



---

# Guide pédagogique

*Module ECOMAP 8.3 (6 crédits ECTS)*

---

## ***Place du module et enjeux***

La conception d'un produit innovant, de par sa forme ou sa composition, requiert des compétences en mécanique et modélisation. Il s'agit de concevoir sa forme en associant des techniques de Conception Assistée par Ordinateur au choix de matériau au comportement adapté qui permettra de respecter le cahier des charges visé.

---

# Teaching guide and syllabus

*Module ECOMAP 8.3 (6 ECTS credits)*

---

## ***Subject matter importance and associated issues***

The design of an innovative product, by its shape or composition, requires skills in mechanics and modelling. Computer Aided Design, selection of materials from the knowledge of their mechanical behaviours will be the key points of a well-designed product.

Responsable : Anne-Sophie Caro

Téléphone : 0466785631

Courriel : Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr

ENSEIGNEMENTS ACADEMIQUES	Volume horaire	Détail des coefficients	Crédits
<b>Mécanique et modélisation</b>	<b>85 h</b>		
○ CAO (Conception Assistée par Ordinateur)	18	1	6
○ Rhéologie	23	1	
○ Mécanique de la rupture	20	1	
○ TP caractérisation et modélisation	24	1	

Titre de la conférence introductive présentant les enjeux et l'ancrage du module dans les problématiques technologiques et sociétales.	Intervenant (nom/ statuts/ expertise)

**Matière 1 :**

<i>CAO (Conception Assistée par Ordinateur)</i>	
<b>Code : ECOMAP 8.3.1</b>	<b>Titre du module : Mécanique et modélisation</b>
<b>Semestre : S8</b>	<b>Cursus de rattachement : Département ECOMAP</b>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
18	18	0	0	14	4	0	0	1	

<b>Titre</b>	<i>CAO (Conception Assistée par Ordinateur)</i>
<b>Résumé</b>	L'objectif de ce cours est de former les élèves à l'utilisation de la CAO sur CATIA V5

<b>Responsable</b>	<i>François Spinelli – Plateforme Mécatronique - IMT Mines Alès</i>
<b>Equipe enseignante</b>	<i>François Spinelli – Plateforme Mécatronique - IMT Mines Alès Laetitia Cambon – Plateforme Mécatronique - IMT Mines Alès</i>

<b>Mots-clés</b>	<i>CAO (Conception Assistée par Ordinateur)</i>
<b>Prérequis</b>	Aucun

<p><b>Contexte et objectif général :</b> La Conception assistée par ordinateur (CAO) est le domaine des logiciels et des techniques permettant de concevoir, de tester, et de réaliser des outils et des produits manufacturables. La CAO est une technique indispensable à l'ingénieur car toutes les étapes du développement d'un produit peuvent être gérées : de la conception au design, du dessin 2D aux analyses de maquettes numériques, de la conception d'assemblage au rendu réaliste de prototypes virtuels. La CAO s'est répandue dans les principaux secteurs industriels, tels que automobile, aéronautique, naval, électronique, etc.</p>
<p><b>Programme et contenu :</b> Les différentes séances de TP traitent de 5 thèmes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La conception de pièces</li> <li>• L'assemblage d'un montage</li> <li>• La modélisation</li> <li>• La mise en plan</li> <li>• La surface</li> </ul>
<p><b>Méthode et organisation pédagogique :</b> Cet enseignement est décomposé en 7 séances de 2 h (en demi-groupes) et une séance de 4 h d'évaluation sur logiciel.</p>
<p><b>Acquis d'apprentissage visés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise du logiciel CATIA V5 pour la conception de produits</li> </ul>
<p><b>Evaluation : TP 4 h</b></p>
<p><b>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Délais de correction des examens : 3 semaines</li> </ul>
<p><b>Support pédagogique et références :</b></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>Support complet écrit</li> </ul>
---

**Matière 2 :**

<i>Titre de la matière : Rhéologie</i>	
<b>Code : ECOMAP 8.3.2</b>	<b>Titre du module : Mécanique et modélisation</b>
<b>Semestre : S8</b>	<b>Cursus de rattachement : Département ECOMAP</b>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Conférences	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
21	23	12	9	0	0	2	20	1	

