
PROGRAMME INGÉNIEUR

2025-2026

2e année / 3e année

Option Disciplinaire Matériaux et Procédés

OD MATEPRO

RESPONSABLE DU PROGRAMME

Erwan VERRON



INGÉNIEUR - OD MATEPRO

1er Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 73	12	Tronc commun	CDMAT EXPER MEF_MATEPRO MPHY	Choix de matériaux Outils expérimentaux Méthode des éléments finis Modélisation multiphysique
UE 74	13	Tronc commun	CONFVE MELAST METAL P1MATEPRO POCOM	Conférences et visites d'entreprises Mécanique des élastomères Métallurgie Projet 1 Polymères solides et composites

2e Semestre

Unité d'Enseignement	Crédits ECTS	Parcours	Acronyme	Libellé
UE 83	14	Tronc commun	FARUP MATSOC MICOM MIMET P2MATEPRO	Fatigue et rupture des matériaux Matériaux et Société Mise en forme des composites Mise en forme des métaux Projet 2

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Choix de matériaux [CDMAT]

Responsable(s) du cours : Guillaume RACINEUX

Objectifs

Il existe aujourd'hui plus de 100 000 matériaux disponibles pour la conception de produits. Autrefois, le faible nombre de matériaux représentait une limitation en conception ; aujourd'hui leur grand nombre constitue une possibilité d'innovation.

Pour choisir un matériau, on a besoin :

- d'une bonne connaissance des familles de matériaux,
- d'une bonne compréhension de leurs propriétés,
- d'une méthodologie pour choisir ceux qui répondent au mieux aux exigences de la conception (cahier des charges).

A l'issue de ce cours, les étudiants doivent être aptes à :

- connaître les différentes familles de matériaux et leurs propriétés,
- effectuer le choix raisonné d'un matériau en fonction du cahier des charges.

Plan de l'enseignement

- Présentation des grandes familles de matériaux (métalliques, polymères et céramiques) et des propriétés physiques associées
- Présentation de la méthodologie de choix des matériaux proposée par Ashby
- Etude de cas

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- Matériaux, Tomes 1 et 2, M.F. Ashby et D.R.H. Jones, Dunod (4ème édition), 2013.
- Des matériaux, J.P. Bailon et J.M. Dorlot, Presses Internationales Polytechnique (3ème édition), 2000.
- Choix de matériaux en conception mécanique, M.F. Ashby, Dunod / L'Usine Nouvelle, 2012.
- Sélection des matériaux et des procédés de mise en oeuvre, Traité des matériaux - Tome 20, Y. Bréchet, M.F. Ashby, L. Salvo, Presses Polytechniques Romandes, 2001.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
 - C1C1 : Faire émerger
 - Compétent
 - C1C2 : Oser
 - Compétent
 - C1C3 : Concrétiser
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Lutte contre les changements climatiques

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Le cours CDMAT s'inscrit dans une démarche de développement durable et de responsabilité sociétale en formant les étudiants à un choix raisonné des matériaux pour la conception de produits. La maîtrise des propriétés et des familles de matériaux, ainsi que l'application d'une méthodologie rigoureuse de sélection, permettent d'optimiser la consommation de matières et l'efficacité énergétique des systèmes conçus, tout en minimisant les déchets et l'impact environnemental des procédés industriels. En sensibilisant les futurs ingénieurs à l'importance du choix des matériaux dès la phase de conception, le cours contribue à une production plus responsable et à la réduction de l'empreinte carbone des produits, participant ainsi à la lutte contre les changements climatiques.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.4)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.6)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	10 hrs	4 hrs	16 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Outils expérimentaux [EXPER]

Responsable(s) du cours : Michel CORET

Pré-requis

Ce cours s'appuiera sur :

- Les connaissances initiales des élèves ingénieur.e.s issu.e.s de toutes les voies d'accès sont nécessaires et suffisantes. (en particulier les cours de physique de 1er cycle qui portent sur la lumière, les ondes électromagnétiques, les constituants de la matière.)
- Le cours de mathématique (algèbre linéaire)
- Les cours MATER et MMCe

Objectifs

EXPER vise à montrer des méthodes expérimentales d'imagerie largement utilisées en mécanique des matériaux et qui sont utilisées pour observer les matériaux ou bien identifier certaines propriétés physiques. Les méthodes d'imageries considérées vont de l'échelle microscopiques aux échelles macroscopiques et sont surfaciques et volumiques.

