAFRAN autour de trois thèmes : recrutement et digital (Conseils CV, Digital branding, préparation aux entretiens, stratégie et organisation), aisance à l'oral (astuces de présentation et de pitch, techniques de gestion du stress, entraînements devant un public), Intelligence collective (Challenge collectif et immersif, applications collaboratives, présentation en équipe devant un public).

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Ateliers Soft skills : Analyse d'annonces de stages et d'emploi, construction du CV, rédaction de la lettre de motivation, conduite des entretiens de recrutement, simulations d'entretien.
- Atelier LinkedIn, identité numérique
- Interventions des Alumni-SU
- Cycle de conférences thématiques d'industriels, conférences métiers par des professionnels (EDF, PSA, Safran, Siant-Gobain)
- Atrium des métiers

Pré-requis. Connaissance de l'entreprise.

Références bibliographiques.

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports divers de présentation.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Connaissances de problématiques industrielles (conférences thématiques de recherche appliquée).
- Connaissances des stratégies et pratiques de recrutement.

Compétences développées dans l'unité.

- Être acteur dans la recherche d'information, être autonome sur une recherche de stage.
- Savoir utiliser les réseaux sociaux, se créer un réseau professionnel.
- Pratique d'entretien, prise de parole. Dialoguer efficacement avec un professionnel.
- Prise du recul par rapport à son parcours et réflexions sur son projet.
- Être acteur de son projet professionnel, savoir valoriser son parcours.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiellees totales : 30 h.

Travail personnel attendu : 30 h – 40 h.

Évaluation. L'évaluation se fait sous la forme de contrôles continus intégrant des notes de QCM sur les conférences, rédaction du CV, lettre de motivation, description du projet professionnel, respect des échéances, participation à des ateliers.

Responsables. M. A. Lazarus (parcours mécanique des solides), J.M. Fullana (parcours mécanique des fluides), J.D. Pollack (parcours acoustique), Mme. E. Galvez (parcours énergétique et environnement), B. Gas, J.L. Zarader, M. Boudaoud (parcours robotique).

Gestion de projet

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 3 ECTS - Code MU4RBZ13 - Mention Master mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité a pour objectif de donner une vision globale de la gestion d'un projet, tel qu'il est pratiqué en entreprise. Pour cela, les principaux points clé de la conduite de projet sont présentés : les méthodes et outils utilisés dans l'entreprise, les conditions de réussite d'un projet, les dispositifs de soutien des projets existants. Parallèlement, cet enseignement est mis en applications dans le cadre d'un projet mené par les étudiants (groupe de 4/5 étudiants) avec des mises en situation sous forme de jeux de rôle.

Exemples de projets des années précédentes :

- Développer un nouveau moteur de fusée cryogénique pour Ariane X
- Réaliser le prototype d'un nouveau type de moteur pour avions court et moyen-courrier
- Trouver de nouveaux marchés dans le domaine des engins interplanétaires
- Valoriser le savoir-faire de l'entreprise dans le domaine des hydroliennes
- Acquérir la technologie motorisation électrique d'avion pour Aéroclub

L'enseignement est assuré par deux formateurs du groupe français d'aéronautique, Safran, dans le cadre d'un partenariat avec la formation CMI.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Identifier ce qu'est un projet
- Gérer le temps et les ressources
- Analyser le besoin et adapter son approche au client
- Bien démarrer et faire les choix structurants
- Connaître les rôles dans un projet
- Maîtriser l'aspect économique
- Manager les risques
- Assurer la qualité
- Découvrir les principales méthodes au service du projet

Pré-requis. Connaissance de l'entreprise.

Références bibliographiques. Fonction du sujet de projet

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports de présentation, exemples.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Méthodes et outils de gestion de projets (planning, charges, budgets ...).

Compétences développées dans l'unité.

- Pratique de la gestion de projet.
- Formalisation des rapports écrits (Compte-rendu).
- Bilan de compétence et analyse approche managériale., capacité opérationnelle.
- Travail en équipe, organisation, savoir déléguer des tâches.
- Créativité, prise de risque, initiative.
- Communication orale, défense, argumentation.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 32 h réparties sur 4 journées de formation.

Travail personnel attendu : 50-60 h.

Évaluation. Les cas pratiques feront l'objet d'une restitution de chaque groupe devant un jury (et l'ensemble de la promotion). L'évaluation se fait sur la base d'une note d'implication dans le projet, de la mise en application des connaissances théoriques, ainsi que d'une note attribuée par le jury lors de la restitution des cas pratiques.

Responsables. M. M. Derrien, F. Camilieri, salariés Snecma (groupe SAFRAN), Y. Berthaud, Mmes H. Dumontet et A. Gensbittel, (Sorbonne Université)

Introduction à l'entrepreneuriat

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 3 ECTS - Code MU4RBZ10 - Mention Master mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement est organisée sous la forme d'un cycle de conférences thématiques animées par des fondateurs de startup (essentiel.io, Kameleos), des intervenants de la SATT Lutec (société d'Accélération du Transfert de Technologies dont Sorbonne Université est partenaire) ou encore d'Agoranov, l'incubateur Sciences & Tech de Paris.

Parallèlement à ces interventions, les étudiants mettent en application leurs connaissances dans le cadre d'un projet de création de startup réalisé en groupe de 4/5 étudiants.

Exemple de projets étudiants de créations de startup

- Corners : une application pour téléphone tablette/pc, mise en relation via une messagerie.
- MealBox : Des lunchboxes chauffantes portatives sur batteries assemblables et rechargeables.
- Iwalker : Une canne connectée (recueille les données, envoi au médecin).
- Nutr&Fit : Evaluation de la consommation calorifique de l'utilisateur, relations avec les besoins, ses activités, conseils.
- SorBotic : Promotion du développement éthique et responsable de la robotique.
- Airflow : un service de purification/distribution d'air pur de manière uberisé.
- NéoDrink : verres connectés pour contrôle de la consommation de boissons.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Les étapes de la création d'une start-up.
- A quoi sert un incubateur ?
- Kameleos : histoire d'une start-up.
- La propriété intellectuelle et comment rentabiliser le transfert de technologies.
- Visite du Salon des Entrepreneurs. Palais des congrès – Paris.
- Présentation du dispositif Pépite de Sorbonne Université : accompagnement.