<b>Titre</b>	Comportement mécanique des matériaux en écoulement
<b>Résumé</b>	<p>L'étude du comportement mécanique en écoulement des matériaux entre dans le domaine de la rhéologie. « Rhéologie » est un terme provenant du grec et signifiant littéralement « étude des écoulements ». Il s'agit d'une science relativement jeune et qu'on peut définir de la manière la plus large comme suit (selon le Groupe Français de Rhéologie – GFR) : « La Rhéologie est la science de la matière en écoulement, des contraintes qu'il faut lui appliquer et des modifications de la structure qui en résultent ».</p> <p>Universelle, on la retrouve dans tous les domaines de l'activité humaine. Ses applications vont de la mise en forme de matériaux aux comportements de la matière vivante, en passant par la tenue des pneumatiques et la qualité des produits cosmétiques. Son impact économique est donc considérable. Interdisciplinaire, elle fait appel à la mécanique, à la physique, à la chimie, aux mathématiques, à la biologie, qui lui fournissent ses outils de base et elle se montre utile à chacune de ces disciplines.</p>

<b>Responsable</b>	Jean-Christophe QUANTIN – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	Jean-Christophe QUANTIN – C2MA – IMT Mines Alès Anne-Sophie CARO – C2MA - IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Loi de comportement – Ecoulement – Modélisation - Phénoménologie
<b>Prérequis</b>	Mécanique des milieux continus, mécanique générale, science des matériaux, science des polymères

<p><b>Contexte et objectif général :</b></p> <p>Etymologiquement, la rhéologie est la science des écoulements de la matière lorsqu'elle subit des sollicitations. Il faut entendre cette définition dans son sens le plus large : par exemple, on parlera de l'écoulement plastique d'une tôle d'acier emboutie ou laminée. La diversité porte également sur les milieux, matières ou matériaux considérés ; les exemples sont innombrables et se situent dans des domaines aussi divers que la biologie (sang), la cosmétique (shampooing), l'agroalimentaire (fromage, crème glacée) ou les matériaux de structure (acier, béton, composites). On se limitera ici principalement à une approche phénoménologique des comportements.</p> <p>Les objectifs du cours sont multiples :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Appréhender l'ampleur du domaine et les nombreuses implications industrielles et économiques</li> <li>2. Prendre conscience des interactions avec d'autres disciplines telles que mécanique, chimie, physique et biologie</li> <li>3. Acquérir les bases du jargon afin de pouvoir dialoguer avec des spécialistes et approfondir tel ou tel secteur</li> <li>4. Aborder quelques classes de comportements en écoulement parmi les plus répandues.</li> </ol> <p><b>Programme et contenu :</b></p> <p>Le cours aborde tout d'abord des notions générales et transversales puis des classes de comportement particulières. Les différentes parties abordées sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introduction</li> <li>2. Notions sur les lois de comportement - modèles rhéologiques - critères rhéologiques</li> <li>3. Ecoulements visqueux (fluides newtoniens, rhéofluidifiants, à seuil et visco-élastiques, identification expérimentale)</li> <li>4. Ecoulements pastiques (plasticité, élastoplasticité, viscoplasticité, identification expérimentale)</li> </ol>
---

<p><b>Méthode et organisation pédagogique :</b> Cet enseignement est décomposé en un cours magistral (environ 12 h) et des travaux dirigés (environ 9 h). Des supports sont mis à disposition : photocopie d'exercices, publications diverses en rapport avec les sujets traités en cours. L'évaluation du cours se fait à travers un contrôle écrit dont l'objectif est de révéler les capacités plus de réflexion que de mémorisation de l'étudiant.</p>
<p><b>Acquis d'apprentissage visés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une aptitude à la modélisation sur des cas relativement simples (formuler des hypothèses, proposer des simplifications de géométrie, ...)</li> <li>• Une maîtrise suffisante du langage de la mécanique des matériaux pour dialoguer avec des spécialistes</li> </ul>
<p><b>Evaluation :</b> CE 2 h</p>
<p><b>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation des copies sur demande expresse de l'élève</li> <li>• Délais de correction des examens : 3 semaines</li> </ul>
<p><b>Support pédagogique et références :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Support complet écrit également disponible sous forme numérique (références bibliographiques, exercices d'application, copie du « Dictionnaire Français de Rhéologie », copie des diapositives du cours)</li> <li>• espace sur Campus (documents pdf, multimédia classés par chapitres) - <a href="http://campus2.mines-ales.fr/course/view.php?id=75">http://campus2.mines-ales.fr/course/view.php?id=75</a></li> </ul>

**Matière 3 :**

<i>Titre de la matière : Mécanique de la rupture</i>	
<b>Code : ECOMAP 8.3.3</b>	<b>Titre du module :</b> Mécanique et modélisation
<b>Semestre : S8</b>	<b>Cursus de rattachement :</b> Département ECOMAP

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
18	20	12	6	0	0	2	20	1	

<b>Titre</b>	Mécanique de la rupture
<b>résumé</b>	Dans ce cours, nous nous intéressons à ce qui induit des ruptures brutales, celles qui surviennent au cours du chargement ou en fin de durée de vie lorsque les fissures à croissance lente atteignent une valeur critique. Nous considérons ainsi les essais et expertises destinés à apprécier les risques de rupture différée et par fatigue.