Plan de l'enseignement

- Les mesures de champ cinématiques à l'échelle macroscopique (En particulier la corrélation d'image numérique)
- Observation et analyse par microscopie optique et électronique (MEB)
- Analyse volumique par tomographie

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- ASM Handbook, Vol. 8, Mechanical Testing & Evaluation
- C. Esnouf, 'Caractérisation microstructurale des matériaux' P.P. Romandes, 2011

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
 - C1C1 : Faire émerger
 - Compétent
 - C1C2 : Oser
 - Compétent
 - C1C3 : Concrétiser
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Industrie, innovation et infrastructures / Paix et justice

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

L'enseignement EXPER, consacré aux méthodes expérimentales d'imagerie en mécanique des matériaux (corrélation d'images numériques, microscopie optique et électronique, tomographie), contribue aux enjeux de développement durable et de

responsabilité sociétale en formant les élèves-ingénieurs à des techniques avancées d'observation et de caractérisation des matériaux, essentielles à une conception plus fiable, plus durable et plus responsable des structures et des systèmes industriels.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	14 hrs	6 hrs	12 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Méthode des éléments finis [MEF_MATEPRO]

Responsable(s) du cours : Erwan VERRON

Pré-requis

Mécanique des milieux continus (MMCe, 1ère année), Matériaux (MATER, 1ère année)

Objectifs

Ce cours aborde deux aspects importants de la mécanique des structures qui seront utilisés dans les différents cours de l'option MATEPRO : la résistance des matériaux (flexion des poutres) et la Méthode des Éléments Finis (MEF).

Plan de l'enseignement

Le cours est composé de trois parties distinctes :

1. L'étude de la flexion plane des poutres
2. Formulation de la méthode des éléments finis (une dimension)
3. Utilisation d'un code industriel dans un projet (Abaqus)

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

1. https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9sistance_des_mat%C3%A9riaux
2. <https://www.coursera.org/learn/finite-element-method>
3. <https://www.3ds.com/fr/produits-et-services/simulia/produits/abaqus/>

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours contribue au développement durable en formant les étudiants aux outils fondamentaux d'analyse et de conception des structures mécaniques. La maîtrise de la résistance des matériaux et de la méthode des éléments finis permet de

concevoir des structures plus fiables et optimisées, favorisant une utilisation raisonnée des ressources et des infrastructures durables.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.3)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.7)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	10 hrs	4 hrs	16 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 73 / 93

Modélisation multiphysique [MPHY]

Responsable(s) du cours : Sébastien COMAS-CARDONA

Objectifs

Au terme des 32h du cours, les étudiants seront capables de:

- Lire et expliquer des articles scientifiques ou une bibliographie liés à la modélisation multi-physique des procédés ou des problèmes d'ingénierie
- Identifier la formulation d'une modélisation appropriée, y compris le domaine, les physiques mises en jeu, les conditions aux limites et initiales, les équations de comportement et les hypothèses
- Choisir une modélisation appropriée pour un procédé donné ou répondre à une problématique d'ingénierie donnée

Plan de l'enseignement

1. Rappels/Boite à outil (6h)
 - Opérateurs, Objectivité, Calcul indiciel
2. Equations de conservation, de comportement et d'évolution (6h)
 - Rappels Elasticité, Thermique, Mécanique des fluides, Electro-Magnétisme, Plasticité
 - Existence/Unicité : Conditions aux limites et initiales
3. Couplages (4h)
 - Equations d'évolution, Propriétés matériaux, Cas d'étude
4. Résolution (2h)
 - Adimensionalisation
 - Solutions exactes, approchées
5. Analyse article scientifique de modélisation (6h, Evaluation 1)
6. Etude de cas d'ingénierie (8h, Evaluation 2)