Pré-requis. Connaissance de l'entreprise.

Références bibliographiques.

Différents sites supports <https://www.agoranov.com> www.sattlutec.com

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports divers de présentation.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Notions d'entrepreneuriat, du parcours de la création d'entreprise, des dispositifs d'accompagnement.

Compétences développées dans l'unité.

- Faire la différence entre une idée et une innovation.
- Comprendre le concept de business model.
- Identifier ce qui caractérise une startup.
- Créativité à travers le projet, initiative, prise de risque.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 28 h réparties en 14 séances de 2h, intégrant les soutenances de projet.

Travail personnel attendu : 30 h – 40 h.

Évaluation. Evaluation sur le travail en projet et rendu de dossier sous forme de canevas (le projet, pourquoi ce projet ? comment on le fait ? Preuves, pitch investisseur, validation du profil utilisateur, du problème, de la solution ...).

Responsables. O. Adam

Parcours Mécanique des Solides

Matériaux et Structures (MS2)

Comportement des matériaux solides

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MES02 – Mention Master de Mécanique

Présentation pédagogique.

Ce cours a pour objectif de faire découvrir le domaine des matériaux aux étudiants, que ce soient des métaux, des matériaux fragiles tels que les roches ou les bétons ou bien les polymères. En lien avec la structure des matériaux, les étudiants analyseront le comportement – élastique isotrope ou non, plastique, visqueux. Nous insisterons sur la plasticité microscopique et macroscopique avec différents critères de plasticité usuels.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Structure des matériaux, liaisons, élasticité.
- Cristallographie, défauts, plasticité.
- Moyens d'essais.
- Élasticité anisotrope, thermo-élasticité et visco-élasticité.
- Critères de plasticité
- Thermodynamique
- Lois de comportement

Pré-requis. Cours de mécanique des milieux continus de 3^e année et 4^e année.

Références bibliographiques.

- J. Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet, P. Combrade, Métallurgie : du minerai au matériau, éd. Masson, Paris, 1998.
- J.P. Bailon et J.M. Dorlot, des matériaux, 3^e édition, Presses internationales polytechniques, 2000.
- J. Douin, Mécanique des milieux continus, introduction à la plasticité des matériaux, Diderot arts et sciences, 1997.
- J. Friedel, Dislocations. Paris, Gauthier-Villars, 1956.
- Y. Quéré, Physique des matériaux, Ellipses, 1988.
- M. F. Asbhy et D. R. H. Jones, Matériaux, Dunod, 1991.
- J. Hadlik, Le calcul tensoriel en physique avec exercices corrigés, Masson, 1995.

Ressources mises à disposition des étudiants.

Polycopié de cours, sujet de TD et corrigés, Annales. Nombreux documents vidéos.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Structures des matériaux et lien avec le comportement macroscopique.
- Bases des lois de comportement élasto-plastique des métaux.

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir calculer des ordres de grandeur des contraintes, déformation dans les matériaux.
- Savoir identifier des classes de comportement.
- Faire le lien avec les cours de Mécanique des Milieux continus (CMI3, CMI4), de chimie (CMI1).

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 26 h réparties en 6 séances de cours de 2 h et 7 séances de TD de 2 h.
Travail personnel attendu : 30 – 40 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base d'un écrit d'une durée de 2 h (/100).

Responsables. M. Y. Berthaud

Analyse des structures par éléments finis en élasticité linéaire

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MES01 – Mention Master de Mécanique

Présentation pédagogique.

Cet enseignement a pour objectif de donner aux étudiants les bases de la méthode des éléments finis dans le cadre du calcul de structures élastiques linéaires. La méthode est mise en œuvre à partir de codes généralistes dans le cadre de travaux pratiques et les étudiants sont formés à analyser avec discernement les résultats.

Le cours débute par une présentation des formulations locales et énergétique de problèmes d'élasto-statique. Le principe de recherche de solutions approchées est ensuite présenté. Sur cette base le cours décline les grandes étapes de la méthode des éléments finis ainsi que les éléments nécessaires à sa mise en œuvre pratique.

Les travaux pratiques venant en application immédiate du cours et des travaux dirigés permettent une prise en main progressive et efficace des outils théoriques et pratiques.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Formulations des problèmes de thermique et d'élasto-statique linéaire : locale faible et variationnelle.
- Principe de recherche de solutions approchées (Méthodes de Galerkin, Ritz,...).
- Grandes étapes de la discrétisation par éléments finis (Représentation paramétrique, Interpolation, construction des matrices et seconds membres élémentaires, intégration numérique (réduite ou non), prise en compte des blocages, assemblage, résolution (directe ou itérative), post-traitement (visualisation...), interprétation des résultats, qualité de l'approximation.
- Travaux pratiques numériques: Résolution d'un problème de thermique stationnaire, Calcul de la flèche d'un barrage poids à l'aide de différentes modélisations, Étude d'un réservoir sous pression à l'aide d'éléments axisymétriques. Réponse dynamique d'une barre sollicitée en traction.

Pré-requis. Bases de mécanique des milieux continus développées en 3^e année et 4^e année (CMI4, tronc commun). Équations aux dérivées partielles (formulation faible, cours de 3^e année), algèbre linéaire et méthodes numériques (cours de 3^e année, CMI3).

Références bibliographiques.

- J.L. Batoz, G. Dhatt, Modélisation des structures par éléments finis, Hermès, 1992.
- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Éditions de l'École Polytechnique, 2006.
- O. C. Zienkiewicz, La méthode des éléments finis, 3^e édition, Dunod, 1987.