<b>Responsable</b>	Patrick IENNY - C2MA - IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	

<b>Mots-clés</b>	Ténacité, propagation de fissure, rupture par fatigue
<b>Prérequis</b>	Mécanique des milieux continus, Rhéologie

<p><b>Contexte et objectif général :</b> La mécanique de la rupture a pour objet l'étude des fissures macroscopiques, la détermination des champs des contraintes et de déformations correspondants. D'un point de vue expérimentation, elle permet l'établissement de la cinétique de propagation des défauts et l'évaluation de leur taille critique au-delà de laquelle, pour une sollicitation donnée, la rupture instable se produit. Lorsqu'un matériau est sollicité jusqu'à rupture, les essais montrent que la contrainte de rupture est une grandeur présentant de fortes fluctuations pouvant même dépasser la décade pour certains matériaux et que le mode de ruine dépend de la nature du matériau. Ainsi la rupture peut intervenir brutalement quasi sans déformation préalable pour les matériaux qualifiés aujourd'hui de fragiles, tandis qu'elle n'intervient qu'après une étape de grande déformation permanente pour les matériaux qualifiés aujourd'hui de ductiles. Ce cours a pour objet l'étude théorique des champs de contraintes et de déformations en pointe de fissure et des mécanismes de propagation correspondants. On analysera les données expérimentales permettant de porter un jugement sur la cinétique de propagation des défauts et, pour une sollicitation donnée, d'identifier le risque de rupture. On se bornera à l'étude de défauts bidimensionnels et aux méthodes d'évaluation relatives à la</p>
--

mécanique linéaire de la rupture. Cette approche vise l'acquisition des bases nécessaires à l'analyse critique de la tenue en service des structures industrielles.
<b>Programme et contenu :</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Résistance à la rupture, rupture fragile, correction plastique et ténacité</li> <li>2. Approche énergétique et ténacité effective</li> <li>3. Longueur de Griffith, méthodes expérimentales (superposition des modes et extension aux problèmes 3D)</li> <li>4. Propagation des fissures (taux de restitution d'énergie et stabilité de fissuration)</li> <li>5. Approche statistique de la rupture (modèle de Weibull, extension aux essais de structures)</li> <li>6. Rupture en fatigue, critères d'amorçage, loi de Paris, courbes de Wöhler, diagramme de Haig, Critères multiaxiaux</li> </ol>
<b>Méthode et organisation pédagogique :</b> 11 h de cours, 7 heures de TD et 2 h de contrôle écrit.
<b>Acquis d'apprentissage visés :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechercher et/ou analyser des données standards relatives aux propriétés à rupture des matériaux solides</li> <li>• dimensionner des structures en service, valider une décision d'intervention sur des structures déjà endommagées.</li> </ul>
<b>Evaluation :</b> <i>Contrôle écrit de 2 h</i>
<b>Retour sur l'évaluation fait à l'élève :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation des copies sur demande expresse de l'élève</li> <li>• Délais de correction des examens : 3 semaines</li> </ul>
<b>Support pédagogique et références :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Support complet écrit également disponible sous forme numérique (références bibliographiques, exercices d'application, copie des diapositives du cours)</li> </ul>

**Matière 4 :**

<i>Titre de la matière : TP caractérisation et modélisation</i>	
<b>Code : ECOMAP 8.3.4</b>	<b>Titre du module :</b> Mécanique et modélisation
<b>Semestre : S8</b>	<b>Cursus de rattachement :</b> <i>Département ECOMAP</i>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Conférences	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
24	24	0	0	24	0	0	8	1	

<b>Titre</b>	<i>TP caractérisation et modélisation</i>
<b>résumé</b>	Cet ensemble de TP permet d'utiliser les connaissances acquises en mécanique des matériaux. Divers matériaux sont testés à travers des essais caractéristiques (Fluage, traction, rupture, choc, rhéologie) ; leurs comportements seront modélisés en utilisant les lois adéquates, en apportant une analyse critique des hypothèses associées

