

Master de Mécanique

1^{ère} année

**Parcours Mécanique des Solides :
Matériaux et Structures (MS2)**

Sorbonne Université

Semestre 1 (30 ECTS)

U.E. Tronc Commun :

MU4MEM01 : Mécanique des milieux continus fluides et solides (6 ECTS)

MU4MEM03 : Ondes et vibrations (6 ECTS)

MU4MEN01 : Calcul scientifique, traitement du signal et des données (6 ECTS)

MU4MEOI1 : Orientation et insertion professionnelle (3 ECTS)

U.E. Spécialité :

MU4MES01 : Analyse des structures par éléments finis en élasticité linéaire (6 ECTS)

MU4MES02 : Comportement des matériaux solides (3 ECTS)

Mécanique des milieux continus solides et fluides

Niveau M1 - Semestre S1 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MEM01 - Mention Master de Mécanique/MS2

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 présentiels 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)

Ondes et vibrations

Niveau M1 - Semestre S1 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MEM03 – Mention Master de Mécanique/MS2

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 %).

Calcul scientifique, Traitement du signal et des données

Niveau M1 - Semestre S1 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MEN01 – Mention Master de Mécanique/MS2

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).

Orientation Professionnelle

Niveau M1 - Semestre S1 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MEOI1 - Mention Master de Mécanique/MS2

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 présentielles 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.

Analyse des structures par éléments finis en élasticité linéaire

Niveau M1 - Semestre S1 - Crédits 6 ECTS - Code MU4MES01 – Mention Master de Mécanique/MS2

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. [SEP]
- Travaux pratiques numériques, ex: 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...

Pré-requis. Bases de mécanique des milieux continus développées en 3^e année (L3) et 4^e année (M1, tronc commun). Équations aux dérivées partielles (formulation faible, cours de 3^e année), algèbre linéaire et méthodes numériques (cours de 3^e année, L3). [SEP]

Références bibliographiques.

- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Éditions de l'École Polytechnique, 2006.
- J.L. Batoz, G. Dhatt, Modélisation des structures par éléments finis, Hermès, 1992.
- 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 : 52 h réparties en 20 h de cours, 12 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 de rapports de TP et DM (40 %).

Comportement des matériaux solides

Niveau M1 - Semestre S1 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MES02 – Mention Master de Mécanique/MS2

Présentation pédagogique.

Ce cours a pour objectif de faire découvrir aux étudiants les grandes classes de matériaux et le lien entre structure et propriétés mécaniques. Nous aborderons leur caractérisation expérimentale et leur description phénoménologique. Les origines microstructurales de l'élasticité (enthalpique et entropique) et de la plasticité dans les matériaux cristallins seront présentées.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

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

Pré-requis.

- Cours de Mécanique des Milieux Continus et de Physique du solide.

Références bibliographiques.

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

Ressources mises à disposition des étudiants.

- Diapositives de cours. Sujets de TD.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Structure de la matière et lien avec le comportement mécanique des matériaux
- Description phénoménologique des grandes classes de comportement

Compétences développées dans l'unité.

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

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

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

Évaluation.

- L'évaluation se fera sur la base d'un examen de 2h.

Semestre 2 (30 ECTS)

U.E. Tronc Commun :

MU4MEM02 : Méthodes numériques pour la dynamique (3 ECTS)

MU4MEAN2 : Anglais (3 ECTS)

MU4MEST1 : Stage (6 ECTS)

U.E. Spécialité :

MU4MES03 : Structures élancées (6 ECTS)

MU4MES04 : Plasticité (3 ECTS)

MU4MES05 : Pratiques de codes de calcul de structures et applications I (3 ECTS)

MU4MES07 : Composites materials and structures [English] (3 ECTS)

MU4MES08 : Calcul et dimensionnement de structures (3 ECTS)

Méthodes numériques pour la dynamique

Niveau M1 - Semestre S2 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MEM02 – Mention Master de Mécanique/MS2

Présentation pédagogique.

L'objectif de cette unité d'enseignement est de compléter la formation en méthodes numériques de l'étudiant dans le domaine d'expertise de son parcours type de master. L'unité comporte une partie applicative sous forme de travaux pratiques guidés.

