

Syllabus Coursus Master Ingénierie, Mécanique.

Sorbonne Université CMI5

Parcours Computational Mechanics (Comp Mech)

Liste of Teaching Units

Semestre 9

- Technoscience, ethic and society
- Mécanique de la rupture
- Comportements non-linéaires des solides
- Endommagement
- Calcul numérique de structures non-linéaires
- Introduction to hydrodynamical instabilities
- Turbulence : dynamique et modélisation
- Numerical methods for fluid mechanics
- Quantification des incertitudes
- Projet en interaction fluide – structure

Semestre 10

- Certification
- Projet d'approfondissement
- Stage de fin d'études

Intitulé Unité d'Enseignement – Cycle Master – CMI5 –Semestre S9		Code	CM	TD	TP	AMS	Heures Présence	Travail Perso	ECTS
CMI 5 S9	Technoscience, ethic and society	MU5EEG03	16	8		24	24	40-60	6 *
	Parcours Computational Mechanics								
	Mécanique de la rupture	MU5MES02	30				30	30-40	3
	Endommagement	MU5MES05	30				30	30-40	3
	Comportements non-linéaires des solides	MU5MES03	30				30	30-40	3
	Calcul numérique de structures non-linéaires	MU5MES01	30				30	30-40	3
	Dynamique and modélisation de la turbulence	MU5MEF01	20	10			30	30-40	3
	Numerical methods for fluid mechanics	MU5MEF19	15	15			30	30-40	3
	Uncertainty quantification	MU5MEF39	14	14	6		30	30-40	3
	Option au choix						30	30-40	3
Project in Fluid Structure Interaction	MU5MES11						60-80	6	
Total CMI5 –Semestre S9 - Parcours Comp. Mech - 36 ECTS + 6*									

Intitulé Unité d'Enseignement – Cycle Master – CMI5 - Semestre S10		Code	CM	TD	TP	AMS	Heures Présence	Travail Perso	ECTS
CMI 5 S10	Certification TOIC /TOEFL	MU4LVANT				30		30-40	3*
	Projet d'approfondissement	MU5EEG04				40		50-60	3*
	Stage de fin d'études	MU5MES03					800	80-100	30
Total CMI5 –Semestre S10 – Parcours Comp. Mech. 30 ECTS + 6 *									

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

Semestre 9

Niveau CMI5 - Semestre S9 - Crédits 6 ECTS - Code MU5EEG03 – Mention Master

Présentation pédagogique.

L'objectif de ce cours est d'amener les étudiants à réfléchir sur les dimensions sociales et éthiques du métier d'ingénieur. Il s'intéresse aux relations complexes entre société et techniques et notamment au rôle des techniques en tant que porteuses de valeurs. Se reposant sur ces analyses, le cours explore ensuite les questions et dilemmes éthiques que les ingénieurs peuvent rencontrer dans l'exercice de leur travail. Une attention particulière est portée à l'examen de cas classiques en éthique de l'ingénierie, comme ceux de Three Mile Island et du pont du Québec. À l'issue de ce cours, les étudiants seront capables d'identifier les problèmes éthiques soulevés par les pratiques professionnelles. Ils feront aussi preuve de réflexivité sur leur future profession. Le cours est enseigné en anglais.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Introduction
- Déterminisme technique et construction sociale. Lire : T. Pinch et W. Bijker, *The Social Construction of Facts and Artifacts ?* Exposé : (aussi) Robert Heilbroner, *Do Machines Make History ?*
- Dispositifs, systèmes, et leur pouvoir d'action sur la société. Lire : B. Latour, *Where are the Missing Masses ? The Sociology of a Few Mundane Artifacts*. Exposé : (aussi) T.Hughes, *Technological Momentum*.
- Techniques et valeurs. Lire : J. Wetmore, *A. Technology : Reinforcing Values, Building Community*. Exposé : (aussi) Langdon Winner, *Do Artifacts Have Politics ?* et R. Weber, *Manufacturing Gender in Commercial and Military Cockpit Design*.
- Complexité et incertitude. Apporter : Proposition de mémoire Lire : D. Vinck, *Ingénieurs au quotidien*. Exposé : (aussi) Jameson Wetmore, *Engineering Uncertainty*.
- Ingénierie et expérimentation. Lire, exposé: M. Martin et R.Schinzinger, *Introduction to Engineering Ethics*, pp. 77-103.
- Les désastres techniques. Lire et exposé : S.K.A. Pfaitteicher, *Lessons amid the Rubble*, pp. 36-61.
- Ingénierie et sécurité. Lire et exposé : Mike Martin et Roland Schinzinger, *Ethics in Engineering*, p. 117-145.
- Ingénierie et environnement. Lire, exposé: Mike Martin et Roland Schinzinger, *Ethics in Engineering*, pp. 219-242.
- Nanotechnologies, génétique et robotique. Lire: Bill Joy, *Why the Future Doesn't Need Us*. Exposé : Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering, and Technology, *Nanotechnology : Shaping the World Atom by Atom*.