<b>Responsable</b>	<i>Anne-Sophie Caro, IMT Mines Alès</i>
<b>Equipe enseignante</b>	Anne-Sophie Caro, Stéphane Corn, Jean-Christophe Quantin, Patrick Ienny, Nicolas Le Moigne, Romain Léger

<b>Mots-clés</b>	Caractérisation mécanique, modélisation mécanique, fluage, choc, rupture, rhéologie des matériaux polymères
<b>Prérequis</b>	Mécanique linéaire des matériaux (module d'approfondissement), rhéologie, éléments finis

<b>Contexte et objectif général :</b> L'objectif de ces TP est de permettre aux étudiants d'utiliser les différents modèles de comportement et de les appliquer dans des cas pratiques (soit analytiquement, soit par l'utilisation de logiciels) en y apportant un regard critique.
---

**Programme et contenu :**

Ce cours comporte 6 TP de 4 h chacun.

- **TP1** Fluage dans le cas d'un matériau homogène : confrontation essais / modélisation
- **TP2** Essai de traction dans le cas d'un matériau homogène à comportement élastoplastique : confrontation essais / modélisation
- **TP3** Essai de flexion et de traction dans le cas de matériaux composites : application de la théorie de Weibull, confrontation essais / modélisation
- **TP4** Essais au choc dans le cas de matériaux homogènes, confrontation essais / modélisation
- **TP5** Simulation numérique par éléments finis du comportement de matériaux composites
- **TP6** Caractérisation rhéologique des polymères. L'objectif de ce TP est de caractériser par rhéométrie en rotation et capillaire le comportement rhéologique de divers milieux et notamment des polymères thermoplastiques ou composites à matrice thermoplastique à l'état fondu. On utilisera et comparera pour ce faire plusieurs techniques différentes : écoulement avec balayage en vitesse de déformation, essais oscillatoires avec balayages en déformation ou en fréquence et écoulement dans un capillaire.

**Méthode et organisation pédagogique :** ce cours est décomposé en 6 TP de 4 h. Un énoncé de TP est fourni aux étudiants en début de séance. Pour la notation, un compte rendu par TP est demandé.

**Acquis d'apprentissage visés :**

- Etre capable d'utiliser un modèle de comportement
- Avoir un esprit critique

**Evaluation :** CR à la fin de chaque TP

**Retour sur l'évaluation fait à l'élève :**

- Consultation des copies sur demande expresse de l'élève
- Délais de correction des CR : 3 semaines

**Support pédagogique et références :**

Enoncés de TP

## Méthode et organisation pédagogique

### Modalité d'évaluation

Le niveau d'acquisition des compétences sera évalué selon les exigences suivantes :

N° indicateur	Indicateur
1	connaître les savoirs formels et pratiques du socle des fondamentaux
2	Exploiter les savoirs théoriques et pratiques
3	Analyser, interpréter, modéliser, émettre des hypothèses, et résoudre

### Répartition

Matière	Contrôle	Coefficients	Type de notation	Indicateurs évalués	Chapitres
CAO	Projet	1	Individuelle	2,3	Tous
Rhéologie	Contrôle	1	Individuelle	1,2,3	Tous
Mécanique de la rupture	Contrôle	1	Individuelle	1,2,3	Tous
TP caractérisation et modélisation	Compte rendu	1	Individuelle	3	Tous

### Engagement de l'étudiant, éthique et professionnalisme

*La démarche éthique est définie dans le règlement intérieur de l'établissement. Chaque étudiant s'engage à en prendre connaissance et à la respecter.*

*Obligation des cours (Selon l'article 5.3 du Règlement Intérieur, l'on peut définir la présence obligatoire ou non à certains exercices pédagogiques):*

**Nombre d'heures estimées de travail personnel** (à évaluer selon le type de pédagogie utilisée) : pour acquérir les compétences demandées, il est nécessaire que l'étudiant consacre minimum 45 min de travail personnel de compréhension et d'approfondissement par séance de cours.

**Nombre d'heures estimées de préparation aux travaux dirigés (TD) : 0**

**Pénalité pour retard** (Conformément à l'article 3.3 du Règlement de scolarité, les enseignants peuvent appliquer des pénalités en cas de remise tardive de rapport sans motif valable (la validité du motif est laissée à l'appréciation de l'enseignant)).

