



---

## **Guide pédagogique**

***Module ECOMAP 9.3 (5 crédits ECTS)***

---

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

Ce module contient tous les outils permettant au futur ingénieur de choisir un matériau en fonction d'un cahier des charges spécifique. Qu'il s'agisse d'outils de modélisation pour substituer un matériau dans une application précise ou de méthodes de caractérisation permettant la prise en compte de son vieillissement et de sa fin de vie, ce module permet à l'ingénieur de cibler le matériau optimal en fonction des contraintes d'utilisation.

---

## **Teaching guide and syllabus**

***Module ECOMAP 9.3 (5 ECTS credits)***

---

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

This module contains all the necessary tools for the future engineer to choose a material according to a list of specifications. Modelling tools and material properties assessment in link with its aging and its end of life allow the engineer to target the optimal material according the constraints related to its usage.

Responsable : Anne-Sophie Caro

Téléphone : 0466785631

Courriel : [Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr](mailto:Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr)

ENSEIGNEMENTS ACADEMIQUES	Volume horaire	Détail des coefficients	Crédits
<b>Tenue en service et fin de vie</b>	<b>73 h</b>		
○ Modélisation mécanique des matériaux composites	17	2	5
○ TP caractérisation et modélisation des matériaux composites	14	1	
○ Transferts thermiques et réaction au feu	20	2	
○ Vieillessement et fin de vie des matériaux	22	2	

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

**Matière 1 :**

<i>Modélisation mécanique des matériaux composites</i>	
<b>Code : ECOMAP 9.3.1</b>	<b>Titre du module : Tenue en service et fin de vie</b>
<b>Semestre : S9</b>	<b>Cursus de rattachement : Département ECOMAP</b>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
16	17	14	2	0		1	4	2	

<b>Titre</b>	Modélisation mécanique des matériaux composites
<b>Résumé</b>	L'étude de la résistance mécanique d'un matériau mis sur le marché est essentielle au bon dimensionnement d'un produit. Les propriétés associées peuvent être modélisées ou évaluées à travers des approches numériques ou expérimentales. Le cas particulier des matériaux stratifiés est particulièrement traité.

<b>Responsable</b>	Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès Patrick IENNY – C2MA – IMT Mines Alès Stéphane CORN – C2MA – IMT Mines Alès Romain LEGER – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Matériaux composites, vibrations des structures
<b>Prérequis</b>	Algèbre linéaire, Elasticité linéaire anisotrope, Matériaux pour l'Ingénieur

<b>Contexte et objectif général :</b>
Les matériaux composites occupent une part importante du marché actuel. Aujourd'hui le contexte environnemental impose un renouveau dans les constituants de ces matériaux. Les dimensionner, les caractériser en service (tenue mécanique) permet de faire le bon choix de matériau en fonction du cahier des charges proposé.
<b>Programme et contenu :</b>
La tenue mécanique des matériaux composites peut être prédite analytiquement ou numériquement de par la nature de ses constituants et de l'affinité qu'ils présentent. Ce cours présente différents modèles adaptés à la typologie du composite (stratifiés, sandwich ...) en vue de la prédiction de ses propriétés mécaniques (élasticité, endommagement, rupture). Les différents modèles proposés sont intégrés dans un fichier Excel. Une ouverture au domaine de la vibration des structures

permet de proposer et d'introduire une méthode de suivi de la rigidité des structures composites en conditions de vieillissement à partir de l'évaluation de leur comportement vibratoire.
<b>Méthode et organisation pédagogique :</b> Cet enseignement se présente sous la forme de cours, TD, TP sur logiciel.
<b>Acquis d'apprentissage visés :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comprendre, évaluer et modéliser la relation entre les performances d'une structure et les propriétés des matériaux constitutants</li> <li>Être en mesure de prédire le comportement mécanique de matériaux composites et leur tenue en service</li> <li>Être critique par rapport aux modélisations prédictives</li> </ul>
<b>Evaluation :</b> QCM 1 h
<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> Support Powerpoint, photocopié (Campus)

**Matière 2 :**

<i>TP Caractérisation et modélisation des matériaux composites</i>	
<b>Code :</b> ECOMAP 9.3.2	<b>Titre du module :</b> Tenue en service et fin de vie
<b>Semestre :</b> S9	<b>Cursus de rattachement :</b> Département ECOMAP

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
14	14	0	0	14			6	1	

<b>Titre</b>	TP Caractérisation et modélisation des matériaux composites
<b>Résumé</b>	L'objectif de ce TP est de mettre en application (numérique et expérimental) les notions vues dans la matière 1.