Ressources mises à disposition des étudiants.

Polycopié de cours et supports, sujets de TD et corrigés, Annales et corrigés, fiches techniques, code de calculs.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Base théorique de la méthode des éléments finis.
- Algorithmes numériques à la base de la méthode des éléments finis, leurs atouts et leurs limites.
- Structure d'un code par éléments finis.
- Solutions de problèmes classiques en mécanique, thermique.

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir établir des formulations faibles de problèmes mécanique linéaires (thermique, élasticité)
- Mise en œuvre des étapes de résolution par éléments finis.
- Programmation scientifique (python).
- Étude de la convergence de la solution, stabilité, qualité.
- Analyse critique des résultats, interprétation mécanique.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 54 h réparties en 20 h de cours, 14 h de TD et 20 h de TP sur machines. Travail personnel 60-80 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base d'un écrit d'une durée de 2 h (60 %) et d'un rapport de TP (40 %)..

Responsable. Mme S. Dartois.

Parcours Mécanique des Fluides et Applications (MF2A)

Méthodes numériques pour les écoulements incompressibles

Niveau CMI4 - **Semestre** S9 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU5MEF04 Master de Mécanique - Mécanique des fluides et applications.

Présentation pédagogique.

Les objectifs du cours sont de donner aux étudiants les fondements théoriques nécessaires pour comprendre et résoudre les difficultés spécifiques de la simulation des écoulements incompressibles. Les étudiants seront encouragés à programmer certaines parties de code numérique illustrant la théorie et à évaluer la validité des résultats obtenus. Les concepts présentés seront illustrés en TP à l'aide du logiciel matlab.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

8 sessions de 4 heures : 1- Incompressibilité – Classification des EDP – Discrétisation 2- Consistance, stabilité et convergence de schémas numériques. Analyse de Fourier. Interpolation et approximation. 3- (TP1) Analyse de Fourier 4- Régularité de la solution. Comparaison entre l'approche volumes finis, éléments finis, méthodes spectrales. Méthodes spectrales pour les équations elliptiques. 5- (TP2) Stabilité et convergence des schémas numériques. 6- Méthodes itératives. Problème de Stokes. 7- (TP3) Méthodes itératives. Problème de Stokes. 8- Résolution de la pression (opérateur d'Uzawa, méthodes de projection, matrice d'influence)

Pré-requis. Cours de CMI4 course sur les méthodes numériques– Connaissance de matlab utile, mais non obligatoire

Références bibliographiques.

- Canuto, Hussaini, Quarteroni, Zang, « Spectral Methods : Fundamentals in single domains », 2010, Springer
- Hirsch « Numerical Computation of internal and external flows », 2007, Elsevier

Ressources mises à disposition des étudiants. Polycopié et supports de cours.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Description mathématique des phénomènes à surfaces libres.
- Modèles pour les oscillations et instabilités.

Compétences développées dans l'unité.

- Observer et mesurer les phénomènes lors de TP avec analyse d'images.
- Programmer les modèles dans des versions adaptées aux observations.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 32 h réparties en 20 h CM et 12 h de TP. Travail personnel attendu : 20- 30 h.

Évaluation. Examen en contrôle continu (/60) et TP (/40)

Responsables. S. Zaleski

Hydrodynamique à Petits et Grands Nombres de Reynolds

Niveau CMI 4 - **Semestre** S7 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU4MEF02 Master de Mécanique - Mécanique des fluides et applications.

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 comprendre les techniques d'approximation d'écoulements, 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.

- Rappels généraux de mécanique des fluides & Conditions limites. Surfaces libres. Tension de surface.
- Perturbations régulières (champs, données, géométrie)
- Écoulements à faibles Re. Réversibilité. Traînée. (étude des tourbillons de Moffatt / du couteau de Taylor.)
- Films minces. Lubrification. Les courants de gravité.
- Cas d'étude : le dépôt liquide de Landau et Levich
- Notion de couche limite de Prandtl.
- Écoulements inertiels à hauts Re. Description potentielle. Transformation conforme. Digitation de Saffman-Taylor
- La séparation. Condition de Kutta. La traînée aérodynamique.
- Influence de la rotation. Écoulements planétaires.
- Dynamique de la vorticité & Introduction à la turbulence.

Pré-requis. Mécanique des fluides (CMI3). Mécanique des milieux continus (CMI3, CMI4).

Références bibliographiques. Germain, P. (1986). *Mécanique*. Ellipses. Guyon, E., Petit, L., & Hulin, J. P. (1991). *Hydrodynamique physique*. CNRS Interéditiions. 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.

Ressources mises à disposition des étudiants. Polycopié et supports de cours, sujets de TD, notebooks Python, exercices d'entraînement, annales, vidéos.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Bilans de matière et quantité de mouvement. Conditions limites. Description du mouvement des interfaces notamment en présence de phénomènes capillaires.
- Écoulements à faibles nombre de Reynolds
- Films minces : lubrification et couches limites.
- Écoulements inertiels ($Re \gg 1$). Phénomène de séparation. Traînée.
- Forces hydrodynamiques.

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
- Projet de groupe sur un problème hydrodynamique complexe

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 56 h réparties en 28 h de CM et 28 h TD. Travail personnel attendu : 60 - 80 h.

Évaluation. Contrôle continu (/40) et examen écrit (/60).

Responsables. A. Antkowiak

Parcours Acoustique

(Acou)

Capteurs pour l'acoustique

Niveau CMI4 - Semestre S1 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MEA02 Mention Master de mécanique

Présentation pédagogique.