Tout travail remis en retard sans motif valable peut être pénalisé de 1 point par jour de retard.

## Équipe enseignante

Nom	Domaine d'expertise	Courriel/Téléphone
<i>François Spinelli</i>	Conception mécanique	<a href="mailto:Francois.Spinelli@mines-ales.fr">Francois.Spinelli@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 13
<i>Laetitia Cambon</i>	Conception mécanique	<a href="mailto:Laetitia.Cambon@mines-ales.fr">Laetitia.Cambon@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 91
<i>Patrick Lenny</i>	Mécanique du matériau	<a href="mailto:Patrick.lenny@mines-ales.fr">Patrick.lenny@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 32
<i>Jean-Christophe Quantin</i>	Mécanique des matériaux	<a href="mailto:Jean-Christophe.Quantin@mines-ales.fr">Jean-Christophe.Quantin@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 53 46
<i>Anne-Sophie Caro</i>	Mécanique du matériau	<a href="mailto:Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr">Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 31
<i>Stéphane Corn</i>	Mécanique des structures	<a href="mailto:Stephane.Corn@mines-ales.fr">Stephane.Corn@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 29
<i>Romain Léger</i>	Mécanique du matériau	<a href="mailto:romain.leger@mines-ales.fr">romain.leger@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 88
<i>Nicolas Le Moigne</i>	Processing et physico-chimie des polymères et composites biosourcés	<a href="mailto:nicolas.le-moigne@mines-ales.fr">nicolas.le-moigne@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 53 02



## Structural mechanics and modelling

ACADEMIC TEACHING	Teaching hours	Coefficients	Credits
<b>Structural mechanics and modelling</b>	<b>85</b>		
○ CAD (computer aided design)	18	1	6
○ Rheology	23	1	
○ Fracture Mechanics	20	1	
○ TP of characterization and modelling	24	1	

Title of Conference presenting subject matter importance and associated issues.	Speaker (name/ expertise)

### Class 1

<i>CAD (computer aided design)</i>	
<b>Code : ECOMAP 8.3.1</b>	<b>Module title : Structural mechanics and modelling</b>
<b>Semester: S8</b>	<b>Classification : ECOMAP department</b>

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
18	18	0	0	14	4	0	0	1	

<b>Title</b>	<i>CAD (computer aided design)</i>
<b>Summary</b>	Computer Aided Design (CAD) is the field of software and techniques for designing, testing for producing tools and manufacturable products. CAD is an essential technique for the engineer because it is useful for all stages of product development: from conception to design, from 2D drawing to digital mock-up, from assembly design to realistic view of virtual prototypes. CAD has spread to major industrial sectors such as automotive, aerospace, naval, electronics, etc.

<b>Head</b>	<i>François Spinelli – Plateforme Mécatronique - IMT Mines Alès</i>
<b>Teaching team</b>	<i>François Spinelli – Plateforme Mécatronique - IMT Mines Alès Laetitia Cambon – Plateforme Mécatronique - IMT Mines Alès</i>

<b>Key words</b>	Computer Aided Design (CAD)
<b>Prerequisites</b>	None

<b>Context and general objective:</b>	Computer Aided Design (CAD) is the field of software and techniques for designing, testing for producing tools and manufacturable products. CAD is an essential technique for the engineer because it is useful for all stages of product development: from conception to design, from 2D drawing to digital mock-up, from assembly design to realistic view of virtual prototypes. CAD has spread to major industrial sectors such as automotive, aerospace, naval, electronics, etc.
<b>Programme and contents:</b>	The different sessions of TP deal with 5 themes <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parts design</li> <li>• Assembly</li> <li>• Modelling</li> <li>• Development plan</li> <li>• Area</li> </ul>
<b>Method and pedagogic organisation:</b>	This teaching is splitted into 4 sessions of 4 hours (by half teams) and a session of 2 hours of evaluation on software. Supports are available: handout combining the course and exercises. The evaluation of the teaching is done through a TP.
<b>Targeted skills or knowledge :</b>	To be able to use CATIA CAD software for product conception

## Structural mechanics and modelling

<b>Evaluation :</b> <i>project 4 h</i>
<b>Feedback made to the student :</b> Deadlines for giving correction of exams: <i>3 weeks</i>
<b>Teaching material and references :</b> <i>1 Photocopied material</i>