<b>Responsable</b>	Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès Romain LEGER – C2MA – IMT Mines Alès Stéphane CORN – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Matériaux composites, stratifiés, vibrations des structures
<b>Prérequis</b>	Modélisation des matériaux composites

<b>Contexte et objectif général :</b> Mise en place de modèles numériques permettant d'établir des modèles mécaniques prédictifs dans le cas de matériaux composites.
<b>Programme et contenu :</b> Deux (2) TP sont proposés pour appliquer le cours « Modélisation du comportement mécanique des composites ». Un premier TP (6h) permet d'appliquer les techniques vibratoires sur différents matériaux, dont un matériau stratifié. Un deuxième TP (8h) purement numérique permet d'utiliser un code de calcul par éléments finis pour modéliser le comportement mécanique d'un matériau stratifié. Une comparaison entre modèles (analytique, numérique) et expérience (modules statique et dynamique) est à réaliser et à interpréter.
<b>Méthode et organisation pédagogique :</b> Cet enseignement se présente sous la forme de TP
<b>Acquis d'apprentissage visés :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Être en mesure de prédire le comportement mécanique de matériaux composites et leur tenue en service</li> <li>Être critique par rapport aux modélisations prédictives</li> </ul>
<b>Evaluation :</b> Compte rendus

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

- Délais de correction des examens : 3 semaines

**Support pédagogique et références :** Support Powerpoint, photocopié (Campus)

**Matière 3 :**

*Transferts thermiques et réaction au feu*

**Code : ECOMAP 9.3.3**      **Titre du module :** Tenue en service et fin de vie

**Semestre : S9**      **Cursus de rattachement :** Département ECOMAP

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
16	20	12		6		2	4	2	

<b>Titre</b>	Transferts thermiques et réaction au feu
<b>Résumé</b>	La tenue au stress thermique et le comportement au feu sont deux éléments importants de la tenue en service d'un matériau. L'objectif du cours est de présenter les phénomènes mis en jeu et les propriétés associées, les lois régissant ces phénomènes et les stratégies permettant d'améliorer le comportement des matériaux.

<b>Responsable</b>	Rodolphe SONNIER – C2MA – IMT Mines Alès Laurent FERRY – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	Rodolphe SONNIER – C2MA – IMT Mines Alès Laurent FERRY – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Transferts thermiques, réaction au feu
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'Ingénieur

**Contexte et objectif général :**

Dans de nombreux secteurs applicatifs, les matériaux peuvent être soumis à des conditions sévères de température que ce soit en utilisation normale ou en situation accidentelle. Mal maîtrisées ces situations peuvent conduire à la ruine du matériau et causer des pertes matérielles et humaines. L'objectif général du cours est de fournir les bases scientifiques permettant de comprendre les phénomènes mis en jeu, les caractériser et proposer des solutions permettant de développer des matériaux performants répondant au cahier des charges imposé.

**Programme et contenu :**

La réaction au feu des matériaux et la résistance au feu des structures sont de première importance dans nombre d'applications. Les performances des matériaux peuvent être significativement modifiées en fonction du stress thermique subi. Ce cours vise donc à présenter ① les différents phénomènes impliqués dans les transferts de chaleur, la décomposition thermique et la combustion des matériaux organiques et ② les modèles qui les décrivent dans des scénarios liés à la tenue en service. Les propriétés thermiques contrôlant l'échauffement et la décomposition du matériau sont présentées ainsi que les méthodes expérimentales permettant de les mesurer. Les stratégies visant à améliorer l'ignifugation et à protéger les structures et les nouvelles tendances dans le domaine de la recherche y sont aussi décrites.