L'objectif de cette unité est de sensibiliser les étudiants à la notion de mesure, de capteurs nécessaires à la réalisation de la mesure, aux limites et approximations associées. Il s'agit de découvrir des instrumentations et technologies spécifiques à la mesure de grandeurs physiques. Les applications concernent la mesure de grandeurs acoustiques et vibratoires que ce soit dans le domaine audible ou ultra-sonore. Sont également abordées des notions d'incertitude de mesure.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Mécanisme physique de la transduction et conditionnement.
- Acoustique Ultrasonore – piézoélectricité, directivité.
- Système électroacoustique et modélisation élémentaire de fonctionnement - Microphone, HP, Charge acoustique, directivité, modèle Thiele & Small, dimensionnement,...
- Notion élémentaire de métrologie - Organismes, vocabulaire, chaîne de mesure, capteur actif/passif, incertitudes de type A et B.

Pré-requis. Ondes et vibrations

Références bibliographiques.

- M. Rossi, Traité d'électricité, Vol. 21. Ecole Polytechnique de Lausanne. Sept. 2013.
- Georges Asch, Les capteurs en instrumentation industrielle, Dunod 2017.

Ressources mises à disposition des étudiants.

Documentation, Haut-parleurs et enceintes ajustables, Logiciel Arta, Capteurs acoustiques (microphones...)

Compétences développées dans l'unité.

- Modélisation de systèmes électro-acoustiques
- Analyse et interprétations de fiches techniques de capteurs et haut-parleurs
- Manipulation de systèmes de mesure et de systèmes audio

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles : 30 h réparties en 12 h de CM, 10 h TD, 8 h TP expérimentaux

Travail personnel attendu : 30-40 heures

Évaluation.

Deux séances d'évaluation théoriques de 2 h (une intermédiaire et une finale) et un compte-rendu de TP (40 %, 40 %, 20 %).

Responsable. B. Fabre

Acoustique générale

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MEA01 – Mention Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Cette unité d'enseignement a pour objectif de donner les bases théoriques de l'acoustique.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

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.

Pré-requis.

Mécanique des milieux continus (niveau CMI3), Analyse vectorielle, Fonction de plusieurs variables, équation aux dérivées partielles

Références bibliographiques.

- Blackstock, D. T., Fundamentals of physical acoustics, Wiley & Sons, 2001.
- Pierce, A, An Introduction to Its Physical Principles and Applications, Springer, 2019.
- M. Bruneau : Introduction aux théories de l'acoustique, Publication de l'université Du Maine, 1983.

Ressources mises à disposition des étudiants. Polycopié de cours. Fascicule de TD avec corrections, Notebook jupyter.

Compétences développées dans l'unité.

- Connaître le vocabulaire de base en acoustique,
- Modélisation de la propagation linéaire des ondes acoustiques,
- Connaître les solutions de base de l'équation des ondes (ondes progressives et rétrograde, ondes planes, ondes sphériques),
- Modéliser la vitesse du son dans les milieux les plus usuels (eau/air),
- Connaître les grandeurs énergétiques pertinentes en acoustique (densité acoustique d'énergie, intensité acoustique, puissance acoustique),
- Savoir caractériser une onde acoustique avec des indicateurs appropriés (Représentation 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),
- Connaître le comportement des sources élémentaires (monopôle et dipôle),
- Modélisation de la propagation en guide d'ondes : mode de propagation, dispersion et notion de fréquence de coupure,
- Identifier les phénomènes se produisant en acoustique (propagation libre, propagation guidée, réflexion, transmission, réfraction, dispersion, diffraction, absorption).

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures totales présentielles : 42 h réparties en 14 h de CM, 14 h TD, 14 h TP numériques.

Travail personnel attendu : 80 h – 100 h.

Évaluation. Un examen écrit (2 h), un examen de TP (2 h).

Responsable. R. Marchiano

Parcours Énergétique et Environnement (EE)

Ingénierie Mécanique Énergétique

Niveau CMI4 - **Semestre** S7 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU4MEE03 –

Mention Master science pour l'ingénieur mention mécanique, parcours Énergétique et environnement

Présentation pédagogique.

L'UE a pour objectif de mettre à disposition différentes expériences autour de la conversion d'énergie, d'effectuer des sessions de travaux pratiques balayant les thèmes des ENR, de combustion, de cycles de machines réceptrices ou motrices. Le thème du projet est choisi par l'étudiant dans une liste proposée par le professeur responsable de l'UE. L'étudiant peut aussi soumettre une idée de projet à un professeur qui l'encadrera. Lors de ces sessions expérimentales de travaux pratiques, l'apport en termes de compétences transversales vise à un premier apprentissage par la pratique de concepts théoriques vu en cours. L'approche comprend des phases de questionnement, de compréhension et de réalisation. Les travaux sont réalisés en groupe et font l'objet d'une évaluation finale. L'avancement des sessions est déterminé via de nombreux rapports et présentations intermédiaires. **Exemples de sessions** : Énergies renouvelables, Performances d'une installation photovoltaïque, Formation des polluants, post-traitement et cycles d'homologation d'un moteur automobile, Bâtiment faible consommation.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Les expériences suivantes sont à disposition : Champ de panneau solaire, étude d'une chambre de combustion, fonctionnement d'une pile à combustible, analyse d'une centrale hydroélectrique, étude d'une éolienne.

Prérequis. Thermodynamique de Licence et de master, connaissance des capteurs et du traitement des signaux.

Références bibliographiques.

- Moran M. J. and Shapiro, H. N., Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 3rd edition, John Wiley & Sons, 1998.
- JP Perez, Thermodynamique, Fondements et applications, Masson, 2001.

Ressources mises à disposition des étudiants

Texte de travaux pratiques sur le site suivant : <https://www.plateforme-theoreme-upmc.fr/>

Compétences développées dans l'unité.