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours place la modélisation multiphysique au cœur des enjeux technologiques et environnementaux contemporains, en explorant les interactions complexes entre phénomènes physiques, mécaniques, thermiques, électriques ou chimiques au

sein des matériaux, des procédés et des systèmes. Il permet aux étudiants de maîtriser les outils de modélisation analytiques nécessaires pour prédire, optimiser et concevoir des solutions innovantes. En combinant théorie, pratique et analyse critique, ce cours prépare les étudiants à prendre des décisions techniques robustes et responsables, dans un contexte où les défis industriels et sociétaux exigent une approche systémique et interdisciplinaire.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.7)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.3)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	14 hrs	0 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Conférences et visites d'entreprises [CONFVE]

Responsable(s) du cours : Bertrand HUNEAU

Pré-requis

Aucun

Objectifs

Un cycle de 10 conférences permet de présenter le métier d'ingénieur Matériaux et Procédés au travers de témoignages d'ingénieur en activité, principalement d'anciens élèves de l'option.

Par ailleurs, 3 visites d'entreprises sont organisées.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Éducation de qualité / Égalité entre les sexes / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Les témoignages de diplômé-es de Centrale Nantes option Matériaux et Procédés abordent les aspects développement durable de leur activité professionnelle. Par ailleurs, environ 50% des témoignages sont dispensés par des femmes.

Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	12 hrs	0 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Mécanique des élastomères [MELAST]

Responsable(s) du cours : Adrien LEYGUE

Pré-requis

Mécanique des milieux continus (MMCe, 1ère année), Matériaux (MATER, 1ère année)

Objectifs

Ce cours vise à introduire les modèles de comportement élastiques non linéaires utilisés classiquement pour les élastomères. Plus précisément, il s'intéresse à leur formulation théorique et au recalage de leurs paramètres à partir d'essais expérimentaux.

Plan de l'enseignement

Ce cours est dispensé sous forme de projet. Il se divise en trois séquences :

- séquence 1 (2h). Conférence sur les modèles hyperélastiques et leurs applications
- séquence 2 (8h). Quatre exercices couvrant les quatre grandes parties du cours sont résolus par les étudiant-es ; des vidéos de correction permettent l'auto-apprentissage.
- séquence 3 (20h). A partir d'un article scientifique, les étudiant-es découvrent un modèle particulier. Ils doivent comprendre sa formulation, puis déterminer ses paramètres à partir d'essais classiques de la littérature. Cette partie est menée à bien par groupe de 3 à 5 étudiant-es.

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

Verron E., Modèles hyperélastiques pour le comportement mécanique des élastomères, Techniques de l'ingénieur, AM8210v1, 2018.

Holzapfel G. A., Nonlinear Solid Mechanics. A Continuum Approach for Engineering, John Wiley & Sons, Chichester, 2000.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - C3C1 : Concevoir un projet, un programme
 - Compétent
 - C3C2 : Piloter, conduire
 - Compétent
 - C3C3 : Clôturer et capitaliser
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Éducation de qualité / Énergie propre et d'un coût abordable / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours s'inscrit dans une démarche de développement durable en mettant l'accent sur l'utilisation rationnelle et innovante des élastomères, des matériaux clés pour des applications éco-responsables (recyclage, durabilité, réduction des déchets). Les modèles hyperélastiques étudiés permettent d'optimiser la conception de pièces, limitant ainsi la surconsommation de ressources et favorisant l'éco-conception.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.7)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.3)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	10 hrs	0 hrs	20 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Métallurgie [METAL]

Responsable(s) du cours : Bertrand HUNEAU

Pré-requis

- Physique et Chimie de niveau bac+2, le CC-MATER (EI1) n'est pas un pré-requis obligatoire bien que très utile.