**Méthode et organisation pédagogique :** Cet enseignement se présente sous la forme de cours, TD

**Acquis d'apprentissage visés :**

**Evaluation :** *contrôle écrit (1h) + QCM (1h)*

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

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

**Support pédagogique et références :**  
Support Powerpoint, photocopié (Campus)

**Matière 4 :**

<i>Vieillessement et fin de vie des matériaux</i>	
<b>Code : ECOMAP 9.3.4</b>	<b>Titre du module :</b> Tenue en service et fin de vie
<b>Semestre : S9</b>	<b>Cursus de rattachement :</b> <i>Département ECOMAP</i>

Heures présentiel	Heures total	Cours	TD	TP	Projet	Contrôles	Travail personnel	Coef /module	ECTS
20	22	15	5	0	0	2	10	2	

<b>Titre</b>	Vieillessement et fin de vie des matériaux
<b>Résumé</b>	

<b>Responsable</b>	Claire LONGUET – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Equipe enseignante</b>	Claire LONGUET – C2MA – IMT Mines Alès Laurent CLERC – C2MA – IMT Mines Alès Didier PERRIN – C2MA – IMT Mines Alès Jean-Charles BENEZET – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Mots-clés</b>	Recyclage, Valorisation, Vieillessement, Méthodes de tri, Economie Circulaire
<b>Prérequis</b>	Matériaux pour l'Ingénieur, Polymères, Biocomposites

**Contexte et objectif général :**

Ce cours s'intéresse aux moyens existants et émergents en termes de tri/identification et de valorisation/recyclage des matériaux plastiques, composites et biocomposites. La valorisation matière et énergétique est aujourd'hui le pilier central de la politique déchets. Au cœur de l'économie circulaire, le recyclage est le principal contributeur à l'économie de matière et à la diminution de la pression sur les matières non renouvelables tout en permettant le développement de matières premières secondaires performantes. Cependant, ce recyclage est possible à la condition qu'en amont l'identification et le tri des matières soient optimaux et tiennent compte de l'état de la matière (type de grade de plastique, bioplastique, compréhension des phénomènes de dégradation des matériaux (vieillessement), mélange de matériaux, procédés de valorisation, etc.). Aussi, le tri, notamment à la source, que ce soit pour les déchets industriels ou ménagers, est un levier essentiel au développement du recyclage et doit être parfaitement maîtrisé. Enfin, le recyclage et la valorisation matière des déchets répondent dès à présent et dans une perspective de long terme, à des enjeux incontournables, aussi bien au niveau international que local, notamment écologiques. Ces derniers participent à l'économie des matières premières naturelles et d'énergie, sécurisent l'approvisionnement de l'industrie en matières premières et diminuent ses impacts environnementaux. Ainsi, quand est-il réellement des avancés / recyclage de certaines matières inscrites au sein de contextes et d'enjeux de gestion des déchets devenus mondiaux.

Dans ce contexte, pour augmenter la part des matières recyclées issue de déchets plastiques/composites historiques, gérer la fin de vie des matières biosourcées/biodégradables dans la conception de produits manufacturés et répondre aux différents objectifs européen et français, il importe de bien connaître les techniques actuelles de tri / 'identification, tout en considérant les modes de vieillessement de ces matières qui peuvent altérer ce tri.

**Programme et contenu :**

Le cours reprendra ces trois problématiques de *tri/identification/durabilité* pour mieux valoriser en qualité et en quantité les déchets produits afin de développer de nouveaux couples déchet / technologie de tri / technologies de valorisation adaptés aux évolutions des gisements. Il sera scindé en 4 grandes parties :

- Méthodes conventionnelles de tri ;
- Fin de vie des Biocomposites ;
- Vieillessement et dégradation des matériaux polymères ;
- Les Matières Premières Secondaires - Intérêts et Désillusions de la Valorisation des Matériaux.