- Mettre en œuvre les concepts.
- Simplifier des phénomènes observés.
- Acquisition de la maîtrise d'appareils spécifiques à la mesure.
- Connaissance de fonctionnement de systèmes de conversion d'énergie.
- Analyse d'un problème complexe en sous-systèmes. Mise en place de méthodes de résolution.
- Accéder aux sources d'informations appropriées, les évaluer. Écrire un rapport scientifique ou technique.
- Écrire une revue de la littérature qui établit l'état de l'art. Recueillir des données.
- Comparer l'état des réalisations avec le plan et l'adapter en conséquence.
- Utiliser une méthodologie de travail appropriée, organiser un/son travail.
- Communiquer efficacement et être compris (par des personnes de langages et cultures différentes).
- Évaluer sa performance dans le groupe, recevoir du feedback et y répondre de manière appropriée.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 48 h réparties en 6 séances de travaux pratiques de 8 h.

Travail personnel attendu : 40 - 50 h.

Évaluation. Présentation orale (60%), rapport écrit (20 %), notes de TP (20 %).

Responsables. Mme E. Galvez, M. S. Pounkin, M. T. Lebris, M. P. Guibert.

Fondements de l'efficacité énergétique

Niveau CMI4 - Semestre S7 – Crédits 6 ECTS - Code MU4MEE01

Mention Master science pour l'ingénieur mention mécanique, parcours Énergétique et environnement

Présentation pédagogique. Ce cours fournit l'ensemble des outils thermodynamiques pour une analyse robuste des performances des systèmes de conversion d'énergie et pour la conception de nouveaux systèmes complexes. Cet enseignement ne traite pas en détail des bases de la thermodynamique, supposées déjà connues. L'enseignement de l'énergétique comporte deux grands volets, de nature très différente mais de difficulté semblable : d'une part, la théorie de l'exergie est développée en détail, elle fournit un cadre tout à fait rigoureux pour quantifier la qualité de transformation d'un système quelconque, ouvert ou fermé, en régime dynamique ou non. Le bilan exergétique est un outil privilégié pour comparer et optimiser les cycles thermodynamiques, d'autre part, celui de la modélisation des technologies étudiées, acquises ou nouvelles qui relève essentiellement de la thermodynamique appliquée incluant les énergies renouvelables. Les thèmes traités concernent les équations de bilans énergétiques et exergétiques, la combustion, l'étude des cycles, et l'étude de plusieurs systèmes de conversion d'énergie (moteur à combustion interne, turbine à gaz, centrale à vapeur, solaire).

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Écriture du 1^{er} principe et du 2nd principe, extension du bilan d'énergie à tout système. Écriture du rendement énergétique généralisé. Présentation du concept d'exergie.
- Étude de cas pour comprendre l'application de l'exergie et l'analyse des résultats fournis.
- Écriture du bilan exergétique et du rendement exergétique généralisé.
- Proposition d'optimisation de système de conversion via les concepts énergétique et exergétique.
- Étude de cycles polygénérés. Présentation de la combustion et des régimes associés.
- Calcul de bilan exergétique de chambre de combustion.

Pré-requis. Connaissance des fondements de la thermodynamique niveau licence.

Références bibliographiques.

- Moran M. J. and Shapiro, H. N., Fundamentals of Engg Thermodynamics, 3rd edition, John Wiley & Sons, 1998.
- Bejan, A., Tsatsaronis and Moran, M., Thermal Design & Optimization, John Wiley & Sons, 1996.
- Kotas, T. J., The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Reprint Edition, Krieger, Malabar, FL, 1995.
- Wood, B. D., Applications of Thermodynamics, Waveland Press Inc., Prospect Heights, Illinois, 1982.
- JP Perez, Thermodynamique, Fondements et applications Masson, 2001.
- L Borel, Thermodynamique Et Énergétique, Presses polytechniques et universitaires Romande, 2005.
- J. H. Horlock, Combined Power Plants, Pergamon Press, 1992.
- Michel Feidt, Thermo. et optimisation énergétique des systèmes et procédés, Tec & Doc (Editions), 2016.
- B Diu C Guthmann D Lederer B Roulet Thermodynamique ed Hermann, 2007.

Ressources mises à disposition des étudiants. Poly. du cours et planches présentées en amphi le cas échéant. Sujets de TD et corrigés, annales des examens avec corrigés et commentaires et de nombreux documents complémentaires.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Fondement de la thermodynamique, variables, fonction d'état, entropie, propriétés des fluides, changement de phase, équilibres chimiques de systèmes réactifs. Principe énergétique et exergétique.
- Optimisation énergétique des systèmes et procédés.

Compétences développées dans l'unité.

- Maîtriser les notions de masse, d'énergie et d'équilibre dynamique, Thermodynamique et énergétique.
- Calculer les propriétés thermodynamiques d'un fluide, gaz humide.
- Comprendre les principaux cycles thermodynamiques. Notion d'optimisation.
- Analyse d'un problème complexe en sous-systèmes. Mise en place de méthodes de résolution.
- Vérification de l'homogénéité des résultats (analyse dimensionnelle simple).
- Écriture des différentes équations issues des principes de l'énergie et de l'exergie pour en déduire les pertes et les rendements de conversion.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles : 50 h réparties en 22 h de CM, 24 h de TD et 4 h de projet.

Travail personnel attendu : 70 h – 90 h.

Évaluation. Évaluation sur la base d'un projet de caractérisation de performance énergétique et d'un examen écrit de trois heures.

Examen écrit de 2 h (70 %) – Rapport de Projet et présentation orale (30 %).

Enseignants intervenants. M. P. Guibert

Parcours Computational Mechanics (Comp Mech)

Analyse des structures par éléments finis en élasticité linéaire

Niveau CMI4 - Semestre S7 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MES01- Mention Master de Mécanique

Présentation pédagogique.

Cet enseignement a pour objectif de donner aux étudiants les bases de la méthode des éléments finis dans le cadre du calcul de structures élastiques linéaires. La méthode est mise en œuvre à partir de codes généralistes dans le cadre de travaux pratiques et les étudiants sont formés à analyser avec discernement les résultats.