Pré-requis. Le corpus des enseignements d'ouverture sociétale et culturelle du parcours CMI suivis depuis la 1^e année.

Références bibliographiques. Bowen R. 2012. *Engineering Innovation in Health Care : Technology, Ethics and Persons*. HRGE, pp. 204-221. Collins, Harry & Trevor Pinch. 2002. *The Golem at Large : What You Should Know about Technology*. Cambridge University Press. Didier. Ch. 2008. *Penser l'éthique des ingénieurs*. Paris, PUF. Didier, C.. 2008. *Les ingénieurs et l'éthique : pour un regard sociologique*. Hermes Science publications. Heilbroner, Robert. 1967. *Do Machines Make History? Technology and Culture*, pp. 335-345. Hughes, T. 1994. *Technological Momentum*, in Marx, Leo & Merritt Roe Smith, *Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism*. Cambridge: MIT Press, pp. 101-113. Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering, and Technology, *Nanotechnology: Shaping the World Atom by Atom*, in Johnson, Deborah et Jameson Wetmore. *Technology and Society: Building Our Sociotechnical Future*. MIT Press Johnson, D. & Jameson W.. 2008. *STS and Ethics: Implications for Engineering Ethics*, in Hackett, Edward, Olga Amsterdamska, M. Lynch et J. Wajcman, *The Handbook of Science and Technology Studies*. Cambridge, MIT Press, pp. 567-582. Joy, Bill. Avril 2000. *Why the Future Doesn't Need Us*, *Wired*, pp. 238-262. Latour, B. 1992. *Where Are the Missing Masses? The Sociology of a Few Mundane Artifacts* in Wiebe Bijker et John Law, *Shaping Technology/Building Society: Studies in Socio-technical Change*. Cambridge, MIT Press, pp. 225-258. Martin, Mike & Roland Schinzinger. 2005. *Ethics in Engineering*. McGraw-Hill. Martin, M. & Roland S.. 2010. *Introduction to Engineering Ethics*. New York : McGraw- Hill. Pfattaicher, S. K. A. 2010. *Lessons Amid the Rubble*. Johns Hopkins University Press. Pinch, Trevor & Wiebe Bijker. 1987. *The Social Construction of Facts and Artifacts* in Wiebe Bijker, Thomas H., Trevor P., *The Social*

Construction of Technological Systems. Cambridge, MIT Press, pp. 17-50. Vinck, D. 1999. Ingénieurs au quotidien : ethnographie de l'activité de conception et d'innovation. Presses universitaires de Grenoble. Weber R.. 1997. Manufacturing Gender in Commercial and Military Cockpit Design, Science, Technology, & Human Values, pp. 235-253. Jameson. 2008. Engineering with Uncertainty: Monitoring Air Bag Performance, Science and Engineering Ethics, pp. 201-218. Jameson. 2009. Amish Technology: Reinforcing Values, Building Community in Johnson, D. et Jameson W.. Technology and Society: Building Our Sociotechnical Future. Cambridge: MIT Press. -Winner, Langdon. 1986. Do Artifacts Have Politics? The Whale and the Reactor: a Search for Limits in an Age of High Technology. University of Chicago Press, pp. 19-39.