Objectifs

Les produits industriels contiennent très souvent des matériaux métalliques. Dans ce contexte, il est nécessaire pour un-e ingénieur-e de connaître les différents métaux et alliages. Leurs méthodes d'élaboration à partir de minerais seront tout d'abord étudiées. Sachant que l'ensemble des opérations d'extraction et de transformation du minerai en métal représente aujourd'hui environ 10% des émissions mondiales de CO₂ (source UNEP 2020), on s'interrogera sur les possibles réductions de cette empreinte Carbone. Dans un deuxième temps, la structure des métaux et le comportement des mélanges (alliages) seront considérés. Ensuite, l'influence des traitements thermiques lors de la transformation de ces matériaux en produits sera approfondie. Finalement, le comportement mécanique des métaux et alliages et les méthodes pour améliorer leurs propriétés mécaniques seront décrits.

Plan de l'enseignement

Partie I : Métallurgie extractive

1. Production des métaux
2. Du minerai au métal
3. Élaboration de l'acier et de l'aluminium : vers des procédés moins polluants ?

Partie II : Métallurgie Physique

1. Cohésion, structure et propriétés des métaux
2. Défauts ponctuels, linéaires, surfaciques et volumiques dans les métaux
3. Équilibres thermodynamiques et diagrammes de phases (diagrammes Pb-Sn et Fe-C)
4. Diffusion

Partie III : Transformations structurales (= Métallurgie Physique 2)

1. Germination et croissance d'une nouvelle phase / solidification / précipitation
2. Transformations martensitique et bainitique ; traitements thermiques des aciers
3. Traitements thermiques des alliages d'aluminium

Partie IV : Métallurgie mécanique

1. Déformation plastique des métaux
2. Mécanismes physiques de la plasticité
3. Durcissement des matériaux métalliques

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- « Métallurgie. Du minerai au matériau », J. Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet et P. Combrade, Dunod, 2002.
- « Des Matériaux », J.-P. Bâillon et J.-M. Dorlot, Presses Internationales Polytechnique, 2000.
- « Introduction à la science des matériaux », Traité des matériaux tome 1, W. Kurz, J.-P. Mercier et G. Zambelli, Presses Polytechniques Romandes, 2002.
- « Précis de métallurgie », G. Maeder, J. Barralis. AFNOR / Nathan, 2005.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Éducation de qualité

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

La partie "Métallurgie extractive" du cours aborde les procédés de transformation des minerais en métaux et ouvre vers les recherches et développements en cours dans les laboratoires et dans l'industrie pour décarboner et diminuer les impacts environnement de ces procédés.

Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	18 hrs	8 hrs	4 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Projet 1 [P1MATEPRO]

Responsable(s) du cours : Erwan VERRON

Pré-requis

Tous les cours de l'option MATEPRO

Objectifs

Ce projet vise à mettre en pratique les apprentissages académiques de l'option MATEPRO. Il permet en outre d'initier les étudiants à la gestion de projets scientifiques, ainsi qu'à la rédaction et la présentation de documents scientifiques et techniques. Tous les documents et présentations sont faites en anglais.

Chaque groupe d'étudiants est encadré par un enseignant-chercheur de l'équipe pédagogique. Tous les sujets sont en lien direct avec les activités de recherche de l'équipe.

Plan de l'enseignement

Dépend du projet

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

Dépend du projet

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - C3C1 : Concevoir un projet, un programme
 - Compétent
 - C3C2 : Piloter, conduire
 - Compétent
 - C3C3 : Clôturer et capitaliser
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce projet contribue au développement durable en formant les étudiants à la conduite de projets scientifiques en lien direct avec la recherche et les besoins industriels. Il développe des compétences techniques, méthodologiques et communicationnelles, tout en sensibilisant aux enjeux d'innovation responsable, d'optimisation des ressources et de durabilité des solutions matériaux. L'encadrement par des enseignants-chercheurs favorise une approche éthique et rigoureuse de la production de connaissances scientifiques.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1.0)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	1	0 hrs	0 hrs	0 hrs	32 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 1er Semestre - UE 74 / 94