Le cours débute par une présentation des formulations locales et énergétique de problèmes d'élasto-statique. Le principe de recherche de solutions approchées est ensuite présenté. Sur cette base le cours décline les grandes étapes de la méthode des éléments finis ainsi que les éléments nécessaires à sa mise en œuvre pratique.

Les travaux pratiques venant en application immédiate du cours et des travaux dirigés permettent une prise en main progressive et efficace des outils théoriques et pratiques.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Formulations des problèmes de thermique et d'élasto-statique linéaire : locale faible et variationnelle.
- Principe de recherche de solutions approchées (Méthodes de Galerkin, Ritz,...).
- Grandes étapes de la discrétisation par éléments finis (Représentation paramétrique, Interpolation, construction des matrices et seconds membres élémentaires, intégration numérique (réduite ou non), prise en compte des blocages, assemblage, résolution (directe ou itérative), post-traitement (visualisation...), interprétation des résultats, qualité de l'approximation.
- Travaux pratiques numériques: Résolution d'un problème de thermique stationnaire, Calcul de la flèche d'un barrage poids à l'aide de différentes modélisations, Étude d'un réservoir sous pression à l'aide d'éléments axisymétriques. Réponse dynamique d'une barre sollicitée en traction.

Pré-requis. Bases de mécanique des milieux continus développées en 3^e année et 4^e année (tronc commun). Équations aux dérivées partielles (formulation faible, cours de 3^e année), algèbre linéaire et méthodes numériques (cours de 3^e année).

Références bibliographiques.

- J.L. Batoz, G. Dhatt, Modélisation des structures par éléments finis, Hermès, 1992.
- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Éditions de l'École Polytechnique, 2006.
- O. C. Zienkiewicz, La méthode des éléments finis, 3^e édition, Dunod, 1987.

Ressources mises à disposition des étudiants.

Polycopié de cours et supports, sujets de TD et corrigés, Annales et corrigés, fiches techniques, code de calculs.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Base théorique de la méthode des éléments finis.
- Algorithmes numériques à la base de la méthode des éléments finis, leurs avantages et leurs limites.
- Structure d'un code par éléments finis.
- Solutions de problèmes classiques en mécanique, thermique.

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir établir des formulations faibles de problèmes mécanique linéaires (thermique, élasticité)
- Mise en œuvre des étapes de résolution par éléments finis.
- Programmation scientifique (python).
- Étude de la convergence de la solution, stabilité, qualité.
- Analyse critique des résultats, interprétation mécanique.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 54 h réparties en 20 h de cours, 14 h de TD et 20 h de TP sur machines. Travail personnel 60-80 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base d'un écrit d'une durée de 2 h (60 %) et d'un rapport de TP (40 %).

Responsable. Mme S. Dartois.

Hydrodynamique à Petits et Grands Nombres de Reynolds

Niveau CMI4 - **Semestre** S7 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU4MEF02 Master de Mécanique - Mécanique des fluides et applications.

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 comprendre les techniques d'approximation d'écoulements, 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.

- Rappels généraux de mécanique des fluides & Conditions limites. Surfaces libres. Tension de surface.
- Perturbations régulières (champs, données, géométrie)
- Écoulements à faibles Re. Réversibilité. Traînée. (étude des tourbillons de Moffatt / du couteau de Taylor.)
- Films minces. Lubrification. Les courants de gravité.
- Cas d'étude : le dépôt liquide de Landau et Levich
- Notion de couche limite de Prandtl.
- Écoulements inertiels à hauts Re. Description potentielle. Transformation conforme. Digitation de Saffman-Taylor
- La séparation. Condition de Kutta. La traînée aérodynamique.
- Influence de la rotation. Écoulements planétaires.
- Dynamique de la vorticité & Introduction à la turbulence.

Pré-requis. Mécanique des fluides (CMI3). Mécanique des milieux continus (CMI3, CMI4).

Références bibliographiques. 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.

Ressources mises à disposition des étudiants. Polycopié et supports de cours, sujets de TD, notebooks Python, exercices d'entraînement, annales, vidéos.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Bilans de matière et quantité de mouvement. Conditions limites. Description du mouvement des interfaces notamment en présence de phénomènes capillaires.
- Écoulements à faibles nombre de Reynolds
- Films minces : lubrification et couches limites.
- Écoulements inertiels ($Re \gg 1$). Phénomène de séparation. Traînée.
- Forces hydrodynamiques.

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
- Projet de groupe sur un problème hydrodynamique complexe

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 56 h réparties en 28 h de CM et 28 h TD. Travail personnel attendu : 60 - 80 h.

Évaluation. Contrôle continu (/40) et examen écrit (/60).

Responsables. Arnaud Antkowiak

Parcours Systèmes Avancés et Robotique (SAR)

Automatique Linéaire

Niveau CMI4 - **Semestre** S7 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU4RBR03- **Mention** Master Automatique et Robotique

Présentation pédagogique.

Cet enseignement est structuré en deux parties.

La partie 1 a pour objectif de

- De former les étudiants à la modélisation et à l'analyse des systèmes linéaires à temps invariant dans les domaines temporel et fréquentiel à partir d'une description entrée/sortie ;
- De former les étudiants à la synthèse de lois de commandes par retour de sortie répondant à un cahier des charges en termes de marge de stabilité, de rapidité et de précision ;
- De former les étudiants à la mise en oeuvre des lois de commande sur des systèmes expérimentaux.