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports des cours magistraux. Liste de livres.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Connaissance des dimensions sociales et éthiques du métier d'ingénieur.

Compétences développées dans l'unité.

- Perfectionnement de la connaissance de l'anglais. Amélioration de l'expression écrite.
- Formes de raisonnement pratiquées dans les sciences sociales.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 24 heures réparties en 16 h de cours, 8 h de TD. Travail personnel 40-60 h.

Évaluation. Participation aux séances : 20 %, Exposé : 20 %, Mémoire : 40 %, Soutenance du mémoire : 20 %.

Responsables. C. Lecuyer

Mécanique de la rupture fragile

Niveau CMI5 - **Semestre** S3 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** – **Mention** Master de Mécanique / Mécanique des solides. Matériaux et structures.

Présentation pédagogique.

Ce cours vise à exposer les bases de la théorie de la rupture fragile, telle qu'elle est couramment utilisée dans les laboratoires de recherche et l'industrie de pointe (nucléaire, aéronautique, ...) pour prédire et maîtriser la fissuration des matériaux. Les matériaux envisagés sont principalement des matériaux métalliques pour lesquels les étudiants ont une bonne culture (comportement à l'échelle de la structure cristalline) que ce soit via les cours de niveau CMI4 ou de CMI5.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Le cours inclut 2 chapitres sur les connaissances de base et un 3^e un peu plus spécialisé.

- Théorie d'Irwin du K_{Ic} .
- Théorie énergétique de Griffith,.
- Propagation de fissures en mode mixte.

Pré-requis. Mécanique des solides niveau CMI4.

Bonnes bases de mathématiques pratiques (algèbre et analyse élémentaires, équations différentielles, fonctions d'une variable complexe, calculs).

Références bibliographiques.

- Leblond J. B. , Mécanique de la rupture ductile et fragile, Hermes, 2003.
- Griffith A.A., The phenomena of rupture and flow in solide, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, série A, vol. 221, 1921, p. 163–198
- E. Erdogan (2000) Fracture Mechanics, International Journal of Solids and Structures, 27, p. 171–183.

Ressources mises à disposition des étudiants.

Notes de cours et annales.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- À l'issue de l'UE, l'étudiant(e) dispose des outils de base de la mécanique de la rupture fragile, exposés de manière exhaustive et détaillée, lui permettant soit de satisfaire aux exigences d'un bureau d'études en mécanique soit d'entreprendre une thèse dans le domaine.

Compétences développées dans l'unité.

- Calcul de propagation de fissures dans des cas simples.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 30 h (C et TD intégrés).

Travail personnel 30 – 40 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base d'un écrit d'une durée de 3 h.

Responsables. M. J.B. Leblond

Comportements non-linéaires des solides

Niveau CMI5 - **Semestre** S3 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** – **Mention** Master de Mécanique / Mécanique des solides. Matériaux et structures.

Présentation pédagogique.

Bilan des lois de comportement non linéaires dans un contexte thermodynamique classique.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Bref rappel des concepts de base de la mécanique des milieux continus, et des divers comportements des matériaux de structure
- Lois de bilan en thermomécanique des milieux continus : bilan de quantité de mouvement, bilan d'énergie et bilan d'entropie. Présentation de l'inégalité de Clausius-Duhem, et des dissipations (intrinsèque et thermique)
- Cadre des matériaux standards généralisés : méthode générale de formulation des lois de comportement ; rôle de l'inégalité de Clausius-Duhem. Notions de variables d'état, de variables internes, de fonctions d'état et de potentiels thermodynamiques. Équation de la chaleur. Construction et identification des grandes classes de modèle de comportement : rappels des modèles rhéologiques fondamentaux à base de ressort, patin et amortisseur. Cas des matériaux thermoplastiques, des matériaux thermo-viscoélastiques (modèle de Kelvin-Voigt, modèle de Maxwell)
- Élasto-plasticité et applications : Formulation de modèles élasto-plastiques parfaits. Prise en compte de l'érouissage (isotrope et/ou cinématique). Calculs thermo-mécaniques et résolution de problèmes simples de structures élasto-plastiques.
- Quelques notions sur des lois couplant élasticité et endommagement isotrope
- Comportements Élasto-visco-plastique. Présentation de quelques modèles de comportement dépendant du temps ; effet régularisant de la viscosité.