L'accent est mis sur les schémas itératifs de discrétisation temporelle pour des problèmes évolutifs en temps et le couplage avec une discrétisation par éléments finis. Le lien sera fait avec les méthodes implémentées dans des logiciels de calcul mécanique industriels.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Introduction : Position du problème d'intégration temporelle pour des problèmes de dynamique des structures semi-discrétisés en espace par la méthode des éléments finis.
- Méthodes modales : décomposition modale, résolution du problème découplé, rôle de l'amortissement.
- Schémas d'intégration en temps :
 - Schémas aux différences finies explicites. Exemple à 1 ddl, Euler explicite.
 - Stabilité, cohérence et convergence d'un schéma: définitions et exemple d'Euler explicite scalaire.
 - Application aux systèmes d'ordre 2 : analyse par réduction à un système d'ordre 1
 - Extension aux schémas implicites et à d'autres familles.
- Application à la dynamique des structures (système d'ordres 2 possiblement amortis)
 - Méthodes de la famille de Newmark. Présentation et implémentation.
 - Conditions de stabilité et ordre des schémas.
 - Cas particuliers : Méthode de l'accélération moyenne, accélération linéaire et différence finies centrée.
 - Extensions possibles et lien avec l'existant dans des logiciels industriels.

Pré-requis. Cours d'analyse des structures par éléments finis (MU4MES01), d'Ondes et Vibrations (MU4MEM03), de méthodes numériques et calcul scientifique de L3 et M1 (LU3ME005, MU4MEN01).

Références bibliographiques.

Pour le parcours Mécanique des Solides : matériaux et structures

- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Ellipses, 2007.
- M. Géradin, D. J. Rixen, Théorie des vibrations : application à la dynamique des structures, Masson, 1996.
- C. Besse, Résolution numérique des Équations Différentielles Ordinaires, Cours de L3, 2016.
- Documentations des logiciels Abaqus et LS-DYNA (module de Ansys).

Ressources mises à disposition des étudiants. Documents de cours et sujets de TP. Ressources bibliographiques théorique et numériques.

Compétences développées dans l'unité.

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

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 28 h réparties en 8 h de cours et 20 h de TD/TP sur machine.

Travail personnel attendu : 50 h – 60 h

Évaluation. L'évaluation se fait sur la base d'un examen écrit de 2 h (/60) et de 4 compte-rendus de TP (/40)

Stage d'application

Niveau M1 - **Semestre** S2 - **Crédits** 6 ECTS - **Code** MU4MEST1 - **Mention** Master Mécanique/MS2

Présentation pédagogique.

Ce stage d'application en fin de CMI4 est d'une durée de 10 à 12 semaines. L'étudiant met en oeuvre ses connaissances et compétences acquises dans les enseignements sur un sujet donné qui s'inscrit dans une problématique industrielle ou de recherche et les approfondit dans son domaine de spécialité.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

Le stage est réalisé en entreprise ou en laboratoire de recherche en France ou à l'étranger. La recherche de ce stage est effectuée par l'étudiant lui-même. Il est accompagné dans cette recherche dans le cadre de l'unité d'orientation professionnelle (MU4MEOI1).

Pré-requis minimum. Le corpus des enseignements suivis depuis le début du cursus.

Ressources mises à disposition des étudiants.

- Liste des stages des promotions antérieures.
- Divers documents, bases de données, ateliers mis en place dans le cadre de l'unité d'Orientation professionnelle et service de la Faculté dont une base de référencement d'entreprises (Kompass).
- Les étudiants ont accès à la plateforme du réseau national Figure destinée aux étudiants des CMI pour les accompagner dans leurs recherches de stage ou d'emploi, ou tout simplement pour s'informer de l'état du marché du travail
- <https://cmi-figure.jobteaser.com> <https://www.youtube.com/watch?v=AFQiQKVXtuo>
- Procédures de validation, conventions de stage.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Propres à chaque stage selon le 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 oeuvre ses connaissances et les appliquer à un sujet 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.
- Savoir communiquer sur son travail à l'écrit et oral.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel. Dix à douze semaines de stage à temps plein entre mai et fin août.

Évaluation.

Rapport de stage (/25 entre 25 à 30 pages), évaluation des tuteurs (/25), soutenance orale (/25 , 15 minutes d'exposé, 15 minutes de questions), réalisation d'un poster (/25).

Structures élancées

Niveau M1 - Semestre S2 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MES03 – Mention Master de Mécanique/MS2

Présentation pédagogique.