### Class 2

<i>Class title: Rheology</i>	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.3.2	<b>Module title:</b> Structural mechanics and modelling
<b>Semester:</b> S8	<b>Classification:</b> ECOMAP department

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
21	23	12	9	0	0	2	20	1	
<b>Title</b>	<i>Mechanical flow behaviour of materials</i>								
<b>Summary</b>	<p>The study of the mechanical flow behaviour of materials enters the field of rheology. "Rheology" is a Greek term meaning literally "flow study". It is a relatively young science and can be broadly defined as follows (according to the "Groupe Français de Rhéologie" - GFR): "Rheology is the science of matter in flow, stresses that it must be applied and changes in the structure that result.</p> <p>Universal, it is found in all areas of human activity. Its applications range from the forming of materials to the behaviour of living matter, including tire performance and the quality of cosmetic products. Its economic impact is therefore considerable. Interdisciplinary, it uses mechanics, physics, chemistry, mathematics, biology, which provide it with its basic tools and it is useful for each of these disciplines.</p>								

<b>Head</b>	<i>Jean-Christophe QUANTIN – C2MA – IMT Mines Alès</i>
<b>Teaching team</b>	<i>Jean-Christophe QUANTIN – C2MA – IMT Mines Alès Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès</i>

<b>Keywords</b>	Constitutive law – Flow – Modelling - Phenomenology
<b>Prerequisites</b>	Continuum mechanics, General mechanics, Materials science, Polymer science

<p><b>Context and general objective :</b></p> <p>Etymologically, rheology is the science of the flows of matter when subjected to solicitations. This definition must be understood in its broadest sense: for example, we will speak of the plastic flow of a press-formed or rolled steel sheet. Diversity also covers the media, substances or materials considered; the examples are countless and are in fields as diverse as biology (blood), cosmetics (shampoo), food-processing industry (cheese, ice cream) or structural materials (steel, concrete, composites). We will limit ourselves here mainly to a phenomenological approach of the behaviors.</p> <p>The objectives of the course are multiple:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Understand the scope of the field and the many industrial and economic implications</li> <li>2. Become aware of interactions with other disciplines such as mechanics, chemistry, physics and biology</li> <li>3. Acquire the basics of jargon in order to be able to dialogue with specialists and deepen this or that sector</li> <li>4. Address some of the most common classes of flow material behavior</li> </ol>
<p><b>Program and contents :</b></p> <p>The course begins with general and transversal notions and then focuses on specific behavioural classes. The different parts covered are:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Introduction</li> <li>2. Notions about constitutive laws - rheological models - rheological criteria</li> <li>3. Viscous flows (Newtonian, shear-thinning, yield stress and viscoelastic fluids, experimental identification)</li> <li>4. Plastic flows (plasticity, elastoplasticity, viscoplasticity, experimental identification)</li> </ol>
<p><b>Method and pedagogic organisation:</b></p> <p>This teaching is broken down into a lecture (12 hours) and practical applications (9 hours). Supports are made available: handout of exercises, various publications related to the subjects dealt with in class. The evaluation of the course is done through a written exam whose objective is to reveal the abilities more reflection than memory of the student.</p>
<p><b>Acquis d'apprentissage visés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• An aptitude for modelling on relatively simple cases (formulating hypotheses, proposing simplifications of geometry, ...)</li> </ul>

## Structural mechanics and modelling

<ul style="list-style-type: none"> <li>• A sufficient knowledge of the language of materials mechanics to interact with specialists</li> </ul>
<b>Evaluation :</b> <i>Written exam 2 h duration</i>
<b>Feedback made to the student :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation of papers upon the express request of the student</li> <li>• Exam correction times: 3 weeks</li> </ul>
<b>Teaching material and references :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Full written material also available in digital form (bibliographic references, application exercises, copy of "Dictionnaire français de rhéologie", copy of the slides of the course)</li> <li>• Campus (pdf documents, multimedia classified by chapters) - <a href="http://campus2.mines-ales.fr/course/view.php?id=75">http://campus2.mines-ales.fr/course/view.php?id=75</a></li> </ul>

### Class 3

<i>Class title:</i> Fracture Mechanics	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.3.3	<b>Module title:</b> Structural mechanics and modelling
<b>Semester:</b> S8	<b>Classification:</b> ECOMAP department

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
18	20	12	6	0	0	2	20	2	
<b>Title</b>	Fracture Mechanics								
<b>Summary</b>	In this course, we are interested in what causes drastic breaks, those that occur during loading or at the end of life when slow-growing cracks reach a critical value. We thus consider the tests and expertises designed to assess the risks of delayed and fatigue failure.								