Pré-requis. Mécanique des solides niveau Master 1.

Références bibliographiques.

- H. Ziegler, An introduction to thermomechanics, North Holland, 1983
- P. Germain, Q. S. Nguyen, P. Squat, Continuum Thermodynamics, J. Appl. Mech., ASME 50, 1010-1021, 1983.
- J. Lemaître, J. L. Chaboche, Mechanics of Solids Materials, Cambridge University Press, 1990
- G. Maugin, The thermomechanics of plasticity and fracture, Cambridge University Press 1992
- Q. S. Nguyen, Stability and Nonlinear Solids Mechanics, Wiley, 2000
- M. Fremond, Non Smooth Thermomechanics, Springer Verlag, 2002,
- J. Lubliner, Plasticity Theory. Dover Publications Inc., Mineola, New York, 2008.
- H. Maitournam, Matériaux et Structures inélastiques, Éditions de l'École Polytechnique, 2016

Ressources mises à disposition des étudiants. Annales.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Maîtriser la modélisation des comportements non linéaires des matériaux.

Compétences développées dans l'unité.

- Choix d'un modèle pour une utilisation donnée.
- Identification d'une loi de comportement complexe à partir de données expérimentales fournies.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 30 h (C et TD intégrés).

Travail personnel attendu 30-40 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base d'un écrit d'une durée de 3 h.

Responsables. M. D. Kondo

Endommagement

Niveau CMI5 - **Semestre** S9 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU5MES05 – **Mention** Master de Mécanique / Mécanique des solides. Matériaux et structures.

Présentation pédagogique.

Les objectifs de cet enseignement sont :

- de fournir les bases théoriques de la mécanique de l'endommagement des matériaux quasi-fragiles, en particulier concernant la formulation de lois de comportements macroscopiques couplant élasticité et endommagement.
- d'étudier la problématique de l'initiation et de l'évolution de l'endommagement dans un cadre numérique afin d'aborder le caractère mal-posé des modèles d'endommagement locaux puis de proposer une ouverture vers plusieurs techniques de régularisation et les liens vers les modèles de rupture fragile.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Après une brève introduction sur l'origine microscopique de l'endommagement comme processus faisant évoluer les propriétés macroscopiques des matériaux, les séances de ce cours seront dédiées à :

- la formulation de la loi de comportement élastique-endommageable dans le cadre des processus thermodynamiques irréversibles (matériaux standards généralisés) ;
- l'introduction de la notion de critère d'endommagement (surface seuil), de force thermodynamique associée (taux de restitution d'énergie) et de loi d'évolution de l'endommagement ;
- l'implémentation simple d'un modèle d'endommagement isotrope dans un code de calcul aux éléments finis (FEniCS) ;
- l'étude du caractère mal-posé des modèles d'endommagement locaux (dépendance au maillage) et une présentation de différentes techniques de régularisation (modèles non-locaux) ;
- une mise en œuvre numérique de modèles à gradient d'endommagement (phase-field) pour la simulation de propagation de fissure dans les matériaux fragiles ;

Pré-requis. Mécanique des milieux continus. Thermodynamique, calcul numérique (méthode éléments finis).

Références bibliographiques.