La partie 2 vise à :

- De former les étudiants à l'expression de problèmes de commande en représentation d'état.
- De les former à la résolution de problèmes de commande linéaires exprimés en représentation d'état.
- De mettre en évidence les liens entre l'automatique fréquentielle et l'automatique en représentation d'état.
-

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Partie 1

1. Étude et Analyse des systèmes linéaires temps invariant dans le domaine temporel :
 - Définitions et hypothèses. Notions d'un système et d'un signal ; Classification des signaux élémentaires ; Classification des systèmes.
 - Modélisation et analyse des systèmes dans le domaine temporel. Équation différentielle ; Réponse indicielle et réponse impulsionnelle ; Notions de temps de réponse, de temps de montée, de dépassement et d'erreur en régime permanent ; Exemples Illustratifs.
2. Étude et Analyse des systèmes linéaires temps invariant dans le domaine fréquentiel I :
 - Transformée de Laplace. Définition ; Région de convergence ; Propriétés ; Exemples.
 - Fonction de transfert. Notions de pôles et de zéros. Condition de stabilité à partir des pôles.
3. Étude et Analyse des systèmes linéaires temps invariant dans le domaine fréquentiel II :
 - Diagramme de Bode d'un système du premier ordre. Calcul des asymptotes de gain et de phase et étude aux limites ; Tracé des asymptotes de gain et de phase ;
 - Diagramme de Bode d'un système du second ordre. Calcul et tracé des asymptotes de gain et de phase et étude aux limites dans le cas d'un système du second ordre décomposable en un ensemble de systèmes du premier ordre ; Tracé des asymptotes de gain et de phase dans le cas général d'un système du second ordre.
4. Commande des systèmes linéaires temps invariants par retour de sortie I :
 - Commande par retour de sortie. Introduction ; Notions de régulation et d'asservissement ; Modélisation d'un système en boucle fermée ; Stabilité d'un système en boucle fermée ; Marges de stabilité ; Notions de précision et de rejet de perturbation ; Exemples.
 - Modélisation et notion de rejet de perturbation.
5. Commande des systèmes linéaires temps invariants par retour de sortie II :
 - Correcteur proportionnel. Définition ; Synthèse d'un correcteur proportionnel à partir du diagramme de Bode ; Effet sur la précision, sur la bande passante et sur les marges de stabilité ; Exemples.
 - Correcteur proportionnel intégral. Définition ; Effet sur la précision, sur la bande passante et sur les marges de stabilité ; Exemples.
6. Commande des systèmes linéaires temps invariants par retour de sortie III :
 - Correcteur à avance de phase. Définition ; Synthèse d'un correcteur à avance de phase à partir du diagramme de Bode ; Effet sur la précision, sur la bande passante et sur les marges de stabilité ; Exemples.
 - Comparaison entre les différents correcteurs étudiés. Antagonisme stabilité/rapidité et stabilité/précision ; Exemples.

Partie 2

1. *Introduction à la représentation d'état* : Notions d'état/entrée/sortie. Exemples et mise en équation. Notion de point d'équilibre. Définition et calcul du linéarisé tangent.
2. *Liens entre représentation d'état et représentation fréquentielle* : Cas des systèmes mono-entrée/mono-sortie. Forme canonique commandable. Réalisation de fonction de transfert. Extension au cas des systèmes multi-entrées/multi-sorties.
3. *Notions de base concernant les systèmes linéaires* : Commandabilité : définition et caractérisation (Kalman). Observabilité : définition et caractérisation (Kalman). Stabilité : définitions et caractérisations (valeurs propres et critère de Routh-Hurwitz).
4. *Synthèse de correcteurs* : Synthèse de contrôleur par placement de pôles. Synthèse d'observateur par placement de pôles. Principe de séparation.
5. *Aspects de mise en œuvre et de réglage* : Contraintes liées à l'échantillonnage, aux retards, et aux bruits de mesure. Réglage des gains. Mise en œuvre d'observateur/filtre par prédiction/correction.
6. *Outils numériques et introduction à la commande LQR* : Utilisation d'outils numériques pour la synthèse de correcteur. Introduction à la commande LQR

Pré-requis. Mathématiques pour l'ingénieur. Connaissances sur les équations différentielles ; Algèbre Linéaire.

Références bibliographiques.

- Y. Granjon, « Automatique », Dunod, 2^e édition, 2010.
- B. d'Andrea-Novel et M. de Lara, Commande linéaire des systèmes dynamiques, Elsevier-Masson, 1997.

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports de cours et TD, TP sur maquette

Compétences développées dans l'unité.

Partie 1

- Modéliser un système linéaire à temps invariant dans le domaine temporel et fréquentiel à partir une description entrée/sortie.
- Analyser la stabilité et les performances d'un système linéaire à temps invariant à partir d'une représentation en fonction de transfert et des réponses indicielles et impulsionnelle.
- Synthétiser des lois de commande de type proportionnelle, PID et à avance de phase répondant à un cahier des charges en termes de marge de stabilité, de rapidité et de précision.
- Analyser les performances d'un système en boucle fermée dans les domaines temporelle et fréquentielle.
- Mettre en œuvre les lois de commande étudiées sur un benchmark expérimental en utilisant le logiciel Matlab/Simulink et des cartes de communications numériques.

Partie 2

- Modéliser des commandes linéaires associées à un problème de commande exprimé en espace d'état.
- Analyser les propriétés de commandabilité / observabilité/stabilité de ce modèle linéaire.
- Effectuer une synthèse de contrôleur ou d'observateur.
- Effectuer des réglages de gain pour répondre à un cahier des charges.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales pour chaque partie : 24 h réparties en 6 séances de 2 h de cours, 4 séances de TD de 2 h,

2 séances de TP numériques de 2 h.

Travail personnel attendu pour chaque partie : 30 – 40 h.

Évaluation. Pour chaque partie : deux examens écrits (/70) + Une note de TP (/30).

Responsables. M. Mokrane Boudaoud (Partie 1) - M. Pascal Morin (Partie 2)

Introduction à la robotique et à l'Intelligence Artificielle.

Niveau CMI4 - **Semestre** S7 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU4RBR08 – **Mention** Master Automatique et Robotique

Présentation pédagogique.

Cette unité est structurée en deux parties.

La partie 1 consacrée à une introduction à la robotique a pour objectif de former les étudiants à la modélisation des robots manipulateurs en vue de leur commande, grâce à l'introduction de la notion de tâche robotique et des espaces opérationnels et articulaires. Le cours se contente de démontrer l'intérêt de la modélisation pour des tâches simples ayant pour objectif, rallier un point de passage ou suivre une trajectoire donnée.