<b>Head</b>	<i>Patrick IENNY - C2MA - IMT Mines Alès</i>
<b>Teaching team</b>	<i>Patrick IENNY - C2MA - IMT Mines Alès</i>

<b>Keywords</b>	fracture toughness, crack propagation, fatigue fracture
<b>Prerequisites</b>	Continuum mechanics, Rheology

<p><b>Context and general objective :</b></p> <p>The purpose of fracture mechanics is to study macroscopic cracks, to determine stress fields and corresponding deformations. From an experimental point of view, this courses allows the establishment of the kinetics of propagation of the defects and the evaluation of their critical size beyond which, for a given request, the unstable fracture occurs.</p> <p>When a material is stressed until failure, the tests show that the ultimate strength exhibits high variability that can even exceed the decade depending of material and the failure mode. Thus brittle failure may occur drastically without prior deformation for materials described as brittle, while failure may occur after a plastic deformation stage for materials described as ductile.</p> <p>The purpose of this course is to study the stress and deformation fields at the crack tip and corresponding propagation mechanisms. Experimental data will be analyzed to assess the kinetics of propagation of defects and, for a given sollicitation, to identify the risk of breaking. The study will be limited to two-dimensional defects and to the methods based on the theory of linear elastic fracture mechanics (LEFM). This approach aims to acquire the basic requirements to perform critical analysis of the service life of industrial structures.</p>
<p><b>Program and contents :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Breaking strength, brittle fracture, plastic correction and toughness</li> <li>2. Energy approach and effective fracture toughness</li> <li>3. Griffith's theory, experimental methods (mixed modes and extension to 3D problems)</li> <li>4. Crack propagation (energy release rate and steady crack propagation)</li> <li>5. Statistical approach to fracture (Weibull model, extension to structural tests)</li> <li>6. Fatigue fracture, crack initiation criteria, Paris law, Wöhler curves, Haig diagram, Multiaxial criteria</li> </ol>
<p><b>Method and pedagogic organisation :</b></p> <p>11 h of lessons, 7 h of Tutorial and 2 h of written exam.</p>

## Structural mechanics and modelling

<b>Acquis d'apprentissage visés :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Research and / or analyze data relating to the breaking properties of solid materials</li> <li>• Designing a structure under mechanical loads applied during service</li> </ul>
<b>Evaluation :</b> <i>Written exam 2h duration</i>
<b>Feedback made to the student :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation of papers upon the express request of the student</li> <li>• Exam correction times: 3 weeks</li> </ul>
<b>Teaching material and references :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Full written support also available in digital form</li> </ul>

### Class 4

<i>Class title:</i> Practical work on characterization and modelling	
<b>Code:</b> ECOMAP 8.3.4	<b>Module title:</b> Structural mechanics and modelling
<b>Semester:</b> S8	<b>Classification:</b> ECOMAP department

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
24	24	0	0	24	0	0	8	1	
<b>Title</b>	Practical work on characterization and modelling								
<b>Summary</b>	This set of labs enable application of the knowledge acquired in material mechanics. Various materials are tested through characteristic tests (creep, tensile, rupture, impact, rheology); their behaviours will be modelled using the appropriate laws, providing a critical analysis of the associated hypotheses.								

<b>Head</b>	<i>Anne-Sophie CARO - C2MA - IMT Mines Alès</i>
<b>Teaching team</b>	Anne-Sophie Caro, Stéphane Corn, Jean-Christophe Quantin, Patrick Lenny, Nicolas Le Moigne, Romain Léger

<b>Keywords</b>	Mechanical characterization, mechanical modelling, creep, impact, rupture, rheology of polymers
<b>Prerequisites</b>	Linear mechanics of materials (in-depth module), <i>Mechanical flow behaviour of materials</i> , finite elements