Polymères solides et composites [POCOM]

Responsable(s) du cours : Sébastien COMAS-CARDONA

Objectifs

A l'issue de ce module de 32h, les étudiants seront capables de :

- Décrire les constituants, leur synthèse et principales propriétés (fibres, renforts et matrices)
- Modéliser et simuler le comportement thermo-chimio-rhéologique des matrices
- Homogénéiser les propriétés thermiques et élastiques de matériaux composites
- Calculer la rigidité d'un stratifié et les contraintes et déformations par pli
- Lister et utiliser les critères de ruptures dans les matériaux composites
- Utiliser des codes de calcul pour résoudre des problèmes d'ingénierie mis en jeu dans les composites à matrice organique

Plan de l'enseignement

Composites, Fibres et Renforts Fibreux (2h)

Polymères thermoplastiques (3h)

Polymères thermodurcissables (3h)

Mécanique des structures (3D à 2D contraintes planes) (2h)

Structure isotrope multicouche (2h)

Structure anisotrope multicouche (Comportement du pli, théorie des stratifiés) (4h)

Homogénéisation (6h)

Critère de rupture (2h)

Projet final + Exam (8h)

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

1. Traité des matériaux (Editions Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)
2. P. Boisse, Composite Reinforcements for optimum performance , 2011
3. Friedrich Klaus, Fakirov Stoyko, & Zhang Zhong. (2005). Polymer Composites: From Nano- to Macro-Scale. Boston, MA: Springer Science+Business Media, Inc
4. Pascault J.-P. et al. Thermosetting Polymers. New York Basel: M. Dekker, 2002.
5. Bourban Pierre-Etienne, Carlsson Leif A, et Mercier Jean-Pierre, Matériaux Composites à Matrice Organique: Constituants, Procédés, Propriétés. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004
6. Gay Daniel, Matériaux Composites. 6e édition revue et augmentée. Paris: Lavoisier, 2015
7. Mechanics of fibrous composites, C.T. Herakovich, Wiley 1998
8. A first course in finite elements, Jacob fish, Ted Belyscho, Wiley 2007
9. Mechanics of solid materials, J. Lemaitre and Chaboche, Cambridge 2000

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C1 : Concevoir et prototyper des dispositifs innovants et créateurs de valeur
 - C1C1 : Faire émerger
 - Compétent
 - C1C2 : Oser
 - Compétent
 - C1C3 : Concrétiser
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Industrie, innovation et infrastructures / Lutte contre les changements climatiques

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours place les matériaux composites au cœur des enjeux industriels et environnementaux actuels, en explorant leurs propriétés physiques et mécaniques, l'homogénéisation et leur comportement sous sollicitations complexes. Il permet aux étudiants de maîtriser les méthodes de prédimensionnement mécanique, les critères de rupture et les outils de modélisation spécifiques à ces matériaux, afin de concevoir des structures légères (ODD 13), performantes, optimisées (ODD 9) et durables (ODD 12). En combinant théorie, pratique et analyse critique, ce cours prépare les futurs ingénieurs à relever les défis du dimensionnement mécanique, non seulement technosolutionniste, mais en intégrant l'enjeu de l'allègement des structures, l'économie des ressources et l'éthique afin de limiter leurs impacts.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.7)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.3)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	8 hrs	6 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Fatigue et rupture des matériaux [FARUP]

Responsable(s) du cours : Erwan VERRON

Pré-requis

Mécanique des milieux continus (MMCe, 1ère année), Matériaux (MATER, 1ère année)

Objectifs

Cet enseignement vise à fournir aux étudiants les bases permettant d'aborder les problèmes de rupture et de fatigue des matériaux. Ce cours est divisé en deux parties :

- La mécanique de la rupture qui définit les grandeurs physiques et les théories régissant la rupture à l'échelle macroscopique ;
- La fatigue des matériaux, qui présente ce type d'endommagement et s'intéresse aux liens entre la microstructure et la tenue en fatigue.