- Lemaitre, J., Chaboche, J. L., Benallal, A., & Desmorat, R. (2009). Mécanique des matériaux solides-3^e édition. Dunod.
- Pijaudier-Cabot G., Mazars J. (2001). Damage models for concrete. in Handbook of Materials Behavior. Vol. II, Lemaitre J. (ed.), Academic Press
- Marigo, J.J., Maurini, C., & Pham, K. (2016). An overview of the modelling of fracture by gradient damage models. *Meccanica*, 51(12), 3107-3128.

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports de cours, Annales.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Modélisation de l'endommagement.
- Calcul de structures endommagées.
- Propagation de fissure.

Compétences développées dans l'unité.

- Implantation d'une loi d'endommagement dans un code de calcul.
- Respect des procédures lors du développement du code.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 30 h (C et TD intégrés) .

Travail personnel attendu 30-40 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base d'un écrit d'une durée de 3 h.

Responsables. M. D. Kondo & M. J. Bleyer

Calcul numérique des solides et structures non linéaires

Niveau CMI5 - **Semestre** S3 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** – **Mention** Master de Mécanique / Mécanique des solides. Matériaux et structures.

Présentation pédagogique.

L'enseignement a pour but de résoudre des problèmes de mécanique des solides non linéaires sur ordinateur en implémentant la méthode des éléments finis et les algorithmes de résolution. Les étudiants seront initiés à l'utilisation des outils modernes de calcul scientifique à haute performance (FEniCS, PETSc) des outils de visualisation (paraview) et de gestion de projet (git).

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Élasticité linéaire, formulation variationnelle, discrétisation : Rappel sur la résolution d'un problème de mécanique par éléments finis. Prise en main de python et FEniCS, Résolution d'un problème d'élasticité par FEniCS.
- Élasticité non linéaire : Élasticité non-linéaire, linéarisation, flambement, stabilité. Résolution d'un problème d'élasticité non linéaire, flambement et post-flambement.
- Dynamique non linéaire : Méthodes implicite, explicite. Résolution de problème de dynamique non linéaire.
- Projet : travail sur un projet en binôme.

Pré-requis. Mécanique des milieux continus • Connaissance d'un langage de programmation (idéalement python), • Cours de base d'éléments finis et méthodes numériques

Références bibliographiques.

- Belytschko T., Liu W. K. and Moran B., Non linear finite elements for continua and structures, 2000, Wiley.
- Dhatt G., Touzot G. et Lefrancois E., Une présentation de la méthode des éléments finis, 2005, Hermes.
- Holzapfel G.A., Nonlinear solid mechanics, 2000, Wiley.
- Scott R., Introduction to Automated Modeling with Fenics, 2018, Computational Modeling Initiative LLC.
- Langtange, P. and Logg A., Solving PDEs in Python, 2017, Springer.
- Davide Bigoni Nonlinear Solid Mechanics Bifurcation Theory and Material Instability, 2012, Cambridge University Press.
- Wriggers, P., Nonlinear finite element method, 2008, Springer.
- Bonnet M., Frangi A., Rey C., The finite element method in solid mechanics, 2014, McGraw Hill.

Ressources mises à disposition des étudiants. Annales.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Capacité de développer un code numérique basé sur la méthode des éléments finis pour résoudre un problème d'élasticité linéaire et non-linéaire en statique ou dynamique en utilisant le langage python et la librairie FEniCS
- Élasticité non linéaire, méthodes explicites et implicites pour la dynamique des structures, étude numérique de bifurcation et stabilité dans le cadre quasi-statique.
- Introduction aux systèmes de gestion de révision (git), Introduction aux outils de visualisation et maillage, Utilisation des solveurs de systèmes d'équations linéaires et non-linéaires à grande dimension

Compétences développées dans l'unité.

- Travail en groupe dans le cadre du projet proposé.
- Rapport et exposé.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 30 h (C et TD intégrés).

Travail personnel attendu 30-40 h.

Évaluation.

L'évaluation se fait sur la base d'un écrit d'une durée de 3 h et d'un rapport associé à une mini soutenance.