<b>Context and general objective :</b> The objective of this course is to use different behaviour models in practical situations (either analytically or using software) with a critical eye.
<b>Program and contents :</b> This course includes 5 sessions of labs (4 hours each). <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Practical work 1</b> Creep in the case of a homogeneous material: confrontation tests / modelling</li> <li>▪ <b>Practical work 2</b> Tensile test in the case of a homogeneous material with elastoplastic behaviour: test / modelling confrontation</li> <li>▪ <b>Practical work 3</b> Bending and tensile test in the case of composite materials: application of Weibull theory, test / modelling confrontation</li> <li>▪ <b>Practical work 4</b> Impact tests in the case of homogeneous materials, test / modelling confrontation</li> <li>▪ <b>Practical work 5</b> Numerical finite element simulation of the behaviour of composite materials</li> <li>▪ <b>Practical work 6:</b> Rheology of polymers. The objective is to characterize, by means of rotational and capillary rheometry, the rheological behavior of various systems in the molten state, in particular thermoplastic polymers or thermoplastic composites. Several rheological experiments will be used and compared: shear flow and oscillatory shear tests as well as capillary shear flow.</li> </ul>
<b>Method and pedagogic organisation :</b> 6 different labs of 4 h. This course is evaluated from labs reports
<b>Acquis d'apprentissage visés :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ To be able to use a behavior law</li> <li>▪ To have a critical mind with respect to the hypothesis</li> </ul>
<b>Evaluation :</b> <i>labs reports</i>

<b>Feedback made to the student :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consultation of papers upon the express request of the student</li> <li>• Exam correction times: 3 weeks</li> </ul>
<b>Teaching material and references :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Full written support also available in digital form</li> </ul>

## Method and teaching organisation

### Testing procedures

The student's level of knowledge acquisition will be evaluated according to the following points :

N° Indicator	Indicator
1	To know the formal and practical knowledge constituting the foundation of a given field
2	Exploit theoretical and practical knowledge
3	Analyse, interpret, model, hypothesize and solve problems

### Grading scheme:

Class	Exam	Coefficients	Administration mode	Evaluated Indicators	Chapters
CAD	Project	1	Individual	2,3	All
Rheology	Exam	1	Individual	1,2,3	All
Fracture mechanics	Exam	1	Individual	1,2,3	All
Labs on characterization and modelling	Report	1	Individual	3	All

### Student commitments, ethics and professionalism

*Expectations concerning ethics are defined in the establishment's code of conduct. Each student is expected to know and respect the code of conduct.*

*Obligatory presence in classes (According to article 5.3 of the Code of conduct, physical presence at certain teaching exercises can be deemed obligatory:*

**Estimated hours of personal study** (evaluate in function of the type of teaching method used): in order to acquire the required learning level, the student is expected (must) to spend a minimum of 45min of personal study time per hour spent in class.

**Estimated hours of preparation required for labs/Work Shop: 0**

**Late penalties** (According to article 3.3 of the Teaching Code, teachers can administer penalties for reports/homework that are late without a valid justification (validity is left to the teacher's best judgement).

All late work is subject to penalties as follows 1 point



**Teaching team** (list the names of the teachers and what they teach, with contact information (phone and email))

(Title) Name	Field of expertise	Email/phone
<i>François Spinelli</i>	Mechanical design	<a href="mailto:Francois.Spinelli@mines-ales.fr">Francois.Spinelli@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 13
<i>Laetitia Cambon</i>	Mechanical design	<a href="mailto:Laetitia.Cambon@mines-ales.fr">Laetitia.Cambon@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 91
<i>Patrick Lenny</i>	Material mechanics	<a href="mailto:Patrick.Lenny@mines-ales.fr">Patrick.Lenny@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 32
<i>Jean-Christophe Quantin</i>	Materials mechanics	<a href="mailto:Jean-Christophe.Quantin@mines-ales.fr">Jean-Christophe.Quantin@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 53 46
<i>Anne-Sophie Caro</i>	Material mechanics	<a href="mailto:Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr">Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 31
<i>Stéphane Corn</i>	Structural mechanics	<a href="mailto:Stephane.Corn@mines-ales.fr">Stephane.Corn@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 29
<i>Romain Léger</i>	Materials mechanics	<a href="mailto:romain.leger@mines-ales.fr">romain.leger@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 56 88
<i>Nicolas Le Moigne</i>	Processing and physico-chemistry of biobased polymers and composites	<a href="mailto:Nicolas.le-moigne@mines-ales.fr">Nicolas.le-moigne@mines-ales.fr</a> / 04 66 78 53 02

## Approbation

Ce guide pédagogique entre en vigueur à compter du 01/01/2023

Il est porté à la connaissance des élèves par une publication sur Campus

Rédaction	Vérification	Validation
L'enseignant responsable du module : Anne-Sophie Caro 	Le responsable d'UE / de département : Anne-Sophie Caro 	Le directeur de l'école, Pour le directeur et par déléation, Le directeur de la DFA / de la DE :