Plan de l'enseignement

Partie 1 : Mécanique linéaire de la rupture

1. Notion de concentration des contraintes
2. Approche locale la rupture : notion de facteur d'intensité des contraintes et de ténacité
3. Approche énergétique de la rupture : notion de taux de restitution d'énergie et d'énergie de rupture

Partie 2 : Fatigue des Matériaux

1. Introduction au phénomène de la fatigue des matériaux. Définitions
2. Etude de la fatigue : durée de vie et fissuration
3. Mécanismes physiques de la fatigue
4. Paramètres influençant le comportement en fatigue
5. Etudes de cas

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- E. E. Gdoutos, Fracture Mechanics. An introduction, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- A. T. Zehnder, Fracture Mechanics, in Lectures Notes in Applied and Computational Mechanics vol. 62, Springer, 2012.
- J.-L. Engerand, Mécanique de la Rupture, Techniques de l'Ingénieur, pp. B 5 060-1 - B 5 060-12, 1990.
- C. Bathias, J.-P. Baille, Fatigue des matériaux et des structures, Hermes, 1997.
- G. Hénaff, F. Morel, Fatigue des structures, Technosup, 2005.
- S. Suresh : Fatigue of Materials, Second Edition, Cambridge University Press, 1998.
- J. Schijve : Fatigue of Structures and Materials, Second Edition, Springer, 2009.

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce cours contribue au développement durable en favorisant la conception de structures mécaniques fiables et durables. La compréhension des mécanismes de rupture et de fatigue permet de prolonger la durée de vie des matériaux et de limiter le gaspillage des ressources, tout en renforçant la sécurité des infrastructures.

Évaluation

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	20 hrs	6 hrs	4 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Matériaux et Société [MATSOC]

Responsable(s) du cours : Thomas CORRE

Pré-requis

- Enjeux Énergétiques Environnementaux et Climatiques
- Matériaux : Ingénierie et Enjeux Sociétaux

Objectifs

L'objectif du cours est de sensibiliser les étudiant·e·s aux enjeux sociaux et environnementaux en lien avec leur formation, c'est-à-dire à l'impact de l'extraction des matériaux et de leur utilisation. L'approche se fonde sur le développement de l'esprit critique, par la confrontation à la complexité des situations réelles du déploiement des technologies et par une réflexion sur les interactions entre science et société.

Plan de l'enseignement

Ce module de 32 h est constitué de 8 heures de conférences dispensées par des intervenant·e·s extérieurs sur des sujets environnementaux d'actualité, et de 24 heures de travaux pratiques. Le travail réalisé par les étudiant·e·s consiste en une cartographie de controverse, réalisée en groupe, sur un sujet imposé en lien avec l'usage des matériaux. La restitution des travaux de groupe se fait sous la forme d'un poster, présenté lors d'une session de 2 h en présence de l'ensemble de l'équipe pédagogique de l'option Matepro.

L'analyse de controverse est réalisée en suivant la méthodologie développée par le projet FORCCAST, dédié à la formation par la cartographie des controverses appliquée à l'analyse des sciences et des techniques.

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- _ Controverses, mode d'emploi, ouvrage collectif sous la direction de Clémence Seurat et Thomas Tari, 2021
- _ Callon Michel, Lascoumes Pierre, Barthe Yannick, Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique, 2002

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - C3C1 : Concevoir un projet, un programme
 - Compétent
 - C3C2 : Piloter, conduire
 - Compétent
 - C3C3 : Clôturer et capitaliser
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce module traite de la TEDS, en s'appuyant sur des exemples concrets d'intrication science-société.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 1)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	10 hrs	0 hrs	22 hrs	0 hrs	0 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Mise en forme des composites [MICOM]

Responsable(s) du cours : Christophe BINETRUY

Pré-requis

Mécanique des milieux continus
Matériaux composites organiques

Objectifs

Le cours présente les fondamentaux de la fabrication des matériaux et structures en composites organiques. Il est structuré en deux parties.