La partie 2e consacrée à une introduction à l'Intelligence Artificielle a pour objectif d'initier les étudiants à l'intelligence artificielle. Il comporte une présentation générale et des connaissances techniques utiles et pratiques sur différents volets de l'IA : représentation des connaissances, résolution de problèmes et planification, raisonnement et prise de décision dans l'incertain, éléments d'apprentissage machine.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Partie 1

- Les architectures mécaniques des robots : mobilité des systèmes de manipulation et de locomotion, paramètres de tâche et principes de commande des robots.
- Rotation, translation et Transformation homogène dans l'espace.
- Modélisation géométrique des robots manipulateurs : Paramètres de Denavit Hartenberg, Paramètres opérationnels et articulaires, Modèle géométrique directe et inverse, commande en position point à point.
- Modélisation cinématique, direct et inverse, commande en vitesse et suivi de trajectoire.
- Particularités géométriques des manipulateurs, espace de travail
- Transmission des vitesses et des efforts, manipulabilité, redondance
- Extension de la notion d'espace opérationnel à des robots mobiles
- TP 1 : Modèle géométrique inverse et commande point à point (robot 6 axes)
TP 2 : Modèle cinématique inverse et suivi de trajectoire (robot 3 axes)

Partie 2

- Qu'est-ce que l'IA? Problématique générale.
- Représentations des connaissances et logique et TD
- Algorithmes de recherche dans les espaces d'états et TD/TP
- Planification d'actions
- Raisonnement dans l'incertain, raisonnement bayésien et TD
- Processus décisionnels markoviens et TD/TP
- Rudiments d'Apprentissage machine.
- TP 1 : Algorithmes de recherche dans les espaces d'états
- TP 2 : Processus décisionnels markoviens

Pré-requis. Partie 1 Calcul vectoriel – Calcul matriciel – Algèbre linéaire. Partie 2 : pas de prérequis spécifique

Ressources mises à disposition des étudiants. Transparents utilisés lors des cours. Énoncés et corrigés des TDs.

Compétences développées dans l'unité.

Partie 1 :

- Connaître les différents composants d'un robot manipulateur
- Modéliser sa géométrie et sa cinématique
- Proposer des lois de commande pour le contrôler
- Connaître la géométrie des robots usuels en fonction des tâches requises

Partie 2 :

- Connaître des concepts de base de l'apprentissage et de l'apprentissage par renforcement appliquer des algorithmes de recherche dans des espaces d'état,

- Comprendre et appliquer le raisonnement bayésien et les processus markoviens.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentes Partie 1 : 24 h réparties en 6 séances de 2 h de cours, 4 séances de TD de 2 h, 2 séances de TP numériques de 2 h.

Heures présentes Partie 2 : 28 h réparties en 8 séances de 2 h de cours, 2 séances de TD de 2 h, 2 séances de TP numériques de 4 h.

Travail personnel attendu pour chaque partie : 30 – 40 h.

Évaluation. Pour chaque partie deux examens écrits (/75) + Une note de TP (/25).

Responsables. M. F. Ben Amar

Niveau CMI4 - **Semestre** S7 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU4RBI01- **Mention** Master Automatique et Robotique

Présentation pédagogique.

Cet enseignement présente les concepts fondamentaux de la Programmation Orientée Objet (POO) et a pour objectifs :

- D'acquérir la maîtrise des concepts fondamentaux de la POO (Classes, Objets, Héritage) et des mécanismes associés (encapsulation, abstraction) qui permettront d'écrire des programmes structurés.
- D'apprendre à modéliser sous la forme de classes un cahier des charges.

Le cours se structure autour d'exemples de modélisation en UML ainsi que du code Python (commenté) correspondant afin de permettre aux étudiants d'appréhender les notions essentielles. Des Travaux Dirigés et Pratiques leur permettent ensuite de se familiariser à leur mise en œuvre.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Cours 1 :

- Rappel d'algorithmie et de syntaxe Python
- Conditionnelles, boucles.
- Fonctions, bibliothèques de base (maths).
- Tableaux (et listes).

Cours 2 :

- Classes et Objets
- Attributs, méthodes, encapsulation.
- Constructeur, destructeur.
- Association / agrégation.
- Surcharge d'opérateurs (égalité, affichage, ...). Attributs et méthodes de classes.

Cours 3 : Héritage et Abstraction

Les TDs et TP s'articuleront autour de la problématique de la recherche du zéro d'une fonction par dichotomie ou par l'algorithme de Newton. Les étudiants commenceront par une implémentation (non objet) dans le cas des polynômes puis intégreront progressivement le code réalisé dans une modélisation objet de plus en plus complexe permettant de traiter diverses fonctions (sinus, exponentielle, somme de fonctions, ...). Un travail personnel sera demandé aux étudiants en début d'UE pour acquérir une bonne connaissance de la syntaxe Python (non objet).

Pré-requis. Notions d'algorithmie

Références bibliographiques.

- T. Ziade. Programmation Python. Editions Eyrolles, 2006.
- C. Delannoy. S'initier à la programmation. Editions Eyrolles, 2008.

Ressources mises à disposition des étudiants. PDFs des cours (slides), sujets de TD et TP, codes sources pour débiter les TP, quizz (via Moodle) pour l'évaluation.

Compétences développées dans l'unité.

- Acquérir les concepts de la programmation POO (en Python).
- Modéliser un cahier des charges simple en un diagramme UML.
- Proposer l'implémentation correspondante en Python.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 30 h réparties en 8 h cours, 3 séances de TD de 2 h, 4 séances de TP numériques de 4 h.

Travail personnel attendu : 30-50 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base de deux notes d'écrits (1 QCM + 1 examen final, 60 %) et d'1 note de TP (40 %).

Responsables. M. T. Dietenbeck.