



MSS - Mécanique des Solides et des Structures - S6



MÉCANIQUE DES SOLIDES DÉFORMABLES

CONTINUUM MECHANICS OF SOLIDS

Responsable(s): Jean-Jacques SINOÛ, Fabrice THOUVEREZ

| Cours : 16.0 | TD : 14.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 0.0 | BE : 0.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Le premier objectif de l'enseignement est d'introduire la déformabilité des solides dans le contexte de la Mécanique des Milieux Continus. Les notions de déformations et de contraintes sont présentées puis explicitées en petites perturbations. Les équations de l'élastodynamique sont établies et les principaux théorèmes énergétiques sont présentés.

Le deuxième objectif est de présenter les principaux outils de dimensionnement des structures mécaniques. Les modes de vibrations sont introduits et leurs propriétés sont utilisées pour calculer les réponses dynamiques d'une structure par synthèse modale.

Mots-clés : Déformations, Contraintes, Solides Elastiques, Elastodynamique, Méthodes énergétiques, Modes continus, Synthèse modale, Méthode de Rayleigh-Ritz, Modes discrets, Méthode des éléments finis

Programme

Chapitre 1 : Cinématique des milieux continus
Chapitre 2 : Contraintes et équilibre des milieux continus
Chapitre 3 : Lois de comportement - élastodynamique
Chapitre 4 : Formulation variationnelle des problèmes
Chapitre 5 : Modèle structuraux – notions de modes continus
Chapitre 6 : Analyse et synthèse modale
Chapitre 7 : Méthode de Rayleigh Ritz – modes discrets
Chapitre 8 : Méthode des éléments finis

Compétences

- Maîtriser les notions de base de déformations et de contraintes pour le solide déformable
- Savoir poser un problème d'élastostatique et le résoudre analytiquement pour des configurations simples, en vue d'un dimensionnement
- Savoir mettre en oeuvre les outils de l'analyse et de la synthèse modale pour prévoir le comportement dynamique d'une structure simple
- Maîtriser la méthode d'approximation de Rayleigh-Ritz et son positionnement vis-à-vis de la méthode des éléments finis

Travail en autonomie

Objectifs : Auto-apprentissage à l'aide des exercices facultatifs distribués en TD et de certains corrigés mis à disposition.

Méthodes : Les élèves reçoivent deux documents d'une quarantaine de questions pour l'assimilation continue du cours. Les questions permettent à l'apprenant de valider les acquis.
Deux micro-tests sont programmés sur la base de ces deux questionnaires.

Bibliographie

J. Salençon., *MÉCANIQUE DES MILIEUX CONTINUS – TOME 1.* , Ed. de l'Ecole Polytechnique, 2005
M. Géradin, D. Rixen. *THÉORIE DES VIBRATIONS – APPLICATION À LA DYNAMIQUE DES STRUCTURES*, Elsevier Masson, 1999
G. Dhatt, G. Touzot, E. Lefrançois.. *MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS*, Lavoisier Hermès Science Publicatio, 2005

Contrôle des connaissances

Micro-test (chap.1-4) de 20 min, Micro-test (chap. 5-8) de 20 min, Test écrit de 3h.
Evaluation = 85% test écrit + 15% micro-tests



MÉCANIQUE DES SOLIDES DÉFORMABLES ASPECTS EXPÉRIMENTAUX

EXPERIMENTAL ANALYSIS IN CONTINUUM AND SOLID MECHANICS

Responsable(s): **Baptiste CHOMETTE, Francesco FROIO**

| Cours : 0.0 | TD : 0.0 | TP : 16.0 | Autonomie : 0.0 | BE : 4.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

- 1) Se sensibiliser aux phénomènes physiques en mécanique.
- 2) Connaître différentes techniques de mesure des variables utiles en mécanique (extensométrie, accélérométrie, etc).
- 3) Développer la mise en situation concrète des concepts théoriques et favoriser ainsi leur assimilation.
- 4) Savoir valider des résultats expérimentaux.
- 5) Savoir rédiger un compte-rendu de travaux pratiques et bureau d'études.
- 6) Approfondir et appliquer les connaissances théoriques dans une situation pratique.