**Méthode et organisation pédagogique :** Cet enseignement se présente sous la forme de cours et TD

**Acquis d'apprentissage visés :**

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

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

<b>Support pédagogique et références :</b> Support Powerpoint, photocopié (Campus)
---

**Méthode et organisation pédagogique** (pour apporter des précisions si nécessaire selon les méthodes pédagogiques utilisées):

## Modalité d'évaluation

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

N° indicateur	Indicateur
1	Connaitre 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
Modélisation du comportement mécanique des composites	QCM	2	Individuelle	2,3	Tous
TP Caractérisation et modélisation des matériaux composites	Compte rendu de TP	1	Par groupe	3	Tous
Transferts thermiques et réaction a feu	Contrôle	1	Individuelle	1,2,3	Tous
Vieillessement et fin de vie des matériaux	Contrôle	2	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>Stéphane Corn</i>	Mécanique des structures	<a href="mailto:Stephane.Corn@mines-ales.fr">Stephane.Corn@mines-ales.fr</a> / 0466785629
<i>Rodolphe Sonnier</i>	Comportement au feu et ignifugation des matériaux	<a href="mailto:Rodolphe.sonnier@mines-ales.fr">Rodolphe.sonnier@mines-ales.fr</a> / 0466785659
<i>Laurent Ferry</i>	Feu et thermique	<a href="mailto:Laurent.Ferry@mines-ales.fr">Laurent.Ferry@mines-ales.fr</a> / 0466785024
<i>Patrick Lenny</i>	Mécanique des matériaux	<a href="mailto:Patrick.lenny@mines-ales.fr">Patrick.lenny@mines-ales.fr</a> / 0466785632
<i>Anne-Sophie Caro</i>	Mécanique des matériaux	<a href="mailto:Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr">Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr</a> / 0466785631
<i>Laurent Clerc</i>	Physicochimie des matériaux	<a href="mailto:Laurent.Clerc@mines-ales.fr">Laurent.Clerc@mines-ales.fr</a> / 0466785361
<i>Didier Perrin</i>	Physicochimie des matériaux	<a href="mailto:Didier.Perrin@mines-ales.fr">Didier.Perrin@mines-ales.fr</a> / 0466785369
<i>Claire Longuet</i>	Vieillessement	<a href="mailto:Claire.Longuet@mines-ales.fr">Claire.Longuet@mines-ales.fr</a> / 0466785345
<i>Jean-Charles Benezet</i>	Physicochimie des matériaux	<a href="mailto:Jean-Charles.Benezet@mines-ales.fr">Jean-Charles.Benezet@mines-ales.fr</a> / 0466785362
<i>Romain Léger</i>	Mécanique des matériaux	<a href="mailto:Romain.leger@mines-ales.fr">Romain.leger@mines-ales.fr</a> / 0466785688

## Operating performances and materials end-of-life

ACADEMIC TEACHING	Teaching hours	Coefficients	Credits
<b>Operating performance and materials end-of-life</b>	<b>73 h</b>		
○ Mechanical modelling of composites materials	17	2	5
○ Practical works on mechanical modelling of composite materials	14	1	
○ Thermal transfer and flame retardancy	20	2	
○ Ageing and waste management of materials	22	2	

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

### Class 1

<i>Class title: Mechanical modelling of composites materials</i>	
<b>Code: ECOMAP 9.3.1</b>	<b>Module title: Operating performances and materials end-of-life</b>
<b>Semester: S9</b>	<b>Classification: ECOMAP department</b>

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
16	17	14	2	0	0	1	4	2	

<b>Title</b>	Mechanical modelling of composites materials
<b>Summary</b>	Mechanical resistance of a composite material are keys properties to well design a product. Associated properties can be modeled or evaluated through numerical or experimental approaches. Particular case of laminated materials is studied.