L'objectif de ce cours est d'initier les étudiants à la théorie des poutres et des plaques élastiques linéaires et non linéaires et à l'utilisation des approches variationnelles en mécanique des structures, avec une introduction aux non-linéarités géométriques et aux problèmes de stabilités.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Exemples de structures élancées, classification et introduction à leur modélisation. Introduction aux calculs des variations : problème modèle de calcul des variations, études de fonctionnelles, minimisation de fonctionnelles et équation d'Euler-Lagrange
- Barres, fils et poutres
 - Barres en traction/compression et poutres en flexion, modèles linéaires : rappel de la cinématique et énergie potentielle, théorème de minimum de l'énergie potentielle, traitement des différents types de conditions aux limites, traitement des discontinuités
 - Structures monodimensionnelles avec non-linéarités géométriques : théorie non-linéaire des fils et des poutres. Stabilité d'un équilibre, bifurcation, flambement. Approximation par des modèles discrets.
- Plaques et membranes
 - Formulation variationnelle pour le problème de plaques linéaires : modèles de Love-Kirchhoff et de Mindlin. Solutions exactes, solutions par séries et solutions approchées.
 - Plaques faiblement non-linéaires : modèle de Von-Karman. Flambement des plaques, modèles réduits, exemples de plaques multistables.

Pré-requis. Bases de mécanique des milieux continus et résistance des matériaux développées dans les enseignements de 3^e année (LU3ME004, LU3ME006) et de 4^e année (MUEM01). Calcul différentiel, équations aux dérivées partielles et formulations faibles (LU3ME003).

Références bibliographiques.

- J.J. Marigo, Mécanique des Milieux continus I, Edition Ecole Polytechnique, 2018.
- Q.S. Nguyen, Stabilité et mécanique non-linéaire, Edition Hermès, 2000
- J.N. Reddy, Theory and analysis of elastic plates, Edition Taylor & Francis 1999.
- B. Audoly and Y. Pomeau, Elasticity and geometry: from hair curls to the nonlinear response of shells, Oxford University Press E.H. Mansfield, The bending and stretching of plates, Cambridge University Press, 1989

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

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Modèles classiques de poutres (barres, fils, poutres) et de plaques linéaires et non linéaires.
- Méthodes classiques de résolution.
- Introduction aux non linéarités géométriques : flambement et perte d'unicité des solutions, stabilité de structures.
- Formulations variationnelles d'un problème de plaque.

Compétences développées dans l'unité.

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

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 51 h réparties en 24 heures de cours, 24 heures de TD, 3 h de TP.

Travail personnel attendu : 60 h – 80 h.

Évaluation. L'évaluation se fait sur la base de deux écrits d'une durée de 2 h chacun.

Plasticité et Viscoplasticité

Niveau M1 - Semestre S2 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MES04 – Mention Master de Mécanique

Présentation pédagogique.

L'objectif de ce cours est présenter les modèles classiques de comportements élastoplastiques et élastoviscoplastiques des matériaux solides (métaux, sols, bétons,...) en se limitant essentiellement aux petites transformations. Une attention particulière sera portée à la résolution de structures élasto(disco)plastiques.

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Les différentes classes de matériaux de structures - Mécanismes de déformation plastique
- Comportement élasto-plastique en petites transformations.
- Problèmes d'élasto-plasticité en petites transformations.
- Comportement et problèmes de structures viscoplastiques.

Pré-requis. Cours de mécanique des milieux continus de L3 (LU3ME004, LU3ME006) et du premier semestre de M1(MU4MEM01), ainsi que le cours de comportement des matériaux du premier semestre de M1 (MU4MES02).

Références bibliographiques.

- P. De Buhan, Plasticité et Calcul à la Rupture, Presses des Ponts et Chaussées, 2007.
- B. Halphen et J. Salençon, Elasto-Plasticité, Presses Ponts et Chaussées, 1987.
- J. Lubliner, Plasticity theory, Macmillan Publishers, 1990

Ressources mises à disposition des étudiants. Cours, transparents de cours, les sujets de TD et corrigés, des Annales.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Formulations de lois de comportement non linéaire élasto-plastique en petites transformations, éléments de viscoplasticité
- Résolution de problèmes de structures en élasto(visco)plasticité

Compétences développées dans l'unité.

- Savoir identifier le comportement de matériaux solides non linéaires classiques, savoir formuler des lois de comportement élasto(disco)plastiques.
- Savoir poser et résoudre des problèmes de structures en élasto(visco)plasticité

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 27 h réparties en 13 heures de cours et 14 heures de TD.

Travail personnel attendu : 30 h – 40 h.

Évaluation. L'évaluation se fait sur la base d'un examen écrit de 2 heures.

Pratiques de codes de calcul de structures et applications I

Niveau M1 - Semestre S2 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MES06 – Mention Master de Mécanique/MS2

Présentation pédagogique.

L'objectif de ce cours est l'apprentissage et la pratique d'un code de calculs par éléments finis utilisé pour la simulation de problèmes industriels en mécanique des structures. Cet apprentissage se fait sur le code industriel ABAQUS, permettant en particulier aux étudiants d'acquérir des premières compétences opérationnelles recherchées pour leur stage industriel. Il s'inscrit dans la continuité du cours d'analyse de structures par éléments finis de 4^e année (MU4MESO1).