Premièrement, les procédés de fabrication des composites organiques sont présentés d'un point de vue technologique et sous l'angle des mécanismes physiques dominants.

Les approches de modélisation des procédés sont présentées en seconde partie. Celles-ci concernent l'étude des écoulements de résine dans des réseaux de fibres rigides et déformables, le formage de renforts fibreux et de semi-produits composites, et l'écoulement de suspensions de fibres.

Le cours illustre ensuite ces approches par le biais de la modélisation numérique pour traiter des cas d'étude inspirés de la pratique. Enfin, les étudiants ont la possibilité d'appliquer leurs connaissances dans des exercices pratiques.

Plan de l'enseignement

1/ Revue des procédés composites

2/ Modélisation des procédés LCM

Description des renforts fibreux

Equations gouvernantes pour les écoulements dans les milieux poreux

Echelle macroscopique : passage à l'échelle supérieure

Écoulement de fluides simples dans des microstructures fibreuses indéformables

Perméabilité

Écoulement dans des microstructures fibreuses déformables

Simulation numérique

3/Modélisation du formage des renforts fibreux et des préimprégnés

Approche géométrique

Méthodes basées sur la géométrie différentielle

Approche basée sur la mécanique des milieux continus

4/ Modélisation des écoulements par compression

Mécanique de l'écoulement de compression

Écoulement de compression dans les préimprégnés unidirectionnels

Écoulement de compression dans les empilements de couches croisées de préimprégnés UD et de préimprégnés tissés

Compression SMC

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

Advani, Suresh G., and E. Murat Sozer, eds. Process modeling in composites manufacturing. Vol. 59. CRC Press, 2010

Advani, Suresh, and Kuang-Ting Hsiao, eds. Manufacturing techniques for polymer matrix composites (PMCs). Elsevier, 2012

Advani, Suresh G. Flow and Rheology in Polymer Composites Manufacturing, COMPOSITE MATERIALS SERIES, Volume 10, Elsevier, 1994

Ho, Suong V. Principles of the manufacturing of composite materials. DEStech Publications, Inc, 2009

Coussy, O. Poromechanics. John Wiley & Sons, 2004

Boisse, P. (Ed.). (2015). Advances in Composites Manufacturing and Process Design. Woodhead Publishing.

Long, A. C. (Ed.). (2014). Composites forming technologies. Elsevier.

C. Binetruy. Lectures notes:

- Flow and heat transfer in stationary fibrous media : Porous Media Manufacturing Process

- Squeeze flow manufacturing processes

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Industrie, innovation et infrastructures / Travail décent et croissance économique

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Les composites organiques apportent des solutions en matière d'allègement des structures ce qui permet de limiter la consommation d'énergie et de matériaux à performance cible équivalente. La compréhension fine des procédés de fabrication des pièces composites répond à plusieurs enjeux de développement durable et de responsabilité sociétale. Elle permet de proposer des stratégies de fabrication plus robustes qui limitent la surconsommation de matériau et d'énergie induites par des approches empiriques par essais-erreurs. Elle permet également de répondre plus rapidement à des dérives de procédés qui provoquent de nombreux déchets de production.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.3)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.7)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	10 hrs	8 hrs	12 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Mise en forme des métaux [MIMET]

Responsable(s) du cours : Guillaume RACINEUX

Objectifs

Le cours de mise en forme des métaux vise à décrire les procédés usuels de formage et d'assemblage couramment employés dans l'industrie ainsi que les modèles associés. L'accent est mis sur la modélisation mathématique des procédés par ordre de complexité. Les modèles simplifiés sont introduits avant les modèles standards généralisés. Enfin, une introduction aux calculs par éléments finis non linéaires est abordée.