Mots-clés : Déformations, contraintes, équilibre, modes propres, résonance, mesures statiques et dynamiques, méthodes expérimentales et numériques, méthode des éléments finis

Programme

- TPs Découverte : Études des phénomènes de résonance d'une structure flexible. Photoélasticimétrie : compréhension et analyse du phénomène de biréfringence induite par les contraintes ; isoclines et isochromatiques ; comparaison avec une solution explicite.
- TPs Mesures et analyses : Détermination des modes propres de structures élastiques continues. Mesures par jauges de déformation avec calcul du tenseur, application à la détermination du champ de contraintes, comparaison et vérification de l'équilibre.
- Bureau d'étude "éléments finis" : Calcul de structures à l'aide d'un logiciel. Interprétation des cas statique et dynamique.

Compétences

- Maîtriser les notions élémentaires de déformations et de contraintes pour le solide déformable.
- Comprendre le lien entre hypothèses, modélisation et phénomènes physiques associés.
- Savoir identifier les éléments d'une chaîne de mesure.
- Savoir rédiger un compte-rendu de travaux pratiques et de bureau d'études.

Travail en autonomie

Objectifs : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Méthodes : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Bibliographie

Contrôle des connaissances

Note = 100% savoir-faire
Note de savoir-faire = 100% contrôle continu



MAQUETTAGE NUMÉRIQUE

DIGITAL MOCK-UP

Responsable(s): **Didier LACOUR**

| Cours : 2.0 | TD : 0.0 | TP : 0.0 | Autonomie : 4.0 | BE : 14.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

Cette action de formation a pour ambition de permettre aux élèves ingénieurs d'appréhender les différents aspects du maquettage numérique (modélisation volumique et surfacique, intégration avec la simulation (cinématique, calcul, fabrication, etc.), nécessaires notamment aux autres actions de formations des deux unités d'enseignements Génie Mécanique et Mécanique des Solides et des Structures.

Mots-clés : Maquette virtuelle, Modélisation numérique, Simulation, Calculs éléments finis, PLM, Surfaces Bézier, Modélisation courbes et surfaces

Programme

- Modélisation mathématique des surfaces à pôles.
- Prise en main du logiciel Catia V5 (Modélisation volumique).
- Modélisation surfacique avec Catia V5.
- Présentation de la solution 100 % web Onshape.
- Mini-projet : mise en oeuvre des outils de modélisation, de simulation et de calcul sur un problème concret de conception ou d'optimisation d'un système technique.

Compétences

- Être capable de modéliser une solution technique à l'aide d'outils informatiques.
- Savoir manipuler les outils actuels de modélisation et simulation.
- Être capable d'appréhender toutes les dimensions scientifiques et techniques d'un projet.
- Connaître les outils logiciels de maquettage numérique utilisés par les industriels.

Travail en autonomie

Objectifs : Objectifs : Développer et approfondir le sujet du mini-projet.
Méthodes : Séances en salle de CAO avec assistance des enseignants.

Méthodes :

Bibliographie

Pierre Bezier, *L'UTILISATION DES COURBES ET SURFACES EN CAO*, Hermes Sciences Publicat, 1988
Jean-Claude Fiorot *COURBES ET SURFACES RATIONNELLES - APPLICATIONS À LA CAO*, Dunod, 1989
Dassault Systemes *MANUEL UTILISATION CATIA V5*, Dassault Systemes, 2020

Contrôle des connaissances

Note = 100 % savoir-faire
Note de savoir-faire = 100% contrôle continu



COMPLÉMENTS DE DYNAMIQUE DES STRUCTURES, OPTIMISATION

STRUCTURAL DYNAMICS

Responsable(s): **Sebastien BESSET**

| Cours : 4.0 | TD : 4.0 | TP : 4.0 | Autonomie : 0.0 | BE : 8.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif de cette action de formation est d'approfondir les techniques de synthèses modales : effets de troncature, modifications structurales, et d'étendre les modèles dynamiques aux situations de structures soumises à de grands déplacements et/ou à des chargements combinés, pour prévoir et maîtriser, lors de la conception, les phénomènes associés : risques d'instabilité, de flottement. Le contenu pédagogique s'appuie sur des compléments de formation sous la forme de cours et TD, d'une séance de TP portant sur l'effet d'une pré-charge statique sur le comportement dynamique d'une structure et d'un projet de conception qui servira d'exemple support.