Responsables. M. D. Duhamel, M. C. Maurini

Dynamique et modélisation de la turbulence 1

Niveau CMI5 - **Semestre** S9 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU5MEF01 Master de Mécanique - Mécanique des fluides et applications.

Présentation pédagogique.

L'objectif de cet enseignement est prodiguer les bases concernant la théorie physique de la turbulence et de sa modélisation statistique en vue de sa simulation numérique. Une présentation des différents concepts de bases et des outils théoriques sera donnée.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Le cours est articulé comme suit :

- Introduction & définition d'un écoulement turbulent
- Concepts et outils de base (introduction à la description et à la modélisation statistiques)
- Turbulence isotrope : dynamique et modélisation
- Turbulence homogène anisotrope : définition au sens de Craya, théorie de la distorsion rapide, cas du cisaillement pur
- Couche limite turbulence : effets qualitatifs de la présence d'une paroi solide, équations moyennées, analyse physique des résultats de mesures et de simulations, solution analytique pour le champ moyen, dynamique des structures cohérentes, notion de très grandes échelles de mouvement et écart à la théorie, notion de cycle dynamique autonome et régénération de la turbulence

Pré-requis. Connaissance de base en mécanique des fluides

Références bibliographiques.

- Pope, S.B., Turbulent flows, Cambridge University Press, 2000
- Tennekes-Lumley A first introduction to turbulence The MIT press 1972

Ressources mises à disposition des étudiants. Notes de cours

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Modélisation écoulements turbulents (isotrope ou non).
- Couche limite en turbulence.

Compétences développées dans l'unité.

- Manipuler les différentes équations de la turbulence.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 30 h réparties en 20 h CM, 10 h de TD.

Travail personnel attendu : 30-40 h.

Évaluation. Examens : examen 1 (50 %) et examen 2 (50 %).

Responsables. S. Chibbaro

Numerical methods for fluid mechanics

Niveau CMI5 - **Semestre** S9 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU5MEF16 Master de Mécanique - Mécanique des fluides et applications.

Présentation pédagogique.

L'objectif du cours est d'amener le public à un haut niveau de compréhension de la dynamique numérique des fluides avec des mailles non structurées ajustées au corps. Le cours se concentrera principalement sur les méthodes des volumes finis et des éléments finis pour les équations de Navier-Stokes, incompressibles et compressibles avec ou sans modèles de turbulence. La génération de maillages sera également abordée. Le contenu de logiciels bien connus comme Fluent sera également analysé. Des illustrations et des exercices numériques seront réalisés avec notre logiciel open source interne freefem++.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Les équations de Stokes et les difficultés expliquées sur une grille uniforme de différences finies. Formulations variationnelles pour les équations de Navier-Stokes incompressibles. Génération de maillage et adaptation. Un solveur d'approximation par éléments finis de convection-diffusion et de projection de pression. Une méthode de volume fini pour les équations de Navier-Stokes compressibles. Difficultés et solutions pour le modèle de turbulence k-epsilon ; lois de paroi et forme faible des conditions aux limites.

Pré-requis. Notions de base des EDP, connaissance d'un langage de programmation appréciée.

Références bibliographiques.

- <https://freefem.org/>

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

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Approche variationnelle des équations de Stokes
- Volumes finis et différences finies.
- Forme faible des conditions aux limites.

Compétences développées dans l'unité.

- Programmation sur FreeFem++ des équations de Navier Stokes dans le cas étudié.
- Écrire les différentes équations et conditions aux limites.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 30 h (15 h CM et 15 h TD). Travail personnel attendu : 30-40 h.

Évaluation. Examen écrit final.

Responsables. F. Hecht & O. Pironneau

Quantification des incertitudes en CFD

Niveau CMI5 - **Semestre** S9 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU5MEF39 Master de Mécanique - Mécanique des fluides et applications.

Présentation pédagogique.