<b>Head</b>	<i>Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès</i>
<b>Teaching team</b>	<i>Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès Patrick lenny – C2MA – IMT Mines Alès Stéphane Corn – C2MA – IMT Mines Alès Romain Léger – C2MA – IMT Mines Alès</i>

<b>Keywords</b>	<i>Composites materials, structural vibrations</i>
<b>Prerequisites</b>	<i>Continuum mechanics, linear algebra, Materials</i>

<p><b>Context and general objective:</b> Composite materials are an important part of today's market. Today the environmental context imposes new constituents of these materials. Sizing them in service (mechanical strength) is therefore a necessity.</p>
<p><b>Program and contents:</b> Usual properties of composites (elasticity, ultimate stress, damage) can be modelled knowing their constituents' properties. This course proposes several models depending on composite geometry (laminated, sandwich) to predict their mechanical properties. Excel tool will be used to integrate proposed modelling. Opening up to the field of structural vibration enables to propose and introduce a method for monitoring the rigidity of composite structures under aging conditions from the evaluation of their modal parameters. To do this, theoretical bases and techniques of numerical modelling and experimental analysis of the vibratory behaviour of structures are introduced.</p>
<p><b>Method and pedagogic organisation:</b> This teaching is in the form of a lecture and exercises. Supports are made available to students. The written test (2 hours) will assess the knowledge assimilated by students and their ability to reflect on the subject.</p>
<p><b>Targeted skills or knowledge:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Understand, evaluate and model the relationship between the performance of a structure and the properties of its materials</li> <li>• Be able to predict the mechanical behaviour of composite materials and their performance in service</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>To be critical thinking with these predictive modelling</li> </ul>
<b>Evaluation:</b> <i>written exam (2h00)</i>
<b>Feedback made to the student:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Possibility to consult the copy on request of the student.</li> <li>Deadlines for giving correction of exams: <i>3 weeks</i></li> </ul>
<b>Teaching material and references:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Power point presentation</li> <li>Course booklet and exercises to complement the presentation (campus)</li> </ul>

**Class 2**

<i>Class title: Practical works on mechanical modelling of composite materials</i>	
<b>Code:</b> ECOMAP 9.3.2	<b>Module title:</b> Operating performances and materials end-of-life
<b>Semester:</b> S9	<b>Classification:</b> ECOMAP department

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
14	14	0	0	14			6	1	

<b>Title</b>	<i>Practical works on mechanical modelling of composite materials</i>
<b>Summary</b>	The objective of this course is to apply some of the notions seen in classes 1 (numerics and experiments)

<b>Head</b>	<i>Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès</i>
<b>Teaching team</b>	<i>Anne-Sophie CARO – C2MA – IMT Mines Alès Romain LEGER – C2MA – IMT Mines Alès Stéphane CORN – C2MA – IMT Mines Alès</i>

<b>Keywords</b>	<i>Composites materials, structural vibrations</i>
<b>Prerequisites</b>	Mechanical modelling of composites materials

<b>Context and general objective:</b> Implementation of numerical models to establish predictive mechanical models in the case of composite materials
<b>Program and contents:</b> 2 Practical works are proposed to apply the class “Mechanical modelling of composites materials”. In the first one vibrational technical (6h) are used on several materials, one of them is a laminated material. In the second one (8h), a finite element software enables the modelling of this laminated material. A comparison between modelling (analytical, numerical) and experiments (static and dynamic moduli) is done and analyzed.
<b>Method and pedagogic organization:</b> Practical works in groups.
<b>Targeted skills or knowledge:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>To be able to predict the mechanical behaviour of composite materials and their performance in service</li> <li>To be critical thinking with these predictive modelling</li> </ul>
<b>Evaluation:</b> Practical work reports
<b>Feedback made to the student:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Deadlines for giving correction : <i>3 weeks</i></li> </ul>
<b>Teaching material and references:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Handouts documents (campus)</li> </ul>

**Class 3**

<i>Class title: Heat transfer and fire reaction</i>	
<b>Code: ECOMAP 9.3.3</b>	<b>Module title: Operating performances and materials end-of-life</b>
<b>Semester: S9</b>	<b>Classification: ECOMAP department</b>

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
16	20	12	0	6	0	2	4	2	

<b>Title</b>	Heat transfer and fire reaction
<b>Summary</b>	Thermal strength and fire behaviour are two important components of material operating performances. The objective of the course is to present physical and chemical phenomena governing the material behaviour, the related properties, the laws describing these phenomena and finally strategies enabling to improve the material behaviour.