Mots-clés : Synthèse modale, grands déplacements, précontraintes statiques

Programme

- Synthèse modale : description du comportement dynamique d'une structure sur la base des modes propres. Définition du nombre de modes pris en compte en fonction du domaine fréquentiel de l'excitation, effets de la troncature modale. Préviation de l'effet d'une modification structurale localisée.
- Grands déplacements, précontraintes statiques : mise en équations sur des cas simples, préviation qualitative des phénomènes attendus, mise en œuvre des simulations.
- TP : modifications des modes propres d'une structure soumise à un chargement statique croissant. Phénomène de flambement.
- BE : projet de conception ou de simulation du comportement d'une structure.

Compétences

- Être capable de proposer un modèle de simulation prédictif de comportement dynamique d'une structure.
- Être capable de réunir les informations nécessaires et estimer leurs degré d'importance et de fiabilité.
- Savoir évaluer les limites de validité d'un modèle.
- Comprendre les notions nécessaires à l'utilisation d'un code de calcul en dynamique.

Travail en autonomie

Objectifs : Les élèves sont confrontés à un problème de modélisation dans le cadre d'une application quasi industrielle.

Méthodes : L'enseignant présente le problème et intervient en ressource.

Bibliographie

T. Gmür, *DYNAMIQUE DES STRUCTURES : ANALYSE MODALE NUMÉRIQUE.*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1997
Michel Gérardin, Daniel Rixen *THÉORIE DES VIBRATIONS, APPLICATION À LA DYNAMIQUE DES STRUCTURES.*, Elsevier-Masson, 1999
Olgierd Cecil Zienkiewicz *LA MÉTHODE DES ÉLÉMENTS FINIS*, McGraw Hill, 1979

Contrôle des connaissances

Note = 67 % savoir + 33 % savoir-faire
Note de savoir = 100 % contrôle continu
Note de savoir-faire = 100 % contrôle continu



PLASTICITÉ, MISE EN FORME

PLASTICITY, FORMING

Responsable(s): **Christophe JANOLIN, Hélène MAGOARIEC**

| Cours : 4.0 | TD : 4.0 | TP : 8.0 | Autonomie : 0.0 | BE : 4.0 | Projet : 0.0 | Langue du cours : FR

Objectifs de la formation

L'objectif est de sensibiliser au lien entre procédés de mise en forme et propriétés élastoplastiques de matériaux métalliques. La 1ère partie présente les principaux procédés d'élaboration de pièces métalliques brutes : étirement par déformations plastiques, fonderie, etc. La 2e partie présente le modèle classique élastoplastique. L'objectif est la compréhension des limites du modèle élastique et de la démarche à suivre pour généraliser ce modèle. La construction du modèle suit l'interprétation d'essais homogènes simples (traction et traction/torsion) et la démarche logique du cours est phénoménologique. Les activités pratiques permettent, entre autres, la compréhension de l'influence du procédé de mise en forme sur les propriétés élastoplastiques.

Mots-clés : Bruts métalliques, Procédés, Fonderie, Limite élastique, Déformation élastique, Déformation plastique, Ecrouissage isotrope, Ecrouissage cinématique, Critère de plasticité, Loi de normalité.

Programme

2 cours sur les concepts de base + 2 TD pour consolider ces notions + 3 activités pour l'application :

- TP1 Mise en forme : élaboration de pièces moulées par les procédés de moulage au sable et en coquille, usinage par outil coupant d'un brut obtenu par étirement par déformations plastiques.
- TP2 Identification : identification des caractéristiques mécaniques élastoplastiques des matériaux mis en forme au TP1 sur la base d'essais de traction et de torsion. Étude de l'influence du procédé de mise en forme sur ces caractéristiques.
- BE Calcul de structures : analyse éléments finis des matériaux mis en forme et identifiés.

Compétences

- Savoir mettre en œuvre expérimentalement deux procédés de fonderie.
- Comprendre l'élasto-plasticité phénoménologique.
- Savoir mettre en œuvre l'identification expérimentale du comportement élastoplastique d'un matériau.
- Savoir interpréter les résultats d'un calcul éléments finis élastoplastique.

Travail en autonomie

Objectifs : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Méthodes : Cette activité n'est pas concernée par des activités d'autonomie cadrées en dehors du travail personnel.

Bibliographie

R. Hill, *THE MATHEMATICAL THEORY OF PLASTICITY*, Oxford University Press, 1998
P. Suquet *RUPTURE ET PLASTICITÉ*, Ecole Polytechnique, 2006
J.J. Marigo *PLASTICITÉ ET RUPTURE*, Ecole Polytechnique, 2012

Contrôle des connaissances

Note = 100% savoir-faire.
Note de savoir-faire = 100% contrôle continu.