L'objectif de ce cours est de se familiariser avec les concepts/outils de quantification des incertitudes et la modélisation stochastique/statistique des problèmes d'ingénierie et plus particulièrement dans le cadre de la mécanique des fluides numériques (CFD). Différentes méthodes stochastiques s'appuyant sur la théorie des probabilités seront abordées pour venir enrichir la prédiction numérique déterministe classique du système mécanique. Ces techniques permettent notamment un meilleur contrôle de l'erreur numérique, l'obtention « barres d'erreur », l'identification des paramètres influents cad l'étude de la sensibilité du système, la propagation des incertitudes, l'analyse de risque.

Les modèles stochastiques et méthodes numériques présentés seront implémentés pour des exemples concrets d'écoulements fluides lors de TP sur ordinateur avec le logiciel Matlab.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Le cours est organisé comme suit :

- Introduction à la quantification des incertitudes en mécanique numérique
- Rappels de probabilités/statistiques
- Introduction aux méthodes de simulation stochastiques
- Formalisme et dérivation des représentations spectrales stochastiques
- Méthodes de résolution numériques
- Optimisation robuste
- Applications : illustration sur des exemples concrets d'écoulements fluides revisités dans un contexte incertain

Pré-requis. Maîtrise de notions de base en probabilités et statistiques facilite la compréhension et l'acquisition des concepts de cette UE.

Références bibliographiques.

- Stochastic finite elements, Ghanem & Spanos, Dover 2003
- Numerical methods for stochastic computations : a spectral methods approach, Xiu, Princeton University 2010
- Stochastic Simulation: Algorithms and Analysis, Asmussen & Glynn, Springer 2007

Ressources mises à disposition des étudiants. Notes de cours

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Modélisation des incertitudes et de leur propagation.

Compétences développées dans l'unité.

- Identifier les paramètres influents.
- Implanter et un modèle stochastique dans Matlab.
-

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiellles totales : 34 h réparties en 14 h CM, 14 h de TD et 6 h de TP. Travail personnel attendu : 30 - 40 h.

Évaluation. Compte-rendu de TP Matlab (20 % + 30 %) + 1 examen final écrit (50 %)

Responsables. Arnaud Antkowiak

Projet en Interaction Fluides-Structures

Niveau CMI5 - **Semestre** S9 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU5MES11 Master de Mécanique - Mécanique des solides

Présentation pédagogique.

Ce projet a pour objectif la mise en pratique de toutes les notions vues en cours sur la base d'une étude de cas en interaction fluides structures. Les étudiants devront principalement confronter des méthodes analytiques à des solutions numériques et ce après une étude bibliographique qui leur permettra d'effectuer un choix raisonné des méthodes à utiliser.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Le contenu est associé au sujet qui couvre (plus ou moins) l'ensemble du programme.

Pré-requis. L'ensemble des cours de master.

Références bibliographiques. Dépendent du sujet et doivent être cherchées par les étudiants.

Ressources mises à disposition des étudiants. Notices des logiciels, outils de recherche bibliographique.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Complément de formation spécifique au sujet travaillé.

Compétences développées dans l'unité.

- Appliquer les concepts vus en cours à des cas pratiques.
- Choisir les méthodes numériques adaptées.
- Programmer, utiliser des codes de calculs.
- Rédiger et présenter un rapport de stage.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 4 h de présentation du projet. Travail personnel attendu : 60 - 80 h.

Évaluation. Rapport de projet écrit (50 %), soutenance orale (50 %).

Responsables. J.M. Fullana et C. Maurini

Semestre 10

Projet d'approfondissement

Niveau CMI5 - **Semestre** S10 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU5EEG04 – **Mention** Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Ce projet d'approfondissement vient en complément de la spécialisation et peut prendre différentes formes. Il peut représenter le suivi d'une unité optionnelle de spécialité supplémentaire au semestre S9 pour élargir le socle de connaissances ou bien valoriser une partie bibliographique du stage qui aurait été significative, ou encore être associé à une production scientifique par exemple dans le cadre du stage (présentation dans un colloque scientifique, soumission d'une publication). Il peut également valoriser un investissement associatif important ou encore traduire la validation d'un enseignement sous forme de MOOC (par exemple, un enseignement partagé sur la plate forme European Virtual Exchange du réseau d'universités partenaires de Sorbonne Université Alliance 4eu+ : Université Charles de Prague (République Tchèque), d'Heidelberg (Allemagne) et de Varsovie (Pologne), universités de Milan (Italie) et de Copenhague (Danemark)) . Ce projet est généralement mené de façon individuelle.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Dépendant de la forme du projet