Plan de l'enseignement

- Introduction aux procédés usuels de mise en forme des métaux
- Pliage et modèles plastiques
- Forgeages et modèles visco-plastiques
- Estampage et modèles d'endommagement
- Couplage multiphysiques et propriétés induites
- Simulation numériques non linéaires

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

- Mécanique des matériaux solides, J.Lemaitre & J.L. Chaboche
- Mécanique non linéaire des matériaux, S.Forest, J.L Chaboche, J Besson G. Cailletaud
- Techniques de l'ingénieur

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C2 : Analyser un système complexe, dans toutes ses dimensions (scientifiques, économiques, humaines, sociale) et proposer une solution
 - C2C1 : Représenter et modéliser
 - Compétent
 - C2C2 : Résoudre et arbitrer
 - Compétent
 - C2C3 : Penser et agir en environnement incertain
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

Aucune compétence observée

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Le cours de mise en forme des métaux s'inscrit dans une démarche de développement durable et de responsabilité sociétale en apportant aux étudiants une compréhension approfondie des procédés de formage et des outils de modélisation associés. Ces approches leur permettent de développer des modèles réalistes des procédés afin d'optimiser les choix technologiques en termes de consommation de matière et d'énergie, tout en contribuant à la réduction des rejets, dans une logique de

production et de consommation responsables. L'introduction de modèles avancés et d'outils de simulation numérique favorise par ailleurs l'éco-conception des procédés industriels en limitant le recours aux essais expérimentaux et leur impact environnemental. Le cours sensibilise ainsi les futurs ingénieurs au rôle clé de la maîtrise des procédés de transformation des métaux dans la réduction de l'empreinte carbone des systèmes industriels et la lutte contre les changements climatiques.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.3)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.7)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	3	16 hrs	6 hrs	8 hrs	0 hrs	2 hrs

INGÉNIEUR - OD MATEPRO

2e année / 3e année - 2e Semestre - UE 103 / 83

Projet 2 [P2MATEPRO]

Responsable(s) du cours : Erwan VERRON

Pré-requis

Tous les cours de l'option MATEPRO

Objectifs

Ce projet vise à mettre en pratique les apprentissages académiques de l'option MATEPRO. Il permet en outre d'initier les étudiants à la gestion de projets scientifiques, ainsi qu'à la rédaction et la présentation de documents scientifiques et techniques.

Chaque groupe d'étudiants est encadré par un enseignant-chercheur de l'équipe pédagogique. Tous les sujets sont en lien direct avec les activités de recherche de l'équipe.

Plan de l'enseignement

Dépend du projet

Bibliographie sur laquelle s'appuie le cours

Dépend du projet

Compétences auxquelles forme cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - C3C1 : Concevoir un projet, un programme
 - Compétent
 - C3C2 : Piloter, conduire
 - Compétent
 - C3C3 : Clôturer et capitaliser
 - Compétent

Compétences observées via cet enseignement

- C3 : Conduire des programmes complexes ou de changement de façon responsable
 - Compétent

Objectifs de Développement Durable (ODD) couverts par cet enseignement

Consommation et production responsables / Éducation de qualité / Industrie, innovation et infrastructures

Positionnement Développement Durable et Responsabilité Sociétale

Ce projet contribue au développement durable en formant les étudiants à la conduite de projets scientifiques en lien direct avec la recherche et les besoins industriels. Il développe des compétences techniques, méthodologiques et communicationnelles, tout en sensibilisant aux enjeux d'innovation responsable, d'optimisation des ressources et de durabilité des solutions matériaux. L'encadrement par des enseignants-chercheurs favorise une approche éthique et rigoureuse de la production de connaissances scientifiques.

Évaluation

Évaluation collective : EVC 1 (coefficient 0.7)

Évaluation individuelle : EVI 1 (coefficient 0.3)

LANGUE DU COURS	CRÉDITS ECTS	COURS MAGISTRAUX	TRAVAUX DIRIGÉS	TRAVAUX PRATIQUES	PROJET	DEVOIRS SURVEILLÉS
Français	2	0 hrs	0 hrs	0 hrs	48 hrs	0 hrs