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

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

Pré-requis. Analyse des structures par éléments finis de 4^e année (MU4MESO1). Bases de la mécanique des milieux continus et des structures de 3^e année (LU3ME004, LU3ME006) et de 4^e année (MU4MEM01, MU4MES02). Analyse, Algèbre linéaire et méthodes numériques de 3^e année (LU3ME005) et 4^e année (MU4MEN01).

Références bibliographiques.

- M. Bonnet et A. Frangi, Analyse des solides déformables par la méthode des éléments finis, Éditions de l'École Polytechnique, 2006.

Ressources mises à disposition des étudiants. Logiciel en salles de TP et en salle libre-service. Tutoriaux, documentations des logiciels.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Solutions numériques de problèmes classiques de thermique, élasticité statique.
- Structuration d'un code industriel
- Algorithmes instationnaires

Compétences développées dans l'unité.

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

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentiels totales : 28 heures de TP sur machine.

Travail personnel attendu : 40 h – 50 h.

Évaluation. L'évaluation se fait sur la base d'un examen sur machine de 3h.

Composite materials and structures

Niveau M1 - **Semestre** S2 - **Crédits** 3 ECTS - **Code** MU4MES07 – **Mention** Master de Mécanique/MS2

Calcul et dimensionnement de structures

Niveau M1 - Semestre S2 - Crédits 3 ECTS - Code MU4MES08 – Mention Master de Mécanique/MS2

Présentation pédagogique.

L'objectif de ce cours est d'illustrer et d'appliquer les enseignements de résistance des matériaux, calculs de structures dans des applications relevant du domaine de la construction. Les étudiants sont initiés au calcul réglementaire de structures du génie Civil, introduits au vocabulaire technique et à la démarche de dimensionnement pratiqués dans un bureau d'études. Cette unité vise ainsi à préparer l'étudiant à des missions futures de stage dans ce secteur d'activités

Contenu de l'Unité d'Enseignement.

- Introduction. Principes de calcul. Calcul réglementaire. Actions et sollicitations. Calcul du moment de flexion agissant sur une poutre d'un bâtiment pour un calcul à l'ELS (État Limite de Service) et puis l'ELU (État Limite Ultime).
- Principes généraux du béton armé. Aciers d'armature. Application de la loi de Hooke sur un exemple unidirectionnel puis calcul de contrainte induite par gradient thermique (structure mixte acier/composite).
- Matériau béton. Valeurs de calculs des propriétés des matériaux. Association béton-armature.
- Caractéristiques géométriques des sections + Exercice de calcul d'inertie homogénéisé d'une section de structure mixte bois/composites.
- Principes de dimensionnement vis-à-vis de sollicitations normales (traction compression). Exercice complet de dimensionnement d'un tirant en BA puis Exercice complet de dimensionnement d'un poteau en BA.
- Principes de dimensionnement vis-à-vis de la flexion simple puis exercice complet de dimensionnement d'une poutre en BA.
- Exercices de révision au choix des élèves et/ou rattrapage d'un éventuel retard sur le programme.

Pré-requis. Mécanique des milieux continus de 3^e année (LU3ME004, LU3ME006) et de 4^e année (MU4MEM01). Comportement de matériaux solides (MU4MES02), plasticité et analyse limite (MU4MESO4), structures élastiques (plaques, poutres) de 4^e année (MU4MES03).

Références bibliographiques.

- C. Chèze, Résistance des matériaux - Dimensionnement des structures, Ellipses, 2012.
- F. Frey, Analyse des structures et milieux continus, Traité de Génie Civil de l'École Polytechnique de Lausanne, 2013.
- P. Guillemont, Aide-mémoire des ouvrages en béton armé : Règles générales - Poteaux, poutres, dalles, planchers-dalles, Dunod, 2018.

Ressources mises à disposition des étudiants. Supports de cours et sujets d'exercices.

Connaissances scientifiques développées dans l'unité.

- Comportement des matériaux de construction, béton, acier, bois.
- Connaissances des bases du calcul de structures réglementaire, Eurocodes.

Compétences développées dans l'unité.

- Mise en application de connaissances de résistance des matériaux de matériaux hétérogènes dans un contexte applicatif.
- Calcul de d'éléments de structures.
- Dimensionnement de structures dans un cadre réglementaire.

Volumes horaires présentiel et hors présentiel.

Heures présentielles totales : 24 h réparties en 12 heures de cours, 12 heures de travaux dirigés.
personnel attendu : 30 h – 40 h.

Évaluation. L'évaluation se fait sur la base d'un examen écrit de 3 heures (/100).