Pré-requis minimum. Les connaissances acquises dans l'ensemble des unités d'enseignement depuis le CMI1.

Références bibliographiques. Fonction du sujet de projet.

Ressources mises à disposition des étudiants. Fonction du sujet de projet et de son environnement.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité

- Fonction du sujet de projet.

Compétences développées dans l'unité.

- Prendre du recul sur son parcours de formation.
- Savoir gérer un projet personnel avec engagement, le défendre avec conviction.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Travail personnel attendu : 30 - 40 h environ (et souvent plus).

Évaluation. Évaluation généralement sous la forme d'une note du rapport écrit, de soutenance orale et d'implication.

Responsables. Y. Berthaud, H. Dumontet.

Stage de fin d'études

Niveau CMI5 - **Semestre** S10 - **Crédits** 30 ECTS - **Code** MU5MES03 - **Mention** Master Mécanique

Présentation pédagogique.

Ce stage de fin d'études se déroule sur 24 semaines en fin de la formation. L'objectif est de permettre à l'étudiant d'acquérir un comportement d'ingénieur, notamment l'autonomie et la capacité à travailler en équipe avec efficacité dans l'entreprise, en s'appuyant sur les connaissances acquises durant sa formation et les compétences développées dans les activités de mise en situation (projets, et précédents stages). Il consolide la spécialisation et valide ces acquis.

Ce stage peut se dérouler en France ou à l'étranger, en entreprise (généralement des départements de Recherche et Développement de grands groupes industriels) ou laboratoire de recherche (à condition que l'étudiant ait alors une expérience significative de stage en entreprise). Il conduit à la rédaction d'un rapport et d'une soutenance en français ou en anglais. La soutenance est effectuée devant un jury mixte composé de membres de l'équipe pédagogique et d'extérieurs dont l'encadrant en entreprise dans le cas d'un stage en entreprise.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Les responsables de parcours valident la cohérence du sujet, son adéquation avec la spécialité de la formation, avec le projet professionnel de l'étudiant et ses résultats académiques. Ce stage fait l'objet d'une convention de stage signée par l'entreprise / laboratoire, l'université et l'étudiant.

Pré-requis minimum. L'ensemble des connaissances et compétences développées depuis le début du cursus.

Ressources mises à disposition des étudiants.

- Liste et descriptif des sujets de stage antérieurs. Offres de stage.
- Procédures de validation, directives de rédaction, conventions stage.
- Ressources bibliographiques en fonction du sujet.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Propres à chaque stage selon le sujet domaine d'activités de l'entreprise / laboratoire et les missions confiées.

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir participer à un travail d'équipe, prendre des initiatives, savoir se situer et acquérir de l'autonomie.
- Savoir mettre en œuvre ses connaissances et les appliquer à un sujet ouvert nouveau.
- Être capable de respecter un cahier des charges, des délais.
- Être responsable de la qualité de son travail.
- Prendre du recul par rapport à son expérience, prendre confiance dans l'insertion professionnelle.
- Savoir communiquer sur son travail à l'écrit et oral.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel. 24 semaines de stage à temps plein entre mars et fin août.

Évaluation. Rapport de stage (/35, une cinquantaine de pages hors annexes), évaluation des tuteurs (/30), soutenance orale (/35, 25 minutes d'exposé, 25 minutes de questions).

Responsables. Responsables des parcours, M. Y. Berthaud et Mme H. Dumontet (responsables du CMI).