<b>Head</b>	Rodolphe SONNIER – C2MA – IMT Mines Alès Laurent FERRY – C2MA – IMT Mines Alès
<b>Teaching team</b>	Rodolphe SONNIER – C2MA – IMT Mines Alès Laurent FERRY – C2MA – IMT Mines Alès

<b>Keywords</b>	<i>Heat transfer, fire reaction</i>
<b>Prerequisites</b>	

<p><b>Context and general objective:</b> In numerous applications, materials can be submitted to severe thermal conditions, either in normal operating or in accidental situations. When unsatisfactorily controlled, these situations may lead to the material destruction and cause human losses. The objective of this course is to supply the scientific bases enabling to understand the involved mechanisms, to characterize these phenomena and propose solutions for developing high performance materials compliant with imposed specifications.</p>
<p><b>Program and contents:</b> The flame retardancy of materials and the resistance to fire of structures are of main importance for many applications. Performance of materials may be significantly affected by the thermal stress to which they are exposed. This course aims at presenting ① the different phenomena involved in thermal transfer, thermal decomposition and combustion of organic materials and ② modelling used to describe them in scenarios related to their service life. Thermal properties controlling material heating and decomposition as well as experimental methods used for their measurement are described. The strategies to improve the flame retardancy and to protect the structures with a focus on new tendencies in research are also presented.</p>
<p><b>Method and pedagogic organization:</b> This teaching is in the form of a lecture and exercises. Supports are made available to students.</p>
<p><b>Targeted skills or knowledge:</b></p>
<p><b>Evaluation:</b> <i>written exam (1h) + MCQ (1h)</i></p>
<p><b>Feedback made to the student:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibility to consult the copy on request of the student.</li> <li>• Deadlines for giving correction of exams: <i>3 weeks</i></li> </ul>
<p><b>Teaching material and references:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Power point presentation</li> <li>• Course booklet and exercises to complement the presentation (campus)</li> </ul>

**Class 4**

<i>Class title: Ageing and waste management of materials</i>	
<b>Code: ECOMAP 9.3.4</b>	<b>Module title: Operating performances and materials end-of-life</b>
<b>Semester: S9</b>	<b>Classification: ECOMAP department</b>

## Operating performances and materials end-of-life

Hours of presence	Total hours	Lectures	Works hop	Labs	Project	Testing	Personal work	Coef /module	ECTS
20	22	15	5	0	0	2	10	2	

<b>Title</b>	Ageing and waste management of materials
<b>Summary</b>	The current environmental context also requires specular attention of the end of life of composites materials, this must be though since their conception, considering for example their re-valuation taking into account their aging or their compostability.

<b>Head</b>	<i>Claire LONGUET – C2MA – IMT Mines Alès</i>
<b>Teaching team</b>	<i>Claire LONGUET – C2MA – IMT Mines Alès Laurent CLERC – C2MA – IMT Mines Alès Didier PERRIN – C2MA – IMT Mines Alès Jean-Charles BENEZET – C2MA – IMT Mines Alès</i>

<b>Keywords</b>	Recycling, Recovery, Ageing, Sorting Methods, Circular Economy
<b>Prerequisites</b>	Materials for Engineer, Polymers, Biocomposites

### Context and general objective:

This course focuses on existing and emerging means of sorting/identification and recovery/recycling of plastics, composites and biocomposites. Material and energy recovery is now the central pillar of the waste policy. At the heart of the circular economy, recycling is the main contributor to saving materials and reducing the pressure on non-renewable materials while allowing the development of high-performance secondary raw materials. However, this recycling is possible provided that upstream the identification and sorting of materials is optimal and takes into account the state of the material (type of plastic grade, bioplastics, understanding of the phenomena of degradation of materials (ageing), mixing of materials, recovery processes, etc.). Also, sorting, particularly at source, whether industrial or household waste, is an essential lever for the development of recycling and must be perfectly controlled. Finally, the recycling and material recovery of waste respond today and in a long-term perspective, to unavoidable issues, both at international and local level, in particular ecological ones. These contribute to the saving of natural raw materials and energy, secure the supply of raw materials to industry and reduce its environmental impact. So, when is there really progress/recycling of certain materials inscribed in contexts and issues of waste management that have become global.

In this context, to increase the share of recycled materials from historical plastic/composite waste, manage the end of life of biosourced/biodegradable materials in the design of manufactured products and meet the various European and French objectives, it is important to know the current sorting/identification techniques, while considering the ageing modes of these materials which can alter this sorting.

### Program and contents:

The course will address these three issues of sorting/identification/sustainability to better recover the quality and quantity of the waste produced in order to develop new pairs of waste/sorting technology/recovery technologies adapted to changes in deposits. It will be divided into 4 main parts:

1. Conventional sorting methods;
2. End of life of Biocomposites;
3. Aging and degradation of polymeric materials;
4. Secondary raw materials - Interests and disillusion in the valorisation of materials.

### Method and pedagogic organisation:

This teaching is in the form of a lecture and exercises. Supports are made available to students.

### Targeted skills or knowledge:

**Evaluation:** *written exam (2h00)*

### Feedback made to the student:

- Possibility to consult the copy on request of the student.
- Deadlines for giving correction of exams: *3 weeks*

**Teaching material and references:**

- Power point presentation
- Course booklet and exercises to complement the presentation (campus)

**Method and teaching organisation** *(to be used for providing more detail concerning the teaching methods used):*

**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
Mechanical modelling of composites materials	Multiple choice quiz	2	Individual	2,3	All
Practical works on mechanical modelling of composite materials	Reports on practical works	1	Team	3	All
Thermal transfers and fire resistance	Exam	1	Individual	1,2,3	All
Ageing and end-of-life materials	Exam	2	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 by day (to be completed by the teacher(s)).



## Teaching team

<i>(Title) Name</i>	Field of expertise	Email/phone
<i>Stéphane Corn</i>	Structural mechanics	<a href="mailto:Stephane.Corn@mines-ales.fr">Stephane.Corn@mines-ales.fr</a> / 0466785629
<i>Rodolphe Sonnier</i>	Fire behavior and flame retardancy of materials	<a href="mailto:Rodolphe.sonnier@mines-ales.fr">Rodolphe.sonnier@mines-ales.fr</a> / 0466785659
<i>Laurent Ferry</i>	Fire behavior and flame retardancy of materials	<a href="mailto:Laurent.Ferry@mines-ales.fr">Laurent.Ferry@mines-ales.fr</a> / 046678
<i>Patrick Jenny</i>	Material mechanics	<a href="mailto:Patrick.Jenny@mines-ales.fr">Patrick.Jenny@mines-ales.fr</a> / 0466785632
<i>Anne-Sophie Caro</i>	Material mechanics	<a href="mailto:Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr">Anne-Sophie.Caro@mines-ales.fr</a> / 0466785631
<i>Laurent Clerc</i>	Physicochemistry of materials	<a href="mailto:Laurent.Clerc@mines-ales.fr">Laurent.Clerc@mines-ales.fr</a> / 0466785361
<i>Didier Perrin</i>	Physicochemistry of materials	<a href="mailto:Didier.Perrin@mines-ales.fr">Didier.Perrin@mines-ales.fr</a> / 0466785369
<i>Claire Longuet</i>	Ageing	<a href="mailto:Claire.Longuet@mines-ales.fr">Claire.Longuet@mines-ales.fr</a> / 04.66.78.53.45
<i>Jean-Charles Benezet</i>	Physicochemistry of materials	<a href="mailto:Jean-Charles.Benezet@mines-ales.fr">Jean-Charles.Benezet@mines-ales.fr</a> / 0466785362
<i>Romain Léger</i>	Material mechanics	<a href="mailto:Romain.leger@mines-ales.fr">Romain.leger@mines-ales.fr</a> / 0466785688

## Approbation

Ce guide pédagogique entre en vigueur à compter du 01/01/2020

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

<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Validation</b>
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 délégation, Le directeur de la DFA / de la DE :